

**LAPORAN TUGAS AKHIR
(ENV21W003)**

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
DOMESTIK DAN PEMANFAATAN AIR HUJAN DI RUMAH
SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG KOTA BANDUNG**

**Disusun oleh:
Nasywa Salsabila Masyhuroh
213050010**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

***“Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik.
Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya
rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.”***

(Q.S Al-A'raf 7:56)

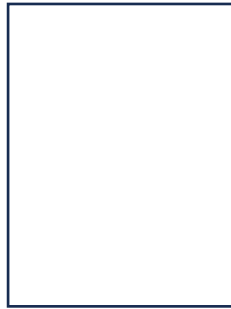
LAPORAN TUGAS AKHIR
(ENV21W003)

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
DOMESTIK DAN PEMANFAATAN AIR HUJAN DI RUMAH
SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG KOTA BANDUNG**

Disusun oleh:

Nasywa Salsabila Masyhuroh

213050010



Telah disetujui dan disahkan

Pada,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Deni Rusmaya, S.T., M.T.)

(Prof. Dr. Yonik Meilawati, S.T., M.T.)

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

(Dr. Ir. H. Lili Mulyatna, M.T.)

(Nurdian Hari Anfasha, S.T., M.T.)

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DAN PEMANFAATAN AIR HUJAN DI RUMAH SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG KOTA BANDUNG

Nasywa Salsabila Masyhuroh

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan,
Bandung

Email: nasywasalsabilam@gmail.com

ABSTRAK

Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung (RSJC) Kota Bandung dengan luas bangunan $\pm 5.447 \text{ m}^2$ dan enam lantai direncanakan menerapkan konsep *Green Hospital*. Salah satu indikator penting dalam *Green Hospital* adalah *Water Conservation* (WAC), yang terdiri dari daur ulang air limbah dan pemanfaatan air hujan melalui sistem *Rainwater Harvesting* (RWH). Dalam perencanaan ini, air limbah domestik diolah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan dimanfaatkan kembali sebagai air daur ulang untuk kebutuhan non-konsumsi (tidak layak minum), khususnya untuk sistem penggelontoran (*flushing toilet*). Sementara itu, air hujan dimanfaatkan sebagai sumber tambahan untuk penyiraman taman. Teknologi IPAL yang digunakan mengacu pada Pedoman Kemenkes RI (2011), yaitu sistem *biofilter anaerob-aerob*. Hasil perencanaan menghasilkan satu unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik dengan kapasitas $63,56 \text{ m}^3/\text{hari}$. Unit IPAL ini terdiri atas enam *chamber*, yaitu bak ekualisasi, bak netralisasi, *biofilter anaerob-aerob*, bak pengendap, dan unit desinfeksi (klorinasi), yang dirancang untuk memenuhi baku mutu sesuai Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Dari total efluen IPAL, sebesar 70% ($44,49 \text{ m}^3/\text{hari}$) didaur ulang dengan menggunakan *Sand Filter* (SF) bermedia pasir silika. Kriteria kualitas air hasil daur ulang mengacu pada standar *Health Canada* (2010). Untuk sistem *Rainwater Harvesting* (RWH), perhitungan dilakukan menggunakan metode Weibull dengan probabilitas 50%. Desain sistem ini terdiri dari area tangkapan, jaringan pipa, dan *ground reservoir*. Dengan luas atap 972 m^2 , sistem RWH mampu menampung air hujan hingga $1.094,61 \text{ m}^3$ per tahun, sedangkan kebutuhan air untuk penyiraman taman diperkirakan sebesar $795,26 \text{ m}^3$. Adapun estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk keseluruhan perencanaan RSJC adalah sebesar Rp 1.505.000.000.

Kata kunci: rumah sakit, instalasi pengolahan air limbah domestik, *biofilter anaerob-aerob*, reuse, *rainwater harvesting*.

PLANNING OF DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANT AND RAINWATER HARVESTING AT RUMAH SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG, BANDUNG CITY

Nasywa Salsabila Masyhuroh

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan,
Bandung

Email: nasywasalsabilam@gmail.com

ABSTRACT

Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung (RSJC) in Bandung City, with a building area of approximately $\pm 5,447 \text{ m}^2$ and six floors, is planned to implement the Green Hospital concept. One of the key indicators of a Green Hospital is Water Conservation (WAC), which includes wastewater recycling and the utilization of rainwater through a Rainwater Harvesting (RWH) system. In this plan, domestic wastewater is treated through a Wastewater Treatment Plant (WWTP) and reused as recycled water for non-consumptive use, particularly for flushing toilets. Meanwhile, rainwater is utilized as an additional source for landscape irrigation. The WWTP technology applied refers to the guidelines of Kemenkes RI (2011), specifically the anaerobic–aerobic biofilter system. The design results in one unit of domestic WWTP with a capacity of $63.56 \text{ m}^3/\text{day}$. The WWTP consists of six chambers: equalization tank, neutralization tank, anaerobic–aerobic biofilter, sedimentation tank, and disinfection unit (chlorination), designed to meet effluent standards in accordance with the Regulation of the Ministry of Environment and Forestry (Permen LHK) No. 68 of 2016 on Domestic Wastewater Quality Standards. Of the total WWTP effluent, 70% ($44.49 \text{ m}^3/\text{day}$) is reused using a Sand Filter (SF) with silica sand media. The water quality criteria for reuse refer to Health Canada (2010). For the Rainwater Harvesting (RWH) system, calculations are carried out using the Weibull method with a 50% probability. The system design consists of a catchment area, piping network, and underground reservoir. With a roof area of 972 m^2 , the RWH system can collect up to $1,094.61 \text{ m}^3$ of rainwater per year, while the annual irrigation demand is estimated at 795.26 m^3 . The estimated Budget Plan for the overall RSJC planning is IDR 1.505.000.000..

Kata kunci: *hospital, Wastewater Treatment Plant (WWTP), biofilter anaerob-aerob, reuse, rainwater harvesting.*

RARANCANG INSTALASI PANGOLAHAN CAI LIMBAH DOMÉSTIK SARENG PANGANGGEAN CAI HUJAN DI RUMAH SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG KOTA BANDUNG

Nasywa Salsabila Masyhuroh

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan,
Bandung

Email: nasywasalsabilam@gmail.com

ABSTRAK

Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung (RSJC) di Kota Bandung, anu lega wangunan nana kirang langkung 5.447 m² nu seueurna genep lanté, dirancang kanggo nerapkeun konsép *Green Hospital*. Salah sawios indikator anu peryogi di *Green Hospital* nyaéta *Water Conservation (WAC)*, anu ngawengku daur ulang cai limbah sareng panganggéan cai hujan ngalangkungan sistem *Rainwater Harvesting (RWH)*. Dina rarancang ieu, cai limbah doméistik diolah heula ngalangkungan Instalasi Pangolahan Cai Limbah (IPAL), supados tiasa dianggé deui kanggo kaperyogian anu sanés kanggo leueuteun, utamina pikeun sistem pangocoran (*flushing* toilet). Sedengkeun cai hujan dimangpaatkeun minangkina janten sumber tambahan kanggé nyebor buruan. Téknologi IPAL anu dianggé ngarojong kana Padoman Kementerian Kaséhatan RI (2011), nyaéta sistem *biofilter anaerob-aerob*. Rarancang ieu ngahasilkeun hiji unit IPAL doméistik kalayan kapasitas 63,56 m³ per dinten na. Unit IPAL ieu diwangun ku genep *chamber*, nyaéta bak ékualisasi, bak nétralisasi, biofilter anaerob-aerob, bak pangendap, sareng unit désinféksi (klorinasi), anu dirancang supados nyumponan baku mutu numutkeun Permén LHK No. 68 Taun 2016 ngeunaan Baku Mutu Cai Limbah Doméistik. Tina jumlah éfluen IPAL, anu ageungna 70% (44,49 m³ per dinten na dibersihkeun ngalangkungan *Sand Filter (SF)* kalayan nganggé keusik silika. Kakiatan cai daur ulang (cai nu tos bersih) ieu ngarojong kana standar *Health Canada* (2010). Kanggo sistem RWH, etangan na nganggé métode Wéibull kalayan probabilitas 50%. Rarancang sistem ieu ngawengku daérah tangkapan, jaringan pipa, sareng *ground reservoir*. Kalayan lega hateup 972 m², sistem RWH tiasa nampung cai hujan dugi ka 1.094,61 m³ satahun na, sedengkeun kaperyogian cai kanggé nyiram buruan kirang langkung 795,26 m³. Dikinten-kinten Rencana Anggaran Biaya (RAB) kanggé sadaya rarancang RSJC nyaéta Rp 1.505.000.000..

Kata kunci: rumah sakit, instalasi pengolahan cai limbah domestik, biofilter anaerob-aerob, cair daur ulang, rainwater harvesting.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena hanya dengan limpahan rahmat, karunia, dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir 2 dengan judul “*Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung*”. Penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Sarjana Teknik Lingkungan.

Selama penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. *Allah Subhānahu Wa Ta‘ālā*, yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, serta kesabaran dalam menjalani proses panjang penyusunan Tugas Akhir 2 ini. Tanpa pertolongan dan rahmat-Nya, penulis tidak akan mampu menyelesaikan penulisan laporan ini hingga akhir.
2. Keluarga tercinta, khususnya kedua orangtua, Bapak Mashur Harun dan Ibu Nurdahniar, yang selalu menjadi sumber semangat dan inspirasi terbesar dalam hidup penulis. Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, pengorbanan yang tidak ternilai, kasih sayang yang tulus, serta dukungan moril maupun materiil yang telah diberikan sejak awal pendidikan hingga saat ini. Setiap langkah penulis tidak lepas dari jerih payah dan doa restu orang tua. Semoga laporan sederhana ini dapat menjadi hadiah kecil sebagai wujud bakti dan rasa syukur penulis atas semua cinta serta pengorbanan Papa dan Mama. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada abang tercinta, Ichsan Fadjar Ramadhan, atas segala dukungan dan semangat yang diberikan. Semoga laporan ini dapat menjadi hadiah kecil yang juga mewakili abang, serta menjadi penyemangat untuk terus melangkah dan berjuang.

3. Bapak Deni Rusmaya, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir 2 yang dengan penuh kesabaran membimbing penulis mulai dari tahap awal perencanaan hingga penyusunan laporan. Arahan, saran, dan koreksi yang diberikan tidak hanya memperkaya laporan ini, tetapi juga memberikan pelajaran berharga bagi penulis dalam bersikap ilmiah dan profesional.
4. Ibu Prof. Dr. Yonik Meilawati, ST., MT. selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir 2 yang dengan penuh kesabaran membimbing penulis mulai dari tahap awal perencanaan hingga penyusunan laporan. Arahan, saran, dan koreksi yang diberikan tidak hanya memperkaya laporan ini, tetapi juga memberikan pelajaran berharga bagi penulis dalam bersikap ilmiah dan profesional.
5. Bapak/Ibu Dosen Penguji, yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran untuk membaca, menelaah, dan memberikan masukan yang sangat berarti demi penyempurnaan Tugas Akhir 2 ini. Saran dan masukan yang disampaikan akan selalu menjadi bekal penulis dalam memperbaiki diri di masa depan.
6. Seluruh dosen dan staf pengajar di Program Studi Teknik Lingkungan UNPAS, yang selama masa perkuliahan telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan, keterampilan, serta pengalaman berharga. Semua ilmu yang diberikan menjadi fondasi penting dalam penyusunan Tugas Akhir 2 ini dan akan menjadi bekal dalam perjalanan karir penulis ke depan.
7. Kang Rofiq Aripin dan Kang M. Fakhry Hanif A., selaku rekan-rekan satu kelompok Tugas Akhir 1 yang telah banyak membantu penulis dari awal kelompok terbentuk sampai dengan penyelesaian Tugas Akhir 2 ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan UNPAS angkatan 2021, yang selalu memberikan semangat, berbagi pengetahuan, dan saling membantu dalam menghadapi berbagai kesulitan perkuliahan maupun penelitian. Kebersamaan yang terjalin menjadi motivasi berharga dalam menyelesaikan Tugas Akhir 2 ini.
9. Seluruh sahabat sejak bangku Sekolah Menengah Pertama, Marrisa, Annisa, Azka, Abdillah, Fachri, Alvito, Fauzan, Ghilman, Billy, dan Bima atas segala wawasan, motivasi, dan canda tawa yang senantiasa terjalin dari

masa sekolah hingga perkuliahan, sehingga menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis. Juga kepada almarhum Ahdika, semoga Tugas Akhir 2 ini dapat menjadi persembahan untuk mengenang beliau.

10. Keluarga besar Mahasir Ladi, terkhususnya Rerey Realistiya dan Maulana Yusuf, yang selalu memberikan dukungan, kebersamaan, dan semangat. Kehadiran mereka menjadi bagian penting dalam perjalanan dan perjuangan penulis selama menempuh perkuliahan.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun telah banyak membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Setiap bentuk dukungan, sekecil apa pun, sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
12. Dan terakhir, diri saya sendiri karena sudah berani memilih, memilih untuk mencoba, memilih untuk belajar, dan memilih untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Semoga senantiasa tetap kuat dan sabar dalam menjalani kehidupan berikutnya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir 2 ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir 2 ini dapat memberikan manfaat.

Bandung, September 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	I-3
1.3 Ruang Lingkup.....	I-3
1.4 Sistematika Penulisan.....	I-4
BAB II GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN	
2.1 Gambaran Umum Kota Bandung.....	II-1
2.1.1 Geografis dan Wilayah Administratif	II-1
2.2 Gambaran Umum Kecamatan Cicendo.....	II-3
2.2.1 Geografis dan Wilayah Administratif	II-3
2.2.2 Kondisi Topografi	II-4
2.2.3 Kondisi Klimatologi	II-4
2.2.4 Kondisi Hidrologi	II-5
2.2.5 Jumlah Penduduk	II-5
2.3 Gambaran Umum Lokasi Tapak Gedung.....	II-5
2.3.1 Kebijakan dan Regulasi Pengelolaan Sumber Air	II-8
2.3.2 Sumber Air Eksisting	II-12
2.3.3 Titik Penyaluran Air Buangan Eksisting	II-13
2.4 Deskripsi Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	II-14

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1	Rumah Sakit	III-1
3.2.1	Definisi Rumah Sakit	III-1
3.2.2	Klasifikasi Rumah Sakit	III-1
3.2	Limbah Cair.....	III-2
3.2.1	Pengolahan Limbah Cair	III-2
3.2.2	Sumber Limbah Cair Rumah Sakit.....	III-5
3.2.3	Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit	III-7
3.2.4	Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit	III-9
3.2.5	Unit Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit	III-11
3.2.6	Studi Terdahulu Limbah Cair	III-16
3.3	<i>Greywater</i>	III-22
3.3.1	Karakteristik <i>Greywater</i> Rumah Sakit	III-22
3.3.2	Potensi Pengolahan dan Pemanfaatan Kembali <i>Greywater</i> ...	III-23
3.3.3	Studi Terdahulu Daur Ulang <i>Greywater</i>	III-25
3.4	Limpasan Air Hujan	III-30
3.4.1	Karakteristik Air Hujan	III-31
3.4.2	Kriteria Curah Hujan di Indonesi	III-32
3.4.3	Teknologi dan Strategi Potensial Pemanenan Air Hujan (PAH)	III-33
3.4.4	Studi Terdahulu Pemanenan Air Hujan (PAH)	III-33

BAB IV DASAR PERENCANAAN

4.1	Umum	IV-1
4.2	Karakteristik Air Limbah Domestik Rumah Sakit	IV-4
4.3	Pedoman Teknis IPAL Rumah Sakit.....	IV-7
4.4	Kebutuhan Pengolahan berdasarkan Efisiensi Parameter Air Limbah	IV-8
4.4.1	Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	IV-9
4.4.2	Dasar Perhitungan Desain Unit IPAL	IV-13
4.5	Pemanfaatan Air Daur Ulang untuk <i>Flushing</i> Toilet	IV-14
4.5.1	Perhitungan Kebutuhan <i>Flushing</i> Toilet	IV-14

4.6	<i>Rainwater Harvesting</i>	IV-16
4.6.1	Dasar Perencanaan <i>Rainwater Harvesting System</i>	IV-17
4.6.2	Kriteria Perencanaan <i>Rainwater Harvesting System</i>	IV-18
4.6.3	Alur Proses <i>Rainwater Harvesting System</i>	IV-19

BAB V PERENCANAAN TEKNIS

5.1	Data Perencanaan Air Limbah Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	V-1
5.2	Skema Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik	V-3
5.3	<i>Grease Trap</i>	V-5
5.4	<i>Septic Tank</i>	V-8
5.5	Bak Kontrol	V-15
5.6	Perhitungan Desain IPAL Domestik Rumah Sakit	V-20
5.6.1	Bak Ekualisasi	V-20
5.6.2	Bak Netralisasi	V-26
5.6.3	<i>Biofilter Anaerob-Aerob</i>	V-26
5.6.3.1	<i>Biofilter Anaerob</i>	V-33
5.6.3.2	<i>Biofilter Aerob</i>	V-41
5.6.4	Bak Pengendap	V-50
5.6.5	Desinfeksi	V-56
5.7	Kolam Bioindikator	V-63
5.8	Neraca Massa	V-64
5.9	Profil Hidrolis	V-68
5.10	Rekapitulasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik	V-69
5.11	Kualitas Efluen IPAL	V-73
5.12	Pemanfaatan Air Daur Ulang untuk <i>Flushing Toilet</i>	V-73
5.12.1	Debit Air Daur Ulang Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	V-74
5.12.2	Unit Filtrasi	V-75
5.12.3	<i>Ground Tank</i> dan Sistem Distribusi	V-80
5.12.4	Perhitungan Kebutuhan <i>Flushing Toilet</i>	V-86
5.12.5	Rekapitulasi Pemanfaatan Air Daur Ulang untuk <i>Flushing Toilet</i>	V-89

5.13	Data Perencanaan Air Bersih Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	V-89
5.14	Skema Air Bersih, Air Khusus, dan <i>Rainwater Harvesting</i>	V-94
5.15	Perhitungan <i>Ground Water Tank</i> (GWT) dan <i>Roof Tank</i> Air Bersih	V-95
5.16	Sistem <i>Reverse Osmosis</i>	V-101
5.17	<i>Rainwater Harvesting</i>	V-102
5.17.1	Perhitungan Kebutuhan Air Siram Taman Rumah Sakit	V-102
5.17.2	Perhitungan Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	V-103
5.17.3	Ketersediaan Air Hujan dan Kapasitas <i>Ground Reservoir</i>	V-107
5.17.4	Perencanaan Komponen Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	V-115
5.17.5	Perhitungan Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	V-100
5.17.6	Perhitungan Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	V-100

BAB VI SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

6.1	Umum.....	VI-1
6.2	Spesifikasi Teknis <i>Septic Tank</i> dan Bak Kontrol	VI-1
6.2.1	<i>Septic Tank</i>	VI-1
6.2.2	Bak Kontrol	VI-5
6.3	Spesifikasi Teknis IPAL Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung	VI-7
6.3.1	Pekerjaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik	VI-8
6.3.2	Pekerjaan Tanah	VI-11
6.3.3	Pekerjaan Pengurugan	VI-12
6.3.4	Pekerjaan Beton K-225.....	VI-14
6.4	Spesifikasi Teknis <i>Recycle Greywater</i>	VI-17
6.5	Spesifikasi Teknis Air Bersih dan Air Khusus.....	VI-18
6.6	Spesifikasi Teknis <i>Rainwater Harvesting</i>	VI-20
6.7	Rencana Anggaran Biaya	VI-24

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1	Kesimpulan.....	VII-1
7.2	Saran.....	VII-2

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Dasar.....	II-19
Tabel 2.2	Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Satu.....	II-21
Tabel 2.3	Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Dua	II-24
Tabel 2.4	Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Tiga.....	II-26
Tabel 2.5	Sarana dan Fasilitas Gedung <i>Basement</i> 1.....	II-29
Tabel 2.6	Sarana dan Fasilitas Gedung <i>Basement</i> 2.....	II-29
Tabel 3.1	Operasi dan Pengaplikasian dalam Fisika.....	III-3
Tabel 3.2	Proses dan Pengaplikasian dalam Kimia.....	III-3
Tabel 3.3	Baku Mutu Air Limbah Domestik	III-8
Tabel 3.4	Tipikal Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit	III-9
Tabel 3.5	Standar Kualitas Air Hasil Olahan (<i>Reclaimed Water</i>) untuk Toilet dan <i>Urinal Flushing</i>	III-24
Tabel 3.6	Kriteria Intensitas Curah Hujan di Indonesia.....	III-32
Tabel 4.1	Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Standar Kualitas Air <i>Reuse</i>	IV-4
Tabel 4.2	Perbandingan Parameter Kualitas Air Limbah Inlet Rumah Sakit dari berbagai Referensi.....	IV-6
Tabel 4.3	Efisiensi Penyisihan Parameter Air Limbah Berdasarkan Unit Pengolahan IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	IV-10
Tabel 4.4	Formula yang digunakan dalam Perhitungan.....	IV-13
Tabel 4.5	Kebutuhan Air Alat Plambing.....	IV-14
Tabel 4.6	Pemakaian WC dan Urinal dalam Satu Hari.....	IV-15
Tabel 4.7	Koefisien <i>runoff</i> untuk Berbagai Jenis Atap	IV-18
Tabel 5.1	Identifikasi Kebutuhan Pengolahan Berdasarkan Parameter Kualitas Air Limbah Domestik Rumah Sakit.....	V-2
Tabel 5.2	Kriteria Desain Bak Ekualisasi	V-20

Tabel 5.3	Data Fluktuasi Debit Air Limbah Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	V-21
Tabel 5.4	Kriteria Desain Bak Netralisasi	V-26
Tabel 5.5	Kriteria Desain Bak <i>Biofilter Anaerob-Aerob</i>	V-33
Tabel 5.6	Media Pembiakan Mikroba	V-33
Tabel 5.7	Kriteria Desain Bak <i>Biofilter Anaerob</i>	V-34
Tabel 5.8	Kriteria Desain Bak <i>Biofilter Aerob</i>	V-41
Tabel 5.9	Kriteria Desain Bak Pengendap	V-50
Tabel 5.10	Kriteria Desain Klorinasi	V-56
Tabel 5.11	Pemenuhan Baku Mutu Kualitas Air Limbah Domestik	V-73
Tabel 5.12	Perbandingan Kualitas Efluen IPAL Domestik dengan Standar <i>Health Canada</i> (2010)	V-74
Tabel 5.13	Kebutuhan <i>Flushing</i> Toilet tiap Lantai Rumah Sakit	V-86
Tabel 5.14	Data Perencanaan Air Daur Ulang	V-87
Tabel 5.15	Rekapitulasi Kebutuhan Air Siram Taman per Hari dan per Bulan	V-103
Tabel 5.16	Perhitungan Curah Hujan Andalan (2016 – 2025)	V-105
Tabel 5.17	Kalkulasi Ketersediaan Air	V-108
Tabel 5.18	Perhitungan Neraca Air Hujan Bulanan	V-114
Tabel 6.1	Penggalian Tanah dan Perungugan <i>Septic Tank</i> RSJC	VI-2
Tabel 6.2	Beton Lantai <i>Septic Tank</i>	VI-3
Tabel 6.3	Beton Dinding <i>Septic Tank</i>	VI-3
Tabel 6.4	Beton Tutup <i>Septic Tank</i>	VI-4
Tabel 6.5	Penggalian Tanah dan Perungugan Bak Kontrol RSJC	VI-5
Tabel 6.6	Beton Lantai dan Tutup Bak Kontrol	VI-6
Tabel 6.7	Beton Dinding Bak Kontrol	VI-7
Tabel 6.8	Spesifikasi Teknis <i>Dosing Tank</i>	VI-8
Tabel 6.9	Spesifikasi Teknis <i>Dosing Pump</i>	VI-9
Tabel 6.10	Spesifikasi Teknis <i>Blower</i> Udara dan <i>Diffuser</i> Udara	VI-10
Tabel 6.11	Spesifikasi Teknis <i>Dosing Tank</i>	VI-10
Tabel 6.12	Spesifikasi Teknis <i>Dosing Pump</i>	VI-11
Tabel 6.13	Penggalian Tanah Konstruksi IPAL Domestik	VI-12

Tabel 6.14 Pengurungan Konstruksi IPAL Domestik	VI-13
Tabel 6.15 Beton Lantai Bangunan Konstruksi IPAL Domestik	VI-14
Tabel 6.16 Beton Dinding Bangunan Konstruksi IPAL Domestik	VI-15
Tabel 6.17 Beton Tebal Tutup Bangunan Konstruksi IPAL Domestik	VI-16
Tabel 6.18 Spesifikasi Teknis <i>Sand Filter</i> (SF)	VI-17
Tabel 6.19 Spesifikasi Teknis <i>Roof Tank</i> Air Daur Ulang	VI-17
Tabel 6.20 Spesifikasi Teknis <i>Roof Tank</i> Air Bersih	VI-18
Tabel 6.21 Spesifikasi Teknis Sistem <i>Reverse Osmosis</i> (RO)	VI-19
Tabel 6.22 Penggalan Tanah dan Perunggan <i>Ground Reservoir</i> RSJC	VI-20
Tabel 6.23 Beton Lantai dan Tutup <i>Ground Reservoir</i>	VI-21
Tabel 6.24 Beton Dinding <i>Ground Reservoir</i>	VI-22
Tabel 6.25 Spesifikasi Teknis <i>Trench Drain</i>	VI-22
Tabel 6.26 Spesifikasi Teknis <i>Catch Basin</i>	VI-23
Tabel 6.27 Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan IPAL Domestik RSJC	VI-25
Tabel 6.28 Rencana Anggaran Biaya Fasilitas Pendukung IPAL Domestik RSJC	VI-39
Tabel 6.29 Rencana Anggaran Pemanfaatan Air Daur Ulang RSJC	VI-46
Tabel 6.30 Rencana Anggaran Biaya untuk Air Bersih dan Air Khusus RSJC	VI-48
Tabel 6.31 Rencana Anggaran Biaya Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	VI-49
Tabel 6.32 Rekapitulasi RAB RSJC Kota Bandung	VI-52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Administrasi Kota Bandung	II-2
Gambar 2.2	Peta Administrasi Kecamatan Cicendo	II-3
Gambar 2.3	Peta Lokasi Tapak Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	II-6
Gambar 2.4	Sumber Air Tanah di Sans Hotel Alexander Kota Bandung..	II-12
Gambar 2.5	Meteran Perumda Tirtawening Kota Bandung di Rumah Ketua Rukun Warga (RW) 02.....	II-13
Gambar 2.6	Saluran Air Buangan Eksisting Lokasi Tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung	II-13
Gambar 2.7	Tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	II-15
Gambar 2.8	Tapak Atas Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.....	II-16
Gambar 2.9	Tampak Samping (Potongan A-A) Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.....	II-17
Gambar 2.10	Tampak Samping (Potongan B-B) Gedung Ruma Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.....	II-18
Gambar 3.1	Persentase Penggunaan Air di Fasilitas Layanan Kesehatan .	III-6
Gambar 3.2	Diagram Proses Pengelolaan Air Limbah Rumah Sakit.....	III-10
Gambar 3.3	Diagram Proses Pengolahan Air Limbah dengan Proses <i>Biofilter</i> <i>Anaerob-Aerob</i>	III-12
Gambar 3.4	Unit ABR.....	III-12
Gambar 3.5	Skema Sistem SBR.....	III-13
Gambar 3.6	Skema Sistem MBR	III-14
Gambar 3.7	Skema Sistem MBBR.....	III-15
Gambar 3.8	DEWATS (<i>Decentralized Wastewater Treatment Systems</i>	III-16
Gambar 3.9	Diagram Alir Proses Pengolahan Air Limbah di RSUD dr. Soedono	

Madiun.....	III-18
Gambar 3.10 Skema Aliran Limbah RS Roemani Muhammadiyah Semarang	III-19
Gambar 3.11 Desain IPAL <i>Greywater</i> RS Universitas Tanjungpura	III-26
Gambar 3.12 Pengolahan Alternatif Rumah Sakit X Pekanbaru	III-27
Gambar 3.13 Skema Percobaan menggunakan Tiga Kombinasi Berbeda (zeolit Aktif-Pasir Aktif).....	III-29
Gambar 3.14 Sistem Pemanenan Air Hujan (SPAH) dan Sumur Resapan (SURES).....	III-31
Gambar 3.15 Skema <i>Rainwater Harvesting System</i> Asrama Putri Campus E Sindangsari Untirta	III-34
Gambar 3.16 Sistem Filtrasi <i>Rainwater Harvesting System</i> Asrama Putri Campus E Sindangsari Untirta	III-35
Gambar 3.17 Skema <i>Rainwater Harvesting System</i>	III-36
Gambar 4.1 Diagram Alir Perencanaan Air Limbah Domestik Rumah Sakit	IV-1
Gambar 4.2 Diagram Alir Pengolahan <i>Recycle Greywater</i> Rumah Sakit..	IV-2
Gambar 4.3 Alur Proses Pengolahan Air Limbah Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	IV-11
Gambar 4.4 Tata Letak IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.....	IV-12
Gambar 4.5 Diagram Alir Perencanaan Air Hujan Rumah Sakit.....	IV-16
Gambar 5.1 Skema Air Limbah Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	V-4
Gambar 5.2 <i>X Series Grease Removal Unit (Undersink)</i>	V-6
Gambar 5.3 <i>Double Bowl Sink + Grease Trap</i>	V-7
Gambar 5.4 Tampak Atas <i>Septic Tank</i>	V-12
Gambar 5.5 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Septic Tank</i>	V-13
Gambar 5.6 Tampak Samping (Potongan B-B) <i>Septic Tank</i>	V-14
Gambar 5.7 Tampak Atas Bak Kontrol.....	V-17
Gambar 5.8 Tampak Samping (Potongan A-A) Bak Kontrol	V-18
Gambar 5.9 Tampak Samping (Potongan B-B) Bak Kontrol	V-19

Gambar 5.10 Tampak Atas Bak Ekualisasi.....	V-24
Gambar 5.11 Tampak Samping (Potongan A-A) Bak Ekualisasi	V-25
Gambar 5.12 <i>Dosing Tank</i> dengan Agitator.....	V-30
Gambar 5.13 Tampak Atas Bak Netralisasi	V-31
Gambar 5.14 Tampak Samping (Potongan A-A) Bak Netralisasi	V-32
Gambar 5.15 Tampak Atas <i>Biofilter Anaerob</i>	V-39
Gambar 5.16 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Biofilter Anaerob</i>	V-40
Gambar 5.17 Tampak Atas <i>Biofilter Aerob</i>	V-48
Gambar 5.18 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Biofilter Aerob</i>	V-49
Gambar 5.19 Tampak Atas Bak Pengendap.....	V-54
Gambar 5.20 Tampak Samping (Potongan A-A) Bak Pengendap	V-55
Gambar 5.21 <i>Dosing Tank with Electric Stirrer</i>	V-55
Gambar 5.22 Tampak Atas Bak Desinfeksi	V-61
Gambar 5.23 Tampak Samping (Potongan A-A) Bak Desinfeksi	V-62
Gambar 5.24 Bak/Kolam Ikan <i>Fiberglass</i> 2000 liter	V-64
Gambar 5.25 Neraca Massa pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung	V-67
Gambar 5.26 Tampak Atas IPAL Domestik RSJC	V-70
Gambar 5.27 Tampak Samping (Potongan A-A) IPAL Domestik RSJC	V-71
Gambar 5.28 Tata Letak untuk IPAL, Bak Kontrol, dan <i>Septic Tank</i> pada Denah <i>Layout</i>	V-72
Gambar 5.29 Tampak Atas <i>Sand Filter</i> dan Pompa.....	V-77
Gambar 5.30 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Sand Filter</i> dan Pompa...	V-78
Gambar 5.31 <i>Roof Tank</i> Air Daur Ulang RSJC	V-82
Gambar 5.32 Tampak Atas <i>Ground Tank</i>	V-83
Gambar 5.33 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Ground Tank</i>	V-84
Gambar 5.34 Tampak Samping (Potongan B-B) <i>Ground Tank</i>	V-85
Gambar 5.35 Tata Letak <i>Sand Filter</i> dan <i>Ground Tank</i> (GT) pada Denah <i>Layout</i>	V-91
Gambar 5.36 Tata Letak <i>Ground Water Tank</i> di <i>Basement 1</i>	V-91
Gambar 5.37 Skema Sistem Penyediaan Air Bersih, Air Khusus, dan <i>Rainwater</i> <i>Harvesting</i>	V-94

Gambar 5.38 Tampak Atas <i>Ground Water Tank</i> (GWT).....	V-97
Gambar 5.39 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Ground Water Tank</i> (GWT)	V-98
Gambar 5.40 Tampak Samping (Potongan B-B) <i>Ground Water Tank</i> (GWT)	V-99
Gambar 5.41 <i>Roof Tank</i> Air Bersih RS.....	V-100
Gambar 5.42 Sistem <i>Reverse Osmosis</i> RS	V-102
Gambar 5.43 Curah Hujan Andalan (Tahun 2016 – 2025)	V-106
Gambar 5.44 45,45% Curah Hujan Andalan.....	V-106
Gambar 5.45 Suplai dan <i>Demand</i> dari Air Siram Taman Butuhkan.....	V-109
Gambar 5.46 Tampak Atas <i>Ground Reservoir</i> (GR)	V-107
Gambar 5.47 Tampak Samping (Potongan A-A) <i>Ground Reservoir</i> (GR)..	V-108
Gambar 5.48 Tampak Samping (Potongan B-B) <i>Ground Reservoir</i> (GR)..	V-109
Gambar 5.49 Neraca Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	V-112
Gambar 5.50 <i>Trench Drain</i> T1400	V-116
Gambar 5.51 T1400-CB620 <i>Catch Basin</i>	V-116
Gambar 5.52 <i>Catchment Area</i> RSJC.....	V-117
Gambar 5.53 Tampak Atas <i>Trench Drain</i>	V-118
Gambar 5.54 Tampak Samping (Potongan B-B) <i>Trench Drain</i>	V-119
Gambar 5.55 <i>First Flush Diverter</i> + Pipa Tegak Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	V-120
Gambar 5.56 Tata Letak <i>Ground Reservoir</i> (GR).....	V-121

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah sakit merupakan fasilitas pelayanan kesehatan yang memberikan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat kepada masyarakat (Sahila, 2023). Jumlah rumah sakit di Indonesia terus bertambah, namun penerapan konsep keberlanjutan seperti *Green Hospital* masih relatif terbatas. Di Indonesia, beberapa rumah sakit telah mulai menerapkan konsep *Green Hospital*, salah satunya adalah Mayapada Hospital Bandung dan Rumah Sakit Universitas Indonesia (RSUI). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun jumlahnya masih sedikit, arah pengembangan rumah sakit mulai bergerak menuju prinsip ramah lingkungan. Oleh karena itu, Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung (RSJC) Kota Bandung juga direncanakan untuk menerapkan konsep *Green Hospital* guna mendukung keberlanjutan lingkungan serta peningkatan kualitas kesehatan masyarakat.

Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung direncanakan akan dibangun di Jl. Pasir Kaliki No. 146, Kelurahan Pasir Kaliki, Kecamatan Cicendo, Kota Bandung, dengan luas bangunan sekitar $\pm 5.447 \text{ m}^2$ dan terdiri dari enam lantai (termasuk dua *basement*) (Natabraja, 2022). Dengan luas dan kompleksitas fungsi pelayanan yang direncanakan, rumah sakit ini diproyeksikan memiliki kebutuhan air bersih dan pengolahan limbah yang signifikan. Selain untuk kebutuhan umum seperti sanitasi dan kebersihan, rumah sakit juga memerlukan air dengan kualitas khusus. Sesuai Permenkes No. 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit, air khusus *Reverse Osmosis* di rumah sakit digunakan untuk memenuhi pelayanan dialisis, mesin sterilisasi, *scrub up* ruang operasi, pelayanan laboratorium dan lain-lain.

Green Hospital adalah rumah sakit yang dirancang, dibangun, dioperasikan, dan dipelihara dengan mempertimbangkan kesehatan manusia serta keberlanjutan

lingkungan. Konsep ini menekankan keterkaitan antara lingkungan dan kesehatan manusia, karena kerusakan lingkungan akan berdampak langsung pada kualitas hidup pasien, tenaga medis, dan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, rumah sakit dituntut tidak hanya memberikan layanan medis, tetapi juga memastikan operasionalnya tidak berdampak negatif bagi lingkungan, salah satunya melalui konservasi air.

Konservasi air atau *Water Conservation* (WAC) dalam *Green Hospital* meliputi pemanfaatan air hujan melalui sistem *Rainwater Harvesting* dan sistem daur ulang air limbah (*recycling system*). Air hujan merupakan salah satu sumber air baku yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan non-konsumsi (tidak layak minum), terutama di wilayah dengan keterbatasan air tanah maupun air permukaan (Djalle *et al*, 2022). Namun, kualitas air hujan dapat terkontaminasi oleh partikel atmosfer serta kotoran dari permukaan atap, sehingga tetap memerlukan proses penyaringan sederhana sebelum digunakan. Di sisi lain, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berperan dalam memastikan air limbah domestik diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan, guna mencegah kontaminasi dan penyebaran penyakit (Sahila, 2023). Selain itu, air limbah yang telah diolah juga dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan non-konsumsi (tidak layak minum) (Yudistira, 2016).

Berdasarkan uraian tersebut, perencanaan infrastruktur penunjang untuk Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung perlu dilakukan secara menyeluruh, sesuai dengan standar keselamatan, kesehatan, dan keberlanjutan lingkungan. Dalam perencanaan ini, air limbah domestik akan diolah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), kemudian dimanfaatkan sebagai air daur ulang untuk kebutuhan non-konsumsi (tidak layak minum), khususnya untuk sistem penggelontoran (*flushing toilet*) dan air hujan sebagai sumber air tambahan untuk kebutuhan penyiraman taman. Oleh karena itu, latar belakang ini menjadi dasar penyusunan Tugas Akhir 2 dengan judul, “*Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung*”.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan Tugas Akhir 2 ini adalah untuk merancang sistem penyediaan air bersih dan pengolahan air limbah domestik pada Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.

Adapun tujuan dari Tugas Akhir 2 adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan rancangan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk mengolah air limbah domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.
2. Menghasilkan rancangan sistem daur ulang *greywater* untuk kebutuhan *flushing* toilet di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.
3. Menghasilkan rancangan sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) untuk menampung dan memanfaatkan air hujan sebagai sumber air tambahan non-konsumsi (tidak layak minum), khususnya penyiraman taman di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam Tugas Akhir 2 ini meliputi:

1. Lokasi tapak proyek, yaitu Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung yang berada di Jl. Pasir Kaliki No. 146, Kelurahan Pasir Kaliki, Kecamatan Cicendo, Kota Bandung.
2. Merancang sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), yang meliputi pengolahan limbah domestik, mulai dari proses pemisahan, pengendapan, hingga desinfeksi, serta perancangan sistem daur ulang *greywater* untuk kebutuhan *flushing* toilet.
3. Merancang sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) untuk kebutuhan penyiraman taman, meliputi proses penangkapan, penampungan, penyimpanan, dan distribusi.
4. Menentukan dimensi dan kapasitas unit-unit pengolahan baik IPAL maupun RWH sesuai dengan kebutuhan operasional rumah sakit.

5. Menggambarkan desain serta tata letak unit-unit pengolahan air limbah dan pemanfaatan air hujan menggunakan perangkat lunak AutoCAD.
6. Menyusun spesifikasi teknik dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan Tugas Akhir 2 adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, maksud dan tujuan, ruang lingkup, serta sistematika penulisan penyusunan Tugas Akhir 2.

BAB II GAMBAR OBJEK PERENCANAAN

Bab ini memuat gambaran umum mengenai lokasi tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung sebagai objek perencanaan. Uraian dalam bab ini meliputi kondisi lingkungan di sekitar lokasi tapak, kebijakan dan regulasi terkait pengelolaan air, sumber air eksisting, serta profil rumah sakit.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang menjadi dasar dalam perancangan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), sistem daur ulang *greywater*, dan sistem *Rainwater Harvesting* (RWH). Uraian bab ini meliputi karakteristik air limbah rumah sakit, teknologi pengolahan air limbah domestik.

BAB IV DASAR PERENCANAAN

Bab ini menjelaskan dasar-dasar perencanaan yang meliputi karakteristik limbah cair yang harus diolah, pemilihan teknologi pengolahan yang sesuai, serta standar dan regulasi yang menjadi pedoman dalam desain sistem. Selain itu, bab ini menguraikan metodologi perencanaan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir 2.

BAB V PERENCANAAN TEKNIS

Bab ini memaparkan hasil perencanaan teknis sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), sistem daur ulang *greywater*, dan sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) pada gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung. Pembahasan ini meliputi desain dan tata letak unit-unit pengolahan air bersih dan air limbah, dimensi dan kapasitas unit pengolahan sesuai dengan kebutuhan operasional rumah sakit.

BAB VI SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

Bab ini menguraikan spesifikasi teknis material dan peralatan yang digunakan dalam pembangunan sistem pengolahan air limbah domestik, serta menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperlukan rumah sakit.

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil perencanaan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), sistem daur ulang *greywater*, dan sistem *Rainwater Harvesting* yang telah dilakukan.

BAB II

GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN

2.1 Gambaran Umum Kota Bandung

2.1.1 Geografis dan Wilayah Administratif

Kota Bandung merupakan kota terbesar keempat di Indonesia setelah Jakarta, Surabaya, dan Medan, dengan luas wilayah sebesar 167,31 km². Wilayah ini terbagi menjadi 30 kecamatan yang mencakup 151 kelurahan. Kecamatan terluas di Kota Bandung adalah Kecamatan Gedebage dengan luas 9,58 km², sedangkan kecamatan dengan luas wilayah terkecil adalah Kecamatan Astanaanyar, yaitu 2,89 km². Selain itu, Kota Bandung juga merupakan kota terpadat kedua di Indonesia dengan tingkat kepadatan penduduk mencapai 15.051 jiwa per km².

Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandung tahun 2025, Kota Bandung terletak pada posisi 107°36' Bujur Timur dan 6°55' Lintang Selatan. Secara administratif, Kota Bandung berbatasan dengan beberapa daerah, yaitu:

1. Bagian utara : Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat
2. Bagian barat : Kota Cimahi
3. Bagian timur : Kabupaten Bandung
4. Bagian selatan : Kabupaten Bandung

Peta administrasi Kota Bandung dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut:



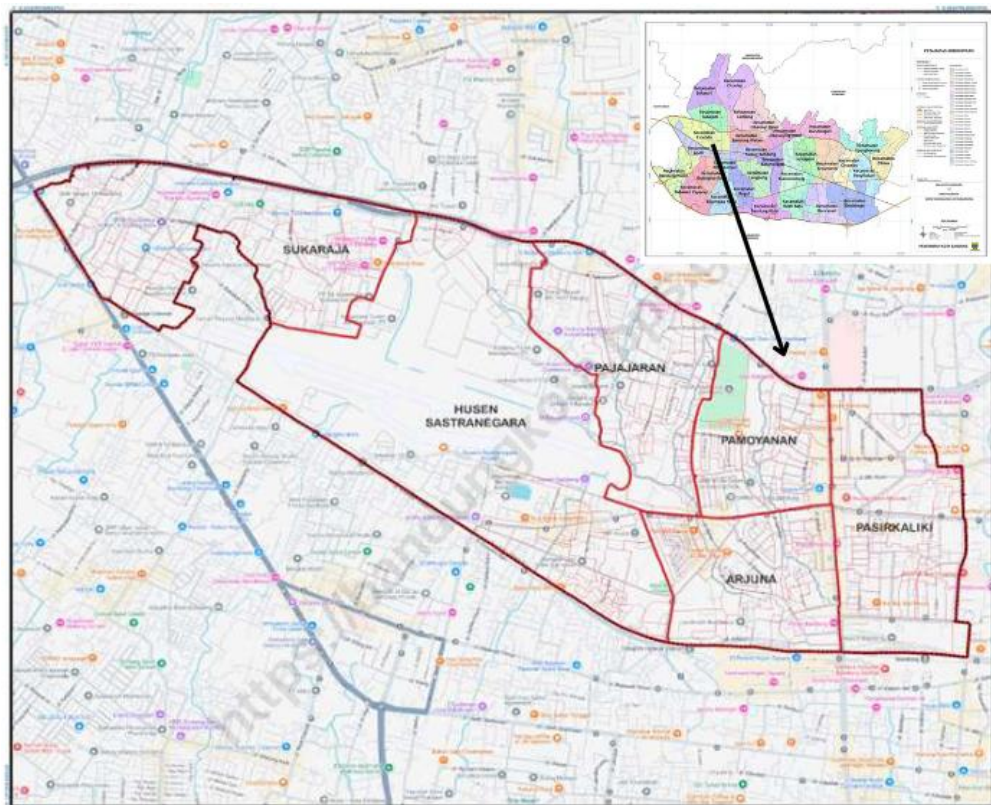
2.2 Gambaran Umum Kecamatan Cicendo

2.2.1 Geografis dan Wilayah Administratif

Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Cicendo tahun 2024, Kecamatan Cicendo terletak di antara 107,5953° Bujur Timur dan 6,9071° Lintang Selatan dengan luas wilayah 6,88 km². Kecamatan Cicendo terdiri dari 6 kelurahan, salah satunya adalah Kelurahan Pasirkaliki yang memiliki luas 1,16 km². Secara administratif, Kecamatan Cicendo memiliki batas-batas wilayah sebagai berikut:

1. Bagian utara : Kota Cimahi dan Kecamatan Sukajadi
2. Bagian selatan : Kota Cimahi dan Kecamatan Andir
3. Bagian barat : Kota Cimahi
4. Bagian timur : Kecamatan Bandung Wetan dan Kecamatan Sumur Bandung

Peta administrasi Kecamatan Cicendo dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Peta Administrasi Kecamatan Cicendo

Sumber: BPS Kecamatan Cicendo, 2024

2.2.2 Kondisi Topografi

Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Cicendo tahun 2024, Kecamatan Cicendo berada pada ketinggian sekitar 700 meter di atas permukaan laut (mdpl). Wilayah tertinggi di kecamatan ini adalah Kelurahan Sukaraja dengan ketinggian 740 mdpl, sedangkan wilayah terendah adalah Kelurahan Arjuna dengan ketinggian 723 mdpl. Adapun Kelurahan Pasirkaliki, tempat lokasi tapak berada, memiliki ketinggian sekitar 727 mdpl.

2.2.3 Kondisi Klimatologi

Kota Bandung memiliki iklim tropis dengan karakteristik suhu udara yang relatif sejuk dibandingkan kota-kota besar lain di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandung tahun 2025, suhu rata-rata tahunan berkisar antara 23–26°C, dengan tingkat kelembapan yang cukup tinggi, yaitu sekitar 69–88%. Curah hujan di Kota Bandung bervariasi sepanjang tahun dengan intensitas tertinggi terjadi pada bulan Januari, mencapai 335 mm per tahun. Sementara curah hujan terendah terdapat di bulan Juni di mana curah hujan hanya mencapai 30 mm per tahun.

Kualitas air hujan di Kota Bandung menunjukkan variasi yang signifikan, dipengaruhi oleh faktor musiman dan aktivitas antropogenik. Cekungan Bandung Raya mencatat parameter pH, konduktivitas, dan kandungan ion dalam air hujan cenderung berfluktuasi sesuai intensitas curah hujan. Curah hujan tinggi umumnya menurunkan nilai konduktivitas dan kadar ion karena hujan lebat mampu mencuci partikel dan polutan di atmosfer, sedangkan pada musim kemarau nilai tersebut meningkat akibat rendahnya volume pelarut (Rievaldo, 2019).

Nilai pH air hujan di Kota Bandung berkisar di bawah 5,6 yang mengindikasikan potensi hujan asam, terutama di wilayah dengan aktivitas industri dan lalu lintas padat. Kandungan ion utama seperti nitrat (NO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}), dan amonium (NH_4^+) ditemukan dalam konsentrasi yang bervariasi, mengindikasikan kontaminasi udara dari emisi kendaraan dan aktivitas pembakaran lainnya (Indrawati & Tanti, 2017).

2.2.4 Kondisi Hidrologi

Kecamatan Cicendo memiliki karakteristik hidrologi yang dipengaruhi oleh kondisi geografi setempat. Kecamatan ini terletak di bagian barat Kota Bandung dan terdiri dari enam kelurahan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, salah satu sungai yang melintasi wilayah Kecamatan Cicendo adalah Sungai Citepus, dengan status mutu air ringan. Sementara itu, menurut Open Data Kota Bandung tahun 2020, panjang Sungai Citepus yang melintasi kecamatan ini adalah sekitar dua kilometer.

Di Kecamatan Cicendo, pembangunan sumur resapan merupakan salah satu upaya dalam pengelolaan sumber daya air. Berdasarkan data Open Data Kota Bandung tahun 2023, Kelurahan Pasirkaliki, yang menjadi lokasi pembangunan Rumah Sakit Khusus Jantung memiliki sebanyak tiga unit sumur resapan.

2.2.5 Jumlah Penduduk

Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kota Bandung Tahun 2025, jumlah penduduk Kecamatan Cicendo tahun 2024 mencapai 93.968 jiwa. Total jumlah penduduk ini terdiri dari 6 kelurahan, yaitu Kelurahan Arjuna, Kelurahan Pasirkaliki, Kelurahan Pamoyanan, Kelurahan Pajajaran, Kelurahan Husein Sastranegara, dan Kelurahan Sukaraja.

2.3 Gambaran Umum Lokasi Tapak Gedung

Tapak proyek Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung berlokasi di Jl. Pasir Kaliki No. 146, Kelurahan Pasirkaliki, Kecamatan Cicendo, Kota Bandung, Jawa Barat, dengan luas lahan $\pm 5.447 \text{ m}^2$ dan titik koordinat $6^\circ 54' 16.0''$ Lintang Selatan dan $107^\circ 35' 52.1''$ Bujur Timur. Perencanaan sistem dalam Tugas Akhir 2 ini menggunakan data dari Laporan Studi Akhir Arsitektur 51 Universitas Parahyangan berjudul "*Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung*" yang disusun oleh Natabraja (2022).

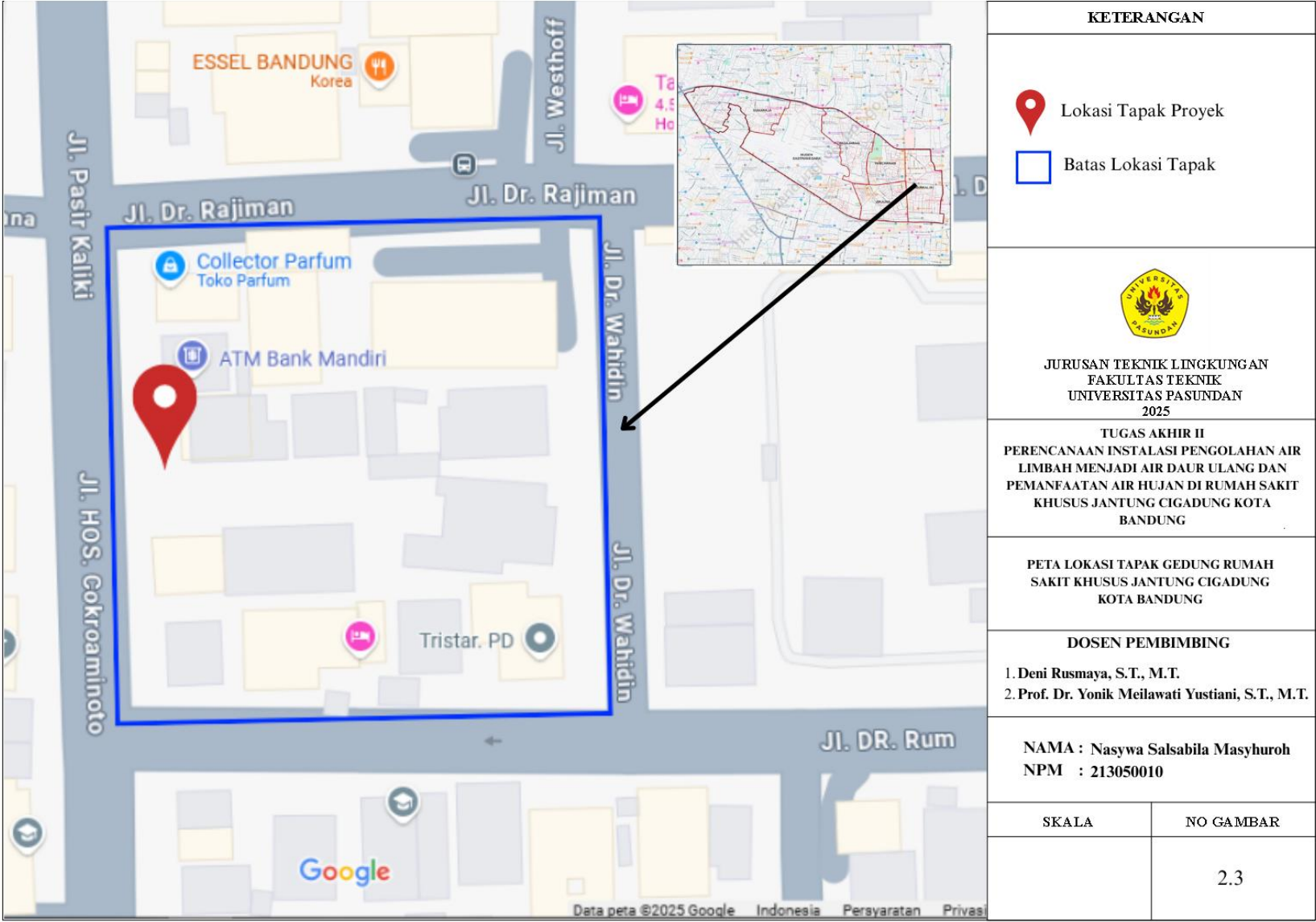
Adapun posisi lokasi tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung memiliki batas-batas sebagai berikut:

1. Bagian utara : Jl. Dr. Rajiman
2. Bagian timur : Berbatasan dengan rumah tinggal

3. Bagian selatan : Jl. Dr. Roem
4. Bagian barat : Jl. Pasir Kaliki

Berdasarkan Laporan Natabraja (2022), tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung terletak di kawasan strategis Kota Bandung. Lokasinya dikelilingi oleh Jl. Pasir Kaliki, Jl. Dr. Rajiman, dan Jl. Dr. Roem. Lokasi tapak ini memiliki dua persimpangan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan. Bentuk tapak memanjang searah Jl. Pasir Kaliki dengan tambahan di sisi Jl. Dr. Roem ke arah timur.

Berikut ini adalah lokasi tapak gedung yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**:



Secara umum, kontur tapak relatif datar dengan iklim makro yang tropis perkotaan. Suhu rata-rata berkisar 23–35°C, kelembapan tinggi, dan intensitas tertinggi curah hujan mencapai 365 mm per tahun.

Tapak ini terletak di kawasan perdagangan strategis karena dikelilingi mal, ruko, pertokoan, rumah makan, dan kafe. Dalam radius 500 meter, aktivitas perdagangan masih dominan, namun mulai dilengkapi fasilitas lain, seperti kantor pemerintahan (Dinas Pendidikan Kota Bandung), area permukiman di barat, timur, dan selatan, serta fasilitas umum seperti RS Melinda dan GOR Padjadjaran. Radius 1 kilometer dari tapak mencakup permukiman di barat daya dan tenggara, fasilitas transportasi (Stasiun Kereta Api Bandung), serta Rumah Sakit Hasan Sadikin sebagai fasilitas kesehatan rujukan (Natabraja, 2022).

2.3.1 Kebijakan dan Regulasi Pengelolaan Sumber Air

Pengelolaan sumber air di Jawa Barat didasarkan pada berbagai tingkatan regulasi, mulai dari peraturan nasional, peraturan pemerintah, peraturan daerah, hingga pedoman teknis yang mendukung prinsip bangunan berkelanjutan.

1. Undang-Undang No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air

Undang-Undang ini menjadi payung hukum nasional yang menjamin hak rakyat atas air untuk memenuhi kebutuhan pokok minimal sehari-hari bagi kehidupan yang sehat dan bersih dengan jumlah yang cukup, kualitas yang baik, aman, terjaga keberlangsungannya, dan terjangkau. Adapun pengelolaan sumber daya air meliputi:

1) Konservasi Sumber Daya Air

Pada pasal 24 ayat 1, konservasi sumber daya air bertujuan untuk menjaga kelangsungan keberadaan, daya dukung, daya tampung, dan fungsi sumber daya air.

2) Pendayagunaan Sumber Daya Air

Pada pasal 29 ayat 1, pendayagunaan sumber daya air meliputi air permukaan (mata air, sungai, danau), air tanah (cekungan air tanah), air hujan, dan air laut yang berada di darat.

Undang-undang ini juga mendorong penggunaan air permukaan sebagai prioritas sebelum memanfaatkan air tanah, terutama untuk kebutuhan secara komersial.

2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2024 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air

PP RI No. 30 tahun 2024 ini menjadi turunan langsung dari UU No. 17 Tahun 2019, yang mengatur teknis pengelolaan sumber daya air. Perlindungan dan pelestarian sumber air bertujuan untuk melindungi dan melestarikan sumber air beserta lingkungan keberadaannya terhadap kerusakan atau gangguan yang disebabkan oleh daya alam dan oleh tindakan manusia. Perlindungan dan pelestarian sumber air terdiri atas:

- 1) Perlindungan dan Pelestarian Sumber Air Permukaan
- 2) Perlindungan dan Pelestarian Sumber Air Tanah

Dalam pasal 54 ayat (2), pengendalian pemanfaatan sumber air dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Melakukan pemantauan dan pengawasan berdasarkan ketentuan pemanfaatan zona pada sumber air.
- 2) Mengutamakan penggunaan air dari sumber air permukaan.
- 3) Membatasi penggunaan air tanah dalam hal ketersediaan sumber air permukaan terbatas, dengan tetap mengutamakan penggunaan air tanah untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari.

3. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat No. 1 Tahun 2017 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air

Perda Jawa Barat mensyaratkan izin untuk penggunaan air tanah. Penggalan air tanah wajib mempertimbangkan jenis dan sifat fisik batuan, kondisi hidrogeologi, letak dan potensi sumber pencemaran serta kondisi lingkungan sekitar. Menurut Perda Provinsi Jawa Barat No 1 Tahun 2017 pasal 13, terdapat penetapan zona pemanfaatan air tanah dibagi menjadi 4 kriteria:

- 1) Zona Aman
 - Terjadi penurunan muka air tanah kurang dari 40%

- Terjadi penurunan kualitas air tanah yang ditandai dengan kenaikan TSS < 1000 mg/L atau DHL < 1000 μ S/cm
- Pengambilan air tanah belum menyebabkan terjadinya amblesan tanah

2) Zona Rawan

- Terjadi penurunan muka air tanah 40 – 60%
- Terjadi penurunan kualitas air tanah yang ditandai dengan kenaikan TSS < 1000 – 10.000mg/L atau DHL 1000 – 1500 μ S/cm

3) Zona Kritis

- Terjadi penurunan muka air tanah 60 – 80%
- Terjadi penurunan kualitas air tanah yang ditandai dengan kenaikan TSS < 10.000 – 100.000mg/L atau DHL 1500 – 5000 μ S/cm

4) Zona Rusak

- Terjadi penurunan muka air tanah lebih dari 80%
- Terjadi penurunan kualitas air tanah yang ditandai dengan kenaikan TSS > 100.000 mg/L atau DHL > 5000 μ S/cm
- Pengambilan air tanah telah menyebabkan terjadinya amblesan tanah

Kebijakan dalam peraturan ini dapat mendorong penggunaan air permukaan seperti air Perumda dan memberikan ruang untuk mengurangi ketergantungan pada air tanah demi keberlanjutan lingkungan.

4. Pedoman dari *Green Building Council Indonesia* (GBCI)

Pedoman GBCI menjadi acuan penting untuk mendukung efisiensi air. GBCI mendorong penggunaan sumber air alternatif, seperti air hujan dan air daur ulang dari limbah yang telah diolah. Air hujan juga dapat dipanen melalui sistem tangki dan filtrasi untuk kebutuhan non-minum seperti irigasi, sedangkan air limbah yang diolah melalui IPAL dapat digunakan untuk *flushing* toilet dengan memastikan standar baku mutu

terpenuhi. Pendekatan ini sejalan dengan tujuan pengurangan penggunaan air tanah.

Menurut Greenship untuk Bangunan Baru Versi 1.2, terdapat tolak ukur untuk air daur ulang dan pemanfaatan air hujan:

1) Daur Ulang Air

- Penggunaan seluruh air bekas pakai yang telah di daur ulang untuk kebutuhan sistem *flushing* atau *cooling tower* (2 poin).
- Penggunaan seluruh air bekas pakai yang telah di daur ulang untuk kebutuhan sistem *flushing* dan *cooling tower* (3 poin).

Catatan: Apabila menggunakan sistem pendingin non water cooled, maka kriteria ini menjadi tidak berlaku sehingga total nilai menjadi 100.

2) Penampungan Air Hujan

- Menyediakan instalasi tangki penampungan air hujan kapasitas 20% dari jumlah air hujan yang jatuh di atas atap bangunan yang dihitung menggunakan nilai intensitas curah hujan sebesar 50 mm/hari (1 poin).
- Menyediakan instalasi tangki penampungan air hujan berkapasitas 35% dari perhitungan di atas (2 poin).
- Menyediakan instalasi tangki penampungan air hujan berkapasitas 50% dari perhitungan di atas (3 poin).

Secara teknis, implementasi sumber air alternatif memerlukan perencanaan yang matang. Pasokan air Perumda harus dikoordinasikan dengan penyedia lokal untuk memastikan ketersediaan, terutama di musim kemarau, sementara sistem panen air hujan dan pengolahan limbah membutuhkan investasi awal untuk infrastruktur seperti tangki penyimpanan dan unit IPAL. Penggunaan air tanah dapat diminimalkan dengan memanfaatkan kombinasi ketiga sumber seperti air hujan, air permukaan (Perumda), dan air daur ulang sehingga mendukung konsep keberlanjutan.

2.3.2 Sumber Air Eksisting

Pemanfaatan sumber air yang dilakukan oleh aktivitas komersil dan perkantoran yang ada di lokasi tapak berasal dari sumur bor dan Perumda Tirtawening Kota Bandung. Pada umumnya, air tanah digunakan sebagai sumber air utama sedangkan Perumda Tirtawening Kota Bandung menjadi sumber air cadangan. Salah satu contoh pemanfaatan sumber air dalam aktivitas komersial adalah Sans Hotel Alexander Bandung. Menurut pengelola Sans Hotel Alexander Bandung, sumber air dari Perumda Tirtawening Kota Bandung belum mampu mencukupi seluruh kegiatan operasionalnya sehingga air tanah menjadi sumber utama. Sumber air tanah yang dimanfaatkan oleh Sans Hotel Alexander dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Sumber Air Tanah di Sans Hotel Alexander Kota Bandung

Di sekitar lokasi tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung, pemanfaatan sumber air oleh warga setempat masih didominasi oleh air tanah. Berdasarkan wawancara dengan Ketua Rukun Warga (RW) 02, mayoritas warga di wilayah tersebut mengandalkan air tanah sebagai sumber utama, sementara Perumda Tirtawening Kota Bandung hanya digunakan sebagai cadangan atau sumber alternatif, terutama saat musim kemarau. Ketua RW 02 juga memanfaatkan air tanah sebagai sumber utama di rumahnya. Penggunaan layanan Perumda Tirtawening Kota Bandung yang terukur melalui meteran di rumah Ketua RW 02 dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Meteran Perumda Tirtawening Kota Bandung di Rumah Ketua Rukun Warga (RW) 02

2.3.3 Titik Penyaluran Air Buangan Eksisting

Pada lokasi tapak terdapat empat titik *manhole* yang terhubung dengan saluran limbah perkotaan di Kota Bandung yang dikelola oleh Perumda Tirtawening Kota Bandung untuk zona pelayanan Bandung Utara. Saluran pembuangan ini memotong tepat di tengah tapak, melintasi *brandgang*, dan mengarah ke jalan utama Pasir Kaliki sebelum akhirnya menuju ke IPAL Bojongsoang. Saluran Air Buangan Eksisting Lokasi Tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Saluran Air Buangan Eksisting Lokasi Tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung

Sumber: Google Earth, 2025

Jenis air limbah yang diizinkan untuk terhubung ke saluran ini adalah air limbah domestik (*greywater*), dan tidak boleh bercampur dengan saluran drainase. Sementara itu, air limbah yang memiliki pH tinggi serta mengandung minyak dan lemak harus melalui pengolahan khusus sebelum disalurkan ke saluran riol kota.

2.4 Deskripsi Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung berdiri di atas lahan seluas 5.447 m². Dari total luas tersebut, sebagian digunakan untuk bangunan utama, sementara sisanya dimanfaatkan sebagai ruang terbuka hijau dan area pendukung lainnya. Luas lantai dasar bangunan atau *footprint* yang menutupi lahan sebesar 2.723,5 m², ruang terbuka hijau di area rumah sakit ini seluas 1.089,4 m², dan 3.812,9 m² diperuntukkan untuk lain-lainnya guna mendukung fasilitas penunjang operasional rumah sakit.

Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung dirancang untuk melayani pasien dengan penyakit jantung dan kelainan kardiovaskular lainnya. Gedung rumah sakit ini terdiri dari 6 lantai, termasuk 2 lantai *basement* dan memiliki kapasitas sebanyak 78 tempat tidur rawat inap yang terbagi ke dalam beberapa kelas, yaitu kelas 1, kelas 2, kelas 3, dan VIP. Adapun denah lokasi Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung yang dapat dilihat pada gambar berikut:



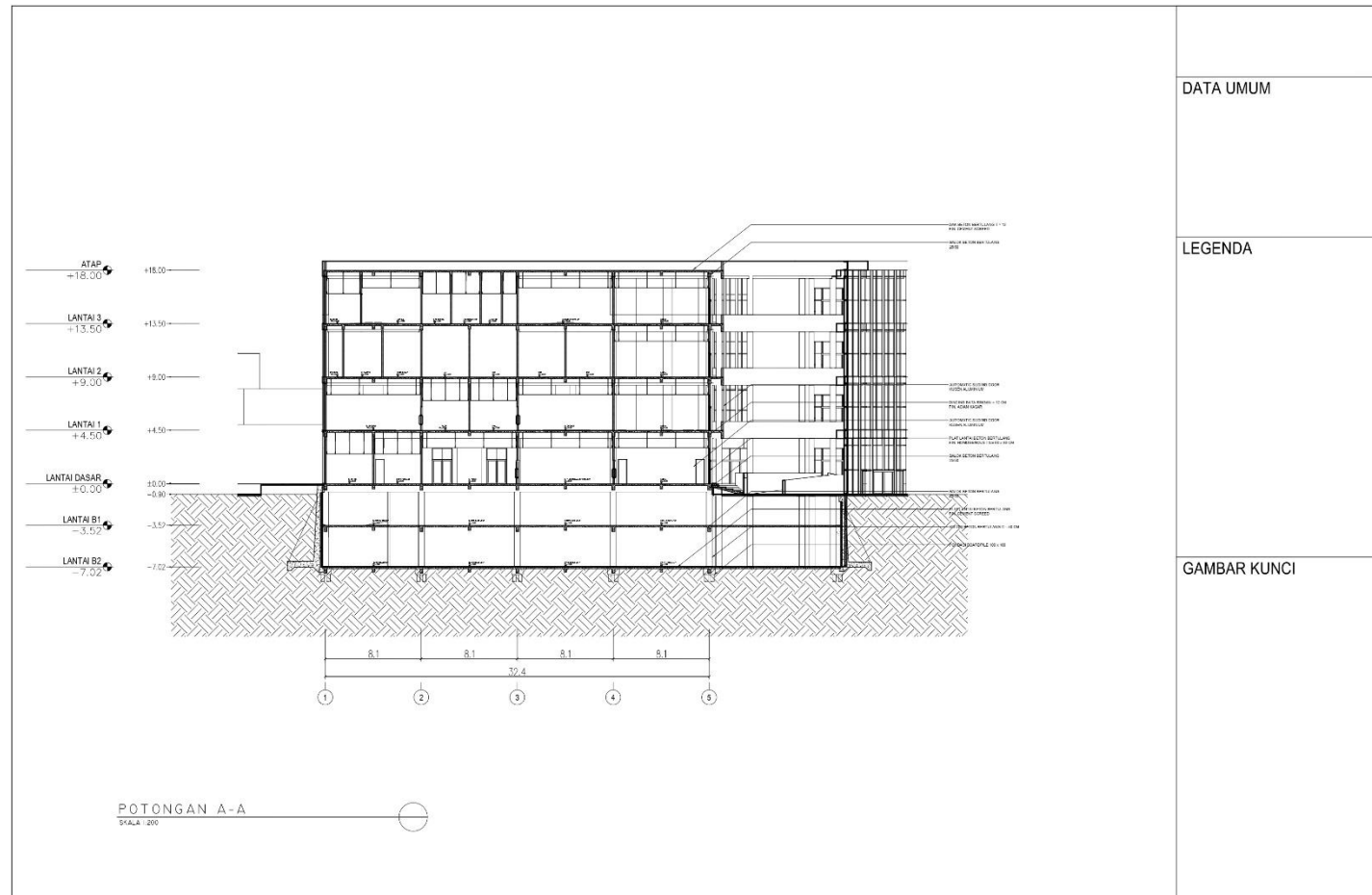
Gambar 2.7 Tapak Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Sumber: Natabraja, 2022



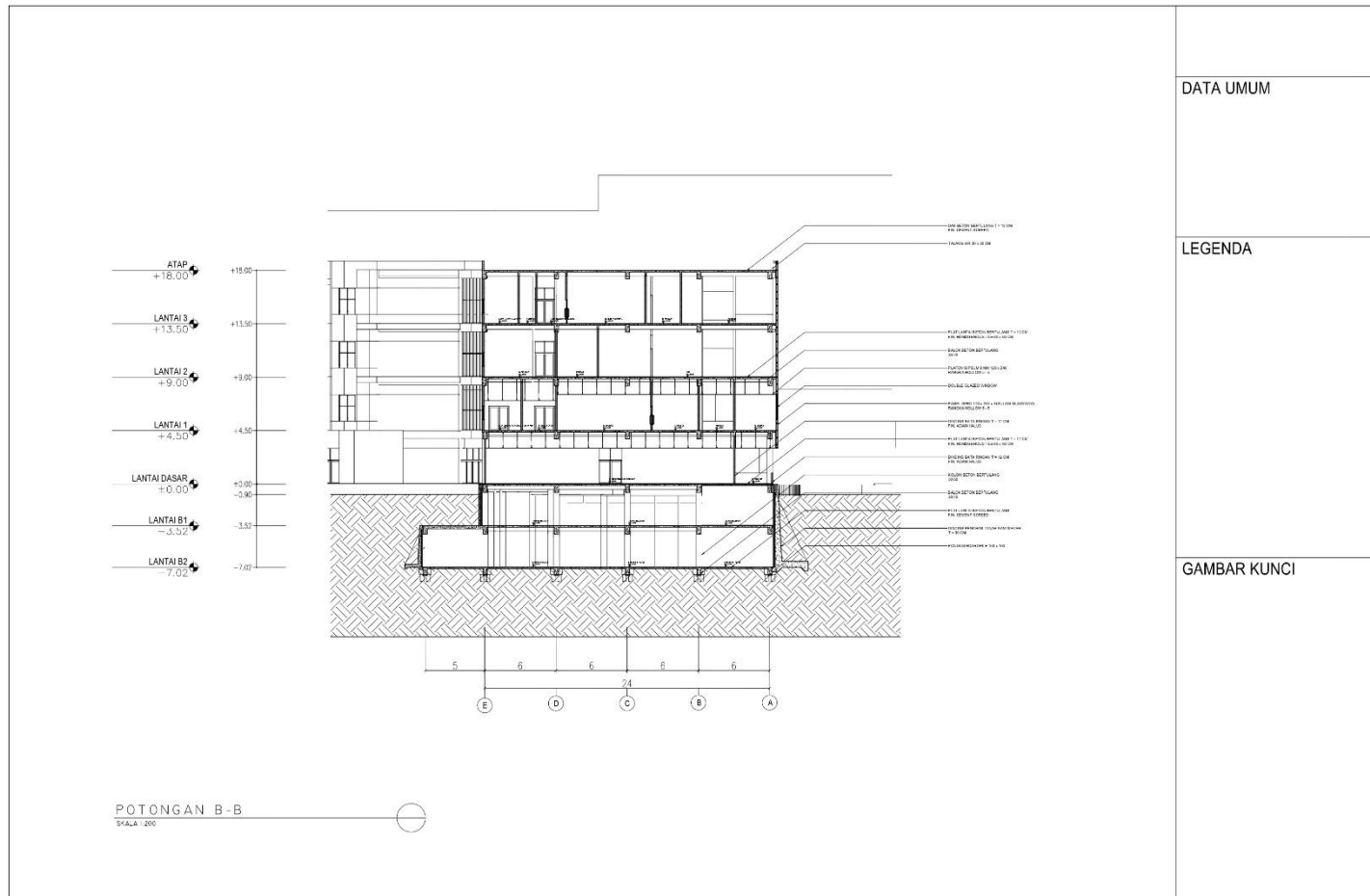
Gambar 2.8 Tampak Atas Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Sumber: Natabraja, 2022



Gambar 2.9 Tampak Samping (Potongan A-A) Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Sumber: Natabraja, 2022



Gambar 2.10 Tampak Samping (Potongan B-B) Gedung Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Sumber: Natabraja, 2022

Area pelayanan yang dirancang sesuai standar teknis rumah sakit. Gedung ini dilengkapi dengan fasilitas pendukung untuk menunjang kenyamanan pasien dan operasional. Berikut ini adalah sarana dan fasilitas berdasarkan lantainya:

1. Lantai Dasar

Pada **Tabel 2.1** berikut merupakan sarana dan fasilitas yang terdapat di lantai dasar Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung.

Tabel 2.1 Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Dasar

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
Tenaga Medis			
	<i>Cath Lab</i>	5,1 × 6	
	Ruang Triase	8,1 × 15	
	Depo Farmasi	4 × 6	
	Ruang Kepala IGD	4 × 4,2	
	Ruang Istirahat	3 × 4	
	Ruang Dokter	3 × 4	
	Ruang Tindakan Gawat Darurat	8,1 × 21	
	Ruang Periksa	4,05 × 3	
	Ruang Periksa	4,05 × 3	
	Ruang Periksa	4,05 × 3	
	Ekokardiografi	4,05 × 3	
	<i>Treadmill</i>	4,05 × 4,6	
	Ruang Kepala CSSD dan Admin	4 × 2,5	
	Ruang Kepala Apotek	4 × 2,5	
	Ruang Kerja Apoteker	4 × 3	
	Loket Pengambilan Obat dan Farmasi	8,1 × 7,5	
	Ruang Kepala Gizi	3 × 2,5	
	Ruang Nutrisi	3 × 3	
Tenaga non Medis			

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
	<i>Security</i>	4 × 3	
	Admin	6 × 4	
	Ruang Administrasi	4 × 3	
	Rekam Medik	3 × 3	
	Pendaftaran		
	Ruang Cuci	3 × 2,75	
	<i>Laundry</i>	3,56 × 2,75	
	Janitor		
	Ruang Sterilisasi	5,6 × 3,5	
	Ruang Dekontaminasi	5,6 × 3,5	
	Ruang Pengemasan	5,6 × 2,4	
	Pemulasaran jenazah	12,15 × 8,1	
	Area memasak	8,1 × 4	
	Kantin	8,1 × 3,5	
Fasilitas Pasien/Pengunjung			
	TPS (Tempat Penampungan Sementara)		
	<i>Incinerator</i>	4 × 4,1	
	Ruang Trafo	4 × 8	
	Ruang Panel	2 × 2,93	
	<i>Storage</i> Basah	2,5 × 3	
	<i>Storage</i> Kering	3 × 3	
	<i>Storage</i>	4 × 4	
	Depo Farmasi	4 × 6	
	Ruang Sortir	3,5 × 2,8	
	Linen Bersih	4 × 2,5	
	Linen Kotor	4 × 2,5	
	Gas Medik	2,7 × 6,5	
	MDP	3,5 × 4,1	
	Gudang Obat	5,5 × 4,1	
	Ruang Tunggu		

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
	Ruang Tunggu IGD		
	<i>Lobby</i> Utama		
	<i>Lobby</i>		
	<i>Lobby</i> Lift		
	<i>Lobby</i> IGD		
	Lobby <i>Staff</i> Medik dan Servis		
	Toilet Umum		• Toilet umum terdiri dari 2 toilet: a) 1 toilet umum terdapat 4 WC dan 2 LAV Total toilet: 8 WC dan 4 LAV
	WC Difabel		

2. Lantai 1

Pada **Tabel 2.2** berikut merupakan sarana dan fasilitas yang terdapat di lantai 1 Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung.

3.

Tabel 2.1 Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Satu

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
Tenaga Medis			
	Ruang Dokter	4,1 × 3,1	
	<i>Ruang Kepala Instalasi Bedah</i>	4,1 × 2,8	
	Ruang Operasi 1	8,1 × 8	
	Ruang Operasi 2	8,1 × 8	
	Laboratorium	4,3 × 6,3	

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
	Stase Perawat Operasi	4 × 3,3	
	Stase Perawat Kamar Pasien	8,1 × 7,9	
	Ruang Diskusi 1	4 × 3,3	
	Ruang Diskusi 2	4 × 3,3	
	Ruang Dokter	3 × 4	
	Ruang Istirahat	5 × 4	
	Farmasi	4 × 3,3	
Tenaga non Medis			
	Ruang Sterilisasi & <i>Storage</i> Sementara	3,2 × 10,3	
	<i>Storage</i> Kotor	2,7 × 10,3	
	<i>Storage</i> Steril	4,5 × 4	
	Ruang Persiapan Instrument	8,1 × 3	
	Ruang Ganti	5,4 × 4	
	Depo Farmasi	3,1 × 4	
	Ruang Pacu	4 × 5	
	Ruang Persiapan	4 × 8,1	
	Ruang Induksi	4 × 8,1	
	Ruang Admin	3,3 × 3,3	
	Ruang Panel 1	3 × 2,1	
	Ruang Panel 2	3 × 2,1	
	Janitor	1,9 × 2,1	
	Linen Bersih	3,1 × 2,6	
	Linen Kotor	3,1 × 2,6	
	Gas Medik	5,3 × 2,8	
Fasilitas Pasien/Pengunjung			
	<i>Lobby</i>		
	<i>Lobby Lift</i>		

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
	<i>Lobby Lift Staff</i> Medik dan Servis		
	Toilet Umum	3 × 2,2	- Toilet umum terdiri dari 2 toilet: a) 1 toilet umum terdapat 4 WC dan 2 LAV Total toilet: 8 WC dan 4 LAV
	WC Difabel	1,9 × 2,1	
	Kamar Kelas 3		- Kamar kelas 3 terdiri dari 6 ruangan: a) 1 ruangan terdiri dari 6 <i>bed</i> b) 1 ruangan ada 2 toilet (1 toilet: 1 WC, 1 LAV, 1 SH) Total Toilet: 12 WC, 12 LAV, 12 SH

4. Lantai 2

Pada **Tabel 2.3** berikut merupakan sarana dan fasilitas yang terdapat di lantai 2 Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung.

5.

Tabel 2.3 Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Dua

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
Tenaga Medis			
	<i>MRI</i>	8,1 × 6	
	<i>CT Scan</i>	8,1 × 6	
	Radiografi	4 × 6	
	Ruang dokter ICU	3,3 × 3,5	
	Ruang istirahat dokter ICU	3,3 × 3,5	
	Ruang dokter	3 × 4	
	Ruang istirahat dokter	5 × 4	
	Stase Perawat Kamar Pasien		
	Stase Perawat ICU		
Tenaga non Medis			
	Ruang Baca	4 × 6	
	<i>Storage</i>		
	Depo Farmasi ICU	3,5 × 3,3	
	Depo Farmasi Umum	3,2 × 3,4	
	Ruang Panel	2 × 2,93	
	Ruang Panel	2 × 2,93	
	Janitor	1,9 × 2,1	
	Linen Bersih	3,1 × 2,6	
	Linen Kotor	3,1 × 2,6	
	<i>Storage</i>	3,8 × 3,5	
	Gas Medik	5,3 × 2,8	
	<i>Airlock</i>	2,8 × 3,2	

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
Fasilitas Pasien/Pengunjung			
	ICU	4 × 3,5	
	Kamar Kelas 2		- Kamar kelas 2 terdiri dari 6 ruangan: a) 1 ruangan terdiri dari 4 <i>bed</i> b) 1 ruangan ada 2 toilet (1 toilet: 1 WC, 1 LAV, 1 SH) Total Toilet: 12 WC, 12 LAV, 12 SH
	<i>Lobby</i>		
	<i>Lobby Lift</i>		
	<i>Lobby Lift Staff</i> Medik dan Servis	3 × 2,2	
	Toilet Umum	3 × 2,2	- Toilet umum terdiri dari 2 toilet: a) 1 toilet umum terdapat 4 WC dan 2 LAV Total toilet: 8 WC dan 4 LAV
	WC Difabel	1,9 × 2,1	

6. Lantai 3

Pada **Tabel 2.4** berikut merupakan sarana dan fasilitas yang terdapat di lantai 3 Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung.

7.

Tabel 2.4 Sarana dan Fasilitas Gedung Lantai Tiga

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruangan (m)	Keterangan
Tenaga Medis			
	Ruang Istirahat		
	Ruang Dokter		
	Ruang Kepala Rumah Sakit	8,1 × 3	
	Ruang Direktorat Bag. Keuangan	3 × 3	
	Ruang Direktorat Bag. SDM	3 × 3	
	Ruang Direktorat Perencanaan	3 × 3	
	Ruang Direktorat Pelayanan Medik	3 × 3	
	Ruang Direktorat Komite Etik	3 × 3	
	Ruang SPI	3 × 3	
	Stase Perawat	8 × 8,1	
	Lab. Anatomi	2,5 × 2,5	
	Lab. Kimia Klinik	2,5 × 2,5	
	Ruang Konsultasi	3 × 3	
	Rehabilitasi Medis	8,1 × 5	
	Terapi Wicara Audiometer	2,5 × 2,5	
	Terapi Wicara Vokasional	2,5 × 2,5	
	Terapi Okupasional	3 × 2,5	
	Lab Immunologi	2,5 × 2,5	

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruang (m)	Keterangan
	<i>Hematology</i>	2,5 × 2,5	
	Ruang Rapat	5 × 3	
Tenaga non Medis			
	Ruang Utilitas	4 × 3	
	Ruang Panel	2 × 2,93	
	Janitor	1,9 × 2,1	
	Gudang Alat Kesehatan	4 × 3	
	Gudang Laboratorium	4 × 3	
	Bank Darah	4 × 4,5	
	Depo Farmasi	3,4 × 3,2	
	Arsip	2,5 × 2,3	
	Admin	2,5 × 2,3	
	Linen Bersih	3,1 × 2,6	
	Linen Kotor	3,1 × 2,6	
	Gas Medik	5,3 × 2,8	
	Ruang Cuci	1,8 × 2,5	
	Ruang Sampel	1,8 × 2,5	
Fasilitas Pasien/Pengunjung			
	<i>Lobby</i>		
	<i>Lobby Lift</i>		
	<i>Lobby Staff</i> Medik dan Servis		
	Toilet Umum	3 × 2,2	• Toilet umum terdiri dari 2 toilet: a) 1 toilet umum terdapat 4 WC dan 2 LAV Total toilet: 8 WC dan 4 LAV

Klasifikasi	Fasilitas	Dimensi Ruang (m)	Keterangan
	WC Difabel	1,9 × 2,1	
	Kamar Kelas 1	4 × 7,7	- Kamar kelas 1 terdiri dari 6 ruangan: a) 1 ruangan terdiri dari 2 <i>bed</i> b) 1 ruangan ada 1 toilet (1 toilet: 1 WC, 1 LAV, 1 SH) Total Toilet: 6 WC, 6 LAV, 6 SH
	Kamar Kelas VIP	4 × 7,7	- Kamar kelas VIP terdiri dari 6 ruangan: a) 1 ruangan terdiri dari 1 <i>bed</i> b) 1 ruangan ada 1 toilet (1 toilet: 1 WC, 1 LAV, 1 SH) Total Toilet: 6 WC, 6 LAV, 6 SH
	Mushola Wanita	8,1 × 3,3	
	Mushola Pria	8,1 × 3,3	
	Ruang Tunggu Konsultasi		
	Ruang Tunggu		
	<i>Lounge</i>		

8. *Basement 1*

Pada **Tabel 2.5** berikut merupakan sarana dan fasilitas yang terdapat di *Basement 1* Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung.

9.

Tabel 2.5 Sarana dan Fasilitas Gedung *Basement 1*

Fasilitas	Jumlah
<i>Lobby Lift</i>	2
<i>Lobby Staff</i> dan Medik	2
GWT	1
Boiler	1
Ruang Pompa	1
Ruang Panel	2
<i>Sump Pit</i>	1

10. *Basement 2*

Pada **Tabel 2.6** berikut merupakan sarana dan fasilitas yang terdapat di *Basement 2* Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung.

11.

Tabel 2.5 Sarana dan Fasilitas Gedung *Basement 2*

Fasilitas	Jumlah
<i>Lobby Lift</i>	2
<i>Lobby Staff</i> dan Medik	2
GWT	1
Boiler	1
Ruang Pompa	1
Ruang Panel	2
<i>Sump Pit</i>	1

Secara keseluruhan, Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dirancang dengan tata ruang yang terorganisir guna mendukung pelayanan kesehatan yang optimal. Setiap lantai dilengkapi dengan fasilitas penunjang seperti WC umum, WC difabel, gas medik, serta linen bersih dan kotor guna menunjang kenyamanan dan keamanan pasien serta staf medis.

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Rumah Sakit

3.1.1 Definisi Rumah Sakit

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2023 tentang Kesehatan, rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat.

Menurut *World Health Organization* (WHO), rumah sakit merupakan bagian integral dari suatu organisasi sosial dan kesehatan dengan fungsi menyediakan pelayanan paripurna (*komprehensif*), penyembuhan penyakit (*kuratif*), dan pencegahan penyakit (*preventif*) kepada masyarakat.

3.1.2 Klasifikasi Rumah Sakit

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit, rumah sakit terbagi menjadi dua tipe, yaitu rumah sakit umum dan rumah sakit khusus. Rumah sakit umum adalah rumah sakit yang memberikan pelayanan kesehatan pada semua bidang dan jenis penyakit. Sementara itu, rumah sakit khusus memberikan pelayanan pada satu bidang atau jenis penyakit tertentu sesuai disiplin ilmu, golongan umur, organ, jenis penyakit, atau kekhususan lainnya. Adapun Rumah Sakit Khusus terdiri dari:

- | | | |
|-------------------|------------------------|--------------------------------|
| a. Ibu dan Anak | g. Paru | m. Jantung dan Pembuluh darah |
| b. Mata | h. Ketergantungan Obat | n. Telinga-Hidung-Tenggorokan- |
| c. Gigi dan Mulut | i. Bedah | Kepala-Leher |
| d. Ginjal | j. Otak | |
| e. Jiwa | k. Ortopedi | |
| f. Infeksi | l. Kanker | |

Berdasarkan fasilitas dan kemampuannya, Rumah Sakit Khusus diklasifikasikan menjadi (Permenkes, 2020):

1. Rumah Sakit Khusus Kelas A;

Rumah Sakit khusus kelas A merupakan Rumah Sakit khusus yang memiliki jumlah tempat tidur paling sedikit 100 (seratus) buah.

2. Rumah Sakit Khusus Kelas B;

Rumah Sakit khusus kelas B merupakan Rumah Sakit khusus yang memiliki jumlah tempat tidur paling sedikit 75 (tujuh puluh lima) buah.

3. Rumah Sakit Khusus Kelas C

Rumah Sakit khusus kelas C merupakan Rumah Sakit khusus yang memiliki jumlah tempat tidur paling sedikit 25 (dua puluh lima) buah.

3.2 Limbah Cair

Air Limbah adalah air yang mengandung kotoran dari rumah tangga, industri, atau pertanian. Limbah cair merupakan air bekas yang mengandung berbagai bahan organik dan anorganik, serta mikroorganisme yang perlu diolah untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Metcalf dan Eddy, 2003).

Limbah cair merupakan air yang telah digunakan dan terkontaminasi oleh aktivitas domestik atau industri yang harus diolah untuk menghilangkan bahan pencemar. Limbah cair yang telah terkontaminasi oleh limbah domestik, industri, aktivitas pertanian atau layanan kesehatan membutuhkan pengolahan untuk menghilangkan kontaminan sebelum bisa dilepaskan kembali ke lingkungan (Suthersan, 1997).

3.2.1 Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi. Semua metode ini biasanya dibagi dalam tiga kategori: unit operasi fisika, kimia, dan biologi. Metode-metode ini umumnya diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu unit operasi fisika, unit proses kimia, dan unit proses biologi. Konsep dasar dari ketiga pendekatan ini tetap sama, sehingga relevan untuk dikaji secara terpisah meskipun dalam praktiknya sering digunakan dalam kombinasi pada sistem

pengolahan. Unit operasi adalah metode pengolahan yang bergantung pada penerapan fisika, sedangkan unit proses meliputi pengolahan yang melibatkan reaksi kimia atau aktivitas biologis (Raju *et. al*, 2024).

Tabel 3.1 Operasi dan Pengaplikasian dalam Fisika

Unit Operasi	Keterangan
<i>Screening</i>	Menghilangkan partikel kasar
Comminution	Memperkecil ukuran padatan
<i>Flow Equalization</i>	Menstabilkan aliran dan beban pencemar
<i>Mixing</i>	Homogenisasi bahan kimia atau gas
<i>Flocculation</i>	Menggabungkan partikel halus menjadi agregat yang lebih besar
Sedimentasi	Mengendapkan padatan
<i>Floatation</i>	Mengangkat partikel halus ke permukaan
Filtrasi	Menghilangkan partikel tersuspensi yang masih tertinggal setelah pengolahan kimia atau biologis
<i>Micro-Screening</i>	Sama seperti filtrasi. Selain itu, menghilangkan alga dari limbah kolam stabilisasi

Sumber: Raju *et. al*, 2024

Tabel 3.2 Proses dan Pengaplikasian dalam Kimia

Unit Operasi	Keterangan
<i>Chemical Precipitation</i>	Menghilangkan fosfor dan memperbaiki pengendapan partikel
Gas Transfer	Menambahkan atau menghilangkan gas tertentu
<i>Adsorption</i>	Menghilangkan senyawa organik
<i>Disinfection</i>	Memusnahkan organisme patogen
<i>De-chlorination</i>	Menghilangkan residu klorin

Sumber: Raju *et. al*, 2024

Pengolahan air limbah berdasarkan tingkat perlakuannya dikategorikan sebagai berikut:

1. Pra Pengolahan (*Pre-treatment*)

Tahapan ini terdapat bangunan inlet yang berfungsi untuk mengumpulkan air limbah domestik dari jaringan perpipaan sub-sistem pengumpulan. Selain itu, proses ini dilakukan untuk menghilangkan atau menyisihkan padatan-padatan yang berukuran besar seperti pasir, kerikil, dan sampah. Unit pengolahan yang terdapat di *pre-treatment* ada saringan sampah (*Screen*) dan bak penyisihan pasir (*Grit Chamber*) (Ridha, 2024).

2. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Proses pengolahan ini dilakukan untuk menghilangkan zat padat melalui pengendapan maupun pengapungan. Terdapat unit pengolahan pada tahap ini, seperti bak sedimentasi (*primary sedimentation*), *grease trap*, bak ekualisasi, dan bak netralisasi.

3. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik. Proses ini dilakukan dengan menggunakan prinsip pengolahan biologi melalui pemanfaatan peran mikroorganisme yang sudah terkandung di dalam air limbah domestik.

Pengolahan air limbah secara biologis dibagi menjadi tiga, yaitu proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*), dan proses pengolahan dengan sistem *lagoon* atau kolam.

Beberapa contoh proses biologis dengan biakan tersuspensi antara lain, proses lumpur aktif standar atau konvensional (*Standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya. Sementara itu, proses biologis dengan biakan melekat antara lain, *trickling filter*, *biofilter* tercelup, reaktor kontak biologis putar (*rotating biological contactor*, RBC), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya.

4. Pengolahan Tersier (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan tahap ketiga harus dilakukan jika masih terdapat parameter yang belum memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan, yaitu *total coliform*, amonia nitrogen, fosfor, dan *Total Suspended Solid* (TSS). Adapun beberapa proses yang dapat dilakukan dalam pengolahan tahap ketiga, yaitu desinfeksi, aerasi, flokulasi-koagulasi, filtrasi, dan *wetland* (Kementerian PUPR, 2018).

5. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari suatu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik. Lumpur yang merupakan hasil dari proses pengolahan air limbah domestik berpotensi mengandung mikroorganisme yang dapat membawa bibit penyakit baik organik maupun anorganik sehingga dapat bersifat toksik terhadap manusia atau lingkungan. Sehingga, pengolahan lumpur ini dilakukan agar lumpur yang telah diproses dapat lebih aman ketika dibuang atau dimanfaatkan untuk keperluan terbatas.

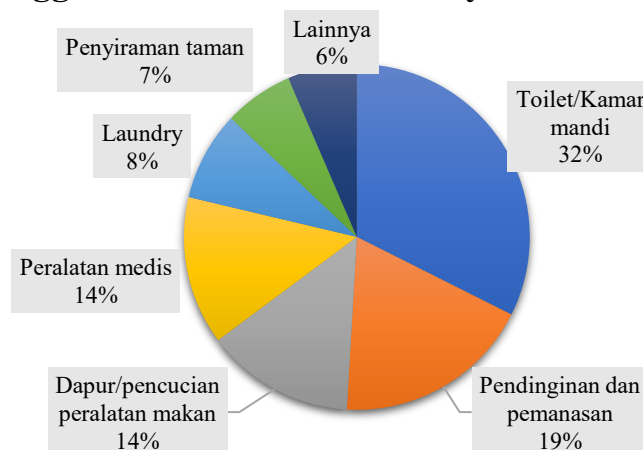
6. *Membrane Technologies*

Menurut Raju *et al* (2024), proses berbasis membran meliputi *Reverse Osmosis* (RO), nanofiltrasi (NF), dan ultrafiltrasi (UF) telah berkembang pesat dalam pengolahan air limbah. Inovasi terbaru terkait teknologi membran meliputi upaya mengatasi *fouling*, menurunkan konsumsi energi, dan mengembangkan material membran yang lebih efisien.

3.2.2 Sumber Limbah Cair Rumah Sakit

Sumber penggunaan air yang menjadi kontributor utama terhadap timbulan air limbah. Setiap aktivitas dalam fasilitas pelayanan kesehatan, seperti penggunaan dapur, penyiraman taman, sistem pendingin dan pemanas, hingga operasional peralatan medis, memiliki porsi pemakaian air yang berbeda. Berikut merupakan persentase penggunaan air dari beberapa unit aktivitas utama di fasilitas layanan kesehatan:

Penggunaan Air di Fasilitas Layanan Kesehatan



Gambar 3.1 Persentase Penggunaan Air di Fasilitas Layanan Kesehatan

Sumber: Khan et. al., 2021

Sumber air limbah bervariasi sesuai dengan tipe rumah sakit. Air limbah dari kamar mandi/toilet memiliki parameter seperti zat padat, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), nitrogen dan fosfat, minyak, dan bakteriologis. Sementara itu, parameter untuk air limbah dapur/pencucian peralatan makan adalah, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), *total solid*, minyak/lemak, nitrogen dan fosfat.

Untuk air limbah *laundry* berasal dari unit pencucian bahan kain yang umumnya bersifat basa dengan kandungan zat padat total. Limbah cair klinis yaitu air limbah yang berasal dari kegiatan klinis rumah sakit misalnya air bekas cucian luka, cucian darah, dan lain-lain.

Air limbah laboratorium berasal dari pencucian peralatan laboratorium dan bahan buangan hasil pemeriksaan contoh darah dan lain-lain. Umumnya, air limbah ini banyak mengandung berbagai senyawa kimia sebagai pereaksi sewaktu pemeriksaan contoh darah dan bahan lain. Air limbah laboratorium mengandung bahan antiseptik dan antibiotik sehingga bersifat toksik terhadap mikroorganisme, juga mengandung logam berat. Apabila air limbah tersebut dialirkan ke dalam proses pengolahan secara biologis, logam berat tersebut dapat mengganggu proses kerja dari pengolahan secara biologis. Oleh karena itu, untuk air limbah yang berasal dari laboratorium diolah tersendiri.

3.2.3 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit

Karakteristik limbah cair dari kegiatan rumah sakit adalah infeksius dan domestik. Limbah domestik maupun limbah cair infeksius umumnya mengandung senyawa pencemar organik yang cukup tinggi. Limbah domestik adalah limbah yang menghasilkan air buangan dari Mandi Cuci Kakus (MCK). Menurut Permenkes No. 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, Dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit, limbah cair yang dihasilkan terbagi menjadi *blackwater* dan *greywater*.

1. Air kotor (*blackwater*): air *flushing* yang telah bercampur dengan tinja dan/atau kotoran padat lainnya.
2. Air bekas (*greywater*): air bekas kegiatan pencucian, wastafel, mandi, dan lain-lain.

Sementara itu, limbah cair infeksius berasal dari fasilitas pelayanan rumah sakit seperti wastafel laboratorium, CSSD (*Central Sterile Supply Department*), farmasi, ruang bedah/bersalin, hemodialisa, dan pemulasaran jenazah.

Menurut Tchobanoglous (1979), limbah cair rumah sakit memiliki karakteristik yang bervariasi tergantung pada jenis dan ukuran rumah sakit, serta aktivitas di dalamnya. Secara umum, karakteristik air limbah rumah sakit mencakup parameter fisik, kimia, dan biologis sebagai berikut:

1. Parameter Fisik: TSS, kekeruhan dan warna
2. Parameter Kimia: Zat organik (BOD, COD), senyawa anorganik (logam berat seperti merkuri, kadmium), nutrien (nitrogen dan fosfor), serta bahan kimia farmasi dan disinfektan.
3. Parameter Biologis: *Total Coliform*, *Fecal Coli*

Adapun sifat dari limbah cair (Subekti, 2005) sebagai berikut:

1. Limbah Cair Tidak Beracun (nontoksik)
Limbah cair kotoran manusia seperti tinja, air kemih berasal dari kloset dan peturasan di dalam toilet.
2. Limbah Cair Beracun (toksik)
Zat beracun dalam hal ini adalah bahan-bahan kimia organik, deterjen, dan zat radioaktif menghambat metabolisme.

Pengolahan air limbah rumah sakit perlu mempertimbangkan bahaya kontaminasi mikroorganisme patogen dan kandungan zat kimia berbahaya, sehingga teknologi pengolahan seperti disinfeksi, pengolahan biologis, dan pemisahan padatan harus dirancang dengan baik.

Berdasarkan Permen LH No 5 Tahun 2014, rumah sakit merupakan salah satu jenis fasilitas pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan baik promotif, preventif, kuratif maupun rehabilitatif yang dilakukan oleh Pemerintah, pemerintah daerah, dan/atau masyarakat. Rumah sakit wajib melakukan pengolahan limbah domestik serta wajib memenuhi baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam Lampiran I Permen LHK RI No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Berikut ini adalah Baku Mutu Air Limbah Domestik yang dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum*
Ph	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100
Keterangan: *= Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pemasyarakatan.		

Sumber: Permen LHK RI No. 68 Tahun 2016

Adapun karakteristik umum dari limbah cair rumah sakit yang dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Tipikal Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit

No	Parameter	Satuan	Nilai	Referensi
1	TSS	mg/L	28 - 716	Kurniajati, dkk (2023)
2	pH	-	7,13 – 8	Barus, (2019), Kasih dkk (2023), Sari (2015), Sukadewi dkk (2020)
2	BOD ₅	mg/L	40,3 – 337,02	Kurniajati, dkk (2023)
3	COD	mg/L	71,3 – 606	Kurniajati, dkk (2023)
4	Amonia	mg/L	0,04 – 30,7	Barus, (2019), Kasih dkk (2023), Sukadewi dkk (2020), Anggraini dk (2022)
5	Minyak dan lemak	mg/L	0,4 – 0,6	Sukadewi (2020), Baeti dkk (2022)
Keterangan: BOD ₅ = <i>Biochemical Oxygen Demand</i> ; COD = <i>Chemical Oxygen Demand</i> ;				

3.2.4 Pengelolaan Limbah Cair Rumah Sakit

Praktik pengelolaan limbah cair rumah sakit harus mematuhi standar yang ditetapkan oleh lembaga kesehatan global seperti *World Health Organization* (WHO) dan juga berbagai peraturan yang berlaku. Menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023, kegiatan pengelolaan limbah medis yang dihasilkan dari kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan berupa air limbah dilakukan melalui tahapan:

1. Penyaluran

Penyaluran air limbah harus memenuhi standar baku mutu efluen air limbah sebelum dibuang ke badan air.

2. Pengolahan

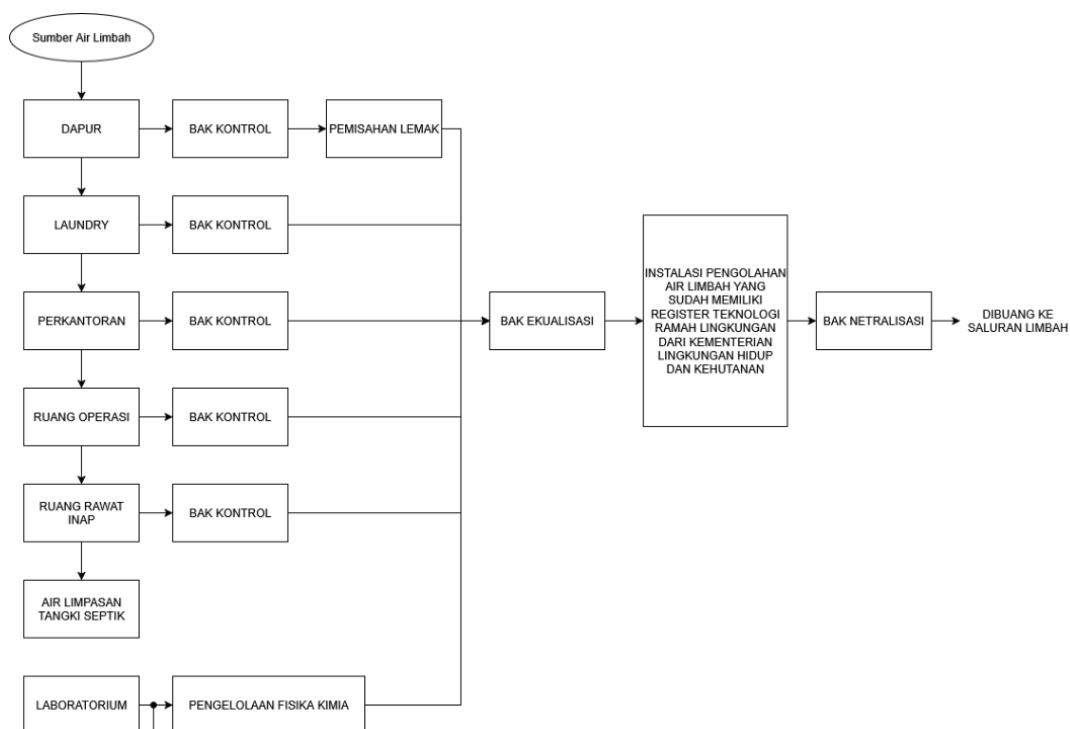
Pengolahan air limbah dilakukan untuk mengurangi risiko gangguan kesehatan dan lingkungan hidup yang ditimbulkan oleh air limbah.

3. Pemeriksaan

Pemeriksaan dilakukan untuk mengukur parameter air limbah dan membuktikan hasil keluaran sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Timbulan air limbah rumah sakit merupakan salah satu aspek penting dalam pengelolaan lingkungan karena air limbah yang dihasilkan tidak hanya bersifat domestik tetapi juga mengandung limbah medis yang berpotensi berbahaya. Air limbah rumah sakit dihasilkan dari berbagai kegiatan seperti pelayanan medis, operasi, farmasi, laboratorium, serta aktivitas non-medis seperti dapur, *laundry*, dan sanitasi umum.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit, seluruh air buangan yang dihasilkan dari aktivitas rumah sakit wajib disalurkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Diagram berikut menunjukkan proses pengelolaan air limbah rumah sakit:



Gambar 3.2 Diagram Proses Pengelolaan Air Limbah Rumah Sakit

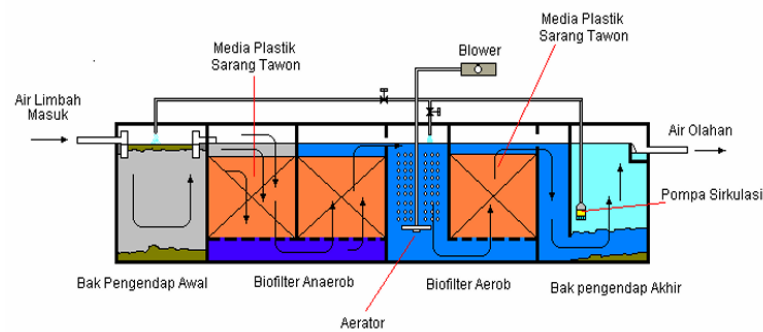
Sumber: Permenkes No. 40 Tahun 2022

Menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023, fasilitas kesehatan diwajibkan untuk memiliki Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD) yang sesuai dengan volume air limbah yang dihasilkan. Sistem ini harus mampu mengolah limbah hingga mencapai standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh peraturan perundang-undangan sebelum dibuang ke lingkungan. Penentuan volume timbulan air limbah rumah sakit bergantung pada beberapa faktor seperti kapasitas tempat tidur, jumlah pasien, volume air yang digunakan, serta jenis pelayanan yang diberikan. Jumlah timbulan air limbah rumah sakit bergantung pada ukuran dan jenis fasilitas (Larasati dan Marsono, 2024).

3.2.5 Unit Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit

1. *Biofilter Anaerob-Aerob*

Berdasarkan Pedoman IPAL RS yang diterbitkan Kemenkes RI (2011), pengolahan air limbah dengan proses *biofilter anaerob-aerob* (**Gambar 3.3**) adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses *biofilter anaerob* dan proses *biofilter aerob*. Dengan menggunakan proses *biofilter anaerob*, polutan organik yang ada di dalam air limbah akan terurai menjadi gas karbon dioksida dan metan tanpa menggunakan energi (blower udara), tetapi amoniak dan gas hidrogen sulfida (H_2S) tidak hilang. Oleh karena itu jika hanya menggunakan proses *biofilter anaerob* saja hanya dapat menurunkan polutan organik (BOD, COD) *Total Suspended Soslid* (TSS). Agar supaya hasil air olahan dapat memenuhi baku mutu maka air olahan dari proses *biofilter anaerob* selanjutnya diproses menggunakan *biofilter aerob*. Dengan proses *biofilter aerob* polutan organik yang masih tersisa akan terurai menjadi gas karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O), amoniak akan teroksidasi menjadi nitrit selanjutnya akan menjadi nitrat, sedangkan gas H_2S akan diubah menjadi sulfat.

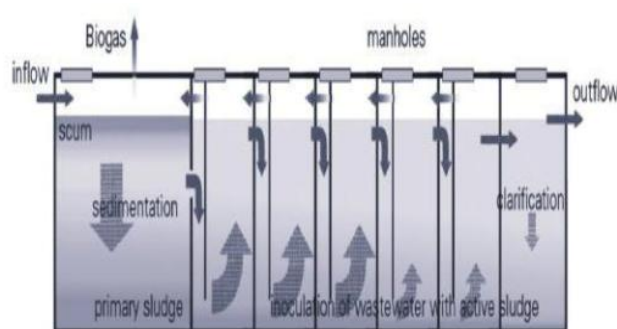


Gambar 3.3 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah dengan Proses *Biofilter Anaerob-Aerob*

Sumber: Pedoman IPAL RS Kemenkes RI, 2011

2. *Anaerobic Baffled Reactor*

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) adalah modifikasi dari bak pengendap yang meningkatkan efisiensi dalam menghilangkan padatan tersuspensi dan terlarut melalui serangkaian sekat vertikal. Limbah dialirkan secara naik-turun di setiap kompartemen, memungkinkan kontak optimal dengan mikroorganisme anaerobik (**Gambar 3.4**). Bakteri dalam ABR terdiri dari kelompok asidogenik, yang menghidrolisis polimer kompleks menjadi asam organik, dan metanogenik, yang mengubah produk sederhana menjadi metana (Nguyen *et. al.*, 2010; Boopathy dan Tilche, 1990). ABR menghasilkan biogas (60-70% metana) dan lumpur dengan sedikit perawatan, tetapi kurang efektif dalam menghilangkan nitrogen, fosfor, dan patogen (Angenent, 2001; Barber, 1999). Pipa ventilasi membantu mengalirkan gas yang dihasilkan selama proses anaerobik untuk menjaga sirkulasi udara dan tekanan sistem (Droste, 1997).

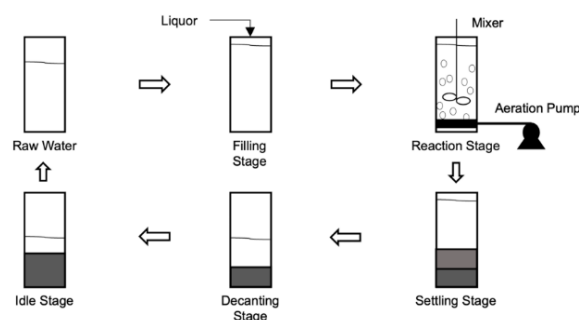


Gambar 3.4 Unit ABR

Sumber: Sasse et.al., 2009

3. *Sequencing Batch Reactor*

Sequencing Batch Reactors (SBR) adalah bioreaktor yang menjalankan serangkaian proses dalam satu unit. Proses ini meliputi tahap pengisian (*filling*), reaksi (*reacting*), pengendapan (*settling*), pengeluaran (*decanting*), dan waktu diam (*idling*). Adapun unit SBR dioperasikan secara sistematis (**Gambar 3.5**). Pada tahap *filling*, air limbah dan cairan yang mengandung mikroba ditambahkan. Tahap *reacting* terdiri dari siklus aerobik dan anaerobik yang dicapai dengan bergantian antara periode aerasi dan tanpa aerasi. Pada tahap *settling*, aerasi dan pencampuran dihentikan untuk memungkinkan partikel tersuspensi mengendap sehingga mudah dipisahkan dari air yang telah diolah. Tahap *decanting* melibatkan pengambilan *supernatant* (air limbah yang telah diolah). Tahap *idling* diperlukan terutama untuk sistem multi-reaktor di mana terdapat jeda waktu antara tahap pengisian di antara unit-unit reaktor (Ramsuroop *et. al.*, 2024).



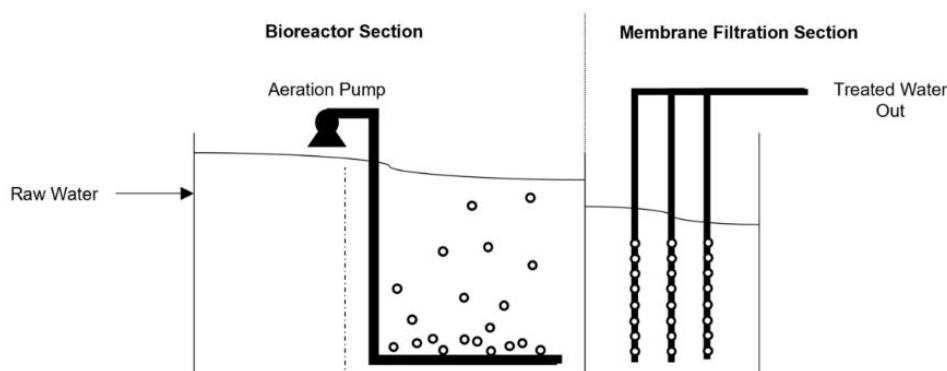
Gambar 3.5 Skema Sistem SBR

Sumber: Ramsuroop J et. al., 2024

4. *Membrane Bioreactor*

Membrane bioreactor (MBR) menggabungkan prinsip filtrasi membran dengan *bioreactor* (**Gambar 3.6**). Terdapat dua konfigurasi utama MBR yaitu membran yang terendam dalam reaktor dan membran yang ditempatkan di luar dengan sirkulasi balik ke dalam reaktor. MBR dengan membran terendam lebih populer karena desainnya yang kompak dan penggunaan energi yang rendah. Namun, salah satu kelemahan dari membran terendam adalah lebih rentan terhadap penumpukan zat-zat seperti partikel padat, minyak, mikroba, atau bahan organik pada permukaan

membran (*fouling*), yaitu proses penumpukan material yang mengurangi efisiensi filtrasi membran (Ramsuroop *et. al.*, 2024). Pada MBR, produk mikroba yang larut dapat meningkatkan risiko *fouling*. Risiko ini dapat dikurangi dengan merawat membran menggunakan *sodium metabisulfite* untuk mencegah pertumbuhan mikroba pada permukaan membran (Ramsuroop *et. al.*, 2024).



Gambar 3.6 Skema Sistem MBR

Sumber: Ramsuroop J et. al., 2024

Membrane Bioreactor (MBR) memungkinkan peningkatan kualitas efluen dengan efisiensi tinggi dalam menghilangkan materi organik dan nutrisi. Proses desinfeksi dapat dilakukan dengan lebih ringan atau bahkan tidak diperlukan, karena MBR juga secara signifikan mengurangi jumlah padatan dan patogen yang terbuang (Melin *et. al.*, 2006). Namun, aplikasi MBR secara luas masih terbatas karena masalah *fouling* pada membran, yang meningkatkan biaya operasional dan investasi (Alsahy *et. al.*, 2018).

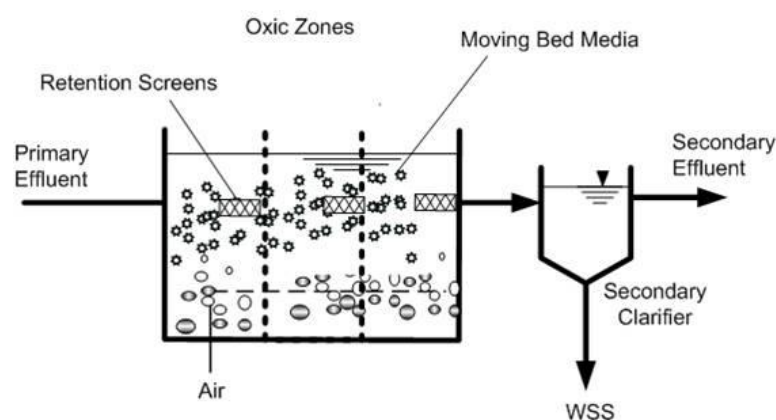
Limbah cair rumah sakit yang mengandung banyak patogen mikroba dan virus, merupakan area aplikasi penting untuk sistem MBR. MBR dapat mengurangi kebutuhan klorin hingga di bawah 1,0 mg/L dan mempersingkat waktu kontak, yang berdampak positif pada inaktivasi mikroorganisme (Liu *et. al.*, 2010). Karena MBR sepenuhnya menahan biosolid, sistem ini memungkinkan konsentrasi *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) yang tinggi (12-15 g MLSS/L), *Sludge Retention Time* (SRT) (20 hari), dan beban lumpur yang rendah (0,1 g COD/g VSS per hari) (Yoon *et. al.*, 2004).

Adsorpsi dan biodegradasi berperan dalam penghilangan senyawa farmasi (Senyawa farmasi) dalam MBR, dengan mekanisme adsorpsi yang dominan saat nilai $\log(K_{ow})$ lebih besar dari 3,2 (Wijekoon *et. al.*, 2013). Penghilangan senyawa farmasi dalam sistem MBR juga dipengaruhi oleh umur lumpur, konsentrasi, komposisi air limbah, suhu operasi, pH, dan konduktivitas. Selain itu, keberadaan ruang anoksik dan anaerobik juga dapat mempengaruhi efisiensi pengolahan (Luo *et. al.*, 2014).

Beberapa Senyawa farmasi dapat dihilangkan dengan efisiensi tinggi, sementara yang lain hanya terdegradasi sebagian dalam sistem MBR. Sebagai contoh, antibiotik (*ofloksasin*, *tetrasiklin*, *trimetoprim*, atau *norfloksasin*), senyawa antiinflamasi (*ibuprofen*), analgesik (*paracetamol*), dan senyawa farmasi kardiovaskular (*propranolol*) dihilangkan sekitar 80-95%. Secara umum, penghilangan senyawa farmasi dalam MBR mengikuti urutan berikut: analgesik dan antiinflamasi > obat kardiovaskular > antibiotik > obat psikiatri > media kontras (Pariante *et. al.*, 2022).

5. *Moving Bed Bioreactor*

Moving Bed Bioreactor (MBBR) (**Gambar 3.7**) adalah teknologi pengolahan air limbah yang menggunakan *plastic media* (media plastik) sebagai area permukaan bagi mikroorganisme untuk berkembang biak. Media tersebut bergerak di dalam reaktor, sehingga mikroorganisme dapat berkontak langsung dengan air limbah untuk mengurai bahan organik serta polutan (EDGE Building, 2024).



Gambar 3.7 Skema Sistem MBBR

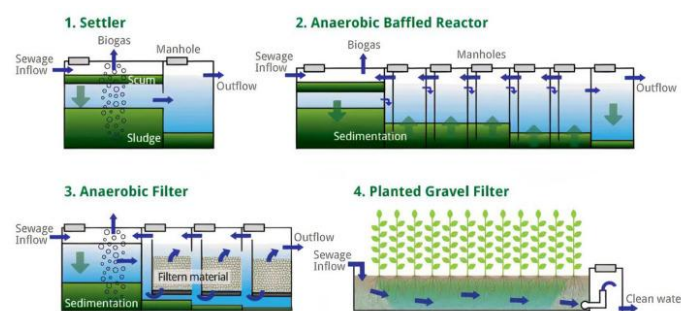
Sumber: AES Arabia, 2025

6. DEWATS

DEWATS (*Decentralized Wastewater Treatment Systems*) (**Gambar 3.8**) adalah pendekatan pengolahan air limbah secara terdesentralisasi. Sistem ini cocok diterapkan di area yang tidak memiliki infrastruktur pengolahan terpusat dan memberikan solusi berkelanjutan untuk pengelolaan air limbah (EDGE Building, 2024).

DEWATS merupakan teknologi dengan biaya terjangkau, karena sebagian besar bahan/input tersedia di lokasi setempat. Aplikasi DEWATS berdasarkan pada sistem pengolahan sebagai berikut (Hakim dkk, 2017):

- 1) Pengolahan primer dan sedimentasi dengan sistem *septic tank*
- 2) Pengolahan sekunder, *anaerob* dengan *baffle reactor* atau ABR
- 3) Pengolahan tersier, *aerob/anaerob* pada sistem filter aliran bawah tanah
- 4) Pengolahan tersier, *aerob/anaerob* dengan sistem kolam



Gambar 3.8 DEWATS (*Decentralized Wastewater Treatment Systems*)

Sumber: Varma et al, 2022

3.2.6 Studi Terdahulu Limbah Cair

1. IPAL RSUD dr. Soedono Madiun

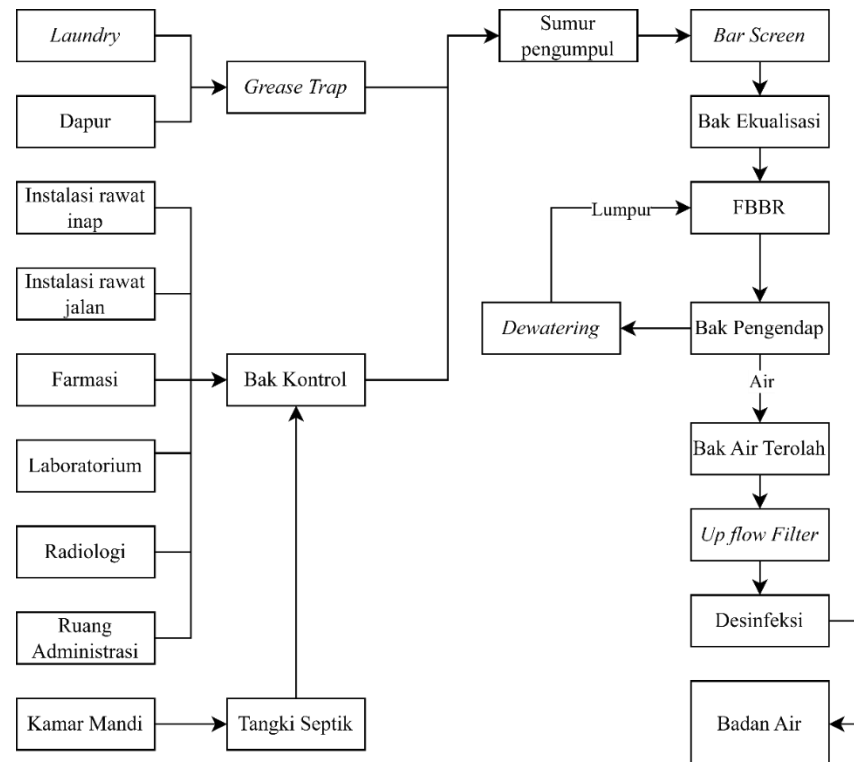
Larasati dan Marsono (2024) melakukan penelitian di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUD dr. Soedono Madiun. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di RSUD dr. Soedono Madiun, dengan fokus pada kapasitas pengolahan limbah cair berdasarkan parameter fisik, kimia, dan biologi, serta kesesuaian dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Selain itu, penelitian ini

menganalisis debit air limbah berdasarkan *Bed Occupancy Ratio* (BOR) saat ini dan proyeksi di masa mendatang, serta mengevaluasi beberapa unit IPAL seperti *grease trap*, bak ekualisasi, dan *Fluidized Bed Biofilm Reactor* (FBBR), yang belum memenuhi kriteria desain. Penelitian juga mencakup evaluasi aspek manajemen IPAL dari segi operasional dan sumber daya manusia.

RSUD dr. Soedono Madiun menghasilkan air limbah berkisar antara 100-147 m³/hari dengan kapasitas IPAL sebesar 200 m³/hari. Perhitungan debit air limbah dilakukan dengan mempertimbangkan faktor *Bed Occupancy Ratio* (BOR), jumlah tempat tidur, kebutuhan air bersih, serta jumlah pasien rawat inap, rawat jalan, keluarga pasien, pegawai rumah sakit, dapur, dan *laundry*. Ketika BOR mencapai 51,79%, debit air limbah masih di bawah kapasitas IPAL, tetapi pada BOR 100%, debit air limbah mencapai 243,32 m³/hari, yang melebihi kapasitas IPAL (Larasati dan Marsono, 2024).

IPAL RSUD dr. Soedono menggunakan teknologi yang terdiri dari unit pengolahan *grease trap*, bak ekualisasi, dan *Fluidized Bed Biofilm Reactor* (FBBR). Beberapa unit belum sesuai dengan kriteria desain yang dianjurkan. Kecepatan dan waktu detensi pada *grease trap*, serta media dalam unit FBBR yang hanya mencapai 27% dari volume unit. Menurut Fikri (2022), jumlah media yang terdapat dalam reaktor tergantung pada kualitas dan kuantitas air limbah yang akan diolah. *Maximum filling* dari media pada unit FBBR bisa mencapai $\pm 70\%$ (Larasati dan Marsono, 2024).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa hampir semua parameter kualitas air limbah sesuai dengan baku mutu, kecuali fosfat (PO₄) dengan nilai 7,86 mg/L. Kandungan fosfat melebihi baku mutu yaitu 2 mg/L yang diatur menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013. Masalah tingginya kadar fosfat sebagian besar disebabkan oleh penggunaan detergen berbahan *sodium tripolifosfat* di unit *laundry* (Larasati dan Marsono, 2024). Adapun diagram alir proses pengolahan air limbah di RSUD dr. Soedono Madiun yang dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



**Gambar 3.9 Diagram Alir Proses Pengolahan Air Limbah di RSUD
dr. Soedono Madiun**

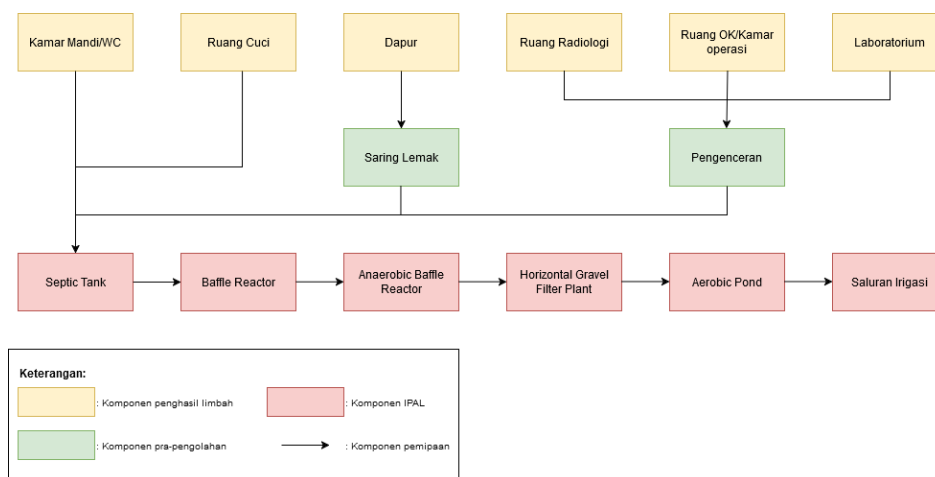
Sumber: Larasati dan Marsono, 2024

2. IPAL Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang

Baeti *et. al.* (2022) melakukan penelitian terkait efektivitas instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Rumah Sakit Umum Roemani Muhammadiyah Semarang. Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengelolaan limbah cair di Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Semarang. Tujuan khusus dalam penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan pelaksanaan pengelolaan limbah, mengevaluasi aspek manajemen dan pengelolaan limbah cair apakah sudah sesuai dengan peraturan pengelolaan limbah cair di rumah sakit dan mengetahui efektivitas pengolahan limbah cair dengan sistem DEWATS (*Decentralized Waste water Treatment System*) di Rumah Sakit Umum Roemani Muhammadiyah Semarang.

Limbah cair di Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang berasal dari gedung perawatan, perkantoran, laboratorium, *laundry*, dan dapur. Sebagian besar merupakan limbah domestik. Sekitar 10-25% dari

total limbah tersebut tergolong berbahaya dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan. Limbah dialirkan melalui bak kontrol menuju pengumpul sementara sebelum dipompa ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Rumah sakit ini memiliki enam bak kontrol dan empat bak penangkap lemak di dapur yang tertutup rapat. Limbah dari kamar mandi, WC, dan *laundry* langsung dialirkan ke *septic tank* tanpa *pre-treatment*. Sementara limbah dari ruang radiologi, operasi, dan laboratorium diencerkan dengan air bersih. Limbah dari dapur diolah dengan bak penangkap lemak, yang dibersihkan dua kali seminggu untuk mencegah penyumbatan di IPAL (Baeti et. al., 2022). Skema aliran limbah RS Roemani Muhammadiyah Semarang dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Skema Aliran Limbah RS Roemani Muhammadiyah Semarang

Sumber: Baeti et.al., 2022

Rumah sakit ini telah menggunakan sistem IPAL berbasis teknologi *Decentralized Wastewater Treatment Systems* (DEWATS) yang memiliki kapasitas 177 m³/hari, sesuai dengan volume limbah yang dihasilkan. Namun, terdapat ketidaksesuaian proses pengolahan yaitu pada proses pengenceran. Pengenceran air limbah merupakan praktik yang tidak efektif dan tidak sesuai dengan Permenkes No 2 Tahun 2023 pada poin penataan baku mutu air limbah. Meskipun pengenceran dapat menurunkan konsentrasi pencemarnya, pengenceran tidak mengurangi jumlah total kontaminan sehingga beban pencemaran tetap sama. Praktik ini akan menambah volume limbah yang masuk ke IPAL, mengurangi efisiensi

pengolahan, dan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan jika bahan kimia berbahaya tidak diolah dengan baik.

3. Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk Rumah Sakit

Perwira *et. al.* (2022) melakukan penelitian yang berjudul “*Design of Waste Water Treatment Plant for Hospital*”. Penelitian ini bertujuan untuk merancang IPAL rumah sakit agar air limbahnya memenuhi baku mutu dan aman dibuang ke lingkungan.

Secara umum, sumber air limbah rumah sakit terdiri dari kamar mandi, dapur, ruang pemeriksaan, laboratorium, ruang operasi, serta ruang lain yang menghasilkan limbah dengan kandungan bahan kimia dan mikroorganisme patogen. Limbah ini mengandung berbagai kontaminan organik, kimia, dan biologis yang berisiko mencemari lingkungan sekitar.

Berdasarkan pemilihan yang telah dilakukan, desain IPAL terdiri dari lima unit utama yang disusun berurutan secara gravitasi, yaitu:

1) *Equalization Tank* (Bak Ekualisasi)

Berfungsi sebagai penampung awal untuk menstabilkan laju dan konsentrasi air limbah yang masuk. Di sini dilakukan pengadukan (*stirring*) untuk mencegah pengendapan (*solid*) dan pembentukan bau (*odor*).

2) *Coagulation-Flocculation Units* (Unit Koagulasi-Flokulasi)

Dalam proses koagulasi dan flokulasi, air memainkan peran yang sangat penting karena bahan kimia perlu tercampur secara merata di dalamnya. Pada bak koagulasi, dilakukan pengadukan cepat (*rapid stirring*) untuk mencampurkan koagulan *Poly Aluminium Chloride (PAC)* ke dalam air limbah secara efisien. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengganggu kestabilan partikel koloid, sehingga partikel-partikel tersebut dapat saling menggumpal. Setelah terbentuk flok-flok berukuran besar, air limbah dialirkan ke bak flokulasi, di mana dilakukan pengadukan lambat (*slow stirring*). Tujuan pengadukan ini agar flok yang telah terbentuk untuk saling bertumbukan secara halus dan akhirnya mengendap secara perlahan di unit pengendapan berikutnya.

3) *Sedimentation Tank* (Bak Pengendapan)

Unit sedimentasi (*clarifier*) berfungsi untuk mengendapkan partikel tersuspensi yang telah mengalami proses koagulasi dan flokulasi sebelumnya. Dalam sistem ini, partikel-partikel yang terbentuk dari flokulasi akan dipisahkan dari air limbah berdasarkan gaya gravitasi, sehingga kandungan TSS (*Total Suspended Solids*) dapat dikurangi secara signifikan.

Pada desain yang digunakan oleh Perwira et al. (2022), jenis sedimentasi yang diterapkan adalah tipe horizontal, di mana efektivitas proses pengendapan sangat dipengaruhi oleh laju limpasan permukaan (*overflow rate/Vo*). Dalam perancangannya, terdapat beberapa asumsi yang digunakan untuk menggambarkan perilaku aliran dan pergerakan partikel di dalam bak sedimentasi, yaitu:

- a. Partikel serta vektor kecepatan dianggap tersebar merata pada penampang lintang bak, yang dipengaruhi oleh zona masuk (*inlet zone*).
- b. Aliran cairan bergerak secara horizontal sepanjang panjang bak, mengikuti prinsip aliran *plug flow* (aliran searah di mana partikel bergerak bersama secara paralel dan tidak bercampur).
- c. Partikel yang memiliki kecepatan mengendap lebih besar dari kecepatan horizontal aliran akan mengendap dan dikeluarkan dari sistem melalui dasar bak.

4) *Chlorination Tank* (Bak Klorinasi/Desinfeksi)

Air hasil sedimentasi kemudian dialirkan ke bak klorinasi untuk disinfeksi menggunakan larutan $\text{Cl}_2/\text{NaOCl}/\text{Ca}(\text{OCl})_2$. Konsentrasi dosis yang direncanakan adalah 1,58 mg/L, dengan efisiensi 65% dan residual chlorine sebesar 0,4 mg/L. Reaksi ini membunuh mikroorganisme patogen seperti bakteri koliform.

5) *Sump* (Bak Penampung Akhir)

Setelah proses desinfeksi, air limbah ditampung di sump sebagai *buffer tank* sebelum akhirnya dibuang ke badan air atau digunakan kembali sesuai izin.

Proses pengolahan ini mengandalkan pendekatan fisika-kimia, dengan efisiensi pengurangan polutan seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solids*).

Pada debit limbah rumah sakit sebesar 60 m³/hari, hasil pengolahan menunjukkan nilai BOD sebesar 44,87 mg/L, COD 19,24 mg/L, dan TSS 56,68 mg/L, yang semuanya berada dalam ambang baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Rumah Sakit.

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem IPAL dengan pendekatan fisika-kimia dapat menjadi alternatif pengolahan air limbah rumah sakit yang efektif dan sesuai dengan regulasi, khususnya untuk rumah sakit dengan karakteristik limbah yang tinggi kandungan bahan organik dan mikroorganisme patogen.

3.3 *Greywater*

Greywater merupakan bagian yang cukup besar dari limbah rumah tangga, yang terdiri dari air limbah dari wastafel dapur, *shower*, *laundry*, dan wastafel cuci tangan (Khajvand, 2022).

3.3.1 Karakteristik *Greywater* Rumah Sakit

Greywater memiliki komposisi yang kompleks, tergantung pada sumber dan aktivitas yang menghasilkan air limbah tersebut. Menurut Khajvand (2022), *greywater* diklasifikasikan menjadi dua yaitu *light greywater* dan *dark greywater*. *Light greywater* adalah limbah yang berasal dari *shower*, wastafel, dan kamar mandi yang polutannya lebih sedikit serta mudah diolah. Sementara *dark greywater* adalah limbah yang berasal dari mesin cuci, dapur, wastafel dapur, dimana mengandung sabun, pemutih, minyak, deterjen, serta senyawa *non-biodegradable*.

Greywater memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung pada sumbernya, seperti dari dapur, *laundry* atau kamar mandi. Faktor lain yang memengaruhi komposisi *greywater* antara lain adalah kualitas air bersih yang digunakan, jenis jaringan distribusi air (struktur dan usia pipa, dan kebiasaan aktivitas yang dilakukan di rumah sakit).

Greywater mengandung berbagai macam polutan, termasuk padatan tersuspensi dan terlarut, senyawa alkali dan asam, lemak, minyak, serta *grease*. Logam berat, nitrat, fosfat, dan senyawa organik xenobiotik (XOCs) juga telah dilaporkan sebagai kontaminan. Surfaktan merupakan senyawa kimia utama dari bahan pembersih dalam *greywater* (Widiastuti et al. 2008; Rakesh et al. 2020). Limbah *greywater* juga mengandung logam seperti natrium, kalsium, kalium, sulfur, magnesium, dan aluminium (Palmquist & Hanæus 2005). Selain itu, *greywater* telah ditemukan mengandung mikroorganisme, mikroba biologis, produk farmasi, produk perawatan kesehatan, serta pewarna (*dyes*) (Oteng-Peprah et al. 2018). Kehadiran berbagai zat tersebut dalam *greywater* menunjukkan kompleksitas dari komposisi *greywater*.

3.3.2 Potensi Pengolahan dan Pemanfaatan Kembali *Greywater*

Daur ulang air limbah merupakan proses pemrosesan air buangan yang berasal dari rumah tangga, kelompok pengguna dalam jumlah besar dan penggunaan air lainnya sehingga dapat digunakan kembali sesuai keperluan (Yudistira et al, 2016). Karena tidak bercampur dengan kotoran manusia serta memiliki tingkat kontaminasi patogen dan nitrogen yang rendah, *greywater* telah mendapatkan perhatian lebih dalam beberapa dekade terakhir untuk didaur ulang dan digunakan kembali (Khajvand, 2022). Pemanfaatan air daur ulang (*recycled water*) dapat meliputi berbagai kebutuhan, seperti *flushing* toilet, *supplying* sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC), serta irigasi (EDGE Building, 2024). Namun demikian, berdasarkan Permenkes No. 40 Tahun 2022, sistem daur ulang air limbah (*recycling system*) hanya diperbolehkan untuk digunakan pada keperluan penggelontoran (*flushing*) dan penyiraman taman.

Menurut EDGE Building (2024), dalam penerapan sistem daur ulang air, penerapan sistem perpipaan ganda (*dual piping system*) sangat dianjurkan untuk memisahkan air daur ulang dari saluran pasokan utama.

Adapun standar Standar kualitas air hasil olahan untuk toilet dan *urinal flushing*, yaitu *Health Canada Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Toilet and Urinal Flushing* yang dapat dilihat pada **Tabel 3.5**:

Tabel 3.5 Standar Kualitas Air Hasil Olahan (*Reclaimed Water*) untuk Toilet dan *Urinal Flushing*

Parameter	Satuan	Kualitas Air Parameter (Maksimum)
BOD ₅	mg/L	≤ 20
TSS ^b	mg/L	≤ 20
Kekeruhan ^b	NTU	≤ 5
<i>Escherichia coli</i> ^c	CFU/100 mL	≤ 200
<i>Thermotolerant coliform</i> ^c	CFU/100 mL	≤ 200
<i>Total Chlorine Residual</i> ^d	mg/L	≥ 0,5
Catatan: ^a Kecuali dinyatakan lain, batas kualitas yang direkomendasikan berlaku untuk air reklamasi pada titik keluaran dari fasilitas pengolahan atau unit pengolahan. ^b Hanya salah satu dari TSS dan kekeruhan yang perlu dipantau dalam suatu sistem tertentu. ^c Hanya salah satu dari <i>Escherichia coli</i> dan koliform termotoleran yang perlu dipantau dalam suatu sistem tertentu. ^d Diukur pada titik di mana efluen yang telah diolah masuk ke dalam sistem distribusi/ <i>plumbing</i> .		

Sumber: *Health Canada, 2010*

3.3.3 Studi Terdahulu Daur Ulang *Greywater*

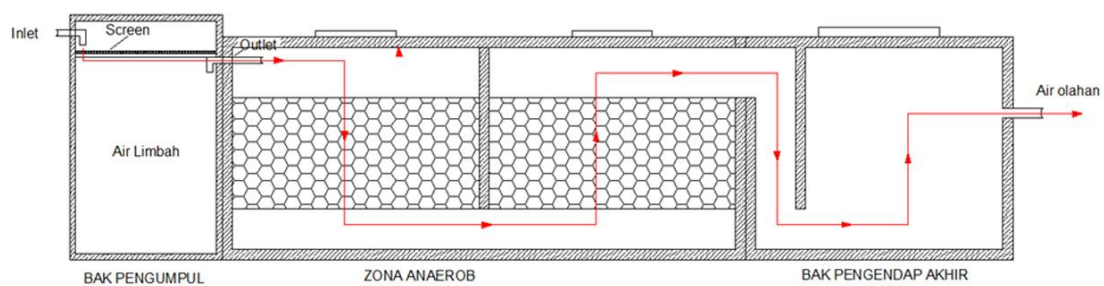
1. Daur Ulang *Greywater* Rumah Sakit Pendidikan Universitas Tanjungpura

Bestari dkk (2017) melakukan penelitian berjudul “Daur Ulang *Greywater* untuk Keperluan Siram WC dan Urinal pada Rumah Sakit Pendidikan Universitas Tanjungpura”. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem daur ulang air limbah domestik (*greywater*) guna dimanfaatkan kembali sebagai air *flushing* WC dan urinal di gedung rumah sakit. Adapun sekitar 60% air buangan rumah tangga merupakan *greywater* yang berpotensi besar dalam penghematan air jika air tersebut dapat digunakan kembali.

Perencanaan sistem daur ulang *greywater* dimulai melalui studi literatur dan pengumpulan data yang diperlukan. Data tersebut kemudian dianalisis untuk merancang sistem yang meliputi pengumpulan air limbah hingga ke alat plambing. Sumber limbah domestik (*greywater*) yang dikumpulkan meliputi dari wastafel, keran, *shower*, dan mesin cuci. Air tersebut kemudian dialirkan menuju IPAL *greywater* dan didistribusikan ke setiap WC dan urinal untuk keperluan *flushing*.

Hasil analisis menunjukkan kebutuhan air untuk *flushing* sebesar 230 liter/menit (3,8 liter/detik) atau setara 170 FU (*Fixture Unit*). Sementara itu, jumlah *greywater* akan diolah didapatkan sebesar 250 liter/menit (360 m³/hari) dari total 196 FU, sehingga, tersedia kelebihan pasokan *greywater* sebesar 20 liter/menit yang cukup untuk memenuhi kebutuhan *flushing*.

Sistem perpipaan dirancang secara terpisah antara saluran *blackwater* dan *greywater*, dengan menggunakan pipa plastik PVC (*Polyvinyl Chlorid*). Adapun desain IPAL *greywater* RS Universitas Tanjungpura yang dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3.11 Desain IPAL *Greywater* RS Universitas Tanjungpura

Sumber: Bestari dkk, 2017

Greywater dialirkan secara gravitasi menuju bak pengumpul yang dilengkapi *screen* untuk menyaring sampah atau kotoran. Air kemudian diarahkan ke unit biofilter anaerobik. Pemilihan jenis pengolahan tersebut karena operasinya mudah, tidak menggunakan bahan kimia dan tidak menggunakan banyak energi. Proses ini cocok untuk mengolah limbah dengan kapasitas yang tidak terlalu besar. Biofilter anaerobik ini terdiri dari 2 ruangan berisi media plastik tipe sarang tawon, yang berfungsi sebagai tempat tumbuh biofilm mikroorganisme. Pada permukaan media inilah akan tumbuh lapisan film mikroorganisme. Mikroorganisme ini menguraikan zat organik dalam air limbah. Kemudian, air limpasan dari reaktor biofilter anaerobik dialirkan ke bak pengendap akhir. Bak pengendap akhir ini merupakan bagian terakhir dari IPAL *greywater* sebelum ditampung di tangki penampung air bawah. Pada bak pengendap akhir ini terjadi penurunan 30% BOD menjadi 9 mg/l, 30% COD menjadi 17 mg/l, 30% TSS menjadi 7 mg/l, 20% NH₃N menjadi 7 mg/l, dan 20% kandungan organik menjadi 27 mg/l.

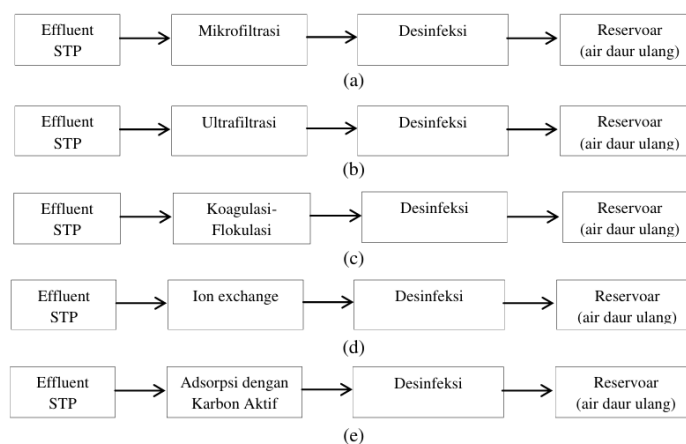
Hasil keluaran IPAL tersebut sudah dianggap mampu secara kualitas untuk memenuhi kebutuhan siram WC dan urinal dengan mencocokkan ke standar air kelas II hanya saja untuk BOD belum mampu mencapai target sebesar 3 mg/l. Akan tetapi menurut standar air (*greywater*) Kanada untuk kegiatan *flushing*, kandungan BOD justru telah memenuhi standarnya dengan nilai maksimal 20 mg/l.

2. Pemilihan Teknologi Daur Ulang *Effluent* Limbah Rumah Sakit

Yudistira dkk (2016) melakukan penelitian berjudul “Pemilihan Teknologi Daur Ulang *Effluent* Limbah Cair Rumah Sakit untuk Memenuhi Kebutuhan Air Bersih Pertamanan dan Kegiatan *Non-Potable*”. Penelitian ini bertujuan untuk memilih teknologi dan sistem pengolahan daur ulang air limbah rumah sakit yang sesuai dengan prinsip konservasi air.

Studi dilakukann di Rumah Sakit X Kota Pekanbaru, dengan pendekatan analisis alternatif teknologi pengolahan daur ulang berdasarkan metode pemeringkatan (*ranking*). Penilaian dilakukan dengan mengurutkan setiap alternatif teknologi sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dan dikalikan dengan bobot penilaian yang didasarkan pada kebutuhan perencanaan (Basyaib, 2005 dalam Yudistira, 2016). Teknologi pengolahan yang terpilih dari setiap kriteria adalah yang memiliki jumlah skor paling kecil.

Instalasi Daur Ulang (IDU) di Rumah Sakit X Kota dirancang untuk mengolah debit 100 m³/hari, yang berasal dari *effluent Sewage Treatment Plant* (STP). Pemilihan teknologi pengolahan daur ulang limbah cair dilakukan dengan membandingkan beberapa teknologi pengolahan yang mungkin diterapkan dengan beberapa indikator penentu, seperti mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, ion exchange, koagulasi-flokulasi, adsorpsi dengan karbon aktif, klorinasi, ozon, dan ultraviolet. Adapun alternatif pengolahan yang dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3.12 Pengolahan Alternatif Rumah Sakit X Pekanbaru

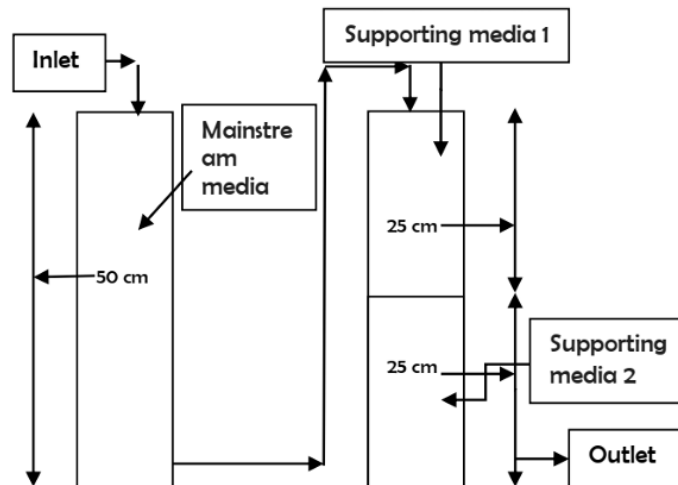
Sumber: Yudistira dkk, 2016

Dari hasil dari analisis, alternatif pengolahan B terpilih sebagai opsi terbaik, yaitu proses pengolahan menggunakan membran ultrafiltrasi, dengan skor terendah yaitu 10,0. Perencanaan sistem ini dilengkapi dengan *pre-treatment* menggunakan *cartridge filter* guna memperpanjang umur pakai membran, serta proses desinfeksi sebagai upaya untuk mengoptimalkan kondisi STP dalam mengurangi jumlah *total coliform*.

3. Studi Sistem Pemanfaatan Kembali Air Limbah *Greywater* dengan Filter

Bontinge *et al* (2021) melakukan penelitian berjudul, “*Study of Greywater Reuse System with Local Material Filter*”. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi potensi pemanfaatan *greywater* sebagai sumber air alternatif non-konsumsi melalui proses filtrasi menggunakan media. Hal ini didasari oleh meningkatnya kebutuhan air bersih di kota besar, berkurangnya ketersediaan air tanah, serta peluang pemanfaatan *greywater* yang jumlahnya melimpah sekitar 60% dari total air domestik.

Greywater dalam penelitian ini diambil dari Nyutran, Taman Siswa, Mergangsan, Yogyakarta, yang terdiri dari limbah cucian, kamar mandi, dan dapur. Sampel diolah melalui sistem filtrasi dengan media lokal berupa zeolit, arang aktif, dan pasir aktif dengan variasi ukuran *mesh* dan kombinasi lapisan media (**Gambar 3.13**). Masing-masing percobaan menggunakan ketebalan media 100 cm yang dibagi dalam lapisan utama (50 cm) dan lapisan pendukung (25 cm). Debit aliran ditetapkan pada 24,55 ml/m²/menit dengan sistem gravitasi.



Gambar 3.13 Skema Percobaan menggunakan Tiga Kombinasi Berbeda (Zeolit Aktif-Pasir Aktif)

Sumber: Bontinge et al, 2021

Parameter yang diuji mengacu pada PP No. 82 Tahun 2001, yaitu BOD, COD, TSS, pH, dan deterjen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi media tertentu mampu menurunkan konsentrasi polutan secara signifikan. Filter D memberikan kinerja terbaik dengan efisiensi penurunan BOD sebesar 88% dan COD sebesar 89%, sedangkan Filter A menunjukkan penurunan TSS hingga 99% dan deterjen hingga 98%. Meskipun demikian, parameter BOD dan COD pada efluen masih belum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan, sedangkan parameter TSS, pH, dan deterjen sudah sesuai dengan standar.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa sistem filtrasi berbasis media lokal memiliki potensi besar untuk mengurangi pencemar dalam *greywater* sehingga dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-konsumsi seperti penyiraman atau *flushing* toilet. Namun, diperlukan pengembangan lebih lanjut, misalnya dengan penambahan unit aerasi, untuk meningkatkan penyisihan BOD dan COD agar kualitas efluen lebih optimal.

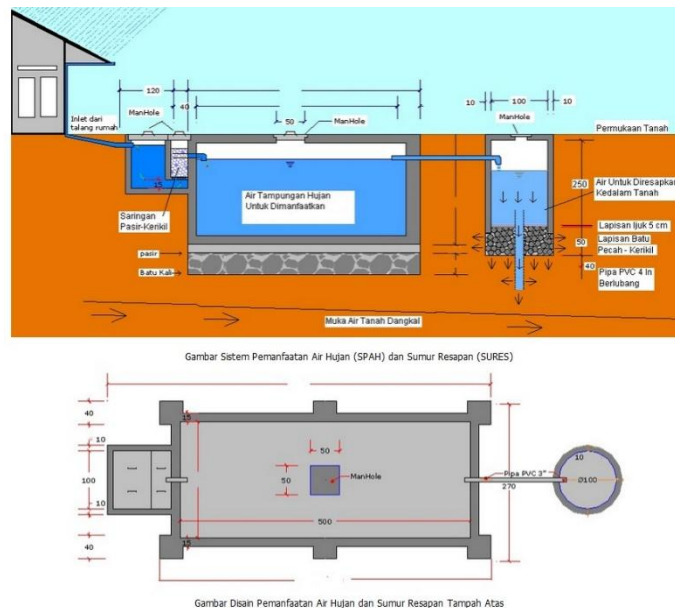
3.4 Limpasan Air Hujan

Air hujan merupakan salah satu sumber air baku yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan non-konsumsi (tidak layak minum), terutama di wilayah dengan keterbatasan air tanah maupun air permukaan (Djalle *et al*, 2022).

Pemanenan Air Hujan (PAH) merupakan metode atau teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan air hujan yang berasal dari atap bangunan, permukaan tanah, jalan atau perbukitan batu ke dalam tangka atau waduk (Djalle *et al*, 2022). Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2009 tentang Pemanfaatan Air Hujan, setiap penanggung jawab bangunan wajib melakukan pemanfaatan air hujan.

Selain itu, pemanfaatan air hujan merupakan salah satu konsep *Green Building* kategori *Water Conservation* (WAC). Menurut Permenkes No. 40 Tahun 2022, prinsip dasar *Water Conservation* (WAC) adalah mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam tubuh bumi. Oleh karena itu, curah hujan yang berlebihan pada musim hujan tidak dibiarkan mengalir ke laut, melainkan ditampung dalam suatu wadah yang memungkinkan air kembali meresap ke dalam tanah (*groundwater recharge*).

Pemanenan Air Hujan termasuk ke dalam aspek penilaian *Green Hospital* yang diatur Excellency in Design for Greater Efficiency (EDGE), khususnya pada penghematan air. Adapun skema Sistem Pemanenan Air Hujan (SPA) dan Sumur Resapan (SURES) dapat dilihat pada **Gambar 3.14** berikut:



Gambar 3.14 Sistem Pemanenan Air Hujan (SPA) dan Sumur Resapan (SURES)

Sumber: Djalle et al, 2022

Menurut Djalle *et al* (2022), Sistem Pemanenan Air Hujan (SPA) yang dapat diterapkan terdiri dari dua jenis, yaitu sistem atap dan sistem permukaan tanah. Sistem atap (*roof system*) merupakan sistem yang menggunakan atap rumah atau bangunan secara individual, memungkinkan air yang akan terkumpul tidak terlalu signifikan. Namun, apabila diterapkan secara massal maka air yang terkumpul akan sangat melimpah.

Sementara itu, sistem permukaan tanah (*land catchment area*) merupakan sistem yang lebih banyak mengumpulkan air hujan dari daerah tangkapan yang lebih luas. Air hujan yang terkumpul dengan sistem ini lebih cocok digunakan untuk pertanian karena kualitas air yang sangat rendah. Air dapat ditampung dalam embung (kolam buatan atau waduk kecil), namun ada kemungkinan air yang tertampung akan meresap ke dalam tanah.

3.4.1 Karakteristik Air Hujan

Menurut Pusat Krisis Kesehatan Kementerian Kesehatan RI tahun 2017, kandungan air hujan termasuk ke dalam zat yang bersifat kimiawi. Beberapa kandungan zat atau bahan kimia yang terdapat pada air hujan antara lain sebagai berikut:

1. Air hujan memiliki kandungan utama, yaitu uap air (H_2O). Kandungan uap air ini merupakan yang paling dominan dengan persentase sebesar 99,9% dan sisanya tergantung pada lapisan atmosfer yang dilalui.
2. Kandungan zat kimia yang terdapat pada air hujan adalah asam nitrat. Kandungan asam nitrat yang berlebihan tidak baik dan bisa membahayakan. Air hujan normal memiliki pH 6.
3. Zat karbon yang ada pada air hujan adalah silika dan *fly ash*. Silika dan *fly ash* merupakan zat debu yang mengikat molekul-molekul pada air hingga terbentuk hujan.
4. Air hujan dapat mengandung garam tetapi relatif. Hal ini dikarenakan air hujan yang mengandung banyak kandungan garam adalah hujan yang terjadi di daerah pantai.

3.4.2 Kriteria Curah Hujan di Indonesia

Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang jatuh pada tempat yang datar dengan asumsi tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1 mm diartikan sebagai volume air setara 1 liter yang tertampung pada bidang seluas 1 m² tanpa adanya kehilangan. Adapun intensitas hujan didefinisikan sebagai laju atau besarnya curah hujan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu, umumnya dinyatakan dalam satuan milimeter per jam (mm/jam). Dalam praktik hidrologi, intensitas hujan sering digunakan sebagai dasar penentuan kriteria curah hujan, dengan satuan yang sering dipakai di Indonesia berupa milimeter per jam (mm/jam) maupun milimeter per hari (mm/hari) (Setiawan, 2015).

Tabel 3.6 Kriteria Intensitas Curah Hujan di Indonesia

Kategori	Keterangan
Ringan	1 – 5 mm/jam atau 5 – 20 mm/hari
Sedang	5 – 10 mm/jam atau 20 – 50 mm/hari
Lebat	10 – 20 mm/jam atau 50 – 100 mm/hari
Sangat Lebat	> 20 mm/jam atau > 100 mm/hari

Sumber: BMKG, 2010

3.4.3 Teknologi dan Strategi Potensial Pemanenan Air Hujan (PAH)

Berikut adalah teknologi atau pendekatan Pemanenan Air Hujan (PAH) menurut Excellency in Design for Greater Efficiency (EDGE) sebagai berikut:

1. Pertimbangan utama ketika merancang Sistem Pemanenan Air Hujan (SPA) adalah ukuran tangki penyimpanan yang memadai. Dua faktor utama yang perlu dipertimbangkan ketika menentukan ukuran tangki adalah tingkat pasokan/*supply* (data curah hujan lokal dan area pengumpulan) dan kebutuhan/*demand* (penggunaan air per hari).
2. Sistem perpipaan ganda harus digunakan untuk memisahkan air hujan dari saluran utama dan untuk mendistribusikan air yang terkumpul untuk digunakan di lokasi proyek (seperti *flushing* toilet, mesin cuci atau *shower*).
5. Air yang dikumpulkan harus sesuai dengan persyaratan kode kesehatan dan sanitasi lokal atau internasional.

3.4.4 Studi Terdahulu Pemanenan Air Hujan (PAH)

1. Perencanaan dan Desain *Rainwater Harvesting System* di Gedung Asrama Putri Untirta Sindangsari

Wigati, R. *et al* (2021) melakukan studi berjudul “*Rainwater Harvesting System Planning and Design (Case Study: Female Dormitory Building, Campus E, Untirta Sindangsari)*”, yang bertujuan untuk merancang *Rainwater Harvesting System* (RWHS) guna memenuhi sebagian kebutuhan air bersih gedung asrama putri, mengurangi limpasan saat musim hujan, serta memanfaatkan air hujan pada musim kemarau.

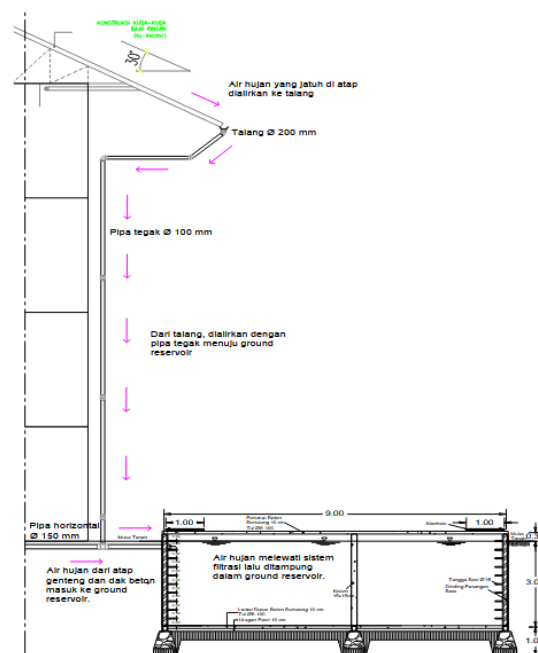
Gedung asrama putri kampus E Sindangsari Untirta dihuni 161 orang. Dalam studi ini, dilakukan perhitungan menggunakan metode aritmatika untuk menentukan luas tangkapan air hujan, metode F. J. Mock untuk menentukan curah hujan andalan 90%, teori Mononobe untuk analisis intensitas hujan, dan serta perhitungan volume reservoir berdasarkan Permen PU No. 01/PRT/M/2009.

Data curah hujan yang digunakan merupakan data bulanan dari lima pos hujan terdekat di lokasi penelitian selama periode 2010-2019. Hasil

pengujian kualitas air hujan terhadap parameter pH dan TDS (*Total Dissolved Solid*) menunjukkan bahwa air hujan memenuhi persyaratan parameter fisik kualitas air untuk keperluan higiene sanitasi, sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017.

Adapun spesifikasi *Rainwater Harvesting System* (RWHS) untuk gedung asrama putri kampus E Sidangsari Untirta dengan luas atap tangkapan 1.083 m², volume air hujan yang dapat dipanen: 3.124,45 m³/tahun, dan kebutuhan air bersih gedung 7.051,8 m³/tahun adalah sebagai berikut:

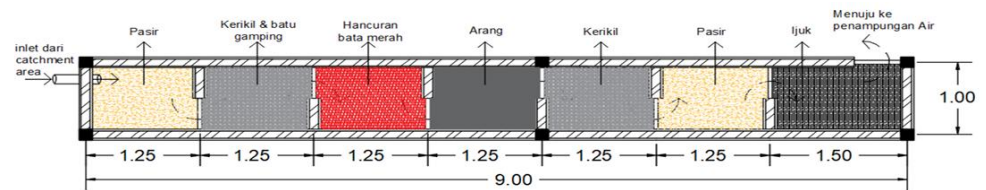
- Komponen Sistem: Talang setengah lingkaran Ø250 mm, pipa tegak PVC Ø100 mm, pipa horizontal PVC Ø150 mm. Adapun skema *Rainwater Harvesting System* (RWHS) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.15**.



Gambar 3. 15 Skema *Rainwater Harvesting System* Asrama Putri Campus E Sindangsari Untirta

Sumber: Wigati et. al., 2021

- *Ground Reservoir*: Kapasitas 324 m³, dilengkapi sistem filtrasi 7 tahap (pasir, kerikil, bata merah, arang, sabut kelapa, dan lainnya) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.16 Sistem Filtrasi *Rainwater Harvesting System*
Asrama Putri Campus E Sindangsari Untirta**

Sumber: Wigati et. al., 2021

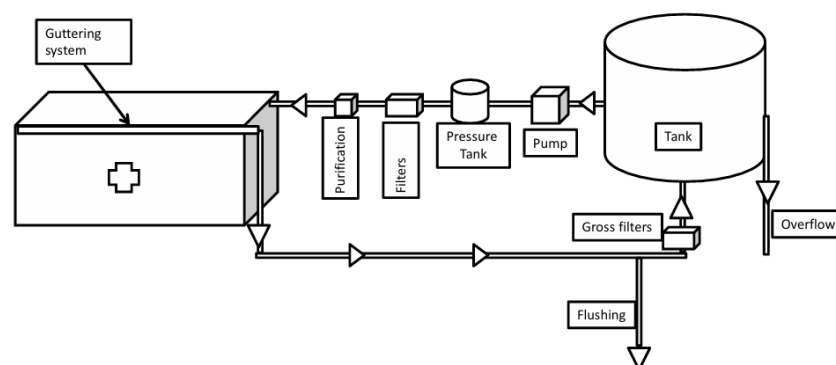
Hasil dari studi menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghemat pemakaian air bersih hingga 41,12% per bulan. *Ground reservoir* yang dirancang dapat menyuplai sekitar 40% dari total kebutuhan air bulanan gedung. Total biaya pembangunan sistem sebesar Rp 288.471.000. Oleh karena itu, *Rainwater Harvesting System* (RWHS) yang dirancang dinyatakan layak untuk diimplementasikan di Gedung Asrama Putri Untirta sebagai bagian dari konsep *Smart & Green Campus*. Sistem ini memberikan kontribusi signifikan terhadap penghematan air bersih dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

2. Evaluasi Potensi Penggunaan *Rainwater Harvesting System* dengan Kombinasi *Demand-Side* untuk Rumah Sakit Besar

Fulton, L. V. (2018) melakukan penelitian berjudul “*A Simulation of Rainwater Harvesting Design and Demand-Side Controls for Large Hospitals*”, yang bertujuan mengevaluasi potensi penggunaan sistem penampungan air hujan (*Rainwater Harvesting/RWH*) yang dikombinasikan dengan intervensi sisi permintaan/*demand*, seperti pemasangan perangkat *low-flow* dan penerapan *xeriscaping* untuk mengurangi ketergantungan pada sumber air eksternal di rumah sakit besar. Penelitian ini menggunakan data curah hujan harian selama 71 tahun dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dan data konsumsi air rumah sakit dari *Commercial Buildings Energy Consumption Survey* (CBECS). Simulasi dilakukan dengan pendekatan *Design of Experiments* (DOE) yang menguji berbagai parameter, seperti ukuran bangunan, persentase atap yang digunakan untuk penampungan, kapasitas

tangki penampungan, dan rata-rata permintaan air per satuan luas. Model neraca air dikembangkan untuk menghitung volume air yang ditampung setiap hari dengan mempertimbangkan efisiensi penangkapan air hujan (75%-90%) serta fluktuasi curah hujan. Selain itu, penelitian ini juga menguji beberapa *time series models*, termasuk *Neural Network model*, untuk memprediksi curah hujan dan mengevaluasi ketahanan sistem RWH dalam kondisi variabilitas cuaca yang tinggi.

Penelitian ini menggambarkan skema sistem RWH komersial (**Gambar 3.17**) yang umum digunakan. Air hujan yang jatuh pada area tangkapan, seperti atap dan bangunan tambahan, dialirkan melalui sistem talang yang dilengkapi penyaring kotoran (*screens*) sebelum disimpan dalam tangki penampungan (*cistern*). Sebagian air hujan dibuang terlebih dahulu untuk menghilangkan kontaminan yang menumpuk di permukaan atap. Air yang tersaring kemudian dipompa ke *pressure tank* dan dapat melewati filtrasi tambahan (*additional filtration*). Saat dibutuhkan, air dialirkan melalui filter dengan ukuran pori yang semakin kecil hingga tahap pemurnian (*purification*), seperti sterilisasi menggunakan sinar ultraviolet. Kelebihan air disalurkan ke tangki non-potabel untuk keperluan irigasi tanaman.



Gambar 3.17 Skema Rainwater Harvesting System

Sumber: Fulton, L. V., 2018

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan konfigurasi desain yang optimal, rumah sakit besar berpotensi mengurangi penggunaan air eksternal hingga sekitar 25% secara konservatif, dan dalam skenario terbaik,

pemanenan air hujan dapat menggantikan hingga 90% dari kebutuhan air eksternal. Analisis ini mengungkapkan bahwa persentase atap yang dimanfaatkan untuk RWH memiliki pengaruh signifikan terhadap keandalan sistem, sementara pengurangan permintaan air merupakan faktor utama dalam mengoptimalkan pengurangan ketergantungan pada sumber air eksternal.

3. Evaluasi Kapasitas Drainase di Kompleks Griya Rumbai Lestari, Pekanbaru

Sherlina dan Annisa (2022) melakukan studi berjudul “Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase di Kompleks Griya Rumbai Lestari, Pekanbaru dengan EPA SWMM 5.2”. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas sistem drainase dalam menampung limpasan air hujan, serta merancang solusi teknis untuk mengatasi genangan dengan pendekatan konservasi air, yakni sistem *Rainwater Harvesting* (PAH) dan sumur resapan.

Penelitian dilakukan di kawasan permukiman padat Griya Rumbai Lestari, Pekanbaru, yang kerap mengalami genangan karena tingginya alih fungsi lahan dan luas area kedap air (impermeable) sebesar 81,1%. Simulasi sistem drainase dilakukan menggunakan perangkat lunak EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) 5.2, dengan input berupa data luas tangkapan, kemiringan lahan, jenis permukaan, koefisien Manning, data infiltrasi tanah, serta curah hujan maksimum harian selama 20 tahun terakhir (2002–2021) dari BWSS III Riau.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa meskipun debit saluran melebihi debit puncak limpasan, 7 dari 8 *subcatchment* masih mengalami banjir disebabkan dua faktor utama, yaitu elevasi *outfall* (saluran pembuang) lebih tinggi dari saluran hulu dan minimnya area infiltrasi. Volume genangan tertinggi terjadi di *subcatchment* 6 dan 7, sebesar 123 m³ dengan durasi banjir hingga 9 jam.

Sebagai upaya konservasi dan pengendalian banjir, dirancanglah sistem *Rainwater Harvesting* dan sumur resapan di setiap *subscatchment*. Perhitungan kapasitas tangki dan sumur didasarkan pada hasil simulasi

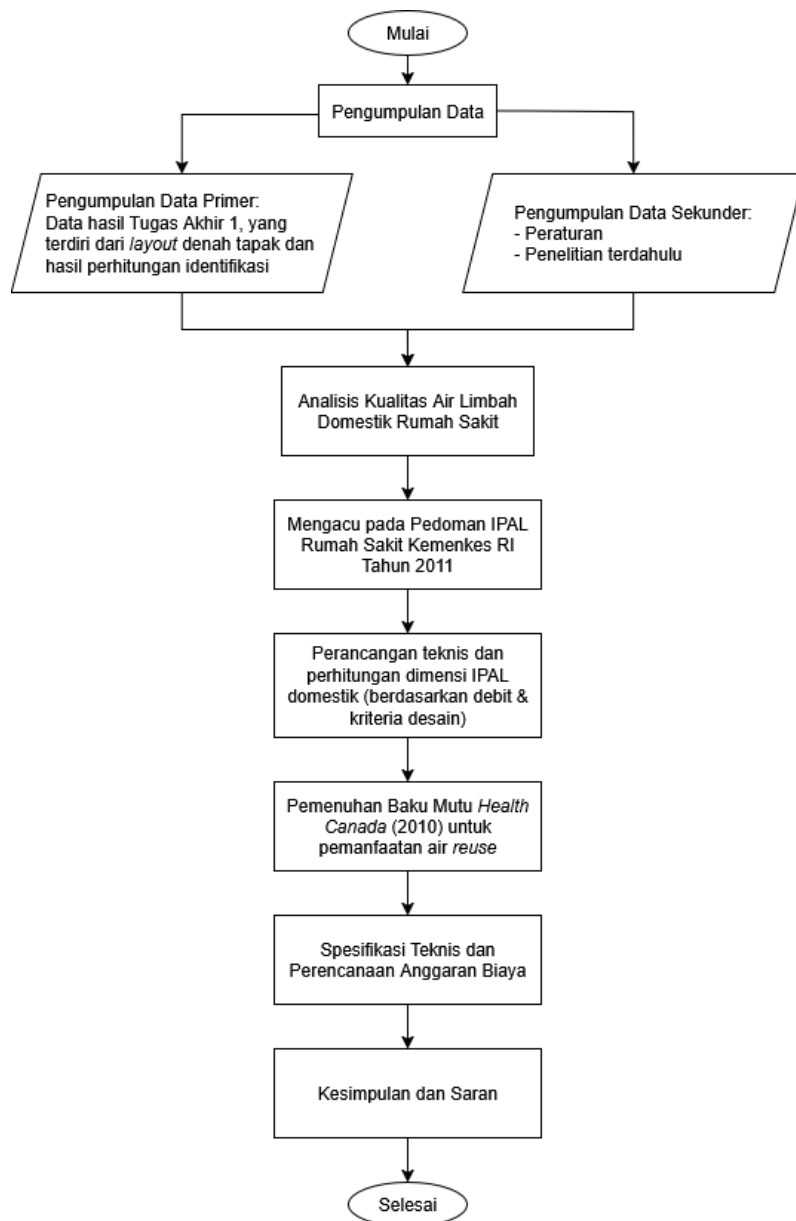
banjir, volume limpasan, dan data infiltrasi yang dihitung dengan metode Horton. PAH menggunakan tangki 1.000 liter per rumah, sumur resapan dirancang berbentuk silinder dari beton, berdiameter 1,5 m dan kedalaman 5-6 m. dalam *subcatchment* besar, satu sumur bisa digunakan bersama oleh dua rumah. Sehingga, penerapan sistem gabungan antara *Rainwater Harvesting* dan sumur resapan dalam studi ini menunjukkan efektivitas pendekatan konservasi air dalam mengurangi beban sistem drainase dan mencegah terjadinya genangan.

BAB IV

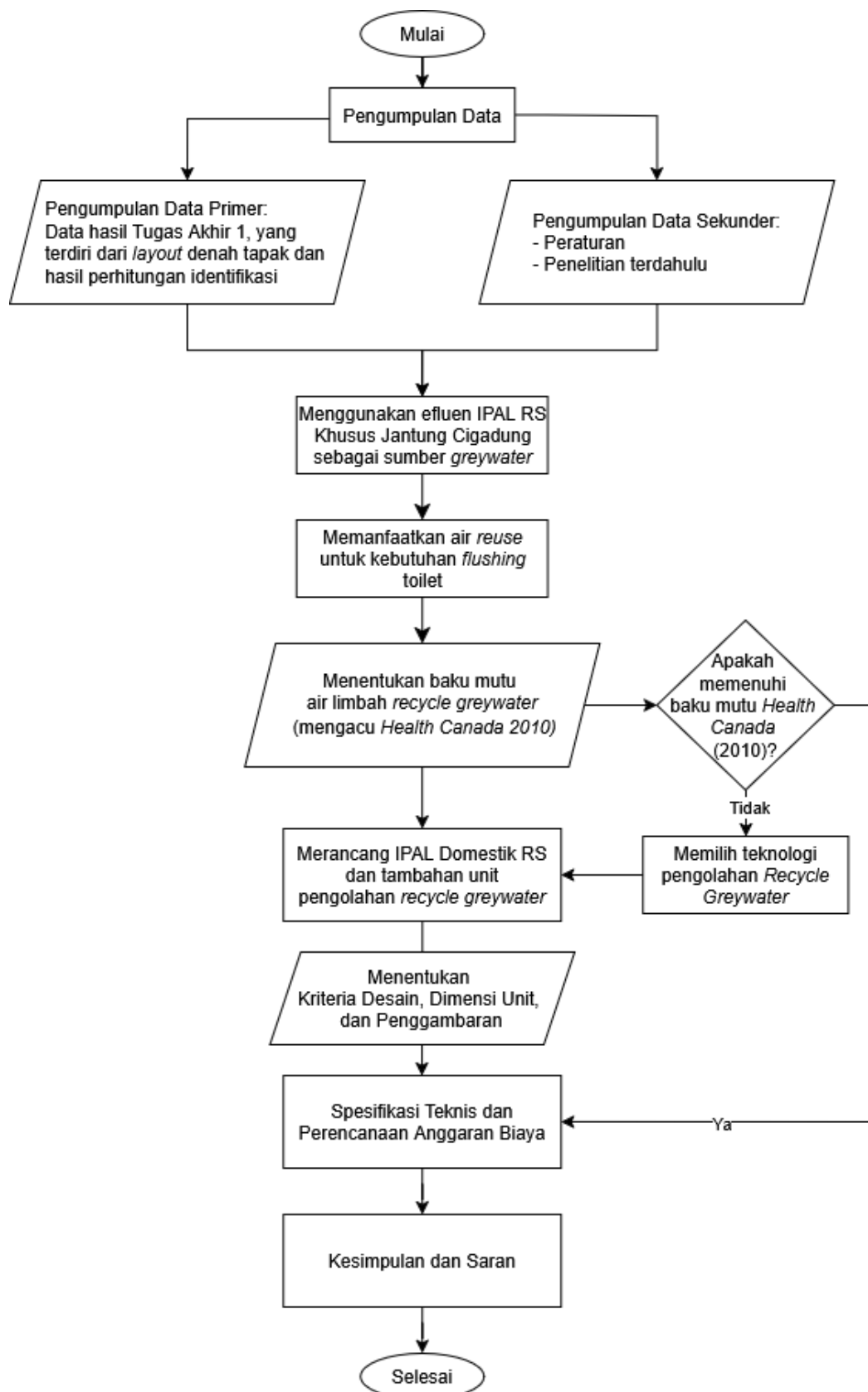
DASAR PERENCANAAN

4.1 Umum

Perencanaan yang digunakan dalam penyusunan sistem pengolahan air limbah domestik di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dilakukan melalui tahapan-tahapan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut:



Gambar 4.1 Diagram Alir Perencanaan Air Limbah Domestik Rumah Sakit



Gambar 4.2 Diagram Alir Pengolahan *Recycle Greywater* Rumah Sakit

Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik rumah sakit dilakukan secara sistematis sesuai dengan tahapan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**, dimulai dari pengumpulan data hingga perancangan akhir. Data primer berasal dari data Tugas Akhir 1, seperti estimasi timbulan limbah dan *layout* tapak, sedangkan data sekunder berasal dari peraturan teknis dan studi terdahulu.

Pemilihan teknologi pengolahan IPAL ini mengacu pada Pedoman Teknis IPAL Rumah Sakit Kemenkes RI (2011). Dalam pedoman tersebut, standar kualitas efluen merujuk pada Kep-58/MENLH/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Rumah Sakit, namun pada penelitian ini digunakan regulasi Permen LHK No. 68 Tahun 2016 sebagai acuan baku mutu.

Tujuan utama dari sistem pengolahan ini adalah agar efluen IPAL tidak hanya memenuhi baku mutu limbah domestik, tetapi juga dapat dimanfaatkan kembali (*reuse*) untuk kebutuhan *flushing* toilet. Oleh karena itu, kualitas efluen dievaluasi kembali dengan mengacu pada standar *reuse* dari *Health Canada Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Toilet and Urinal Flushing* (2010), yang memiliki ambang batas parameter lebih ketat dibandingkan baku mutu domestik.

Apabila efluen IPAL memenuhi standar kualitas untuk *reuse*, maka pengolahan tambahan tidak diperlukan. Namun, jika belum memenuhi, maka direncanakan unit pengolahan lanjutan. Tahapan perencanaan sistem *recycle greywater* ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Sistem ini berfungsi untuk meningkatkan kualitas efluen IPAL agar sesuai dengan standar *reuse* yang dipersyaratkan, sehingga dapat digunakan secara aman di lingkungan rumah sakit.

Setelah teknologi ditentukan, dilakukan perancangan teknis yang meliputi penetapan kriteria desain, perhitungan dimensi unit pengolahan, serta penyusunan gambar teknis menggunakan *software* AutoCAD. Tahapan diakhiri dengan penyusunan spesifikasi teknis dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Hasil akhir adalah kesimpulan dan saran yang diharapkan dapat memberikan masukan dalam sistem pengolahan air limbah di lingkungan rumah sakit.

Untuk mengetahui parameter efluen yang perlu diolah lebih lanjut, perencanaan ini menggunakan dua standar, yaitu baku mutu efluen berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016 dan standar kualitas air *reuse* dari *Health Canada*

Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Toilet and Urinal Flushing (2010), yang disajikan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Standar Kualitas Air *Reuse*

Parameter	Satuan	Permen LHK No. 68 Tahun 2016*	<i>Health Canada</i> (2010)**
Ph	-	6 – 9	-
BOD	mg/L	30	≤ 20
COD	mg/L	100	-
TSS	mg/L	30	≤ 20
Minyak dan Lemak	mg/L	5	-
Amoniak	mg/L	10	-
<i>Total Coliform</i>	MPN/100 ml	3000	≤ 200
<i>Escherichia coli</i>	MPN/100 ml	-	≤ 200
<i>Turbidity</i>	NTU	-	≤ 5
<i>Total Chlorine residual</i>	mg/L	-	$\geq 0,5$
Catatan:			
* = Parameter untuk memenuhi baku mutu efluen IPAL Domestik			
** = Parameter untuk pemanfaatan kembali air <i>reuse</i> kebutuhan <i>Flushing Toilet</i>			

4.2 Karakteristik Air Limbah Domestik Rumah Sakit

Parameter air limbah yang digunakan dalam perencanaan sistem IPAL di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung diperoleh dari studi terdahulu yang relevan, yaitu dari penelitian pada rumah sakit lain.

Penggunaan data sekunder dilakukan karena rumah sakit yang menjadi objek studi adalah perencanaan arsitektural yang tidak beroperasi. Selain itu, pendekatan secara literatur dipilih untuk merepresentasikan kondisi air limbah rumah sakit pada umumnya. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam menilai efisiensi sistem pengolahan yang dibutuhkan, serta untuk

memastikan teknologi yang dipilih mampu menurunkan beban pencemar hingga memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku.

Berikut adalah perbandingan antara kualitas air limbah domestik pada beberapa rumah sakit dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Permen LHK No. 68 Tahun 2016 ditunjukkan pada **Tabel 4.2**:

Tabel 4.2 Perbandingan Parameter Kualitas Air Limbah Inlet Rumah Sakit dari berbagai Referensi

Referensi	Parameter						
	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	Minyak & Lemak (mg/L)	Amoniak (mg/L)	<i>Total Coliform</i> (MPN/100 ml)
Barus, B. R. (2019)	8	61,27	169,27	129	-	9	11600
Kasih, B. C., dkk (2023)	7,13	20,20	64,66	25,64	-	0,04	>11000
Sari, W. M. (2015)	7,52	48,20	97,85	171,00	-	-	-
Sukadewi, N. M., dkk (2020)	7,64	40,3	72,33	32	0,4	20,9	-
Pitriani, dkk (2022)	-	44,05	71,3	107,5	-	-	-
Baeti, M. K., dkk (2022)	-	70	160	44	0,6		>16000

Berdasarkan perbandingan parameter kualitas air limbah inlet dari berbagai rumah sakit (**Tabel 4.2**), didapatkan parameter-parameter utama yang akan menjadi fokus dalam pengolahan air limbah domestik rumah sakit. Konsentrasi yang digunakan adalah nilai maksimum dari masing-masing parameter, yang merepresentasikan tingkat pencemaran terburuk. Hasil perbandingan ini akan menjadi dasar dalam pemilihan teknologi IPAL.

Selanjutnya, untuk menentukan kebutuhan pengolahan terhadap parameter-parameter air limbah domestik, dilakukan perbandingan antara konsentrasi parameter inlet rumah sakit dengan baku mutu yang tercantum dalam Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

4.3 Pedoman Teknis IPAL Rumah Sakit

Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan RI Tahun 2011 secara khusus dirancang untuk kebutuhan rumah sakit. Pedoman ini memberikan arahan teknis menyeluruh, mulai dari perencanaan, perancangan, pelaksanaan, hingga operasional dan pemeliharaan sistem pengolahan. Salah satu sistem yang direkomendasikan adalah *biofilter anaerob-aerob*.

Teknologi ini memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dalam menyisihkan parameter pencemar utama dan telah banyak diterapkan pada fasilitas pelayanan kesehatan di Indonesia. Adapun keunggulan proses pengolahan air limbah dengan proses *biofilter anaerob-aerob* antara lain (Kemenkes RI, 2011):

1. Efisiensinya tinggi karena luas bidang kontak antara air limbah dengan mikroorganisme pada media filter menentukan penurunan zat pencemar. Proses ini tidak hanya mengurangi BOD, COD, dan *suspended solids* (SS), tetapi juga menurunkan deterjen (MBAS), amonium, serta fosfor. Kombinasi kondisi *anaerob* dan *aerob* memungkinkan pelepasan serta penyerapan kembali fosfor, sehingga pengurangan BOD dan fosfor menjadi lebih optimal, bahkan untuk air limbah dengan beban organik tinggi.

2. Sistem *biofilter* ini sangat sederhana, mudah dioperasikan, tidak memerlukan bahan kimia maupun energi besar, sehingga cocok untuk pengolahan dengan kapasitas sedang.
3. Dari sisi praktis, *biofilter anaerob-aerob* tidak membutuhkan lahan luas, biaya operasional rendah, menghasilkan lumpur lebih sedikit dibandingkan lumpur aktif, serta hanya membutuhkan suplai udara aerasi yang relatif kecil.

4.4 Kebutuhan Pengolahan berdasarkan Efisiensi Parameter Air Limbah

Berdasarkan Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan RI (2011), kriteria perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan proses *biofilter anaerob-aerob* meliputi perencanaan bak ekualisasi, bak pengendap awal, reaktor *biofilter anaerob*, reaktor *biofilter aerob*, bak pengendap akhir, dan desinfeksi. Sistem ini dirancang untuk menyisihkan berbagai parameter pencemar utama pada air limbah domestik rumah sakit, seperti BOD, COD, TSS, amonia, minyak & lemak, serta *total coliform*, sehingga hasil olahan memenuhi baku. Pada pedoman tersebut, baku mutu air limbah rumah sakit mengacu pada Kep-58/MENLH/1995, sementara dalam penelitian ini digunakan regulasi terbaru yaitu Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

Dengan mengacu pada karakteristik air limbah Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung, terdapat beberapa parameter yang melebihi ambang batas, seperti BOD, COD, TSS, amonia, dan *total coliform*, sehingga memerlukan pengolahan lebih lanjut. Pedoman ini juga menekankan pentingnya pemilihan media *biofilter* karena sangat memengaruhi efisiensi pengolahan. Media yang direkomendasikan adalah plastik tipe sarang tawon (*honeycomb*) dengan luas permukaan spesifik besar, porositas tinggi, ringan, tahan lama, dan mudah dibersihkan, sehingga dapat meningkatkan kinerja *biofilter* dalam menyisihkan beban pencemar. Namun, *biofilter anaerob-aerob* dalam pedoman ini dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan, sehingga rancangan IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung dapat disesuaikan dengan karakteristik air limbah yang ada.

4.4.1 Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung direncanakan secara berurutan mulai dari penanganan awal hingga pengolahan lanjutan sebelum efluen dilepas ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali.

Air limbah dari dapur/kantin terlebih dahulu melalui *grease trap* yang terintegrasi langsung dengan *kitchen sink*. Unit ini berfungsi memisahkan kandungan minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses biologis berikutnya.

Untuk air limbah dari toilet akan melalui *septic tank* dahulu lalu baru dialirkan ke bak kontrol. Sementara itu, untuk air wudhu dan *laundry* langsung dialirkan ke bak kontrol. Setelah itu, air limbah dikumpulkan pada bak ekualisasi yang berfungsi menstabilkan debit dan konsentrasi polutan agar beban ke unit berikutnya lebih merata.

Sebelum memasuki proses biologis, air limbah terlebih dahulu dialirkan ke bak netralisasi yang digunakan untuk mencampurkan air limbah domestik dengan pembubuh asam dan basa agar mencapai pH netral yang dikehendaki.

Tahap biologis dimulai pada reaktor *biofilter anaerob* yang diisi media *honeycomb* (sarang tawon) sebagai tempat melekatnya biomassa. Pada tahap ini, mikroorganisme *anaerob* akan menguraikan senyawa organik seperti BOD, COD, dan sebagian TSS tanpa memerlukan suplai oksigen. Efisiensi penyisihan pada unit ini mencapai 65–85% untuk BOD (Pedoman RS Kemenkes, 2011) dan 75–85% untuk COD (Qasim, 1985), dan 50% untuk TSS (Hariyani, 2018).

Selanjutnya, air limbah dialirkan ke reaktor *biofilter aerob* dengan proses *contact aeration*. Pada unit ini juga digunakan media *honeycomb* untuk meningkatkan area kontak antara mikroorganisme dan air limbah, sehingga proses degradasi menjadi lebih efisien. Udara dihembuskan ke reaktor untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme *aerob* yang mampu menurunkan sisa BOD, COD, serta menguraikan amonia melalui proses nitrifikasi. Efisiensi penyisihan pada tahap ini mencapai 80–95% untuk BOD (Pedoman RS Kemenkes, 2011) dan 99% untuk COD (Metcalf & Eddy, 2003).

Kemudian, air limbah domestik dialirkan ke bak pengendap yang berfungsi untuk mengendapkan padatan tersuspensi serta menurunkan beban organik. Pada tahap ini, penyisihan parameter dapat mencapai BOD & COD 40% dan TSS 65% (Metcalf & Eddy, 2003). Sebagai tahap akhir, air limbah domestik dialirkan ke unit desinfeksi menggunakan dosis klorin sesuai standar untuk menurunkan bakteri patogen termasuk *total coliform*, sehingga efluen hasil pengolahan memenuhi baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

Dengan kombinasi proses tersebut, sistem IPAL ini dirancang mampu menurunkan parameter utama seperti BOD, COD, TSS, amonia, minyak & lemak, serta *total coliform* hingga memenuhi baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

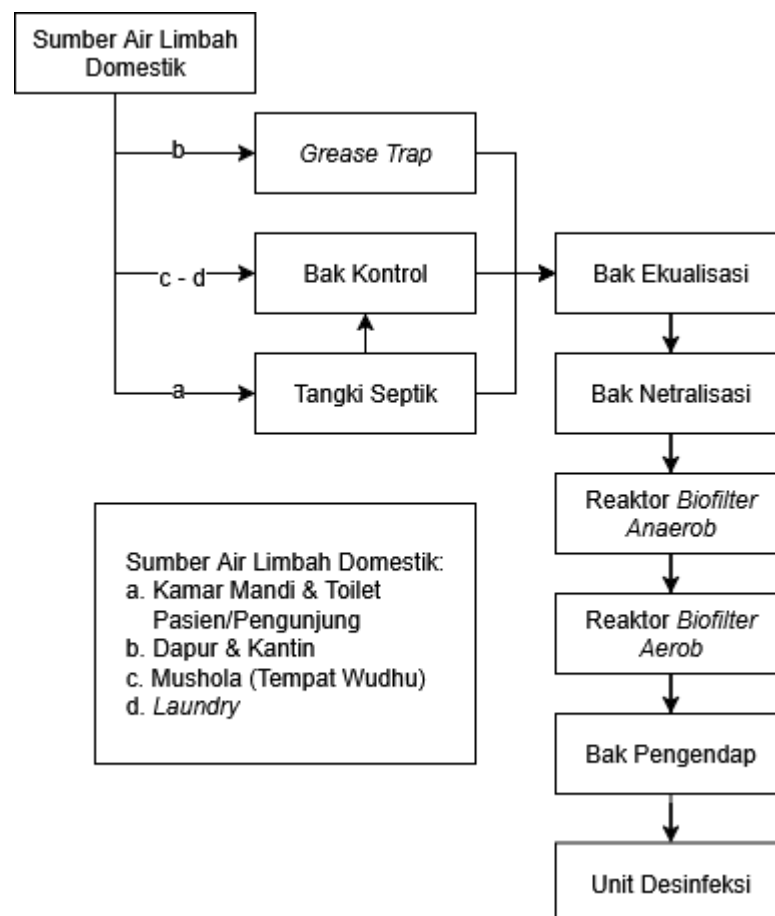
Adapun **Tabel 4.3** Efisiensi Penyisihan Parameter Air Limbah Berdasarkan Unit Pengolahan IPAL Rumah Sakit yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.3 Efisiensi Penyisihan Parameter Air Limbah Berdasarkan Unit Pengolahan IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

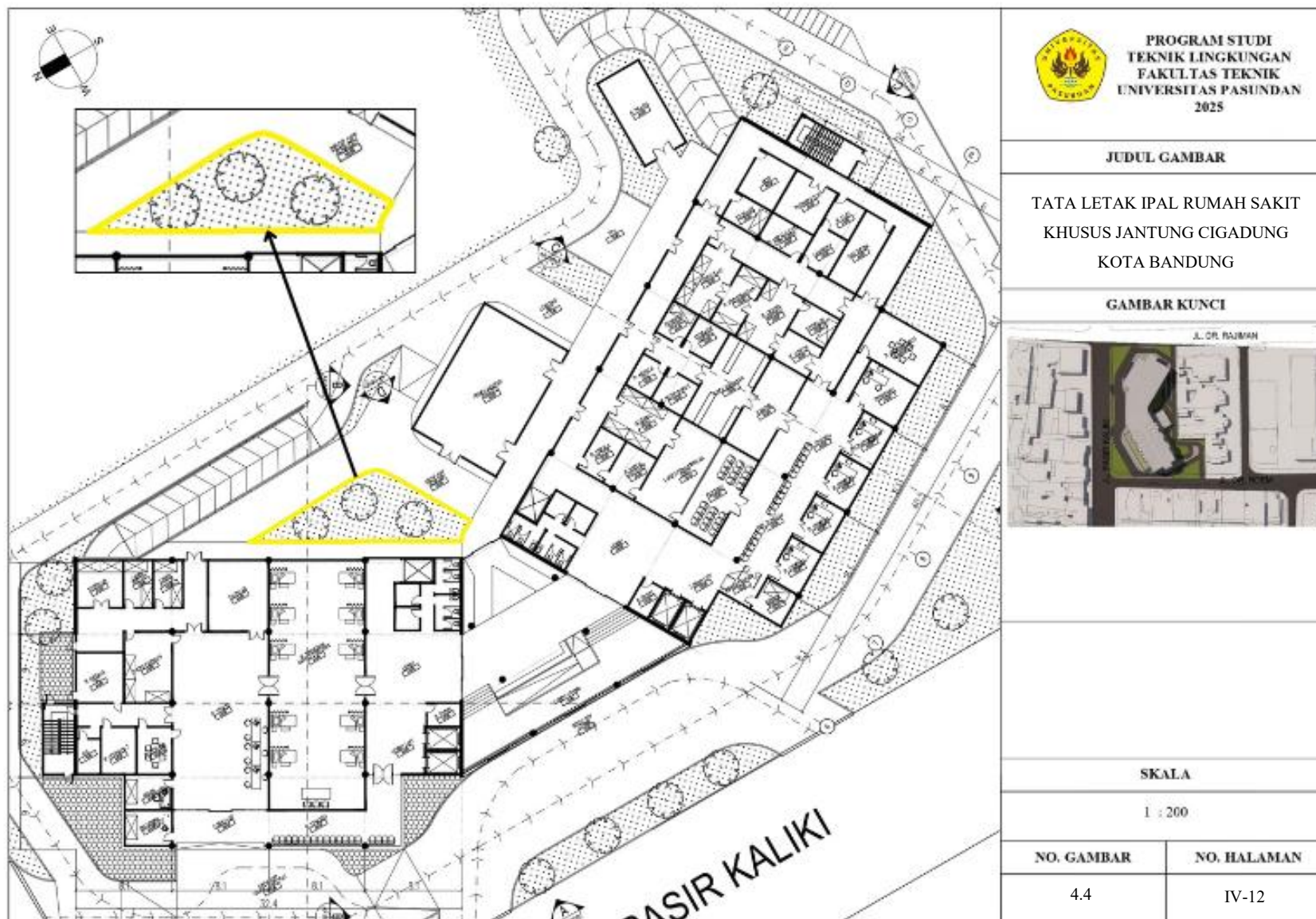
Unit Pengolahan	Efisiensi Penyisihan	Sumber
<i>Primary Treatment</i>		
Bak Ekualisasi	BOD & COD 0%, TSS 15%	Perwira, dkk (2022)
<i>Secondary Treatment</i>		
<i>Biofilter Anaerob</i>	pH 6,8 – 7,2 BOD 65 – 85% COD 75 – 85% TSS 50%	USA EPA (2006) Pedoman Kemenkes (2011) Qasim (1985) Hariyani (2018)
<i>Biofilter Aerob (Contact Aeration)</i>	pH 7,0 – 8,0 BOD 80 – 95% COD 99% Amonia 93 – 95%	USA EPA (2002) Pedoman Kemenkes (2011) Metcalf & Eddy (2003) Said, dkk (2024)
Bak Pengendap Akhir	BOD & COD 40%, TSS 65%	Qasim (1985)

Unit Pengolahan	Efisiensi Penyisihan	Sumber
<i>Tertiary Treatment</i>		
Desinfeksi	<i>small</i>	Metcalf & Eddy (2003)

Gambar 4.3 adalah alur Proses Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dan **Gambar 4.4** Tata Letak IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung yang dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.3 Alur Proses Pengolahan Air Limbah Doemstik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung



4.4.2 Dasar Perhitungan Desain Unit IPAL

Perhitungan untuk mendapatkan ukuran atau volume pada setiap tahap pengolahan dilakukan menggunakan formula desain yang disajikan pada **Tabel 4.4** berikut:

Tabel 4.4 Formula yang digunakan dalam Perhitungan

Bak Ekualisasi:	$= \frac{\text{HRT}}{24 \text{ jam/hari}} \times Q \text{ (debit)(4.2)}$
Bak Pengendap Awal:	$= \frac{\text{HRT}}{24 \text{ jam/hari}} \times Q \text{ (debit)(4.3)}$
Bak <i>Anaerob</i>:	
Beban BOD limbah	$= (Q \times \text{BOD masuk)(4.4)}$
Volume Media Lekat	$= \frac{\text{Beban BOD air limbah}}{\text{Beban BOD/volume}(4.5)}$
Volume Reaktor	$= 2 \times \text{volume media lekat(4.6)}$
Bak <i>Aerob</i>:	
Jumlah BOD dihilangkan	$= 0,6 \times \text{Beban BOD air limbah(4.7)}$
Volume Reaktor/Bak	$= 2 \times \text{Volume media(4.8)}$
Total Volume Media	$= p \times l \times \text{volume media(4.9)}$
Bak Pengendap Akhir:	$= \frac{\text{HRT}}{24 \text{ jam/hari}} \times Q \text{ (debit)(4.10)}$
Unit Desinfeksi:	$= Q_{\text{inlet}} \times \text{Dosis Khlor yang diharapkan} \\ \times 1\% \text{ kadar Khlor(4.11)}$
Keterangan: Q = Debit V = Volume HRT = <i>Hydraulic Retention Time</i> (Waktu Retensi Hidraulik) P = Panjang, L = Lebar	

Sumber: Dani, R. F. R. (2021)

Rumus di atas digunakan sebagai acuan pada tahap perancangan teknis di Bab V, dimana volume, dimensi, dan kebutuhan operasional tiap unit pengolahan akan dihitung secara rinci berdasarkan debit air limbah Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung.

4.5 Pemanfaatan Air Daur Ulang untuk *Flushing Toilet*

Tujuan akhir dari IPAL domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah untuk memanfaatkan air hasil olahan (*reuse*) untuk kebutuhan *flushing toilet*. Untuk memenuhi standar tersebut, digunakan acuan *Health Canada Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing* (2010). Parameter yang harus memenuhi syarat setelah pengolahan IPAL domestik meliputi BOD, TSS, dan *total coliform*. Parameter-parameter yang belum memenuhi baku mutu akan ditangani melalui unit pengolahan tambahan. Namun, jika efluen IPAL domestik rumah sakit telah memenuhi baku mutu, maka air hasil olahan dapat langsung digunakan untuk *flushing toilet* tanpa perlu melalui proses pengolahan lanjutan.

4.5.1 Perhitungan Kebutuhan *Flushing Toilet*

Besaran kebutuhan air untuk *flushing toilet* ditentukan oleh jumlah air yang digunakan setiap kali penyiraman (*flush*) pada *Water Closet* (WC) maupun urinal, serta frekuensi pemakaiannya oleh penghuni gedung dalam satu hari. Dengan demikian, jumlah air limbah yang akan didaur ulang setara dengan kebutuhan air *flushing* yang dibutuhkan pengguna fasilitas tersebut.

Volume air per pemakaian mengacu pada konsumsi air masing-masing alat plambing. Menurut *Green Building Council Indonesia* (2018), kebutuhan air untuk satu kali penyiraman WC adalah 6 liter/*flush*, sedangkan urinal memerlukan sekitar 4 liter/*flush*. Selain itu, frekuensi penggunaan WC dan urinal per hari oleh pengguna juga memengaruhi total volume air yang perlu disediakan untuk keperluan daur ulang.

Kebutuhan air alat plambing dapat dilihat pada **Tabel 4.5**. Sedangkan pemakaian WC dan urinal dalam satu hari di tunjukan dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4.5 Kebutuhan Air Alat Plambing

Jenis Alat Plambing	Kebutuhan Air (L/ <i>flush</i>)
<i>Water Closet</i> (WC)	6
Urinal	4

Sumber: *Green Building Council Indonesia, 2018*

Tabel 4.6 Pemakaian WC dan Urinal dalam Satu Hari

Populasi	Banyaknya Penggunaan (kali per hari)	
	WC	Urinal
Penghuni	5	-
Pegawai	4	2
Tamu	2	2
Catatan: • Penghuni = Pasien Rawat Inap dan Pendamping Pasien • Pegawai = Dokter, Perawat/Terapis, Teknisi/Spesialis, Tenaga non Medis • Tamu = Pengunjung Rumah Sakit		

Sumber: Dietemann dkk (2002) & Efficiency, A. F. W, 2008

Adapun penentuan besar kebutuhan *flushing* yang dihitung dengan persamaan berikut (Rinka, 2014):

$$\text{Kebutuhan Flushing} = \text{Kebutuhan Air Alat Plambing (liter/flush)} \times \text{Pemakaian Alat Plambing per Hari} \dots\dots\dots(4.12)$$

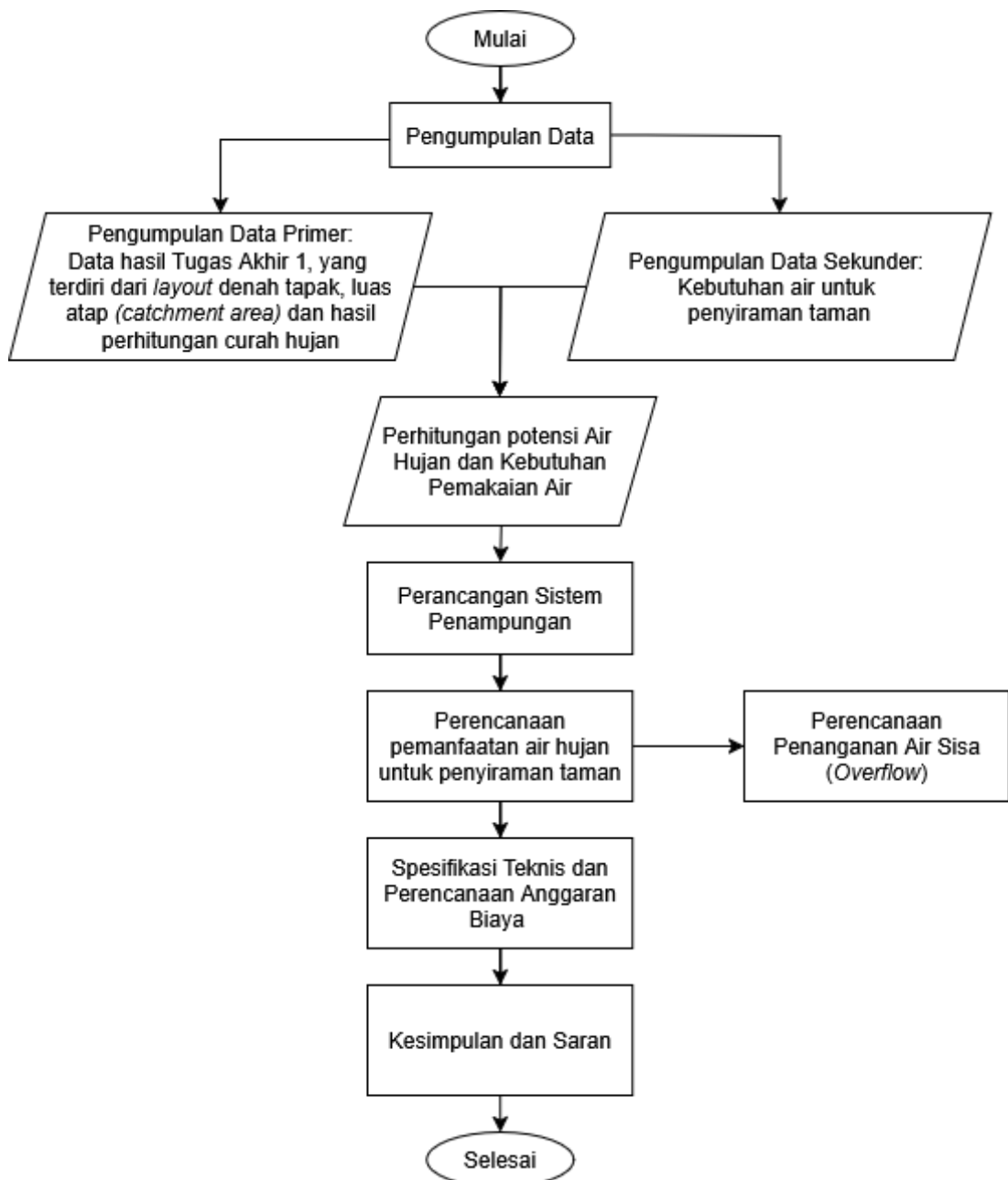
Besarnya air daur ulang sama dengan total keperluan *flushing* populasi sehingga jumlahnya ditentukan sesuai persamaan berikut (David, 2019):

$$\text{Besar Recycle Greywater} = \text{Kebutuhan flushing (liter/flush)} \times \text{Banyak Penggunaan (per hari)} \times \text{Jumlah Populasi (orang)} \dots\dots\dots(4.13)$$

Berdasarkan **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**, maka banyak kebutuhan *flushing* penghuni gedung dalam sehari dan besar air daur ulang limbah dapat ditentukan menggunakan **persamaan 4.12** dan **persamaan 4.13** dengan asumsi 50% seluruh pegawai dan tamu menggunakan toilet (*restroom*). Pegawai dan tamu menggunakan 66% toilet dan 33% *urinal* (Vickers 2001).

4.6 *Rainwater Harvesting*

Perencanaan yang digunakan dalam penyusunan sistem pengolahan air limbah di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dilakukan melalui tahapan-tahapan yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5** berikut.



Gambar 4.5 Diagram Alir Perencanaan Air Hujan Rumah Sakit

Perencanaan sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) pada Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung bertujuan untuk memanfaatkan air hujan sebagai sumber air alternatif. Tahapan perencanaan RWH dilakukan secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.5**. Data yang digunakan meliputi data primer berupa *layout* denah tapak, luas area atap (*catchment area*), serta hasil perhitungan curah hujan rata-rata tahunan dan data sekunder berupa kualitas air hujan berdasarkan studi literatur serta kebutuhan air untuk penyiraman taman.

Berdasarkan data tersebut, dilakukan analisis potensi air hujan yang dapat ditampung dan dibandingkan dengan kebutuhan pemakaian air untuk *reuse*. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk perancangan sistem penampungan, meliputi perhitungan kapasitas tampungan dan sistem distribusi.

Air hujan yang ditampung kemudian dimanfaatkan untuk penyiraman taman. Jika terjadi kelebihan kapasitas (*overflow*), maka air hujan akan dialirkan ke saluran drainase kota atau sumur resapan. Perencanaan RWH ini diakhiri dengan penyusunan spesifikasi teknis dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Tahapan akhir adalah kesimpulan dan saran, yang diharapkan dapat memberikan masukan dalam sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) di lingkungan rumah sakit.

4.6.1 Dasar Perencanaan *Rainwater Harvesting System*

Komponen utama sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) meliputi *catchment area* (daerah tangkapan), sistem penyaluran, penyaringan (*filter*), dan tangki penampung. Menurut Widarto (1996), kebutuhan air siram untuk tanaman seluas 20 m² adalah 4 ember atau 40 liter.

Dalam perencanaan ini, kebutuhan air untuk taman akan dihitung terlebih dahulu, kemudian ditentukan luas *catchment area* yang diperlukan agar volume air hujan yang dipanen dapat mencukupi kebutuhan tersebut.

Adapun potensi volume air hujan yang dapat ditangkap dihitung menggunakan persamaan berikut (Juliana dkk, 2019):

$$R_{\text{eff}} = R_t \times A \times C \dots\dots\dots(4.14)$$

Keterangan:

R_{eff} = Potensi curah hujan (m^3)

R_t = Curah hujan (mm)

A = Luas *catchment area* (m^2)

C = Koefisien perbandingan volume curah hujan yang dapat ditangkap oleh *catchment area*

Koefisien C bervariasi menurut jenis atap (Leggett dkk., 2001), seperti pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Koefisien *runoff* untuk Berbagai Jenis Atap

Jenis Atap	Koefisien C
Atap keramik	0,75 – 0,9
Atap datar, permukaan halus	0,5
Atap datar, permukaan kasar	0,4 – 0,5

Sumber: Leggett dkk, 2001

4.6.2 Kriteria Perencanaan *Rainwater Harvesting System*

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 11 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Air Hujan Pada Bangunan Gedung dan Persilnya, kriteria teknis perencanaan sistem pemanenan air hujan dan tata cara dalam perencanaan sistem pemanenan air hujan untuk Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah sebagai berikut:

1. Dapatkan data curah hujan harian yang dapat mewakili kejadian curah hujan pada persil bangunan gedung yang bersangkutan dengan rentang waktu minimal 10 tahun
2. Volume air hujan yang dapat ditangkap dengan sarana pengelolaan air hujan yang berpotensi melimpas yang disebabkan oleh tertutupnya tanah oleh bangunan dan perkerasan.
3. Penentuan perletakan, dimensi dan jumlah sumur resapan sangat bergantung kepada kondisi lokasi dan ketersediaan lahan

4. Air hujan yang ditampung pada bak/tandon/kolam detensi dapat digunakan untuk aktivitas bangunan gedung dan/atau dialirkan ke saluran drainase kota pada saat hujan telah selesai (2 – 3 jam setelah hujan selesai) untuk mengurangi beban puncak banjir.

4.6.3 Alur Proses *Rainwater Harvesting System*

Alur proses sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) pada Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dirancang sederhana sesuai kebutuhan penyiraman taman. Secara umum, prosesnya meliputi beberapa tahapan berikut:

1. Penangkapan air hujan (*catchment*)
Air hujan yang jatuh di atap datar (*flat roof*) dialirkan melalui talang menuju saluran pipa penangkap utama.
2. Penyaringan awal (*first flush filter*)
Sebelum masuk ke bak penampung, air hujan melewati *filter* sederhana yang dipasang pada jalur pipa. Filter ini terdiri dari lapisan kerikil, pasir, dan serat (ijuk) yang berfungsi untuk menyaring daun dan sebagainya.
3. Penampungan air hujan (*storage tank*)
Air hujan yang telah tersaring ditampung dalam bak penampung bawah tanah. Kapasitas bak disesuaikan dengan kebutuhan lahan yang tersedia.
4. Distribusi air untuk pemanfaatan
Air dialirkan menggunakan pompa transfer menuju titik pemakaian, seperti penyiraman taman.
5. Pelepasan air berlebih
Apabila volume air hujan melebihi kapasitas *storage tank*, kelebihan air akan dialirkan secara terkendali ke saluran drainase kota atau sumur resapan untuk mencegah limpasan.

BAB V

PERENCANAAN TEKNIS

5.1 Data Perencanaan Air Limbah Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Berdasarkan hasil perhitungan timbunan air limbah pada Tugas Akhir 1, debit air limbah domestik mengacu pada konsumsi air bersih per orang per hari, dengan sekitar 70-80% dari penggunaan air bersih (Noerbambang dan Morimura, 1993), yaitu sebesar $84,75 \text{ m}^3/\text{hari}$. Perhitungan ini menjadi dasar dalam menentukan debit rata-rata air limbah domestik yang akan diolah.

Debit Rata-rata Air Limbah Domestik ($Q_{\text{rdomestik}}$)

Faktor Konversi = 75%

$$\begin{aligned} Q_{\text{rdomestik}} &= 75\% \times 84,75 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 63,56 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,00074 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,74 \text{ l/detik} \end{aligned}$$

Untuk keperluan perencanaan unit pengolahan, perlu juga dihitung variasi debit, yaitu debit harian minimum dan debit puncak. Rumus yang digunakan mengacu Reynolds dan Richards, 1995.

Debit Harian Minimum (Q_{min})

$$\begin{aligned} Q_{\text{min}} &= Q_{\text{rdomestik}} \times f_{\text{min}} \\ &= 0,74 \text{ l/detik} \times 0,5 = 0,37 \text{ l/detik} = 0,00037 \text{ m}^3/\text{detik} = 31,78 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Debit Puncak Air Limbah (Q_{peak})

$$\begin{aligned} Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{rdomestik}} \times f_{\text{p}} \\ &= 0,74 \text{ l/detik} \times 2,5 = 1,84 \text{ l/detik} = 0,00184 \text{ m}^3/\text{detik} = 158,91 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Sementara itu, luas lahan untuk lokasi IPAL rumah sakit adalah $66,75 \approx 67 \text{ m}^2$ dengan bentuk lahan segitiga memanjang sebagaimana dijelaskan pada Bab IV. Lahan ini akan digunakan untuk penempatan unit-unit pengolahan dan ruang pompa/blower.

Selanjutnya, dilakukan identifikasi kebutuhan pengolahan berdasarkan parameter kualitas air limbah domestik rumah sakit. Hal ini bertujuan untuk menilai apakah setiap parameter telah memenuhi standar atau memerlukan pengolahan lebih lanjut. **Tabel 5.1** berikut menyajikan hasil identifikasi tersebut.

Tabel 5.1 Identifikasi Kebutuhan Pengolahan Berdasarkan Parameter Kualitas Air Limbah Domestik Rumah Sakit

Parameter	Konsentrasi Literatur Inlet	Standar*	Satuan	Keterangan
pH	8 ^{*1}	6 – 9	-	Tidak Perlu Pengolahan
BOD	61,27 ^{*1}	30	mg/L	Perlu Pengolahan
COD	169,27 ^{*1}	100	mg/L	Perlu Pengolahan
TSS	171 ^{*2}	30	mg/L	Perlu Pengolahan
Minyak dan Lemak	0,6 ^{*3}	5	mg/L	Tidak Perlu Pengolahan
Amoniak	20,9 ^{*4}	10	mg/L	Perlu Pengolahan
<i>Total Coliform</i>	16000 ^{*3}	3000	MPN/100 ml	Perlu Pengolahan
Catatan: * = Permen LHK No. 68 Tahun 2016 * ¹ = Barus, B. R. (2019) * ² = Sari, W. M. (2025) * ³ = Baeti, M. K., dkk (2022) * ⁴ = Sukadewi, N. M., dkk (2020)				

Berdasarkan **Tabel 5.1**, parameter BOD, COD, TSS, amoniak, dan *total coliform* melebihi ambang batas baku mutu yang diperkenankan sehingga memerlukan proses pengolahan lebih lanjut. Sementara itu, parameter pH serta minyak dan lemak berada dalam rentang standar baku mutu.

5.2 Skema Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik

Sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung direncanakan secara berurutan (**Gambar 5.1**), mulai dari penanganan awal hingga pengolahan lanjutan sebelum efluen dilepas ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali.

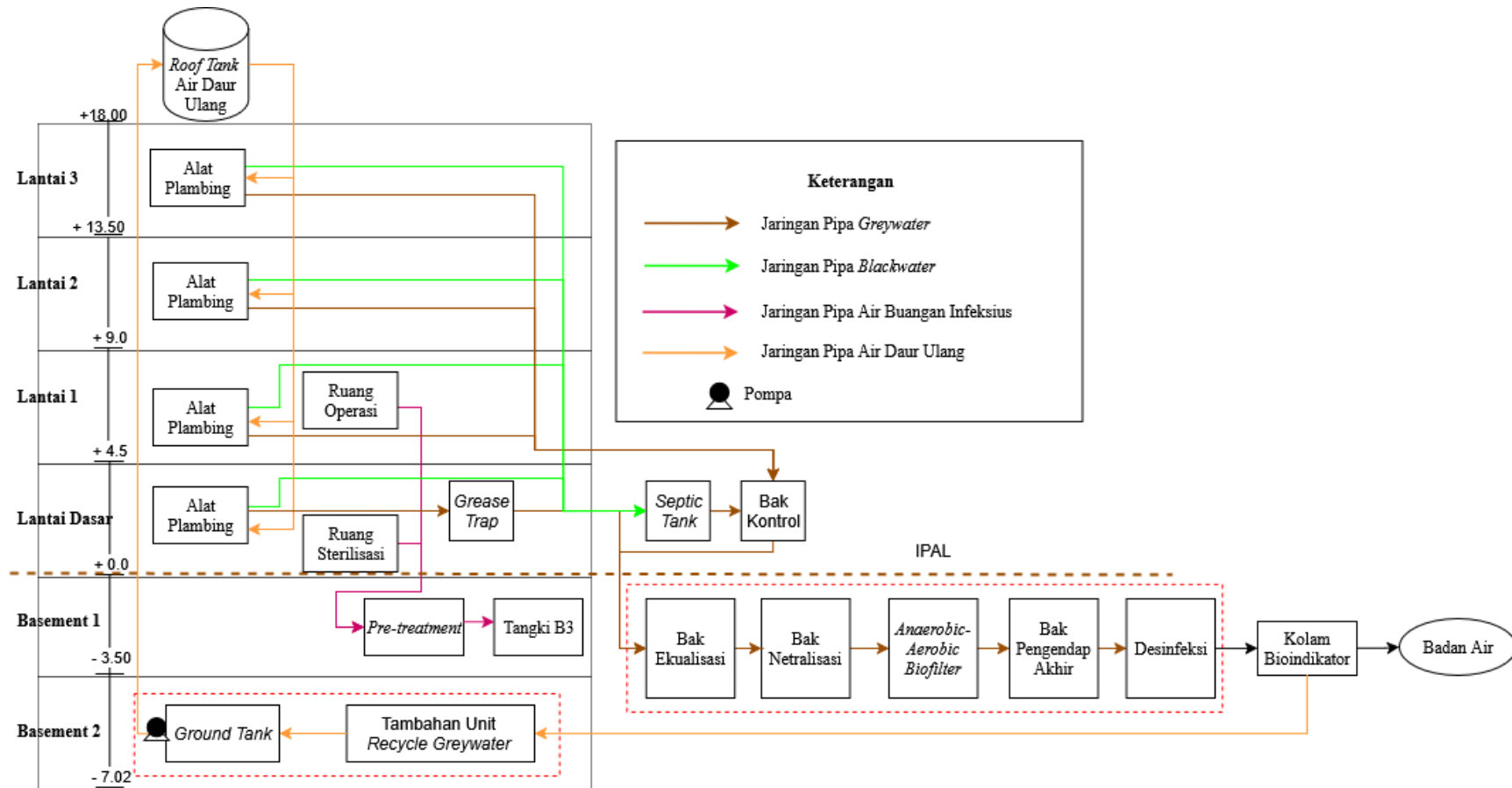
Air limbah yang berasal dari ruang operasi dan ruang sterilisasi tidak dialirkan ke sistem IPAL domestik, melainkan ditangani oleh pihak ketiga sesuai dengan karakteristiknya yang tergolong limbah infeksius dan berbahaya.

Air limbah dari dapur/kantin terlebih dahulu melalui *grease trap* yang terintegrasi langsung dengan *kitchen sink*. Unit ini berfungsi memisahkan kandungan minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses biologis berikutnya.

Sementara itu, seluruh aliran air limbah *blackwater* dari *Water Closet* (WC) dialirkan ke *septic tank*, kemudian menuju bak kontrol. Sementara itu, untuk air limbah *greywater* seperti air bekas wudhu, air bekas wastafel dan *shower* dialirkan langsung ke bak kontrol. Dari bak kontrol, aliran limbah di *screening* sederhana untuk menyaring benda-benda kasar seperti plastik, tisu, dan lainnya. Selanjutnya, air limbah dikumpulkan pada bak ekualisasi yang berfungsi menstabilkan debit dan konsentrasi polutan agar beban ke unit berikutnya lebih merata.

Sebelum memasuki proses biologis, air limbah dialirkan ke bak netralisasi untuk mencampurkan air limbah domestik dengan pembubuh asam dan basa agar mencapai pH netral yang dikehendaki. Tahap biologis dimulai pada reaktor *biofilter anaerob* yang dilengkapi media *honeycomb* (sarang tawon) sebagai tempat melekatnya biomassa. Selanjutnya, air limbah dialirkan ke reaktor *biofilter aerob* dengan proses *contact aeration*. Pada unit ini juga digunakan media *honeycomb* untuk meningkatkan area kontak antara mikroorganisme dan air limbah, sehingga proses degradasi menjadi lebih efisien. Udara dihembuskan ke reaktor untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme *aerob* yang mampu menurunkan sisa BOD, COD, serta menguraikan amonia melalui proses nitrifikasi.

Sebagai tahap akhir, efluen dialirkan ke unit desinfeksi menggunakan dosis klorin sesuai standar untuk menurunkan bakteri patogen termasuk *total coliform*, sehingga efluen hasil pengolahan memenuhi baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Dari hasil pengolahan ini, efluen didistribusikan dengan pembagian, sekitar 70% dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan *flushing* toilet, 29% dialirkan ke badan air penerima, dan 1% dialirkan ke kolam bioindikator sebagai media pemantauan kualitas biologis.



Gambar 5.1 Skema Air Limbah Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

5.3 Grease Trap

Air limbah dari dapur atau kantin direncanakan akan melalui *grease trap* yang terintegrasi langsung dengan *kitchen sink*. Parameter minyak dan lemak menunjukkan konsentrasi 0,6 mg/l, yang telah memenuhi baku mutu Permen LH No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik (5 mg/l).

Grease trap yang digunakan mengacu pada katalog *Grease Guardian* 2024, yaitu *X Range Grease Removal Unit (Undersink)*. *X series* ini memiliki *side basket* untuk mengumpulkan limbah padat yang dapat dibuang manual atau didaur kembali (*collected waste can be recycled*). Sistem ini bekerja dalam tiga tahap sebagai berikut:

1. Pengumpulan Padatan (*Solids Collection*)

Air limbah dari dapur dialirkan melalui saluran masuk *grease trap*, melewati keranjang saringan (*removable strainer basket*) yang menangkap limbah padat.

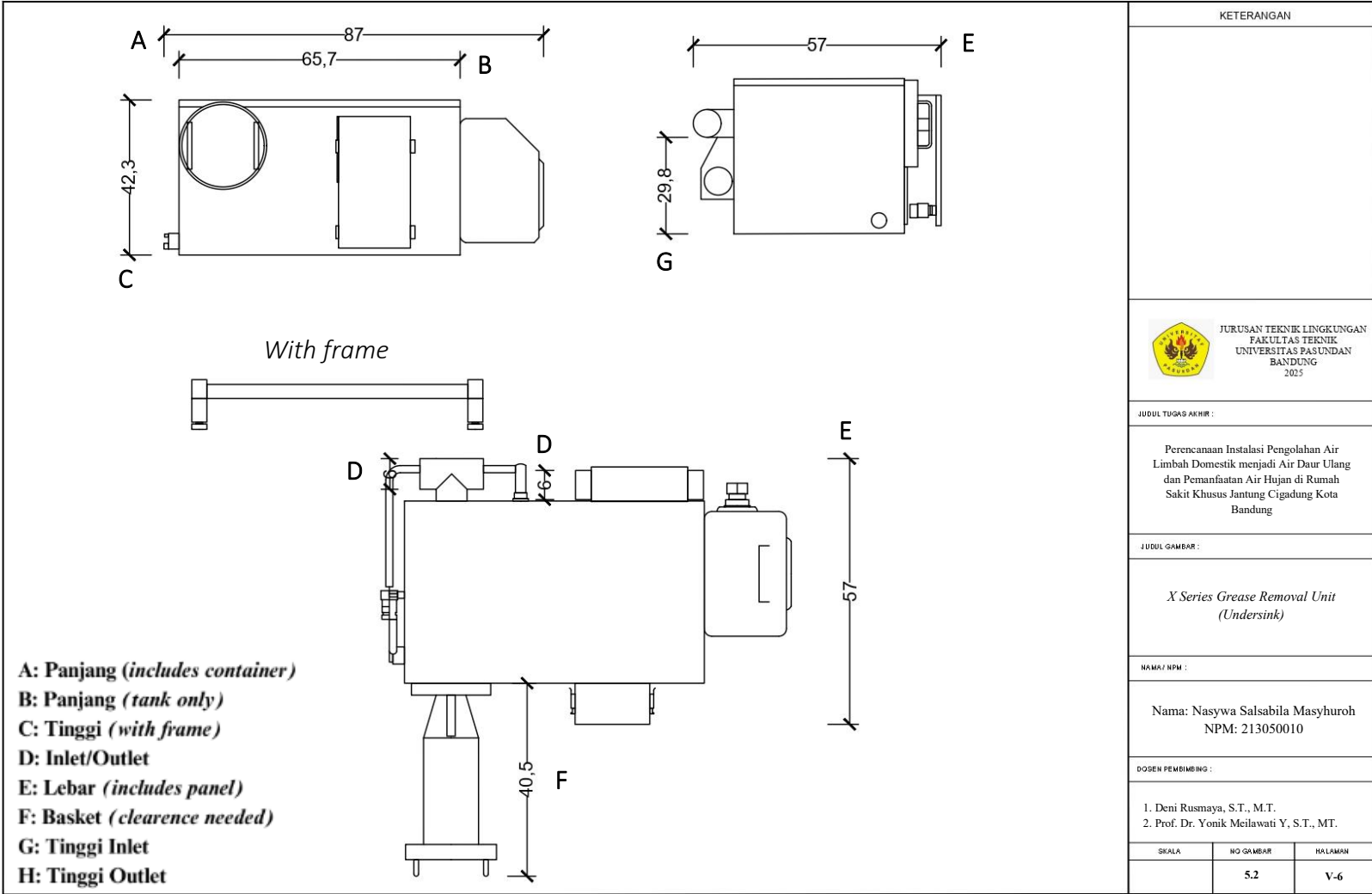
2. Pemisahan Minyak & Lemak (*Grease & Oil Separation*)

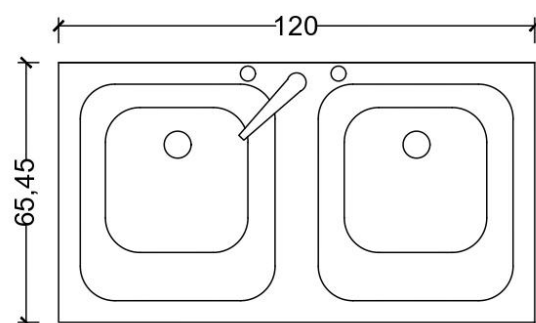
Lemak di dalam air limbah akan mengapung ke permukaan dan terjebak, sementara air bebas minyak mengalir keluar menuju saluran pembuangan.

3. Pengangkatan Lemak (*Grease Removal*)

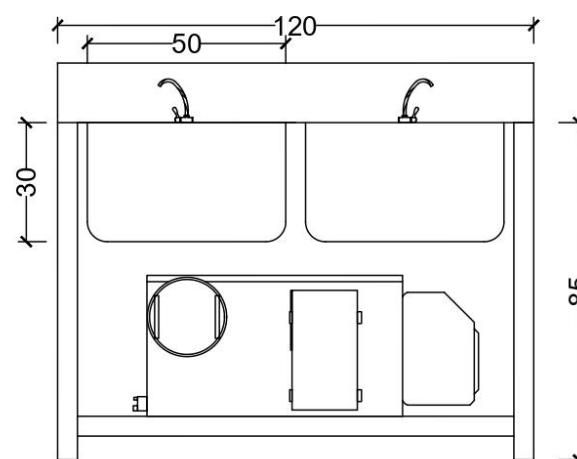
Elemen panas yang diprogram oleh PLC (*Programmable Logic Controller*) mencairkan lemak, yang kemudian diangkat oleh *drum skimmer* dan dialirkan ke dalam wadah portabel.

Dapur Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung direncanakan menggunakan *pot sink double bowl* berbahan *stainless steel* dengan dimensi 120 cm × 65 cm × 100 cm. Berdasarkan kapasitas *sink* dan operasional dapur yang tidak berlangsung 24 jam (07:30 – 20:00 WIB), maka cukup digunakan 1 unit *pot sink double bowl* yang dilengkapi model *Grease Guardian X series GGX25* (55 cm × 45 cm × 35 cm, *flow rating* 1,25 L/s, pipa 5 cm) untuk mengakomodasi kebutuhan pemisahan minyak dan lemak.





TAMPAK ATAS



TAMPAK SAMPING

KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

*Double Bowl Sink +
Grease Trap*

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.3	V-7

5.4 *Septic Tank*

Septic tank direncanakan sebagai unit pengolahan awal untuk menangani *blackwater* (limbah toilet), yang kemudian baru bergabung dengan bak kontrol. Luas lahan yang akan digunakan sebesar 16 m². Menurut Pratama *et al* (2022), persentase debit air limbah, yaitu *blackwater* 25% dan *greywater* 75% dari hasil debit air limbah domestik rata-rata. Berikut adalah data perencanaan dan perhitungan untuk *septic tank* Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung:

Data Perencanaan:

- $Q_{\text{rdomestik}} = 63,56 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 25\% \times 63,56 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 15,89 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Waktu Tinggal = 24 jam
- Tebal dinding = 0,15 m (penambahan dimensi = 0,30 m total pada tiap sumbu)
- *Freeboard* = 0,30 m
- *Top Slab* = 0,15 m (pelat beton penutup di atas bak)

Dengan luas lahan 16 m², *footprint* direncanakan = 3,8 m × 3,8 m, dengan perencanaan dua kompartemen (rasio 2/3:1/3)

Perhitungan *Septic Tank*

1. Volume total (24 jam)

$$\begin{aligned} V &= Q \times \frac{24 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \\ &= 15,89 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{24 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \\ &= 15,89 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Dimensi Bak

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 3,8 \text{ m} - 0,30 = 3,5 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3,8 \text{ m} - 0,30 = 3,5 \text{ m} \\ \text{Luas A} &= 3,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \\ &= 12,25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Kedalaman muka air (h)

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{V}{A} \\
 &= \frac{15,89 \text{ m}^3}{12,25 \text{ m}^2} \\
 &= 1,29 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4. Volume tiap kompartemen

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{2}{3}V \\
 &= \frac{2}{3} \times 15,89 \text{ m}^3 = 10,593 \text{ m}^3 \\
 V_2 &= \frac{1}{3}V \\
 &= \frac{1}{3} \times 15,89 \text{ m}^3 = 5,2967 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

5. Luas tiap kompartemen

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{V_1}{h} \\
 &= \frac{10,593 \text{ m}^3}{1,29 \text{ m}} = 8,167 \text{ m}^2 \\
 A_2 &= \frac{V_2}{h} \\
 &= \frac{5,2967 \text{ m}^3}{1,29 \text{ m}} = 4,083 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Cek jumlah

$$\begin{aligned}
 &A_1 + A_2 \\
 &= 8,167 \text{ m}^2 + 4,083 \text{ m}^2 \\
 &= 12,25 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

6. Panjang tiap kompartemen

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \frac{A_1}{\text{Lebar Bak}} \\
 &= \frac{8,167 \text{ m}^2}{3,50 \text{ m}} = 2,3 \text{ m} \\
 L_2 &= \frac{A_2}{\text{Lebar Bak}} \\
 &= \frac{4,083 \text{ m}^2}{3,50 \text{ m}} = 1,167 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Cek jumlah

$$\begin{aligned}
 &L_1 + L_2 \\
 &= 2,3 \text{ m} + 1,167 \text{ m} \\
 &= 3,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

7. Tinggi Total

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi muka air (h)} &= 1,29 \text{ m} \\
 \text{Freeboard} &= 1,29 + 0,30 \text{ m} \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 \text{Top Slab} &= 1,59 + 0,15 \text{ m} \\
 &= 1,74 \text{ m}
 \end{aligned}$$

8. Waktu Tinggal

$$\begin{aligned}
 \text{HRT}_1 &= \frac{V_1}{Q} \times 24 \text{ jam} \\
 &= \frac{10,593 \text{ m}^3}{15,89 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 16 \text{ jam} \\
 \text{HRT}_2 &= \frac{V_2}{Q} \times 24 \text{ jam} \\
 &= \frac{5,2967 \text{ m}^3}{15,89 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 8 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah rekapitulasi dari perhitungan *septic tank* Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung:

Dimensi Total:

1. Volume Total = $15,89 \text{ m}^3$
2. Panjang Bak = $3,50 \text{ m}$
3. Lebar Bak = $3,50 \text{ m}$
4. Tinggi Bak = $1,59 \approx 1,60 \text{ m}$
5. Dimensi Bak = $3,50 \text{ m} \times 3,50 \text{ m} \times 1,60 \text{ m}$

Dimensi Kompartemen 1:

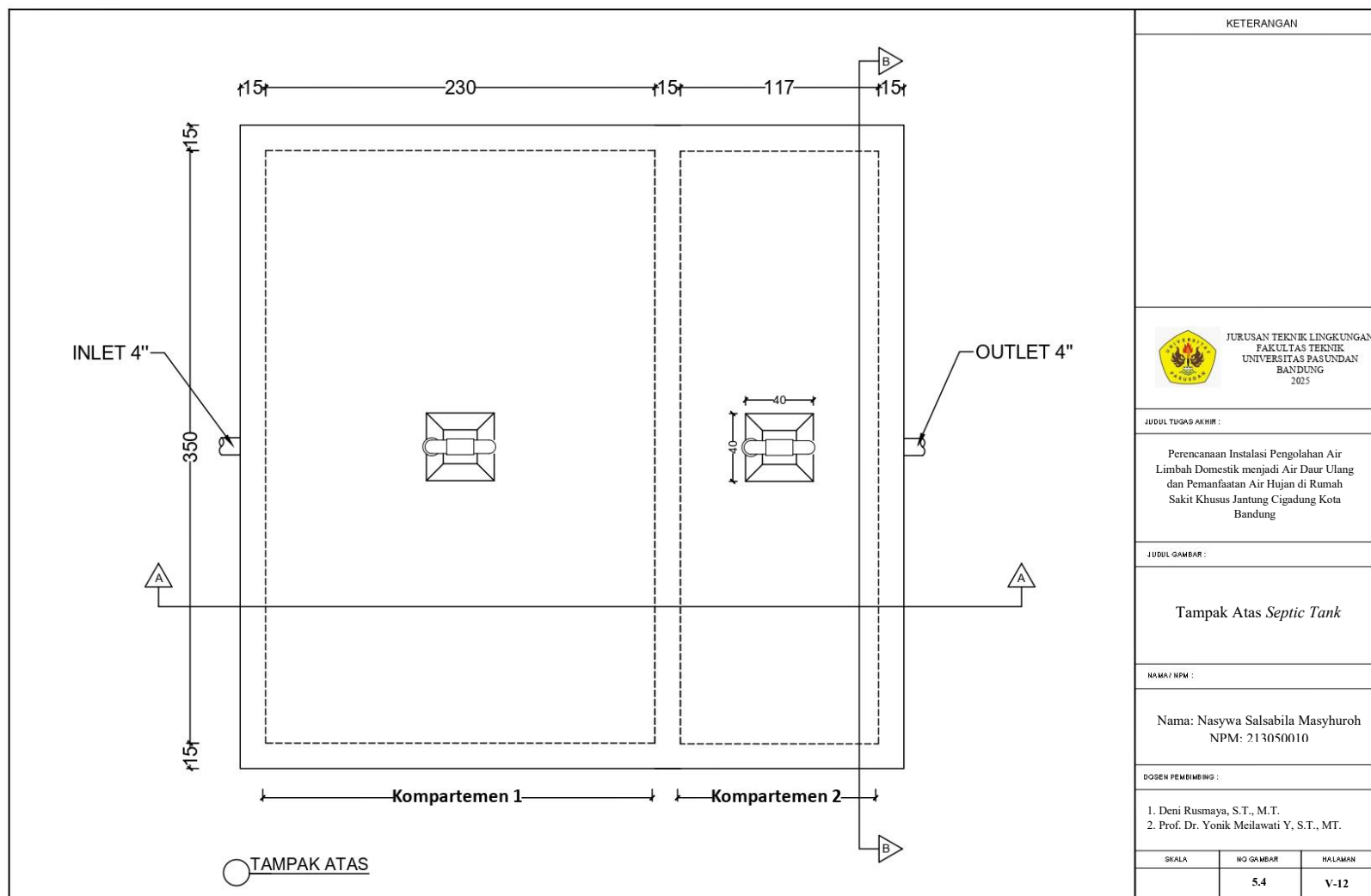
1. Volume = $10,593 \text{ m}^3$
2. Panjang Bak = $2,3 \text{ m}$
3. Lebar Bak = $3,50 \text{ m}$
4. Tinggi Bak = $1,59 \approx 1,60 \text{ m}$
5. Dimensi Bak = $2,30 \text{ m} \times 3,50 \text{ m} \times 1,60 \text{ m}$

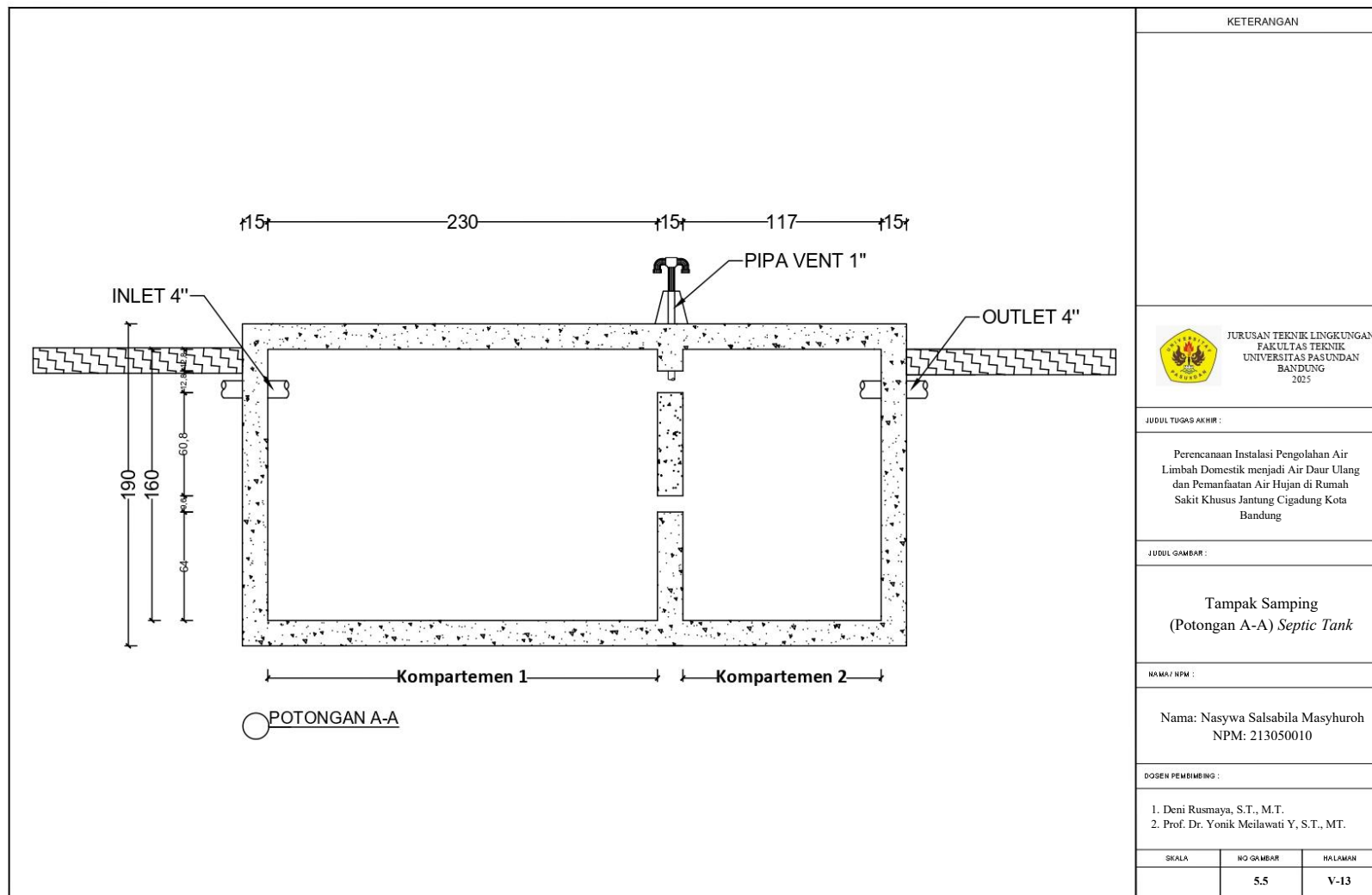
Dimensi Kompartemen 2:

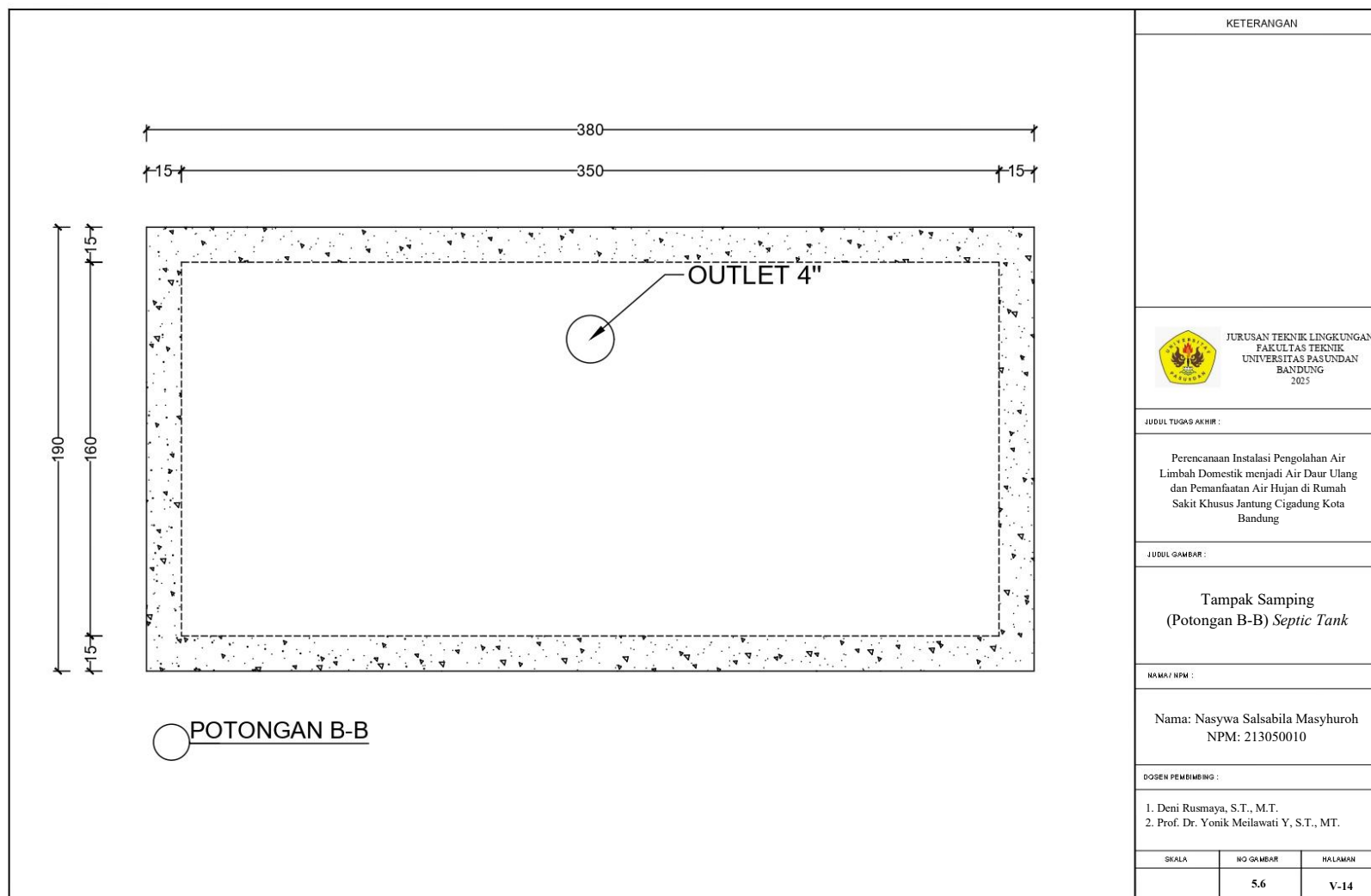
1. Volume = $5,2967 \text{ m}^3$

2. Panjang Bak = $1,167 \approx 1,17$ m
3. Lebar Bak = 3,50 m
4. Tinggi Bak = $1,59 \approx 1,60$ m
5. Dimensi Bak = $1,17 \text{ m} \times 3,50 \text{ m} \times 1,60 \text{ m}$

Berikut adalah gambar untuk *septic tank* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.4 s/d Gambar 5.6**.







5.5 Bak Kontrol

Bak kontrol direncanakan berada di areal IPAL, tepat sebelum bak ekualisasi, berfungsi sebagai titik penggabungan aliran, penahan benda kasar (*screen*), dan lokasi *sampling*/monitoring. Berikut adalah data perencanaan dan perhitungan bak kontrol:

Data Perencanaan:

- $Q_{\text{rdomestik}} = 63,56 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 2,65 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 0,04413 \text{ m}^3/\text{menit} = 44,13 \text{ liter/menit}$
- Waktu detensi = 60 menit (1 jam)
- *Freeboard* = 0,15 m
- *Top Slab* = 0,15 m
- Tebal dinding = 0,15 m

Perhitungan Bak Kontrol

$$\begin{aligned}
 1. \quad V &= Q \times t_d \\
 &= 2,65 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam} \\
 &= 2,65 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Dimensi Bak

Kedalaman yang direncanakan = 2 m

Panjang = 1,2 m

Lebar = 1,2 m

Tinggi = 2 m

Sehingga, dimensi bak direncanakan untuk memenuhi volume sebesar $2,88 \text{ m}^3$

3. Cek Waktu Detensi

$$\begin{aligned}
 T_d &= \frac{V}{Q} \times 24 \text{ jam} \\
 &= \frac{2,88 \text{ m}^3}{63,56 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 \text{ jam} \\
 &= 1,088 \text{ jam} \\
 &= 65,3 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

4. Tinggi Total

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi muka air (h)} &= 2,00 \text{ m} \\
 \text{Freeboard} &= 2,00 + 0,15 \text{ m} \\
 &= 2,15 \text{ m} \\
 \text{Top Slab} &= 2,15 + 0,15 \text{ m} \\
 &= 2,30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

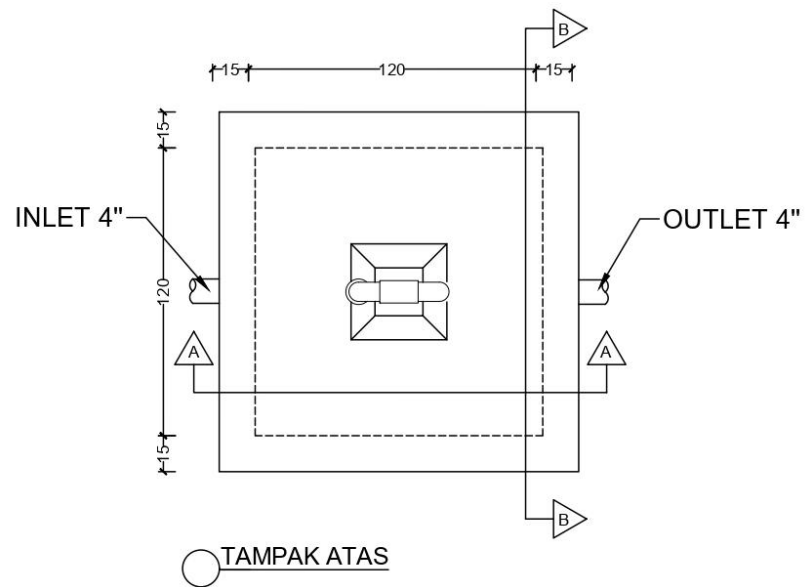
Berikut adalah rekapitulasi dari perhitungan bak kontrol Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung:

Dimensi Total:

1. Volume Total = $2,88 \text{ m}^3$
2. Panjang Bak = $1,20 \text{ m}$
3. Lebar Bak = $1,20 \text{ m}$
4. Tinggi Bak = $2,15 \text{ m}$
5. Dimensi Bak = $1,20 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} \times 2,15 \text{ m}$

Berikut adalah gambar untuk bak kontrol yang dapat dilihat pada **Gambar**

5.7 s/d Gambar 5.9.



KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Atas Bak Kontrol

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Mcilawati Y, S.T., MT.

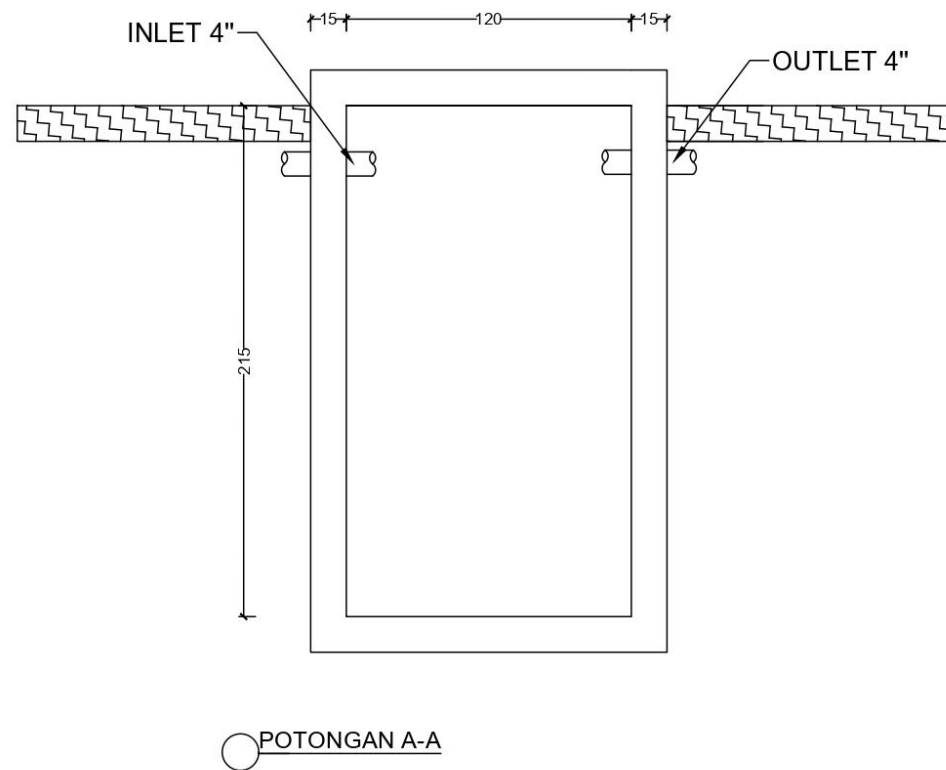
SKALA

NO GAMBAR

HALAMAN

5,7

V-17



KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping
(Potongan A-A) Bak Kontrol

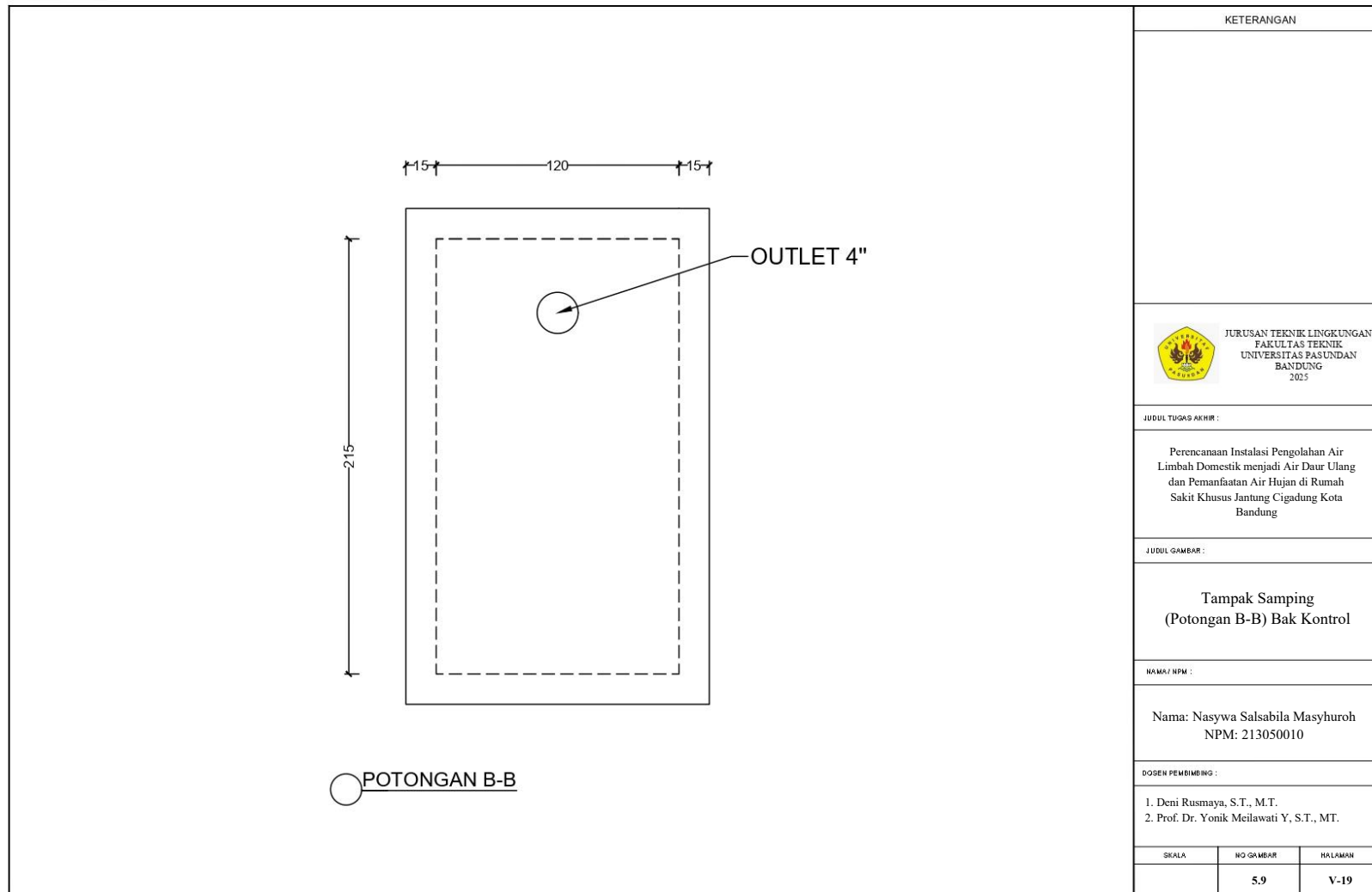
NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.8	V-18



5.6 Perhitungan Desain IPAL Domestik Rumah Sakit

IPAL domestik di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung terdiri atas enam kompartemen berurutan, dimulai dari bak ekualisasi, pengendap awal, *biofilter anaerob*, *biofilter aerob*, pengendap akhir, dan desinfeksi. Dengan mempertimbangkan keterbatasan lahan dan ketersediaan modul komersial, lebar (L) dan tinggi total (T) unit mengikuti paket referensi (L = 2,25 m; T = 2,55 m). Untuk panjang tiap kompartemen dihitung dari kebutuhan volume/luas berdasarkan debit rencana dan kriteria desain yang digunakan.

5.6.1 Bak Ekualisasi

Air limbah domestik rumah sakit berasal dari berbagai sumber, seperti limbah toilet, air bekas wudhu, serta limbah dapur/kantin kemudian dialirkan ke bak ekualisasi. Bak ekualisasi ini merupakan kompartemen pertama sekaligus influen dalam sistem IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung. Berikut adalah **Tabel 5.1** kriteria desain bak ekualisasi.

Tabel 5.2 Kriteria Desain Bak Ekualisasi

Kriteria Desain	Range	Satuan
Waktu detensi (td)	1 – 4	Jam
Kecepatan aliran (V)	0,3 – 0,6	m/detik

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Data Perencanaan:

- $Q_{rdometik}$ = 63,56 m³/hari
= 0,00074 m³/detik
= 2,65 m³/jam
- Waktu detensi (td) = 2 jam
- T_{total} Bak = 2,55 m
- *Freeboard* = 0,30 m
- Lebar Bak (L) = 2,25 m
- Kecepatan Aliran (V) = 0,3 m/detik
- TSS_{in} = 171 mg/l
- Efisiensi TSS = 15%

Perhitungan Bak Ekualisasi

Berikut adalah perhitungan volume bak ekualisasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.3:

**Tabel 5.3 Data Fluktuasi Debit Air Limbah Rumah Sakit Khusus
Jantung Cigadung Kota Bandung**

Jam	Debit Limbah Masuk (m ³ /jam)	Vol. air limbah kumulatif tiap jam (m ³)	Vol. air limbah rata2 tiap jam (m ³)	Vol. air limbah rata2 kumulatif (m ³)
00.00 – 01.00	1,22	1,22	2,65	2,65
01.00 – 02.00	1,22	2,44	2,65	5,30
02.00 – 03.00	1,22	3,65	2,65	7,95
03.00 – 04.00	1,27	4,93	2,65	10,59
04.00 – 05.00	1,48	6,41	2,65	13,24
05.00 – 06.00	2,46	8,87	2,65	15,89
06.00 – 07.00	3,71	12,58	2,65	18,54
07.00 – 08.00	3,71	16,29	2,65	21,19
08.00 – 09.00	7,42	23,70	2,65	23,84
09.00 – 10.00	7,42	31,12	2,65	26,48
10.00 – 11.00	7,42	38,53	2,65	29,13
11.00 – 12.00	1,85	40,39	2,65	31,78
12.00 – 13.00	1,48	41,87	2,65	34,43
13.00 – 14.00	2,46	44,33	2,65	37,08
14.00 – 15.00	1,85	46,19	2,65	39,73
15.00 – 16.00	1,85	48,04	2,65	42,38
16.00 – 17.00	1,48	49,53	2,65	45,02
17.00 – 18.00	2,46	51,99	2,65	47,67
18.00 – 19.00	3,71	55,70	2,65	50,32
19.00 – 20.00	2,46	58,16	2,65	52,97
20.00 – 21.00	1,48	59,64	2,65	55,62
21.00 – 22.00	1,48	61,13	2,65	58,27
22.00 – 23.00	1,22	62,34	2,65	60,91
23.00 – 24.00	1,22	63,56	2,65	63,56
Total	63,56			
Rata-rata	2,65			

Sumber: Hasil Perhitungan

1. Volume Bak Ekualisasi (V)

$$\begin{aligned}
 V &= Q \times t_d \\
 &= 2,65 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} \\
 &= 5,30 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Panjang Bak (P)

$$\begin{aligned}
 T_{\text{total Bak}} &= 2,55 \text{ m} \\
 \text{Freeboard} &= 0,30 \text{ m} \\
 T &= 2,55 - 0,30 = 2,25 \text{ m} \\
 P &= \frac{V}{L \times T} \\
 &= \frac{5,30 \text{ m}^3}{2,25 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}} = 1,05 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Volume Total Bak

$$\begin{aligned}
 V_{\text{be}} &= P \times L \times T \\
 &= 1,05 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 2,55 \text{ m} \\
 &= 6,02 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Cek Waktu Detensi ($t_{d\text{cek}}$)

$$\begin{aligned}
 t_{d\text{cek}} &= \frac{P \times L \times T}{Q} \\
 &= \frac{1,05 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}}{2,65 \text{ m}^3/\text{jam}} = 2 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

(memenuhi kriteria, 1,5 – 2,5 jam)

5. Diameter Pipa

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\text{Debit (Q)}}{\text{Kecepatan (V)}} \\
 &= \frac{0,00074 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,3 \text{ m}/\text{detik}} = 0,0025 \text{ m}^2 \\
 D &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0025 \text{ m}^2}{3,14}} = 0,056 \text{ m} = 56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pipa PVC yang ada di pasaran, didapatkan diameter 60 mm atau 2 inch merek rucika. Namun, dalam penerapan di lapangan, pipa yang digunakan untuk saluran inlet dan outlet direncanakan berdiameter 4 inch.

6. Cek Kecepatan Aliran Pipa

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,00074 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,0025 \text{ m}^2} \\
 &= 0,296 \approx 0,3 \text{ m/detik} \\
 &\text{(memenuhi kriteria, } 0,3 - 0,5 \text{ m/detik)}
 \end{aligned}$$

Penyisihan TSS di Bak Ekualisasi:

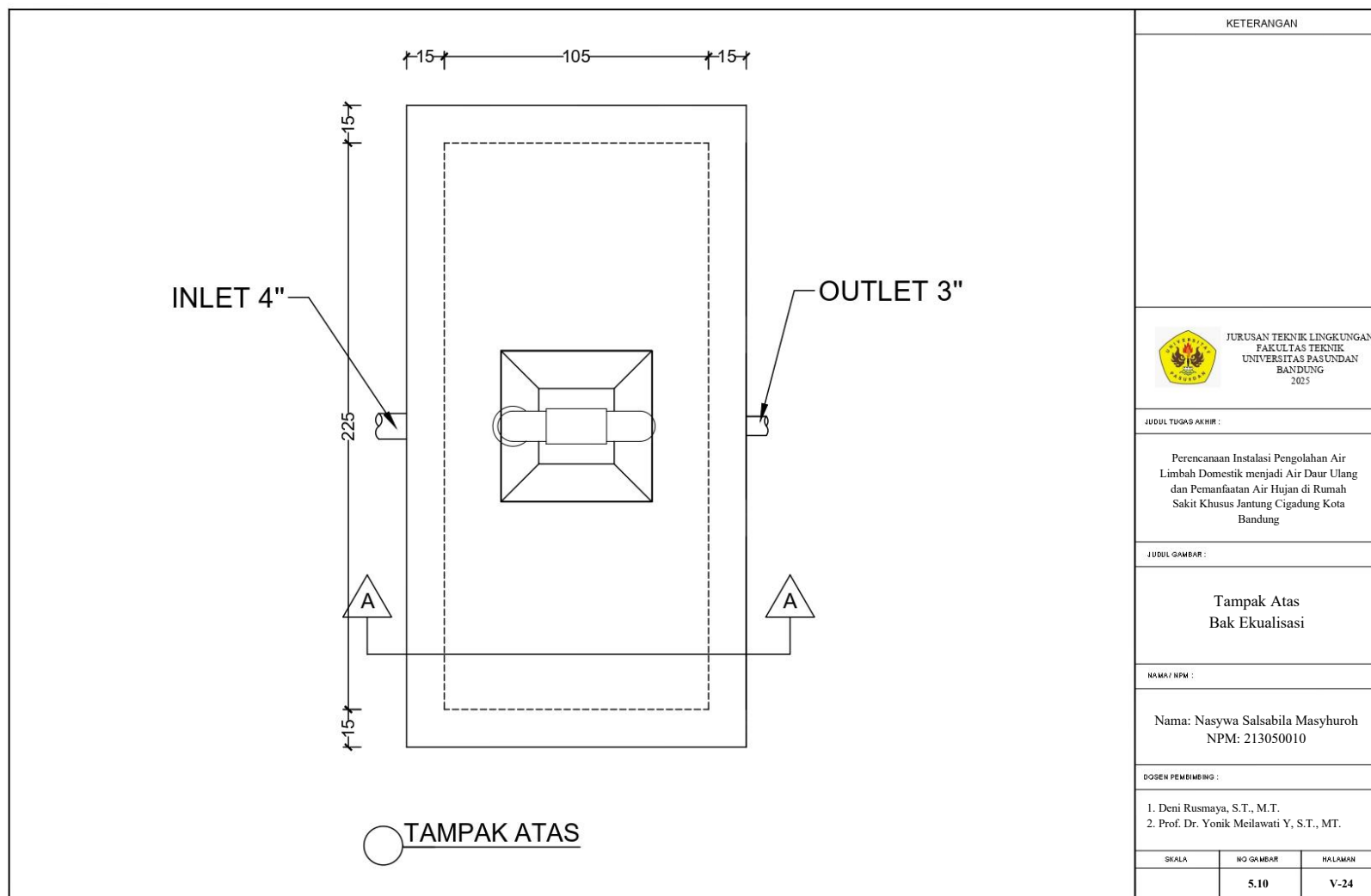
$$\begin{aligned}
 \text{TSS} &= \% \text{Efisiensi TSS} \times \text{TSS}_{\text{in}} \\
 &= 15\% \times 171 \text{ mg/l} \\
 &= 25,65 \text{ mg/l} \\
 \text{TSS}_{\text{en}} &= 171 \text{ mg/l} - 25,65 \text{ mg/l} \\
 &= 145,35 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

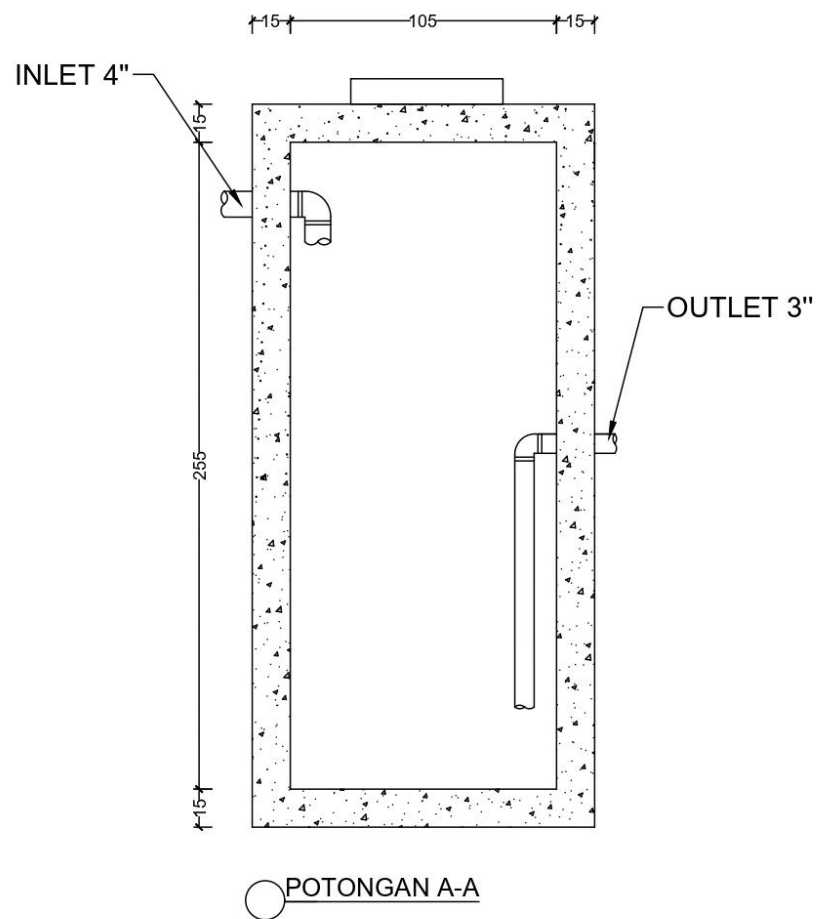
Adapun rekapitulasi bak ekualisasi adalah sebagai berikut:

1. Volume bak (V_{be}) = $6,02 \text{ m}^3 \approx 6 \text{ m}^3$
2. Panjang bak (P) = 1,05 m
3. Lebar bak (L) = 2,25 m
4. Tinggi bak (T) = 2,55 m
5. TSS_{ef} = 145,35 mg/l

Berikut adalah gambar untuk bak ekualisasi yang dapat dilihat pada

Gambar 5.10 dan Gambar 5.11.





KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping
(Potongan A-A) Bak
Ekualisasi

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA

NO GAMBAR

HALAMAN

5.11

V-25

5.6.2 Bak Netralisasi

Setelah kondisi debit dan beban polutan stabil, langkah berikutnya adalah menyesuaikan pH. Proses biologis memerlukan pH netral agar mikroorganisme dapat bekerja maksimal. Untuk itu, air limbah dialirkan ke bak netralisasi sebelum masuk ke reaktor biologis. Berikut adalah **Tabel 5.4** kriteria desain dari bak netralisasi:

Tabel 5.4 Kriteria Desain Bak Netralisasi

Kriteria Desain	Range	Satuan
Bentuk: Kubus atau Silinder		

Sumber: Reynolds, Tom D. dan Richards c., 2003

Data Perencanaan:

- $Q_{rdometik}$ = 63,56 m³/hari
= 0,00074 m³/detik
= 2,65 m³/jam
- Kedalaman Bak = 1,30 m
- Lebar Bak = 2,20 m
- *Freeboard* = 0,30 m

Perhitungan Bak Netralisasi

1. Volume bak netralisasi (V)

$$\begin{aligned}
 T_d &= 45 \text{ menit} = 2700 \text{ detik} \\
 V &= Q \times t_d \\
 &= 0,00074 \text{ m}^3/\text{detik} \times 2700 \text{ detik} \\
 &= 1,96 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Panjang Bak (P)

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (L)} &= 2,2 \text{ m} \\
 T_{\text{total}} &= 1,3 \text{ m} \\
 T &= 1,30 \text{ m} - \text{freeboard} \\
 &= 1,30 \text{ m} - 0,30 = 1,00 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} P &= \frac{V}{L \times T} \\ &= \frac{1,96 \text{ m}^3}{2,2 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}} \\ &= 0,90 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Volume Total Bak

$$\begin{aligned} V_{\text{ban}} &= P \times L \times T \\ &= 0,90 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \times 1,30 \text{ m} \\ &= 1,98 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4. Cek Waktu Detensi (t_{cek})

$$\begin{aligned} t_{\text{cek}} &= \frac{P \times L \times T}{Q} \\ &= \frac{(0,90 \times 2,2 \times 1,00) \text{ m}^3}{0,00074 \text{ m}^3/\text{detik}} = 2700 \text{ detik} = 45 \text{ menit} \end{aligned}$$

(memenuhi kriteria, 45 menit)

Data Perencanaan:

Menggunakan HCl untuk menetralkan air limbah domestik yang bersifat basa:

- Konsentrasi pasaran HCl = 32%
- Massa jenis HCl = 1,18 kg/l
- Massa jenis air = 995,7 kg/m³ (30 °C)
- Berat molekul HCl = 36,458 g/mol
- pH air limbah domestik = 8
- pH rencana = 7

Perhitungan Bak Pembunuh

1. Dosis HCl

pH air limbah domestik = 8

$$\begin{aligned} p [\text{H}^+] &= 8 - 1 \\ &= 7 \end{aligned}$$

Dosis HCl untuk menetralkan air limbah yang bersifat basa

$$\text{Dosis HCl} = \frac{Y \text{ (mg)}}{\text{BM} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)} \times \frac{1000}{\text{volume air}}$$

$$= \frac{Y \text{ (mg)}}{36,45 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)} \times \frac{1000}{120 \text{ liter}}$$

$$= \frac{Y \text{ (mg)}}{4,374}$$

Dimana Y adalah nilai dosis HCl

Persamaan reaksi $\text{HCl} = \text{H}^+ + \text{Cl}^-$

$$[\text{H}^+] = \frac{Y}{4,374} \times 1$$

$$= \frac{Y}{4,374}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$= -\log \frac{Y}{4,374}$$

$$10^{-1} = \frac{Y}{4,374}$$

$$Y = 0,44 \text{ mg/L (untuk 1 tingkatan penurunan pH)}$$

2. Kebutuhan HCl

$$\text{Kebutuhan HCl} = \text{dosis HCl} \times \text{kadar HCl}$$

$$= 0,44 \text{ mg/L} \times 63560 \text{ liter/hari} \times \frac{100\%}{32\%}$$

$$= 87.398,4 \text{ mg/hari}$$

$$= 87,39 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Volume HCl} = \frac{\text{Kebutuhan HCl}}{\rho_{\text{HCl}}} \times \text{periode pelarutan}$$

$$= \frac{87,39 \text{ kg/hari}}{1,18 \text{ kg/l}} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 74,06 \text{ liter} = 3,09 \text{ liter/jam} = 51,5 \text{ mL/menit}$$

$$= 0,074 \text{ m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan volume HCl sebesar 3,09 liter/jam atau 51,5 mL/menit. Maka, spesifikasi *dosing pump* yang digunakan adalah pompa dosing tacmina Pz 60. Berikut adalah spesifikasi produk:

Model : Tacmina PZ-60

Volume debit maksimum : 60 mL/menit atau 3,6 liter/jam

Tekanan pelepasan maksimum : 0,8 Mpa atau 8,0 bar

Tipe pompa : Pompa dosing elektromagnetik

Sumber tenaga : Catu daya rentan

Presisi dosis : Tinggi dan stabil

3. Kebutuhan air pelarut (konsentrasi larutan HCl = 70%)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air pelarut} &= \frac{\left(\frac{100\% - 70\%}{70\%}\right) \times \text{kebutuhan HCl}}{\rho \text{ air}} \\
 &= \frac{\left(\frac{100\% - 70\%}{70\%}\right) \times 87,39 \text{ kg/hari}}{1996,3 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,03 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Volume total bak pembubuh

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V \text{ HCl} + V \text{ air pelarut} \\
 &= 0,074 \text{ m}^3 + 0,03 \text{ m}^3 \\
 &= 0,111 \text{ m}^3 \\
 &= 111 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan katalog pasar, dengan volume total bak pembubuh sebesar 111 liter didapatkan *dosing tank* dengan agitator kapasitas 150 liter.

Berikut adalah spesifikasi teknis *dosing tank* dengan agitator:

Model	: <i>Dosing Tank with Agitator</i> IB-DTE00150-22
Kapasitas	: 150 liter
Diameter	: 550 mm
Daya listrik motor	: 0,25 kW
Propeller (baling-baling)	: 88
Material tangki	: Polyethylene (PE), UV stabilized
Desain tangki	: Bulat, silinder tegak dengan tutup ulir dan seal
Agitator	: Kecepatan 1500 rpm, motor tiga fasa 230/400 V, IP 55, kelas F
Poros dan propeller	: <i>Stainless steel</i>
Outlet ulir	: 3/4" (26 mm)

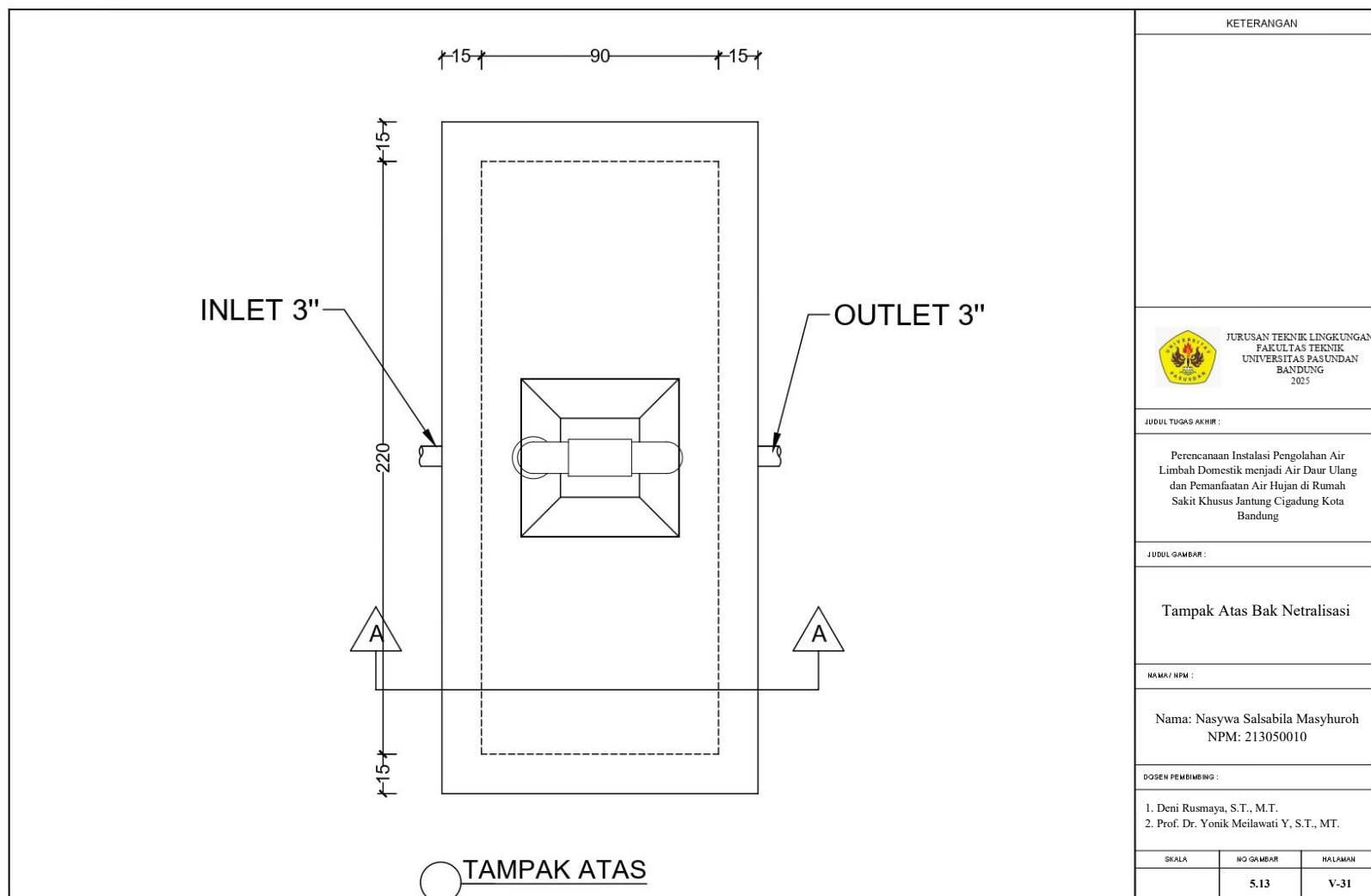


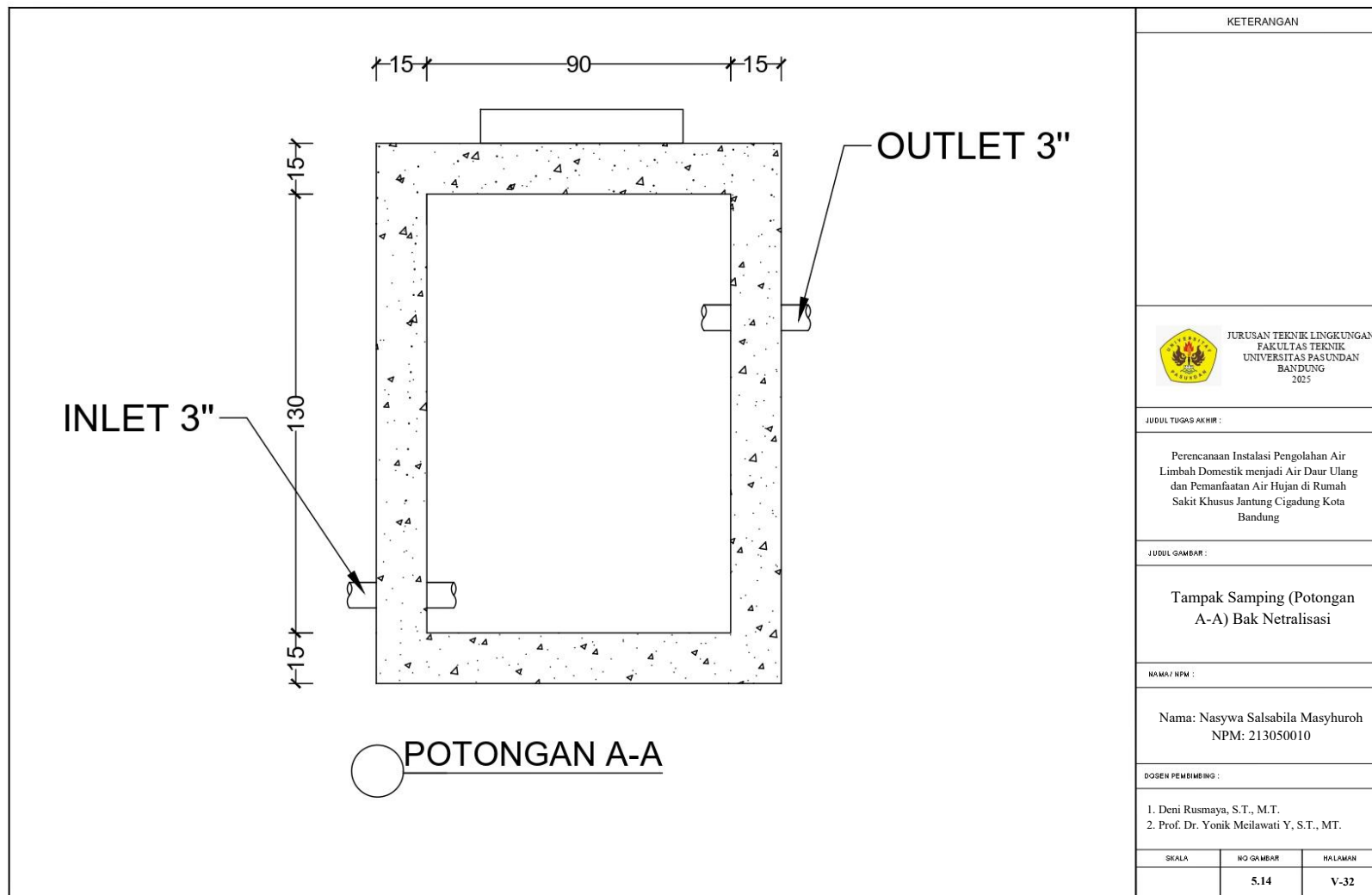
Gambar 5.12 *Dosing Tank* dengan Agitator

Adapun rekapitulasi bak netralisasi adalah sebagai berikut:

1. Volume bak (V_{bn}) = 1,32 m³
2. Panjang bak (P) = 0,90 m
3. Lebar bak (L) = 2,2 m
4. Tinggi bak (T) = 1,30 m
5. Bak Pembubuh, *dosing tank with agitator* 150 liter (diameter = 550 mm)
6. *Dosing pump* 60 mL/menit atau 3,6 liter/jam

Berikut adalah gambar untuk bak netralisasi yang dapat dilihat pada **Gambar 5.13** dan **Gambar 5.14**.





5.6.3 Biofilter Anaerob-Aerob

Berikut adalah **Tabel 5.5** kriteria desain dari bak *biofilter anaerob-aerob*:

Tabel 5.5 Kriteria Desain Bak Biofilter Anaerob-Aerob

Kriteria Desain	Biofilter Anaerob	Biofilter Aerob	Satuan
Beban BOD per satuan permukaan media (L_A)	5 – 30	5 – 30	g BOD/m ² .hari
Beban BOD	0,5 – 4	0,5 – 4	kg BOD per m ³ media
Waktu tinggal total rata-rata (td)	6 – 8	6 – 8	Jam
Tinggi ruang lumpur	0,5	0,5	m
Tinggi <i>bed media</i> pembiakan mikroba	0,9 – 1,5	1,2	m
Tinggi air di atas <i>bed media</i>	20	20	cm

Sumber: Pedoman IPAL Kemenkes RI, 2011

Tabel 5.6 Media Pembiakan Mikroba

Media Pembiakan Mikroba	
Tipe	: Sarang Tawon (<i>cross flow</i>)
Material	: PVC <i>sheet</i>
Ketebalan	: 0,15 – 0,23 mm
Luas kontak spesifik	: 150 – 226 m ² /m ³
Diameter lubang	: 2 cm × 2 cm
Berat spesifik	: 30 – 35 kg/m ³
Porositas Rongga	: 0,98

Sumber: Pedoman IPAL Kemenkes RI, 2011

5.6.3.1 Biofilter Anaerob

Setelah melalui *chamber* netralisasi, pengolahan biologis tahap pertama dilakukan pada reaktor *anaerob*. Tahap ini bertujuan untuk menurunkan BOD dan

COD secara signifikan melalui aktivitas mikroorganisme anaerob. Berikut adalah

Tabel 5.7 kriteria desain dari bak *anaerob*:

Tabel 5.7 Kriteria Desain *Biofilter Anaerob*

Kriteria Desain	Range	Satuan
Beban BOD per satuan permukaan media (L_A)	5 – 30	g BOD/m ² .hari
Beban BOD	0,5 – 4	kg BOD per m ³ media
Waktu detensi (td)	6 – 8	Jam
Tinggi ruang lumpur	0,5	M
Tinggi <i>bed media</i> pembiakan mikroba	0,9 – 1,5	M
Tinggi air di atas <i>bed media</i>	20	cm

Sumber: Pedoman IPAL Kemenkes RI, 2011

Data Perencanaan:

- $Q_{\text{rdomestik}}$ = 63,56 m³/hari
= 2,65 m³/jam
- Beban BOD per satuan permukaan media (L_A) = 15 g BOD/m².hari
- Beban BOD = 0,5 kg BOD per m³ media
- Waktu detensi (td) = 6 jam
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Tinggi *bed media* pembiakan mikroba = 1,2 m
- Tinggi air di atas *bed media* = 20 cm
- Kedalaman bak filter = 1,5 m – 2,5 m (Azifah, 2022)
- T_{total} Bak = 2,55 m
- *Freeboard* = 0,30 m
- Volume media = 75 % dari total volume reaktor (Ratnawati, 2014)
- BOD_{in} = 61,27 mg/l

- $COD_{in} = 169,27 \text{ mg/l}$
- $TSS_{in} = 145,35 \text{ mg/l}$
- Efisiensi BOD $= 65 - 85\% = 70\%$
- Efisiensi COD $= 75 - 85\% = 80\%$
- Efisiensi TSS $= 50\%$

Perhitungan Bak *Biofilter Anaerob*

1. Volume *biofilter anaerob*

$$\begin{aligned}
 V &= Q \times t_d \\
 &= 2,65 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam} \\
 &= 15,89 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Panjang Bak (P)

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (L)} &= 2,25 \text{ m} \\
 T_{\text{total}} &= 2,55 \text{ m} \\
 T &= 2,55 \text{ m} - \text{freeboard} \\
 &= 2,55 \text{ m} - 0,30 = 2,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{V}{L \times T} \\
 &= \frac{15,89 \text{ m}^3}{2,25 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}} \\
 &= 3,13 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Volume Total Bak

$$\begin{aligned}
 V_{\text{ban}} &= P \times L \times T \\
 &= 3,13 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 2,55 \text{ m} \\
 &= 18 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan Media Pembiakan Mikroba (Sarang Tawon)

1. Beban massa (harian)

Konversi Debit

$$Q = 63,56 \text{ m}^3/\text{hari} = 63.560 \text{ l/hari}$$

Massa BOD (mg/hari)

$$BOD_{\text{mass}} = Q \times BOD_{in}$$

$$\begin{aligned}
 &= 63.560 \text{ l/hari} \times 61,27 \text{ mg/l} \\
 &= 2.894.321,2 \text{ mg/hari} = 3.894,3 \text{ g/hari} = 3,894 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

2. Luas Media (L_{media})

Luas media yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{media}} &= \frac{\text{BOD}_{\text{mass}} \text{ (g/hari)}}{L_A} \\
 &= \frac{3.894,3 \text{ g/hari}}{15 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{hari}} = 259,62 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Volume Media (V_{media})

Media Sarang Tawon, luas kontak spesifik = $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{media}} &= \frac{\text{Luas Media (m}^2\text{)}}{\text{Luas Kotak Spesifik (m}^2/\text{m}^3\text{)}} \\
 &= \frac{259,62 \text{ m}^2}{150 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 1,73 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Area dasar Media (A_{media})

Tinggi *bed media* pembiakan mikroba = 1,2 m

$$\begin{aligned}
 A_{\text{media}} &= \frac{\text{Volume Media (m}^3\text{)}}{\text{Tinggi Bed Media (m)}} \\
 &= \frac{1,73 \text{ m}^3}{1,2 \text{ m}} = 1,44 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

5. Cek kapasitas media di reaktor

Volume media 75 % dari total volume reaktor

$$\begin{aligned}
 V_{\text{media,max}} &= 0,75 \times V \\
 &= 0,75 \times 15,89 \text{ m}^3 = 11,918 \text{ m}^3 \\
 &\textbf{(Memenuhi, } 1,73 \text{ m}^3 < 11,918 \text{ m}^3 \textbf{)}
 \end{aligned}$$

6. Organik COD loading ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$)

$$169,27 \text{ mg/l} = 169,27 \text{ g/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{OLR} &= \frac{Q \times \text{COD}_{\text{in}}}{V} \\
 &= \frac{63,56 \text{ m}^3/\text{hari} \times 169,27 \text{ g/m}^3}{15,89 \text{ m}^3} = 677,08 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hari} \\
 &= \frac{677,08 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hari}}{1000 \text{ g/kg}} \\
 &= 0,677 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \textbf{(OK, Organic Load} < 4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari)}
 \end{aligned}$$

7. Porositas & HRT efektif (porositas rongga: 0,98)

$$\begin{aligned}
 V_{\text{padatan media}} &= (1 - \varepsilon) \times V_{\text{media}} \\
 &= (1 - 0,98) \times 1,73 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 0,0346 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V_{\text{air efektif di reaktor}} &= V - V_{\text{padatan media}} \\ &= 15,89 \text{ m}^3 - 0,0346 \text{ m}^3 \\ &= 15,85 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{defektif}} &= \frac{V_{\text{air efektif di reaktor}} (\text{m}^3)}{Q (\text{m}^3/\text{jam})} \\ &= \frac{15,85 \text{ m}^3}{2,65 \text{ m}^3/\text{jam}} = 5,98 \approx 6 \text{ jam (memenuhi, td desain 6 jam)} \end{aligned}$$

Penyisihan BOD, COD, dan TSS di Bak *Biofilter Anaerob*:

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= \% \text{Efisiensi BOD} \times \text{BOD}_{\text{in}} \\ &= 80\% \times 61,27 \text{ mg/l} \\ &= 49,016 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{en}} &= 61,27 \text{ mg/l} - 49,016 \text{ mg/l} \\ &= 12,25 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \% \text{Efisiensi COD} \times \text{COD}_{\text{in}} \\ &= 70\% \times 169,27 \text{ mg/l} \\ &= 118,489 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{en}} &= 169,27 \text{ mg/l} - 118,489 \text{ mg/l} \\ &= 50,78 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= \% \text{Efisiensi TSS} \times \text{TSS}_{\text{in}} \\ &= 50\% \times 145,35 \text{ mg/l} \\ &= 72,675 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_{\text{en}} &= 145,35 \text{ mg/l} - 72,675 \text{ mg/l} \\ &= 72,68 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi bak *biofilter anaerob* adalah sebagai berikut:

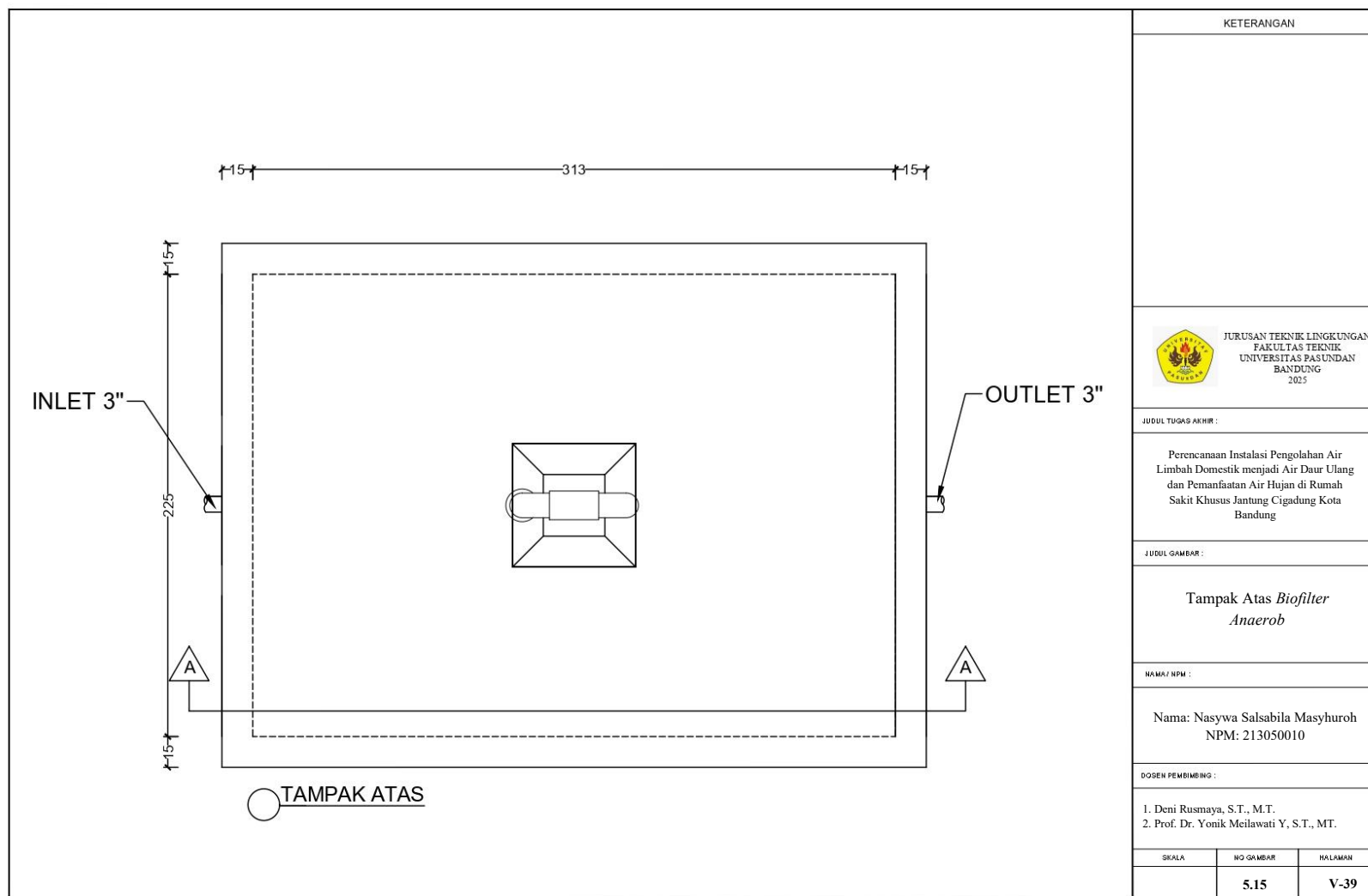
1. Volume bak (V_{ban}) = 18 m^3
2. Panjang bak (P) = $3,13 \text{ m}$
3. Lebar bak (L) = $2,25 \text{ m}$
4. Tinggi bak (T) = $2,55 \text{ m}$
5. BOD_{en} = $12,25 \text{ mg/l}$
6. COD_{en} = $50,78 \text{ mg/l}$

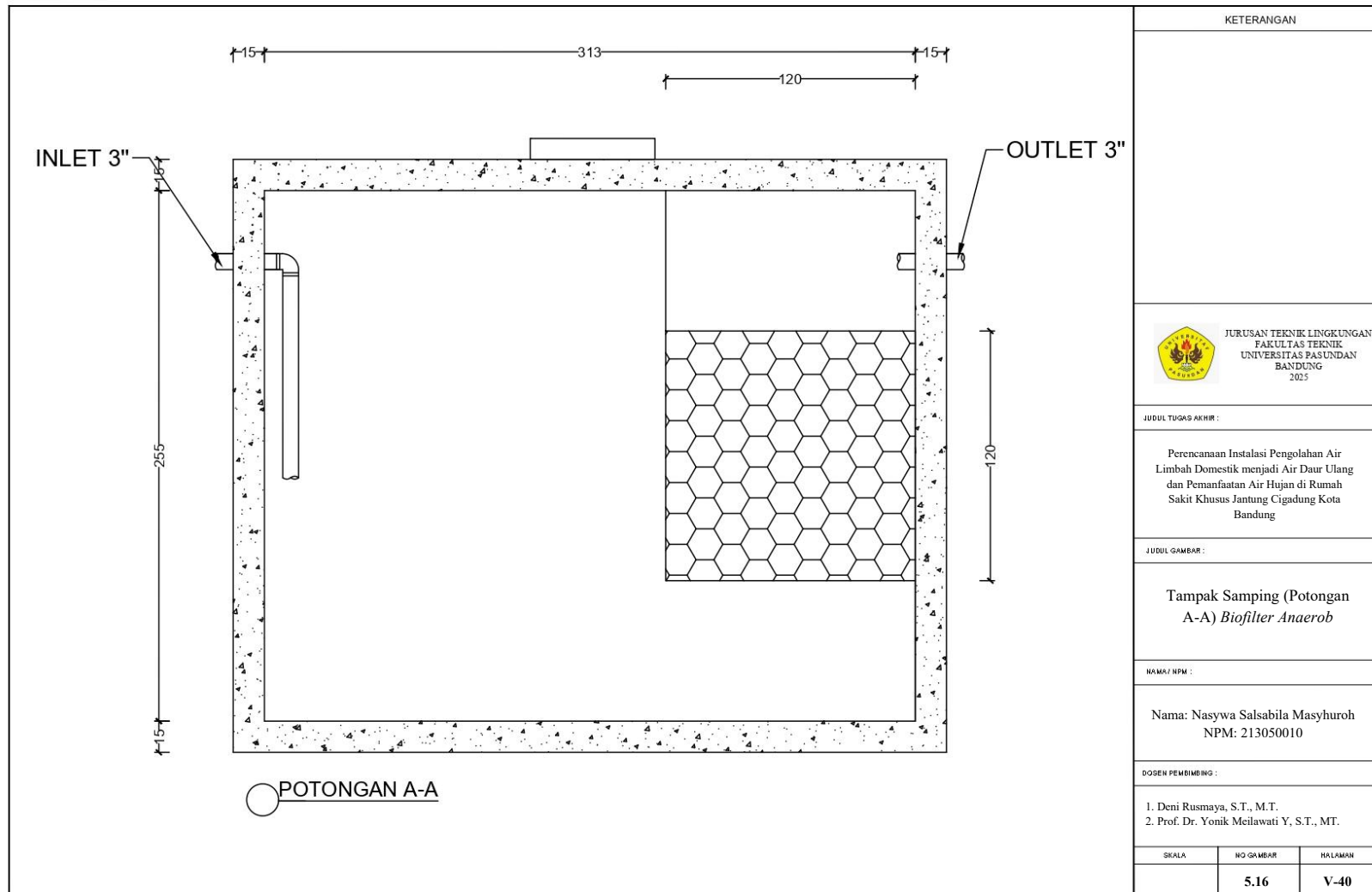
7. $TSS_{en} = 72,68 \text{ mg/l}$

8. Media sarang tawon, luas kontak spesifik = $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$, $V_{media} = 1,73 \text{ m}^3$,

$T_{bed} = 1,2 \text{ m}$, area dasar = $1,44 \text{ m}^2$

Berikut adalah gambar untuk *biofilter anaerob* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.15** dan **Gambar 5.16**.





5.6.3.2 Biofilter Aerob

Tahap selanjutnya adalah *biofilter aerob* yang mengandalkan oksigen untuk proses nitrifikasi. Berikut adalah **Tabel 5.8** kriteria desain bak *biofilter aerob*:

Tabel 5.8 Kriteria Desain Bak Biofilter Aerob

Kriteria Desain	Range	Satuan
Beban BOD per satuan permukaan media (L_A)	5 – 30	g BOD/m ² .hari
Beban BOD	0,5 – 4	kg BOD per m ³ media
Waktu detensi (td)	6 – 8	jam
Tinggi ruang lumpur	0,5	m
Tinggi <i>bed media</i> pembiakan mikroba	0,9 – 1,5	m
Tinggi air di atas <i>bed media</i>	20	cm

Sumber: Pedoman IPAL Kemenkes RI, 2011

Data Perencanaan:

- $Q_{\text{rdomestik}}$ = 63,56 m³/hari
= 2,65 m³/jam
- Beban BOD per satuan permukaan media (L_A) = 15 g BOD/m².hari
- Beban BOD = 0,5 kg BOD per m³ media
- Waktu detensi (td) = 6 jam
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
- Tinggi *bed media* pembiakan mikroba = 1,2 m
- Tinggi air di atas *bed media* = 20 cm
- Kedalaman bak filter = 1,5 m – 2,5 m (Azifah, 2022)
- T_{total} Bak = 2,55 m
- *Freeboard* = 0,30 m
- Volume media = 75 % dari total volume reaktor

(Ratnawati, 2014)

- BOD_{in} = 12,25 mg/l
- COD_{in} = 50,78 mg/l
- $Amoniak_{in}$ = 20,9 mg/l
- Efisiensi BOD = $80 - 95\% = 90\%$
- Efisiensi COD = 99%
- Efisiensi Amoniak = $93 - 95\% = 94\%$

Perhitungan Bak *Biofilter Aerob*

1. Volume *biofilter aerob*

$$\begin{aligned}
 V &= Q \times td \\
 &= 2,65 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam} \\
 &= 15,89 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Panjang Bak (P)

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (L)} &= 2,25 \text{ m} \\
 T_{\text{total}} &= 2,55 \text{ m} \\
 T &= 2,55 \text{ m} - \text{freeboard} \\
 &= 2,55 \text{ m} - 0,30 = 2,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{V}{L \times T} \\
 &= \frac{15,89 \text{ m}^3}{2,25 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}} \\
 &= 3,13 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Volume Total Bak

$$\begin{aligned}
 V_{\text{ba}} &= P \times L \times T \\
 &= 3,13 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 2,55 \text{ m} \\
 &= 18 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan Media Pembiakan Mikroba (Sarang Tawon)

1. Beban massa (harian)

Konversi Debit

$$Q = 63,56 \text{ m}^3/\text{hari} = 63.560 \text{ l/hari}$$

Massa BOD (mg/hari)

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{mass}} &= Q \times \text{BOD}_{\text{in}} \\ &= 63.560 \text{ l/hari} \times 12,25 \text{ mg/l} \\ &= 778.864 \text{ mg/hari} = 778,86 \text{ g/hari} = 0,778 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

2. Luas Media (L_{media})

Luas media yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} L_{\text{media}} &= \frac{\text{BOD}_{\text{mass}} \text{ (g/hari)}}{L_A} \\ &= \frac{778,86 \text{ g/hari}}{15 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{hari}} = 51,924 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Volume Media (V_{media})

Media Sarang Tawon, luas kontak spesifik = $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$

$$\begin{aligned} V_{\text{media}} &= \frac{\text{Luas Media (m}^2\text{)}}{\text{Luas Kotak Spesifik (m}^2/\text{m}^3\text{)}} \\ &= \frac{51,924 \text{ m}^2}{150 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 0,3462 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4. Area dasar Media (A_{media})

Tinggi *bed media* pembiakan mikroba = 1,2 m

$$\begin{aligned} A_{\text{media}} &= \frac{\text{Volume Media (m}^3\text{)}}{\text{Tinggi Bed Media (m)}} \\ &= \frac{0,3462 \text{ m}^3}{1,2 \text{ m}} = 0,2885 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5. Cek kapasitas media di reaktor

Volume media 75 % dari total volume reaktor

$$\begin{aligned} V_{\text{media,max}} &= 0,75 \times V \\ &= 0,75 \times 15,89 \text{ m}^3 = 11,918 \text{ m}^3 \\ &\text{(Memenuhi, } 0,3462 \text{ m}^3 < 11,918 \text{ m}^3 \text{)} \end{aligned}$$

6. Organik COD loading ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$)

$$50,78 \text{ mg/l} = 50,78 \text{ g/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{OLR} &= \frac{Q \times \text{COD}_{\text{in}}}{V} \\ &= \frac{63,56 \text{ m}^3/\text{hari} \times 50,78 \text{ g/m}^3}{15,89 \text{ m}^3} = 203,12 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hari} \\ &= \frac{203,12 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hari}}{1000 \text{ g/kg}} \\ &= 0,203 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (OK, Organic Load } < 4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari)} \end{aligned}$$

7. Porositas & HRT efektif (porositas rongga: 0,98)

$$\begin{aligned}
 V_{\text{padatan media}} &= (1 - \varepsilon) \times V_{\text{media}} \\
 &= (1 - 0,98) \times 0,3462 \text{ m}^3 \\
 &= 0,0069 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{air efektif di reaktor}} &= V - V_{\text{padatan media}} \\
 &= 15,89 \text{ m}^3 - 0,0069 \text{ m}^3 \\
 &= 15,883 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{efektif}} &= \frac{V_{\text{air efektif di reaktor}} (\text{m}^3)}{Q (\text{m}^3/\text{jam})} \\
 &= \frac{15,883 \text{ m}^3}{2,65 \text{ m}^3/\text{jam}} = 5,98 \approx 6 \text{ jam (memenuhi, td desain 6 jam)}
 \end{aligned}$$

Blower Udara

Dalam menentukan *blower* udara, didasarkan dari kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menghilangkan beban BOD. Kebutuhan oksigen ditetapkan efisiensi *biofilter aerob*, yaitu 90% (Hidayati, 2017).

1. Kebutuhan Teoritis

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Teoritis} &= 90\% \times \text{Beban BOD} \\
 &= 90\% \times 0,778 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,701 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Faktor keamanan (FS) ditentukan untuk *packing* berupa *plastic crossflow*, maka digunakan FS sebesar 1,6 (Metcalf & Eddy, 2003).

2. Kebutuhan Oksigen

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Oksigen} &= \text{FS} \times \text{Kebutuhan Teoritis} \\
 &= 1,6 \times 0,701 \text{ kg/hari} \\
 &= 1,1216 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan udara teoritis, yaitu untuk menentukan kapasitas *blower*.

Persentase oksigen dalam udara = 23,18%

Suhu udara rata-rata bak *biofilter aerob* = 30°C (Metcalf & Eddy, 2003)

3. Massa jenis udara pada suhu 30°C

$$\begin{aligned}
 \text{Mass jenis udara } (\rho) &= \frac{P \times M}{R \times T} \\
 &= \frac{(1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \times (28,97 \text{ kg/kmol})}{(8,314 \text{ N.m/kmol.K}) \times (273,15 + 30) \text{ K}}
 \end{aligned}$$

$$= 1,165 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

P : Tekanan atmosfer $1.01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

M : Mol udara 28,97 kg/kmol

R : Konstanta gas universal 8,314 N.m/kmol.K

T : Temperature (K, Kelvin $273,15 + 30^\circ\text{C}$)K

4. Jumlah Kebutuhan Udara

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kebutuhan Udara} &= \frac{\text{Kebutuhan Oksigen}}{\rho \times \text{persentase oksigen dalam udara}} \\ &= \frac{1.1216 \text{ kg/hari}}{1,165 \text{ kg/m}^3 \times 23,18\%} \\ &= 4,15 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

5. Kebutuhan Udara Aktual

Efisiensi *blower* udara antara 9 – 12%: 10% (Metcalf & Eddy, 2003).

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Udara Aktual} &= \frac{\text{Jumlah Kebutuhan Udara Teoritis}}{\text{Efisiensi } \textit{blower} (\%)} \\ &= \frac{4,15 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,1} \\ &= 41,53 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,0288 \text{ m}^3/\text{menit} \\ &= 28,84 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

Diperoleh kebutuhan udara sebesar 28,84 liter/menit spesifikasi *blower* udara yang dibutuhkan adalah:

Kapasitas : 30 liter/menit

Jumlah : 1 unit

Model : AP-30

Outlet Diameter : 18 mm ($\varnothing 18$)

Daya : 25 watt

Dimensi : $215 \times 172 \times 199 \text{ m}$

Untuk spesifikasi diffuser udara yang digunakan adalah:

Tipe : *fine bubble tube diffuser*

Diameter : 8 inch

Flowrate : 30 liter/menit

Maka,

Jumlah diffuser yang diperlukan

$$= \frac{\text{Jumlah Blower Udara}}{\text{Flow Rate Diffuser}} = \frac{30 \text{ liter/menit}}{30 \text{ liter/menit}} = 1 \text{ buah}$$

Penyisihan BOD, COD, dan Amoniak di Bak *Biofilter Aerob*:

$$\text{BOD} = \% \text{Efisiensi BOD} \times \text{BOD}_{\text{in}}$$

$$= 90\% \times 12,25 \text{ mg/l}$$

$$= 11,0286 \text{ mg/l}$$

$$\text{BOD}_{\text{en}} = 12,25 \text{ mg/l} - 11,0286 \text{ mg/l}$$

$$= 1,23 \text{ mg/l}$$

$$\text{COD} = \% \text{Efisiensi COD} \times \text{COD}_{\text{in}}$$

$$= 99\% \times 50,78 \text{ mg/l}$$

$$= 50,27 \text{ mg/l}$$

$$\text{COD}_{\text{en}} = 50,78 \text{ mg/l} - 50,27 \text{ mg/l}$$

$$= 0,51 \text{ mg/l}$$

$$\text{Amoniak} = \% \text{Efisiensi Amoniak} \times \text{Amoniak}_{\text{in}}$$

$$= 94\% \times 20,9 \text{ mg/l}$$

$$= 19,646 \text{ mg/l}$$

$$\text{Amoniak}_{\text{en}} = 20,9 \text{ mg/l} - 19,646 \text{ mg/l}$$

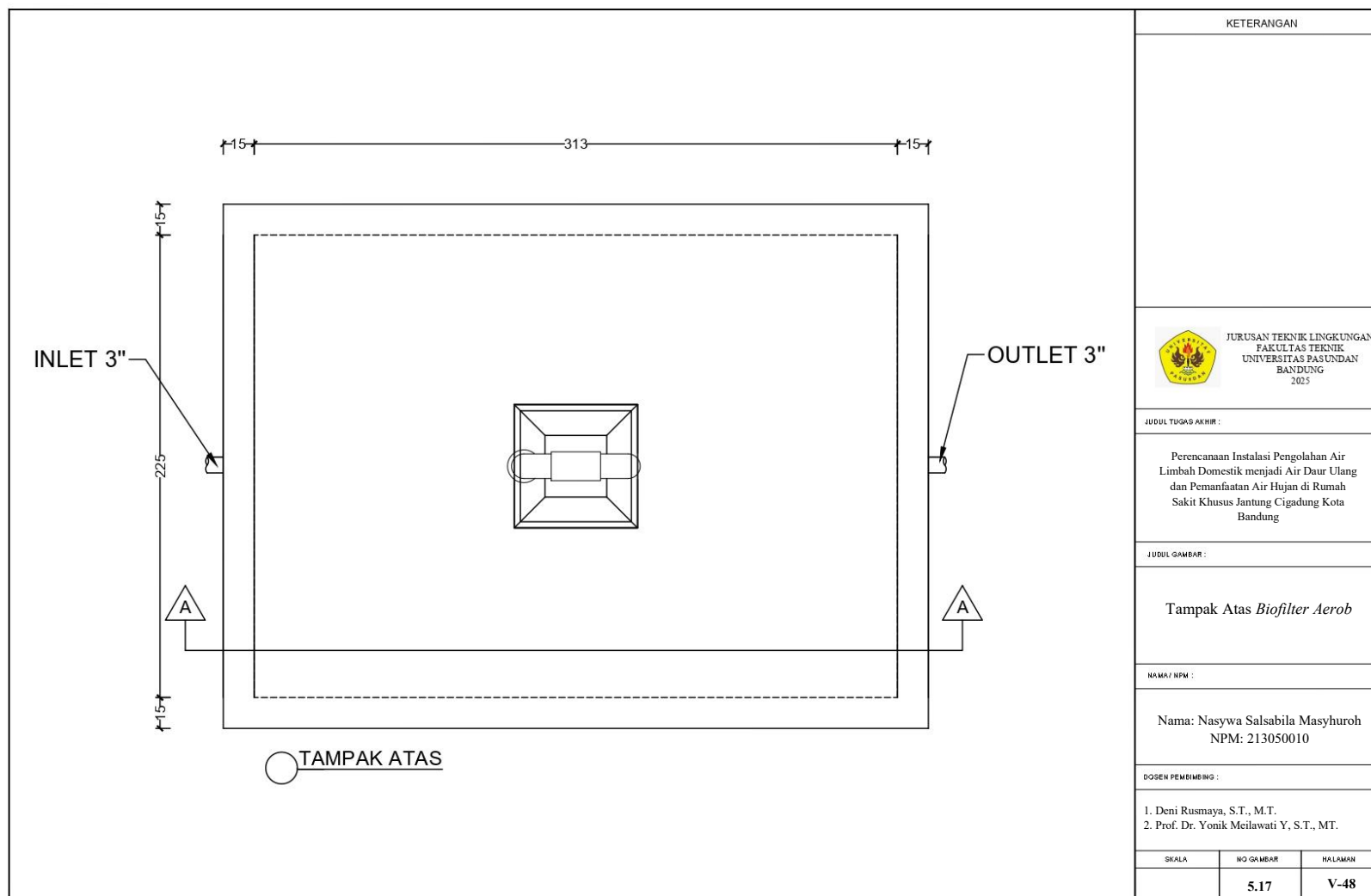
$$= 1,254 \text{ mg/l}$$

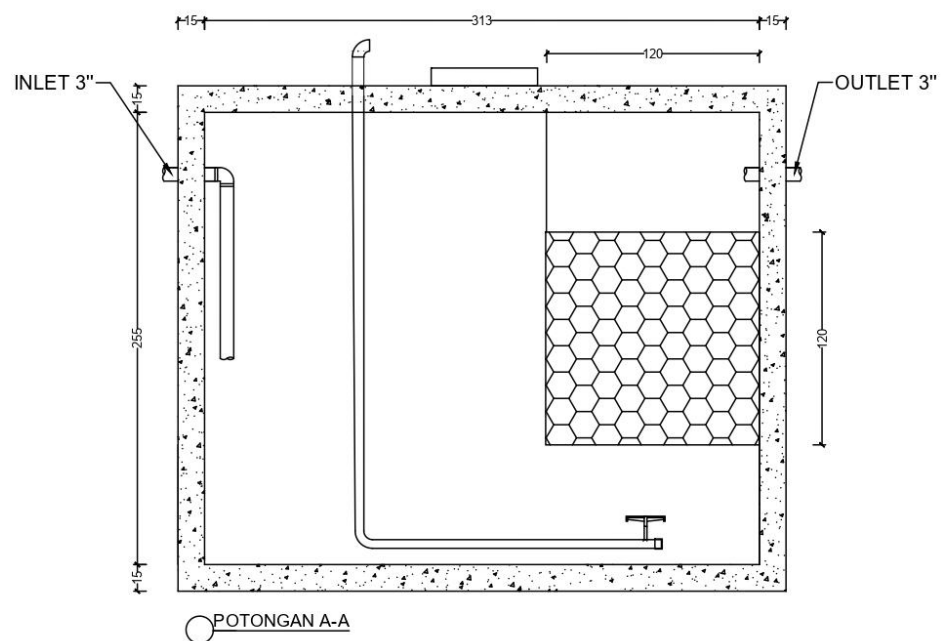
Adapun rekapitulasi bak *biofilter aerob* adalah sebagai berikut:

1. Volume bak (V_{ban}) = 18 m^3
2. Panjang bak (P) = $3,13 \text{ m}$
3. Lebar bak (L) = $2,25 \text{ m}$
4. Tinggi bak (T) = $2,55 \text{ m}$
5. BOD_{en} = $1,23 \text{ mg/l}$
6. COD_{en} = $0,51 \text{ mg/l}$
7. $\text{Amoniak}_{\text{en}}$ = $1,254 \text{ mg/l}$
8. Media sarang tawon, luas kontak spesifik = $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$, $V_{\text{media}} = 0,3462 \text{ m}^3$, $T_{\text{bed}} = 1,2 \text{ m}$, area dasar = $0,2885 \text{ m}^2$

9. *Blower* Udara, jumlah kebutuhan udara = $4,15 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan kebutuhan udara aktual = 28,84 liter/menit

Berikut adalah gambar untuk *biofilter aerob* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.17** dan **Gambar 5.18**.





KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
A-A) Biofilter Aerob

NAMA/ NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA

NO GAMBAR

HALAMAN

5.18

V-49

5.6.4 Bak Pengendap

Setelah pengolahan biologis selesai, air limbah mengandung padatan tersuspensi (TSS) yang berasal dari biomassa. Agar efluen jernih dan memenuhi standar, dilakukan pengendapan partikel di bak pengendap. Berikut adalah **Tabel 5.9** kriteria desain bak pengendap:

Tabel 5.9 Kriteria Desain Bak Pengendap

Kriteria Desain	Range	Satuan
Waktu detensi (td)	1,5 – 2,5	Jam
Overflow rate (Vs)	16 – 40	m ³ /m ² .hari
Tinggi <i>Settler</i>	0,5 – 2	m

Sumber: Pedoman IPAL Kemenkes RI (2011), Tchobanoglous, et. al. (2004)

Data Perencanaan:

- Bentuk bak sedimentasi = *rectangular* (persegi panjang)
- $Q_{rdometik}$ = 63,56 m³/hari = 0,00074 m³/detik
- Waktu detensi (td) = 2 jam = 7200 detik
- T_{total} Bak = 2,55 m
- *Freeboard* = 0,30 m
- Massa jenis air (ρ), 28°C = 996,36 kg/m³
- *Specific gravity sludge* (Sg) = 1,03
- Kadar kepadatan lumpur = 5% (kadar air dalam lumpur 95%)
- BOD_{in} = 1,23 mg/l
- COD_{in} = 0,51 mg/l
- TSS_{in} = 72,68 mg/l
- Efisiensi BOD = 40%
- Efisiensi COD = 40%
- Efisiensi TSS = 65%

Perhitungan Bak Pengendap Awal**Zona Pengendapan (*Settling Zone*)**

1. Volume bak pengendap (V)

$$\begin{aligned}
 V &= Q \times t_d \\
 &= 0,00074 \text{ m}^3/\text{detik} \times 7200 \text{ detik} \\
 &= 5,328 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Panjang Bak (P)

$$\begin{aligned}
 T_{\text{total Bak}} &= 2,55 \text{ m} \\
 \text{Freeboard} &= 0,30 \text{ m} \\
 T &= 2,55 - 0,30 = 2,25 \text{ m} \\
 P &= \frac{V}{L \times T} \\
 &= \frac{5,328 \text{ m}^3}{2,25 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}} = 1,05 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Volume Total Bak

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pa1}} &= P \times L \times T_{\text{total}} \\
 &= 1,05 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 2,55 \text{ m} \\
 &= 6,02 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Cek *overflow rate* pada $Q_{\text{rdomestik}}$

$$\begin{aligned}
 \text{OFR} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{Q}{P \times L} \\
 &= \frac{0,00074 \text{ m}^3/\text{detik}}{1,05 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}} \times 86400 \text{ detik/hari} \\
 &= 27 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \text{ (memenuhi kriteria, } 16 - 40 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari)}
 \end{aligned}$$

5. Cek Waktu Detensi (t_{cek})

$$\begin{aligned}
 t_{\text{cek}} &= \frac{P \times L \times T}{Q} \\
 &= \frac{1,05 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}}{0,00074 \text{ m}^3/\text{detik}} = 7.183,2 \text{ detik} \\
 &= 2,02 \text{ jam (memenuhi kriteria, } 1,5 - 2,5 \text{ jam)}
 \end{aligned}$$

Data Perencanaan

- Debit $Q_{\text{rdomestik}}$ = 63,56 m³/hari
- Kadar kepadatan lumpur = 5% (kadar air dalam lumpur 95%)

- *Specific gravity sludge* (Sg) = 1,03
- Periode pengurasan = 1 hari
- BOD_{in} = 1,23 mg/l
- COD_{in} = 0,51 mg/l
- TSS_{in} = 72,68 mg/l
- Efisiensi BOD = 40%
- Efisiensi COD = 40%
- Efisiensi TSS = 65%

Perhitungan Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

1. Penyisihan BOD, COD, dan TSS

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= 40\% \times 1,23 \text{ mg/l} \\ &= 0,49 \text{ mg/l} \\ &= 0,00049 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{ef}} &= 1,23 \text{ mg/l} - 0,49 \text{ mg/l} \\ &= 0,74 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= 40\% \times 0,51 \text{ mg/l} \\ &= 0,204 \text{ mg/l} \\ &= 0,00020 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{ef}} &= 0,51 \text{ mg/l} - 0,204 \text{ mg/l} \\ &= 0,30 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= 65\% \times 72,68 \text{ mg/l} \\ &= 47,23 \text{ mg/l} \\ &= 0,04723 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_{\text{ef}} &= 72,68 \text{ mg/l} - 47,23 \text{ mg/l} \\ &= 25,43 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

2. Berat Lumpur (W_s)

$$\begin{aligned} W_s &= \text{TSS}_{\text{in}} \times \% \text{Efisiensi TSS} \times Q \\ &= \frac{72,68 \text{ mg/l} \times 0,65 \times 63,56 \text{ m}^3/\text{detik}}{1.000.000 \text{ mg/kg}} \times \frac{1001}{\text{m}^3} \\ &= 3,01 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

3. Berat Air (W_w)

$$\begin{aligned}
 W_w &= \left(\frac{95\%}{5\%} \right) \times \text{berat lumpur terendapkan} \\
 &= \left(\frac{95\%}{5\%} \right) \times \text{kg/hari} \\
 &= 57,10 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

4. Massa jenis *solid* (ρ_s)

$$\begin{aligned}
 S_g &= \frac{\rho_s}{\rho} \\
 1,03 &= \frac{\rho_s}{996,36 \text{ kg/m}^3} \\
 \rho_s &= 1.026,25 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

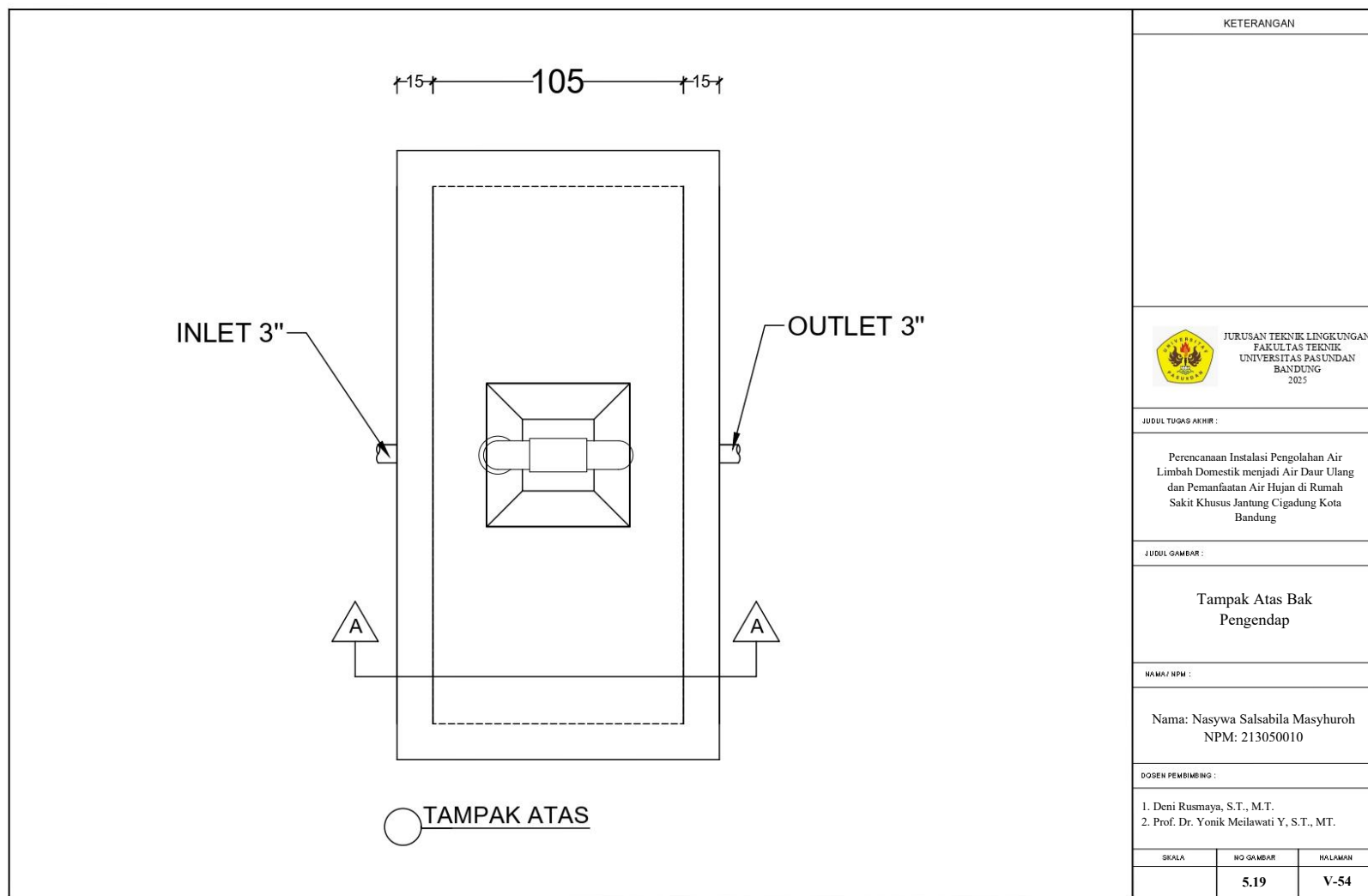
$$\begin{aligned}
 5. \ V_{\text{lumpur}} &= \frac{W_s + W_w}{\rho_s} \times t_p \\
 &= \frac{3,01 \text{ kg/hari} + 57,10 \text{ kg/hari}}{1026,25 \text{ kg/m}^3} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,06 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

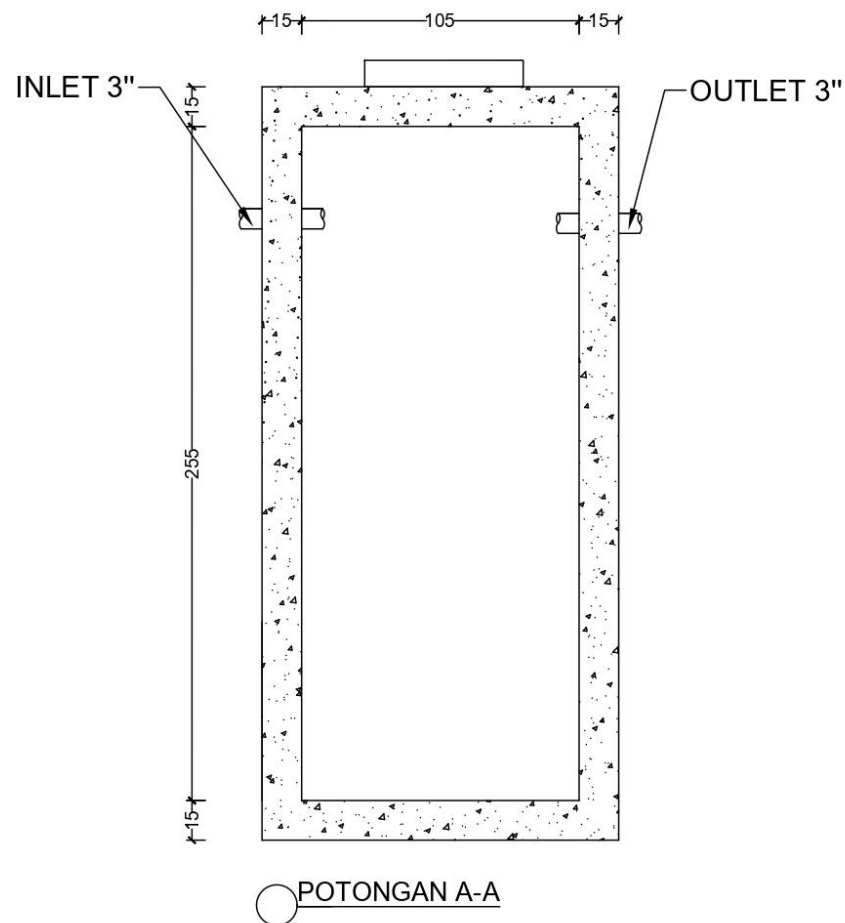
Adapun rekapitulasi bak pengendap adalah sebagai berikut:

1. Volume bak (V_{pal}) = 6,02 m³ $\approx$ 6 m³
2. Panjang bak (P) = 1,05 m
3. Lebar bak (L) = 2,25 m
4. Tinggi bak (T) = 2,55 m
5. BOD_{ef} = 0,74 mg/l
6. COD_{ef} = 0,30 mg/l
7. TSS_{ef} = 25,43 mg/l
8. Berat Lumpur (W_s) = 3,01 kg/hari
9. Berat Air (W_w) = 57,10 kg/hari
10. V_{lumpur} = 0,06 m

Berikut adalah gambar untuk bak pengendap yang dapat dilihat pada

Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.





KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
A-A) Bak Pengendap

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.20	V-55

5.6.5 Desinfeksi

Sebagai tahap akhir, desinfeksi diperlukan untuk menurunkan jumlah bakteri patogen sebelum efluen dilepas ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali. Berikut adalah **Tabel 5.10** kriteria desain unit desinfeksi yang menggunakan metode klorinasi:

Tabel 5.10 Kriteria Desain Klorinasi

Kriteria Desain	Range	Satuan
Dosis Klorin	2 – 8	mg/l
Berat jenis kaporit	0,8 – 0,88	kg/l
Kecepatan aliran	2 – 4,5	m/detik
Waktu kontak	15 – 45	menit

Sumber: Metcalf & Eddy, 1991

Data Perencanaan:

- $Q_{rdometik}$ = 63,56 m³/hari = 063.560 l/hari
- Dosis klorin = 5 mg/l
- Waktu kontak (td) = 30 menit
- *Freeboard* = 0,30 m
- Kecepatan aliran = 2,5 m/detik
- Konsentrasi larutan = 5% (Fadillah, 2025)
- Kadar Ca(OCl)₂ = 60%
- Periode pelarutan = 12 jam
- Kadar *Total Coliform* = 16.000 MPN/100 ml
- Efisiensi *Total Coliform* = 99% (US EPA, 2020)

Perhitungan Pembubuhan Klorin

1. Klorin yang diolah = Dosis klor × debit
 = 5 mg/l × 63.560 l/hari
 = 317.800 mg/hari
 = 317,8 g/hari = 0,3178 kg/hari

2. Klorin yang dibutuhkan dalam 1 hari

1 kadar $\text{Ca(OCl)}_2 \times$ klorin yang diolah

$$= \frac{100}{60} \times 0,3178 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,5296 \text{ kg/hari} \approx 0,530 \text{ kg/hari}$$

$$= 530 \text{ g/hari}$$

3. Jumlah klorin yang dibutuhkan untuk 1x pembuatan

Periode pelarutan = 12 jam (2x/hari)

$$\frac{0,5296 \text{ kg/hari}}{2} = 0,26483 \text{ kg} = 264,83 \text{ g/12 jam}$$

4. Konsentrasi larutan = 5%

5% w/v = 5 gram zat terlarut dalam 100 ml larutan

$$= \frac{5 \text{ gram}}{100 \text{ ml}} = 0,05 \text{ g/ml} = 50 \text{ g/l}$$

Sehingga, volume larutan/12 jam

$$\frac{\text{jumlah klorin/12 jam}}{50 \text{ g/l}} = \frac{264,83 \text{ g}}{50 \text{ g/l}} = 5,29 \text{ liter} \approx 5,30 \text{ liter/12 jam}$$

Jadi, volume larutan per hari = $2 \times 5,30 \text{ liter} = 10,6 \text{ l/24 jam/hari}$

5. *Dosing Pump*

Kebutuhan *dosing pump* dalam liter/jam > ml/menit

$$\frac{10,6 \text{ l/hari}}{24 \text{ jam}} = 0,4416 \text{ l/jam} = 7,36 \text{ ml/menit}$$

6. Kapasitas pembubuhan (cc/menit)

12 jam = 720 menit

$$\text{cc/min} = \frac{5,30 \text{ liter} \times 1000 \text{ cc/l}}{720 \text{ menit}} = 7,36 \text{ cc/menit}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, volume larutan yang dibutuhkan adalah 10,6 l/hari atau 5,3 l/12 jam. Debit larutan yang harus diinjeksi ke dalam aliran efluen adalah 7,36 ml/menit (0,44 l/jam). Maka, unit pembubuh direncanakan berupa tangki kimia dengan kapasitas 60 L, cukup untuk menampung larutan selama 6 hari. Larutan didistribusikan ke bak desinfeksi menggunakan *dosing pump*.

Adapun spesifikasi teknis untuk tangki kimia sebagai berikut:

Model : *Dosing Tank* 60 liter series 98150038

Volume larutan : 60 liter

Bahan : LLDPE (*Polyethylene UV-stabilized*)

Berat kosong	: 5,5 kg
Diameter	: 500 mm
Tinggi	: 545 mm



Gambar 5.21 Dosing Tank with Electric Stirrer

Sumber: Grundfos Instructions

Berikut adalah spesifikasi teknis untuk *dosing pump*:

Model	: Dosing Pump TN0110-M PV
Berat bersih	: 3 kg
Bahan	: Polyvinyl Chloride (PVC)
Ukuran	: 5 × 8 mm
Kapasitas	: 0 – 1 liter/jam
Tekanan	: 10 bar
Angkat hisap (<i>suction lift</i>)	: 1,5 mtr
Diaphragm diameter	: 34 mm
Stroke <i>speed</i>	: 32 mm
Daya pompa	: 24W 220V 50 Hz 0,65A

Perhitungan Unit Desinfeksi (Klor)

1. Volume *chamber* klorinasi

$$\begin{aligned}
 V_{\text{chlor}} &= Q \times t_d \\
 &= 0,044141 \text{ m}^3/\text{menit} \times 30 \text{ menit} \\
 &= 1,3242 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Dimensi *chamber* klorinasi

Lebar *chamber* = 2,25 m dan panjang *chamber* ditetapkan = 1,00 m.

Sehingga, kedalaman ditentukan:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{V_{\text{chlor}}}{P \times L} \\
 &= \frac{1,3242 \text{ m}^3}{1,00 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}} \\
 &= 0,5885 \text{ m} \\
 T_{\text{total}} &= 0,5885 \text{ m} + \text{freeboard} \\
 &= 0,5885 \text{ m} + 0,30 \text{ m} \\
 &= 0,8885 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Volume Total Bak

$$\begin{aligned}
 V_{\text{cc}} &= P \times L \times T \\
 &= 1,00 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 0,8885 \text{ m} \\
 &= 1,99 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Cek Waktu Detensi

$$\begin{aligned}
 t_d &= \frac{P \times L \times T}{Q} \\
 &= \frac{(1,00 \times 2,25 \times 0,5885) \text{ m}^3}{0,044141 \text{ m}^3/\text{menit}} \\
 &= 29,9 \approx 30 \text{ menit (memenuhi kriteria, 15 – 45 menit)}
 \end{aligned}$$

5. Cek Kecepatan Aliran Pipa

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,00074 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,0002943 \text{ m}^2} \\
 &= 2,5 \text{ m/detik} \\
 &\text{(memenuhi kriteria, 2 – 4,5 m/detik)}
 \end{aligned}$$

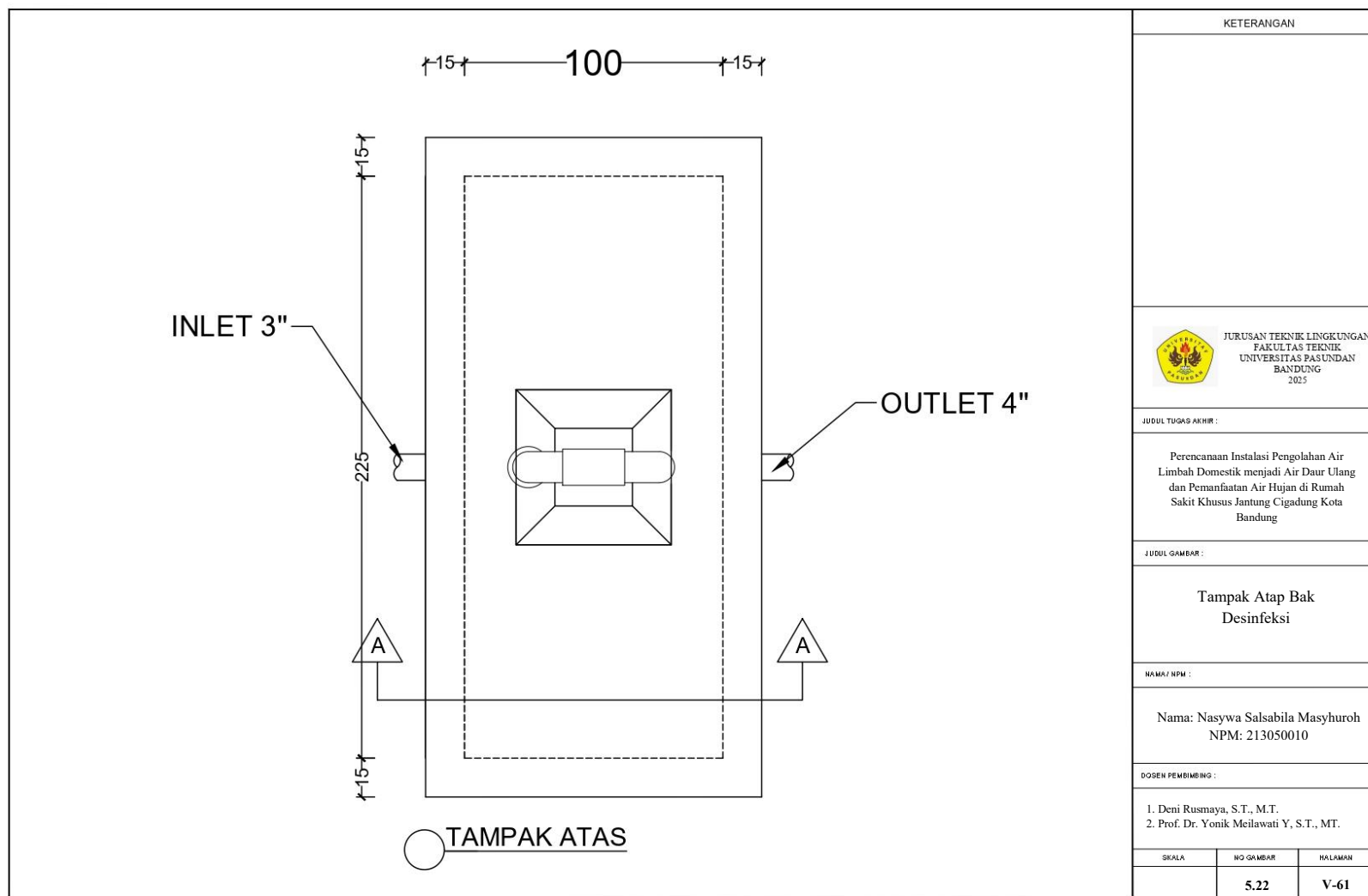
Penyisihan BOD, COD, dan Amoniak di Bak *Biofilter Aerob*:

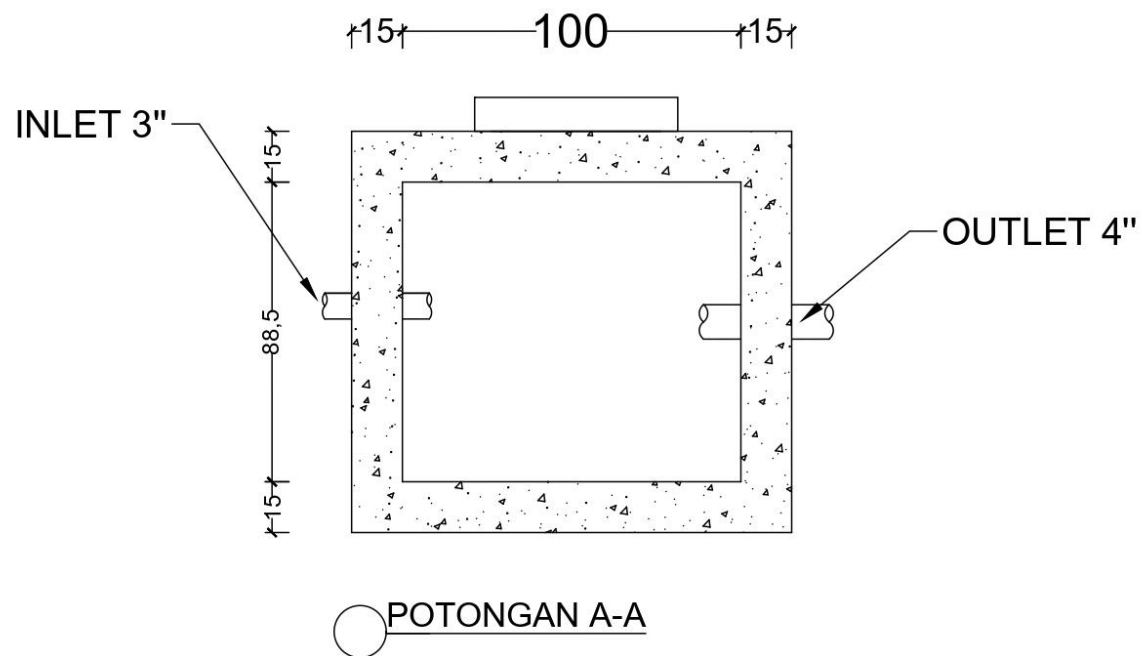
$$\begin{aligned}
 T_{\text{coliform}} &= \% \text{Efisiensi Total Colfirom} \times \text{Total Colform}_{\text{in}} \\
 &= 99\% \times 16.000 \text{ MPN/100 ml} \\
 &= 15.812,8 \text{ MPN/100 ml} \\
 T_{\text{coliformef}} &= 16.000 \text{ MPN/100 ml} - 15.812,8 \text{ MPN/100 ml} \\
 &= 187,2 \text{ MPN/100 ml}
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi unit desinfeksi (klorinasi) adalah sebagai berikut:

1. Volume bak (V_{cc}) = $1,99 \text{ m}^3$
2. Panjang bak (P) = $1,00 \text{ m}$
3. Lebar bak (L) = $2,25 \text{ m}$
4. Tinggi bak (T) = $0,8885 \text{ m}$
5. $T_{coliformef}$ = $187,2 \text{ MPN/100 ml}$

Berikut adalah gambar untuk desinfeksi yang dapat dilihat pada **Gambar 5.22** dan **Gambar 5.23**.





KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
A-A) Bak Desinfeksi

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.23	V-62

5.7 Kolam Bioindikator

Untuk memastikan kualitas efluen hasil olahan IPAL domestik, dilakukan pemantauan tambahan melalui kolam bioindikator. Kolam bioindikator berfungsi sebagai unit uji biologis sederhana (*bioassay*) yang menampung sebagian kecil aliran efluen secara kontinyu. Melalui kolam ini, kondisi efluen dapat dievaluasi secara cepat berdasarkan respon organisme hidup yang ditempatkan di dalam kolam.

Pada perencanaan ini digunakan 1% dari debit efluen IPAL dengan waktu tinggal (HRT) 3 hari dengan organisme indikator yang digunakan, seperti ikan mas (*Carassius auratus*) atau ikan koi (*Cyprinus carpio*). Berikut adalah perhitungan:

1. Debit Kolam Bioindikator (Q_k)

$$\text{Debit efluen IPAL} = 63,56 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Faktor Konversi} = 1\%$$

$$\begin{aligned} Q_k &= 63,56 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,01 \\ &= 0,6356 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

2. Volume Kolam (V)

$$\text{Waktu tinggal (t)} = 3 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} V &= Q_k \times t \\ &= 0,6356 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ hari} \\ &= 1,9068 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dengan volume kolam sebesar $1,9068 \text{ m}^3$, dipilih kolam bioindikator berdasarkan katalog pasar dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

Model	: Bak/Kolam Ikan <i>Fiberglass</i> 2000 liter
Bahan	: <i>Fiberglass</i>
Ukuran	: $200 \times 100 \times 100 \text{ cm}$
Volume	: 2.000 liter
Ketebalan	: 4 – 5 mm



Gambar 5.24 Bak/Kolam Ikan *Fiberglass* 2000 liter

Sumber: tokopedia.com

3. Cek Waktu Detensi

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{P \times L \times T}{Q} \\
 &= \frac{2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}}{0,6356 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
 &= 3,14 \text{ hari (memenuhi waktu tinggal 3 hari)}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan untuk kolam bioindikator adalah sebagai berikut:

1. Volume Kolam (V) = 1,9068 m³
2. Panjang = 200 cm
3. Lebar = 100 cm
4. Tinggi = 100 cm

5.8 Neraca Massa

Berikut adalah neraca massa pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung (**Gambar 5.24**) yang terdiri dari 6 *chamber*, yaitu bak ekualisasi, bak netralisasi, bak *biofilter anaerob-aerob*, bak pengendap, dan desinfeksi (klorin).

1. Bak Ekualisasi

$$\begin{aligned}
 \text{TSS} &= \% \text{Efisiensi TSS} \times \text{TSS}_{\text{in}} \\
 &= 15\% \times 171 \text{ mg/l} \\
 &= 25,65 \text{ mg/l} \\
 \text{TSS}_{\text{en}} &= 171 \text{ mg/l} - 25,65 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

$$= 145,35 \text{ mg/l}$$

2. *Biofilter Anaerob*

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= \% \text{Efisiensi BOD} \times \text{BOD}_{\text{in}} \\ &= 80\% \times 61,27 \text{ mg/l} \\ &= 49,016 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{en}} &= 61,27 \text{ mg/l} - 49,016 \text{ mg/l} \\ &= 12,25 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \% \text{Efisiensi COD} \times \text{COD}_{\text{in}} \\ &= 70\% \times 169,27 \text{ mg/l} \\ &= 118,489 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{en}} &= 169,27 \text{ mg/l} - 118,489 \text{ mg/l} \\ &= 50,78 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= \% \text{Efisiensi TSS} \times \text{TSS}_{\text{in}} \\ &= 50\% \times 145,35 \text{ mg/l} \\ &= 72,675 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_{\text{en}} &= 145,35 \text{ mg/l} - 72,675 \text{ mg/l} \\ &= 72,68 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

3. *Biofilter Aerob*

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= \% \text{Efisiensi BOD} \times \text{BOD}_{\text{in}} \\ &= 90\% \times 12,25 \text{ mg/l} \\ &= 11,0286 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{en}} &= 12,25 \text{ mg/l} - 11,0286 \text{ mg/l} \\ &= 1,23 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \% \text{Efisiensi COD} \times \text{COD}_{\text{in}} \\ &= 99\% \times 50,78 \text{ mg/l} \\ &= 50,27 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{en}} &= 50,78 \text{ mg/l} - 50,27 \text{ mg/l} \\ &= 0,51 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Amoniak} &= \% \text{Efisiensi Amoniak} \times \text{Amoniak}_{\text{in}} \\ &= 94\% \times 20,9 \text{ mg/l} \\ &= 19,646 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\text{Amoniak}_{\text{en}} = 20,9 \text{ mg/l} - 19,646 \text{ mg/l}$$

$$= 1,254 \text{ mg/l}$$

4. Bak Pengendap

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= 40\% \times 1,23 \text{ mg/l} \\ &= 0,49 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{ef}} &= 1,23 \text{ mg/l} - 0,49 \text{ mg/l} \\ &= 0,74 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= 40\% \times 0,51 \text{ mg/l} \\ &= 0,204 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{ef}} &= 0,51 \text{ mg/l} - 0,204 \text{ mg/l} \\ &= 0,30 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= 65\% \times 72,68 \text{ mg/l} \\ &= 47,23 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_{\text{ef}} &= 72,68 \text{ mg/l} - 47,23 \text{ mg/l} \\ &= 25,43 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

5. Desinfeksi (Klorinasi)

$$\begin{aligned} T_{\text{coliform}} &= 99\% \times 16.000 \text{ MPN/100 ml} \\ &= 15.812,8 \text{ MPN/100 ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{coliformef}} &= 16.000 \text{ MPN/100 ml} - 15.812,8 \text{ MPN/100 ml} \\ &= 187.2 \text{ MPN/100 ml} \end{aligned}$$

Influen BOD = 61.27 mg/l COD = 156.27 mg/l TSS = 171 mg/l Amoniak = 20.9 mg/l Total Coliform = 16.000 MPN/100 ml Bak Ekuilisasi BOD = 3.896 kg/hari COD = 10.764 kg/hari TSS = 10.874 kg/hari Amoniak = 1.329 kg/hari Bak Netralisasi TSS = 145.35 mg/l TSS = 9.242 kg/hari Reaktor Biofilter Anaerob BOD = 12.25 mg/l COD = 50.78 mg/l TSS = 72.88 mg/l BOD = 0.779 kg/hari COD = 3.229 kg/hari TSS = 4.621 kg/hari Reaktor Biofilter Aerob BOD = 1.23 mg/l COD = 0.51 mg/l Amoniak = 1.254 mg/l BOD = 0.078 kg/hari COD = 0.032 kg/hari Amoniak = 0.080 kg/hari Bak Pengendap BOD = 0.74 mg/l COD = 0.30 mg/l TSS = 25.43 mg/l BOD = 0.047 kg/hari COD = 0.019 kg/hari TSS = 1.919 kg/hari Unit Desinfeksi BOD = 0.74 mg/l COD = 0.30 mg/l TSS = 25.43 mg/l Amoniak = 1.254 mg/l Total Coliform = 187.2 MPN/100 ml effluen	
KETERANGAN	
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN 2025	
TUGAS AKHIR II PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH MENJADI AIR DAUR ULANG DAN PEMANFAATAN AIR HUJAN DI RUMAH SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG KOTA BANDUNG	
NERACA MASSA PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) RUMAH SAKIT KHUSUS JANTUNG CIGADUNG KOTA BANDUNG	
DOSEN PEMBIMBING 1. Deni Rusmaya, S.T., M.T. 2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Yustiani, S.T., M.T.	
NAMA : Nasywa Salsabila Masyhuroh NPM : 213050010	
SKALA	NO GAMBAR
	5.25

5.9 Profil Hidrolis

Profil hidrolis menggambarkan tinggi permukaan air pada unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pada perencanaan IPAL domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung, sistem IPAL dirancang dalam satu unit yang terdiri atas 6 *chamber*, yaitu bak ekualisasi, bak netralisasi, *biofilter anaerob*, *biofilter aerob*, bak pengendap, dan unit desinfeksi.

IPAL ini memiliki dimensi tipikal dengan tinggi total 2,55 m, *freeboard* 0,30 m, dan kedalaman air efektif 2,25 m. Seluruh unit direncanakan diletakkan di bawah permukaan tanah, sehingga profil hidrolis keenam *chamber* tersebut identik (kecuali bak netralisasi dan unit desinfeksi). Berikut adalah perhitungan profil hidrolis dengan tinggi permukaan tanah datar yang direncanakan, yaitu $\pm 0,00$ m:

1. Kedalaman total = 2,55 m
2. Kedalaman air = 2,25 m
3. *Freeboard* = 0,30 m
4. Tebal dinding = 0,15 m
5. Elevasi awal = 0 m

$$\begin{aligned}\text{Tinggi bangunan} &= \text{elevasi awal} - (\text{kedalaman total} + \text{tebal dinding}) \\ &= 0 \text{ m} - (2,55 + 0,15 \text{ m}) \\ &= -2,85 \text{ m (di bawah permukaan tanah)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Level muka air} &= \text{elevasi awal} - \text{freeboard} \\ &= 0 - 0,3 \text{ m} \\ &= -0,3 \text{ m (di bawah permukaan tanah)}\end{aligned}$$

Bak Netralisasi

1. Kedalaman total = 1,30 m
2. Kedalaman air = 1,00 m
3. *Freeboard* = 0,30 m
4. Tebal dinding = 0,15 m
5. Elevasi awal = 0 m

$$\text{Tinggi bangunan} = \text{elevasi awal} - (\text{kedalaman total} + \text{tebal dinding})$$

$$\begin{aligned}
 &= 0 \text{ m} - (1,30 + 0,15 \text{ m}) \\
 &= -1,45 \text{ m (di bawah permukaan tanah)} \\
 \text{Level muka air} &= \text{elevasi awal} - \text{freeboard} \\
 &= 0 - 0,3 \text{ m} \\
 &= -0,3 \text{ m (di bawah permukaan tanah)}
 \end{aligned}$$

Unit Desinfeksi

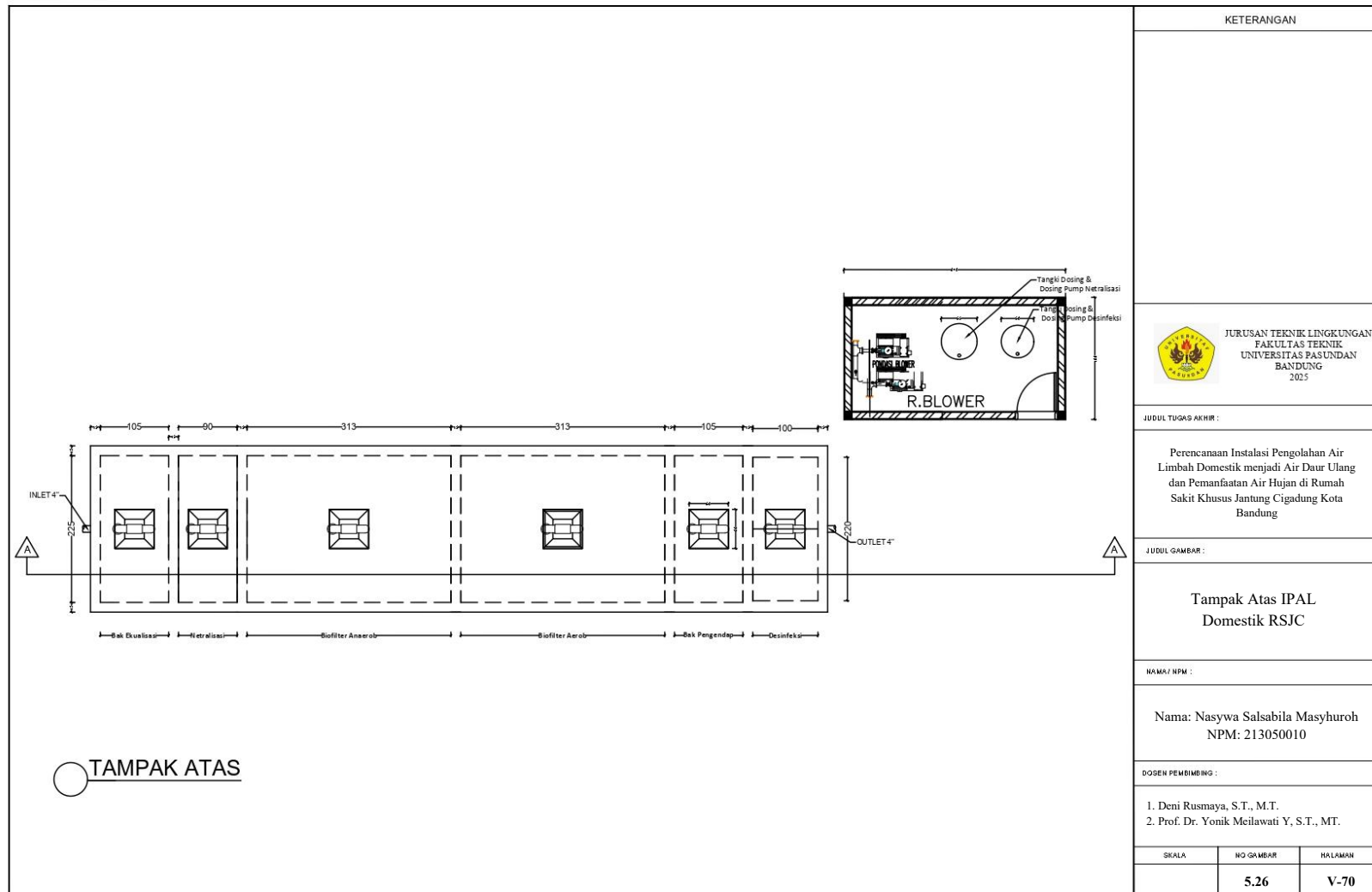
1. Kedalaman total = 0,8885 m
2. Kedalaman air = 0,5885 m
3. *Freeboard* = 0,30 m
4. Tebal dinding = 0,15 m
5. Elevasi awal = 0 m

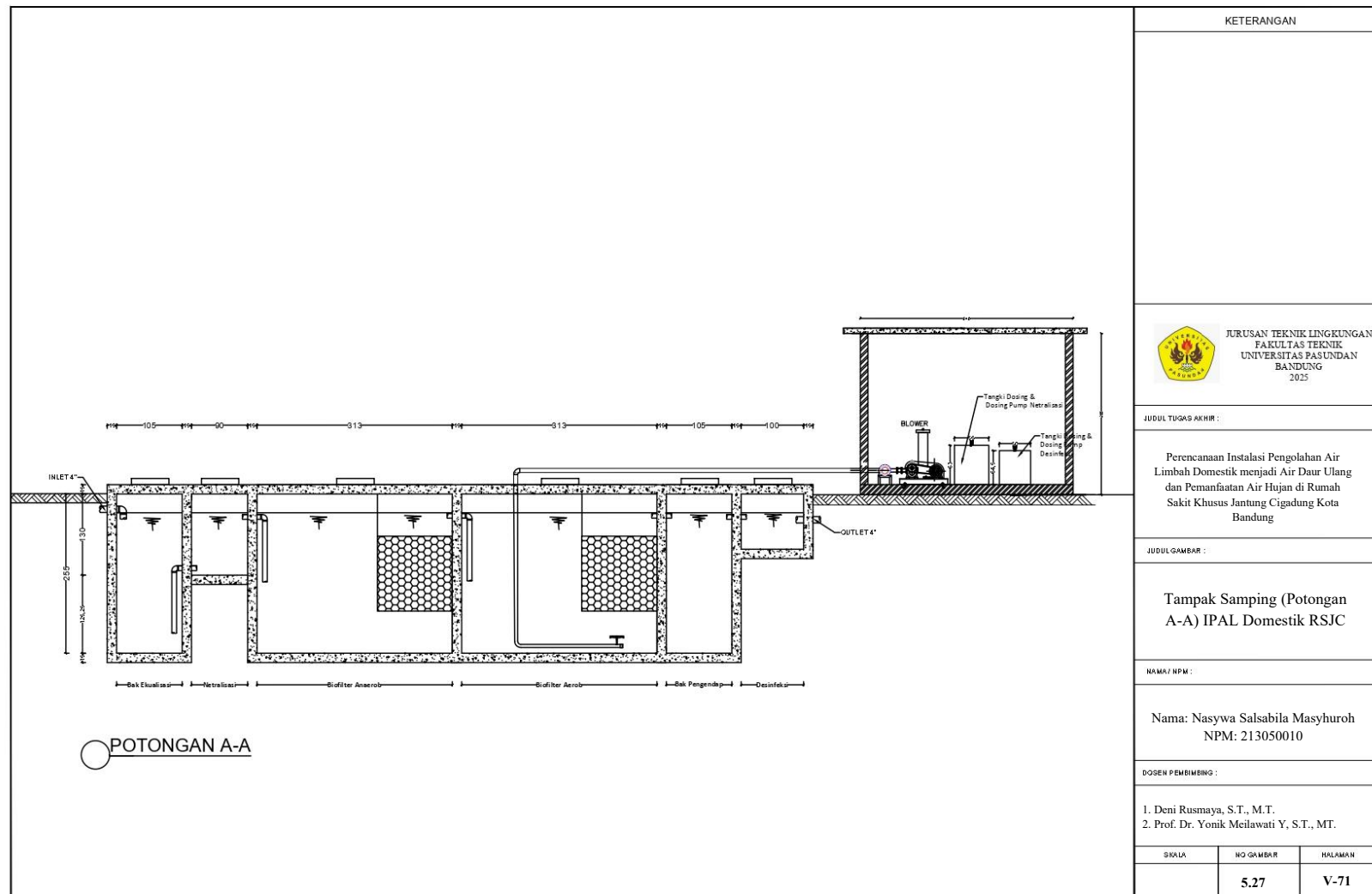
$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bangunan} &= \text{elevasi awal} - (\text{kedalaman total} + \text{tebal dinding}) \\
 &= 0 \text{ m} - (0,8885 + 0,15 \text{ m}) \\
 &= -1,0385 \text{ m (di bawah permukaan tanah)}
 \end{aligned}$$

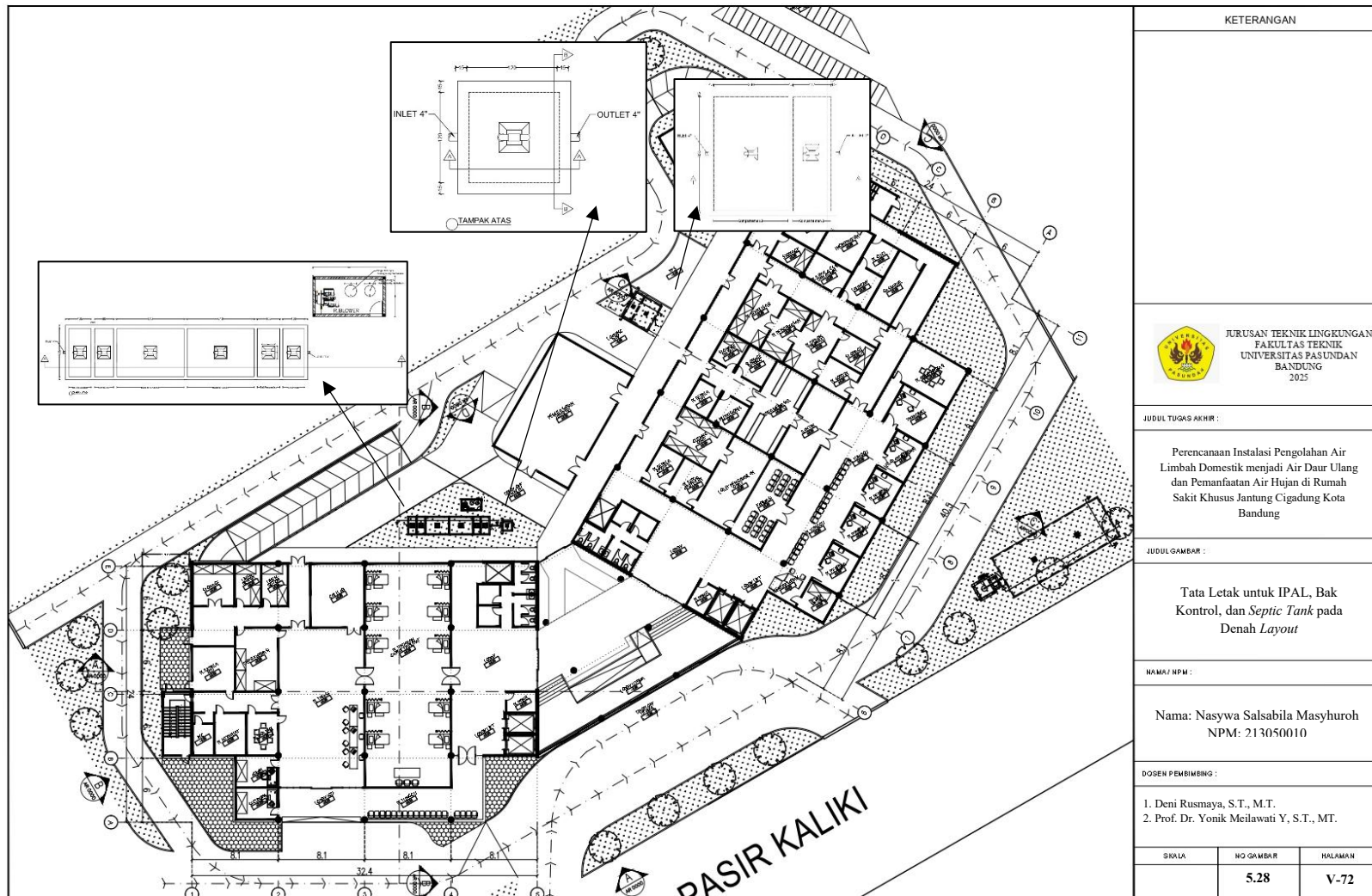
$$\begin{aligned}
 \text{Level muka air} &= \text{elevasi awal} - \text{freeboard} \\
 &= 0 - 0,3 \text{ m} \\
 &= -0,3 \text{ m (di bawah permukaan tanah)}
 \end{aligned}$$

5.10 Rekapitulasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, sistem IPAL dirancang dalam satu unit yang terdiri atas 6 *chamber*, yaitu bak ekualisasi, bak netralisasi, *biofilter anaerob*, *biofilter aerob*, bak pengendap, dan unit desinfeksi. Berikut adalah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik RSJC yang dapat dilihat pada **Gambar 5.26** dan **Gambar 5.27** serta tata letak untuk IPAL, bak kontrol, dan septic tank pada denah *layout* pada **Gambar 5.28**.







5.11 Kualitas Efluen IPAL

Setelah melalui beberapa tahap pada IPAL rumah sakit, air limbah domestik mengalami penurunan kadar parameter yang sebelumnya melebihi baku mutu air limbah domestik. Berikut kadar parameter yang telah mengalami penurunan dan telah memenuhi baku mutu air limbah domestik sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Limbah Domestik (**Tabel 5.11**):

Tabel 5.11 Pemenuhan Baku Mutu Kualitas Air Limbah Domestik

Parameter	Inlet	Outlet	Standar*	Satuan	Keterangan
pH	8	8	6 – 9	-	Memenuhi Baku Mutu
BOD	61,27	0,74	30	mg/L	Memenuhi Baku Mutu
COD	169,27	0,30	100	mg/L	Memenuhi Baku Mutu
TSS	171	25,43	30	mg/L	Memenuhi Baku Mutu
Minyak dan Lemak	0,6	0,6	5	mg/L	Memenuhi Baku Mutu
Amoniak	20,9	1,254	10	mg/L	Memenuhi Baku Mutu
Total Coliform	16000	187,2	3000	MPN/100 ml	Memenuhi Baku Mutu

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh parameter air limbah domestik dari IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Selanjutnya, sekitar 70% efluen IPAL akan dimanfaatkan untuk kebutuhan *flushing* toilet, sedangkan sisanya akan dialirkan ke badan air.

5.12 Pemanfaatan Air Daur Ulang untuk *Flushing* Toilet

Efluen IPAL domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dimanfaatkan untuk kebutuhan *flushing* toilet. Dalam pemanfaatan air daur ulang untuk *flushing*, acuan yang digunakan adalah *Health Canada Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing* (2010). **Tabel 5.12** berikut menyajikan perbandingan kualitas efluen IPAL dengan standar acuan *Health Canada* (2010).

Tabel 5.12 Perbandingan Kualitas Efluen IPAL Domestik dengan Standar *Health Canada* (2010)

Parameter	Efluen IPAL Domestik RS	Standar <i>Health Canada</i>	Satuan	Keterangan
BOD	0,74	≤ 20	mg/L	Tidak Perlu Pengolahan
TSS	25,43	≤ 20	mg/L	Perlu Pengolahan
<i>Total Coliform</i>	187,2	≤ 200	MPN/100 ml	Tidak Perlu Pengolahan

Berdasarkan **Tabel 5.12**, terdapat satu parameter efluen yang belum memenuhi standar *Health Canada* (2010), yaitu TSS. Oleh karena itu, diperlukan penambahan unit pengolahan lanjutan agar efluen memenuhi baku mutu.

5.12.1 Debit Air Daur Ulang Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tugas Akhir 1, air limbah yang dihasilkan dari Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung sebanyak 70%-nya potensial untuk dimanfaatkan. Dengan mengasumsikan seluruh dilakukan daur ulang, maka total air hasil daur ulang potensial adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Debit air limbah domestik } (Q_{\text{rdomestik}}) &= 63,56 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Faktor konversi untuk air daur ulang } (f) &= 70\% \\
 \text{Hasil air daur ulang greywater } (Q_{\text{rr}}) &= Q_{\text{rdomestik}} \times f \\
 &= 63,56 \text{ m}^3/\text{hari} \times 70\% \\
 &= 44,49 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Debit daur ulang dalam satuan jam} &= 1,85 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

5.12.2 Unit Filtrasi

Pemanfaatan air hasil olahan IPAL untuk *flushing* toilet memerlukan pengolahan tambahan (*polishing*). Parameter yang masih belum sesuai acuan *Health Canada* (2010) adalah *Total Suspended Solid* (TSS), di mana efluen IPAL

memiliki konsentrasi TSS sebesar 25,43 mg/L, sementara persyaratan untuk *reuse flushing* adalah maksimum 20 mg/L. Oleh karena itu, dibutuhkan unit filtrasi tambahan yang berfungsi menurunkan kadar TSS pada efluen.

Teknologi yang dipilih adalah *Sand Filter*, yang bekerja dengan cara melewatkan air melalui media untuk menahan partikel tersuspensi. Berdasarkan katalog produk Airkom Group, unit yang dipilih adalah *Sand Filter* (SF) seri WipMSF2 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Dimensi : 363 mm
- Tinggi Tabung : 1674 mm
- Kapasitas : 1,2 – 3,0 m³/jam
- *Backwash Flow* : 3,7 m³/jam
- Volume Media : 0,091 m³
- Material : FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*)

Setelah mendapatkan unit filtrasi yang akan digunakan untuk menurunkan parameter TSS, berikut adalah perhitungan *Sand Filter* (SF):

1. Luas Penampang Tabung

$$\text{Dimensi: } 363 \text{ mm} = 0,363 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A &= \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \\ &= \left(\frac{0,363}{2}\right)^2 = 0,1815 \text{ m} = 0,1815^2 = 0,0329 \text{ m}^2 \\ &= 3,14 \times 0,0329 \text{ m}^2 \\ &= 0,103306 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Laju Servis Teoritis

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{1,85 \text{ m}^3}{0,103306 \text{ m}^2} \\ &= 17,9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \end{aligned}$$

3. Tinggi Media

$$\begin{aligned} T_{\text{media}} &= \frac{V}{A} \\ &= \frac{0,091 \text{ m}^3}{0,103306 \text{ m}^2} \\ &= 0,88 \text{ m} = 88 \text{ cm} \end{aligned}$$

4. Waktu Kontak *Bed Kosong*

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu Kotak} &= \frac{v}{Q} \\
 &= \frac{0,091 \text{ m}^3}{1,85 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 0,04919 \text{ jam} = 2,95 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

5. *Freeboard*

$$\text{Tinggi Tabung} = 1674 \text{ mm} = 1,674 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Freeboard} &= \text{Tinggi Tabung} - T_{\text{media}} \\
 &= 1,674 \text{ m} - 0,88 \text{ m} \\
 &= 0,794 \text{ m}
 \end{aligned}$$

6. Pipa *Inlet/Outlet*

$$\text{Asumsi kecepatan alir di pipa} = 1 \text{ m/detik}$$

$$\text{Konversi Debit} = 1,85 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,00051389 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Area pipa} &= \frac{Q}{v} \\
 &= \frac{0,00051389 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,00051389 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{area pipa}}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0005138 \text{ m}^2}{3,14}} \\
 &= 0,025576 \text{ m} = 25,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pipa PVC yang ada di pasaran, didapatkan diameter 35 mm atau 1¼ inch merek rucika untuk *inlet/outlet*.

7. Pipa *Backwash*

$$\text{Asumsi kecepatan alir di pipa} = 1 \text{ m/detik}$$

$$\text{Konversi Debit} = 3,7 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,0010278 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\begin{aligned}
 A_{bw} &= \frac{Q_{bw}}{v} \\
 &= \frac{0,0010278 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,0010278 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter}_{bw} = \sqrt{\frac{4 \times A_{bw}}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,0010278 \text{ m}^2}{3,14}}$$

$$= 0,03619 \text{ m} = 36,2 \text{ mm}$$

Berdasarkan pipa PVC yang ada di pasaran, didapatkan diameter 40 mm atau 1½ inch merek rucika untuk *backwash*.

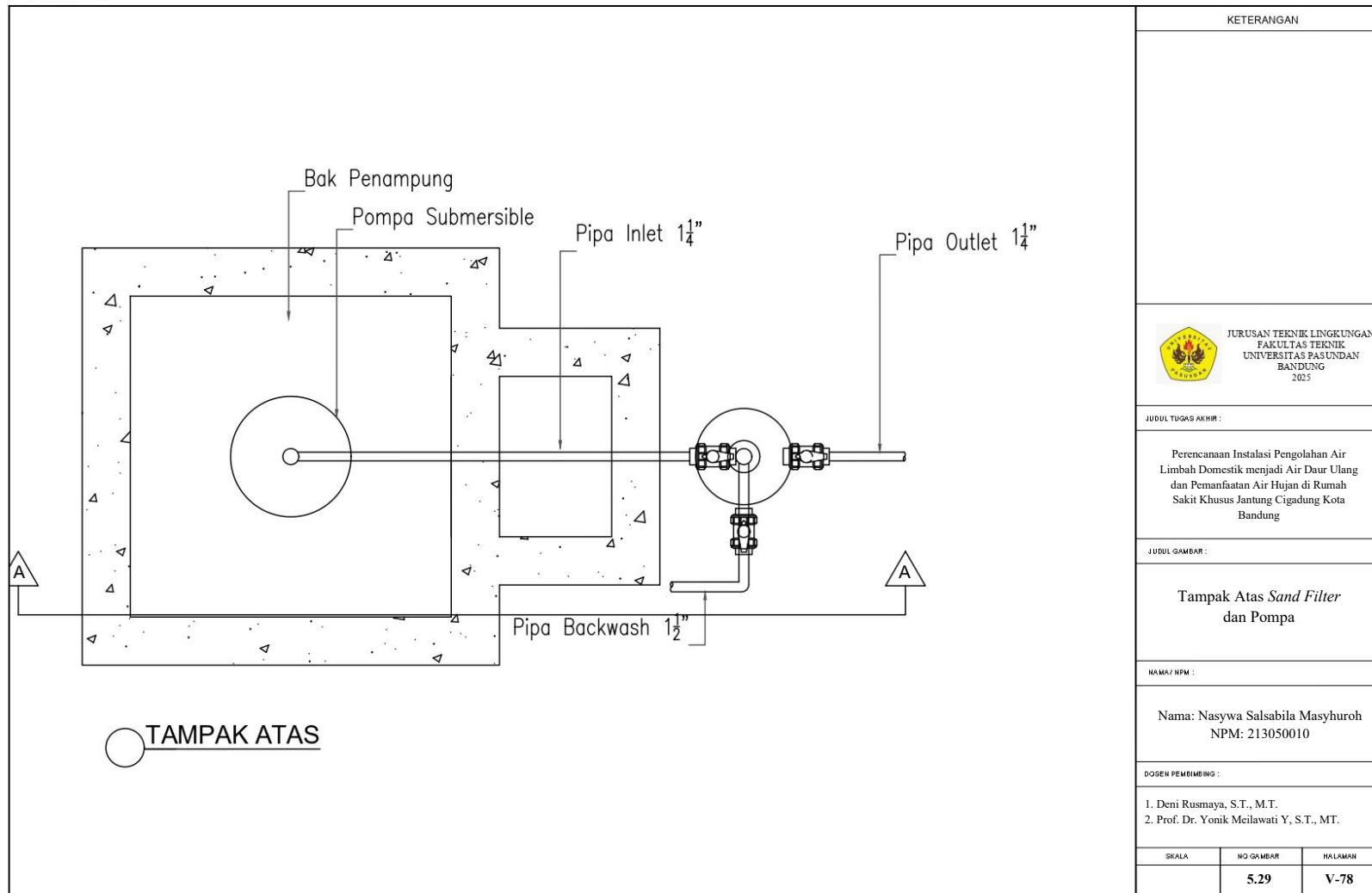
8. Efisiensi Penyisihan TSS

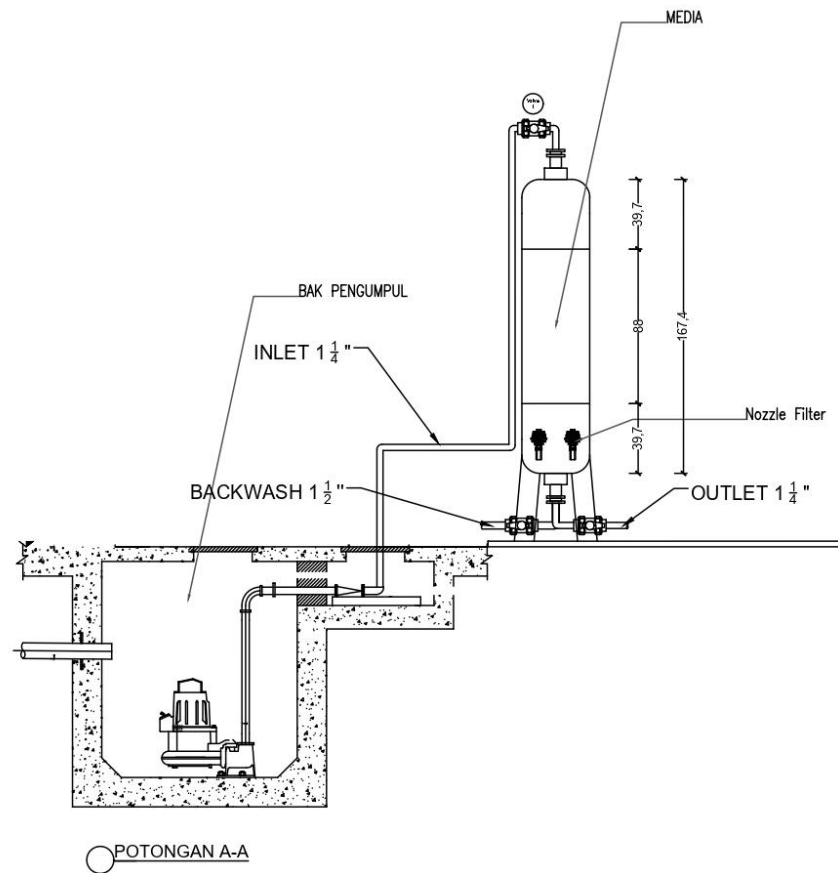
Media filter yang digunakan dalam perencanaan ini adalah *Silica Sand* Media Filter. Pemilihan media ini didasarkan pada beberapa katalog pasar, seperti dari Nazawa dan PT. Hydromart Utama Indonesia, yang juga menggunakan media serupa. Secara umum, pasir silika digunakan pada tahap awal proses pengolahan air kotor menjadi air bersih karena memiliki ukuran beragam, misalnya 8–16 mesh dan 14–20 mesh, yang sesuai untuk menyaring partikel dalam air.

Adapun efisiensi penyisihan pasir silika menurut Wicaksono (2024) adalah sebesar 86,5%.

$$\begin{aligned} \text{TSS}_{\text{in}} &= 25,43 \text{ mg/l} \\ &= 25,43 \text{ mg/l} \times 86,5\% \\ &= 21,99 \text{ mg/l} \\ \text{TSS}_{\text{en}} &= 25,43 \text{ mg/l} - 21,99 \text{ mg/l} \\ &= 2,44 \text{ mg/l (memenuhi baku mutu Health Canada (2010))} \\ &\quad \mathbf{2,44 \text{ mg/l} \leq 20 \text{ mg/l}} \end{aligned}$$

Berikut adalah gambar untuk unit air daur ulang yang dapat dilihat pada **Gambar 5.29** dan **Gambar 5.30**.





KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
A-A) Sand Filter dan Pompa

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.30	V-79

5.12.3 *Ground Tank* dan Sistem Distribusi

Setelah melalui proses filtrasi menggunakan *Silica Sand Media Filter*, air hasil daur ulang dikumpulkan terlebih dahulu dalam *ground tank* sebagai penampungan sementara. *Ground tank* berfungsi untuk menstabilkan pasokan air dan memastikan ketersediaan air yang cukup sebelum dialirkan ke *rooftop tank*.

Dari *roof tank*, air kemudian didistribusikan ke titik-titik penggunaan melalui sistem distribusi yang terdiri dari pipa dan pompa, sehingga tekanan dan aliran air tetap stabil serta distribusi air merata. Dengan demikian, seluruh titik pemanfaatan dapat memperoleh pasokan air yang memenuhi kualitas dan kuantitas yang diinginkan.

Adapun perhitungan untuk *ground tank*, *roof tank*, dan perpipaan sebagai berikut:

1. Perhitungan *Ground Tank* (GT)

Pada Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung, *ground tank* terletak di *basement* 2. Untuk kapasitas ditentukan berdasarkan debit kebutuhan air daur ulang dan kapasitas pengaliran (Q_s). Berikut ini adalah perhitungan yang dilakukan untuk menentukan kapasitas GT.

1) Perhitungan Kapasitas Pengaliran

Kapasitas pengaliran diambil $\frac{2}{3}$ dari kebutuhan air hari maksimum (Bestari, 2017).

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{2}{3} \times 44,49 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 29,66 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,23583 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,0003432 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 20,60 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

Adapun perhitungan untuk kebutuhan pipa inlet/outlet sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q_s}{v} \\ &= \frac{0,0003432 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/s}} = 0,0003432 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan aliran = 0,9 – 2,0 m/detik (Friska, D., 2017)

$$\begin{aligned}
 D &= \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0003432 \text{ m}^2}{\pi}} \\
 &= 0,0209 \text{ m} = 21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan katalog pasar, didapatkan pipa PVC rucika dengan diameter 25 mm (1 inch).

2) Perhitungan Volume *Roof Tank*

Volume *roof tank* ditentukan berdasarkan debit dan dapat mengantisipasi jangka waktu kebutuhan selama 30 – 60 menit.

Volume *roof tank* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= Q_s \times T_{pu} \\
 &= 20,60 \text{ liter/menit} \times 60 \text{ menit} \\
 &= 1236 \text{ liter} \\
 &= 1,236 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Keterangan:

Q_s = Kebutuhan air jam maksimum

T_{pu} = Jangka waktu kebutuhan puncak

Dimensi untuk *Roof Tank* air daur ulang diambil dari katalog yang ada di pasar. Berikut adalah spesifikasi *roof tank* air daur ulang:

Diameter Tangki	= 1.050 mm
Diameter Tutup	= 420 mm
Tinggi	= 2.030 m
Material	= <i>Stainless Steel</i>
Ketebalan	= 0,5 mm
Kapasitas	= 1.600 liter
Inlet/Outlet	= 1 inch
Lubang Kuras	= 1 inch



Gambar 5.31 Roof Tank Air Daur Ulang RS

Sumber: <https://www.tokopedia.com/lucyandri/tangki-air-stainless-profil-tank-ps-2000>

[Diakses pada 29 September 2025, 14:36 WIB]

3) Perhitungan Volume *Ground Tank*

$$\begin{aligned}
 V_{GT} &= Q_{tr} - (Q_s \times T) \\
 &= 44,49 \text{ m}^3/\text{hari} - (1,23583 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}) \\
 &= 14,83 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Keterangan:

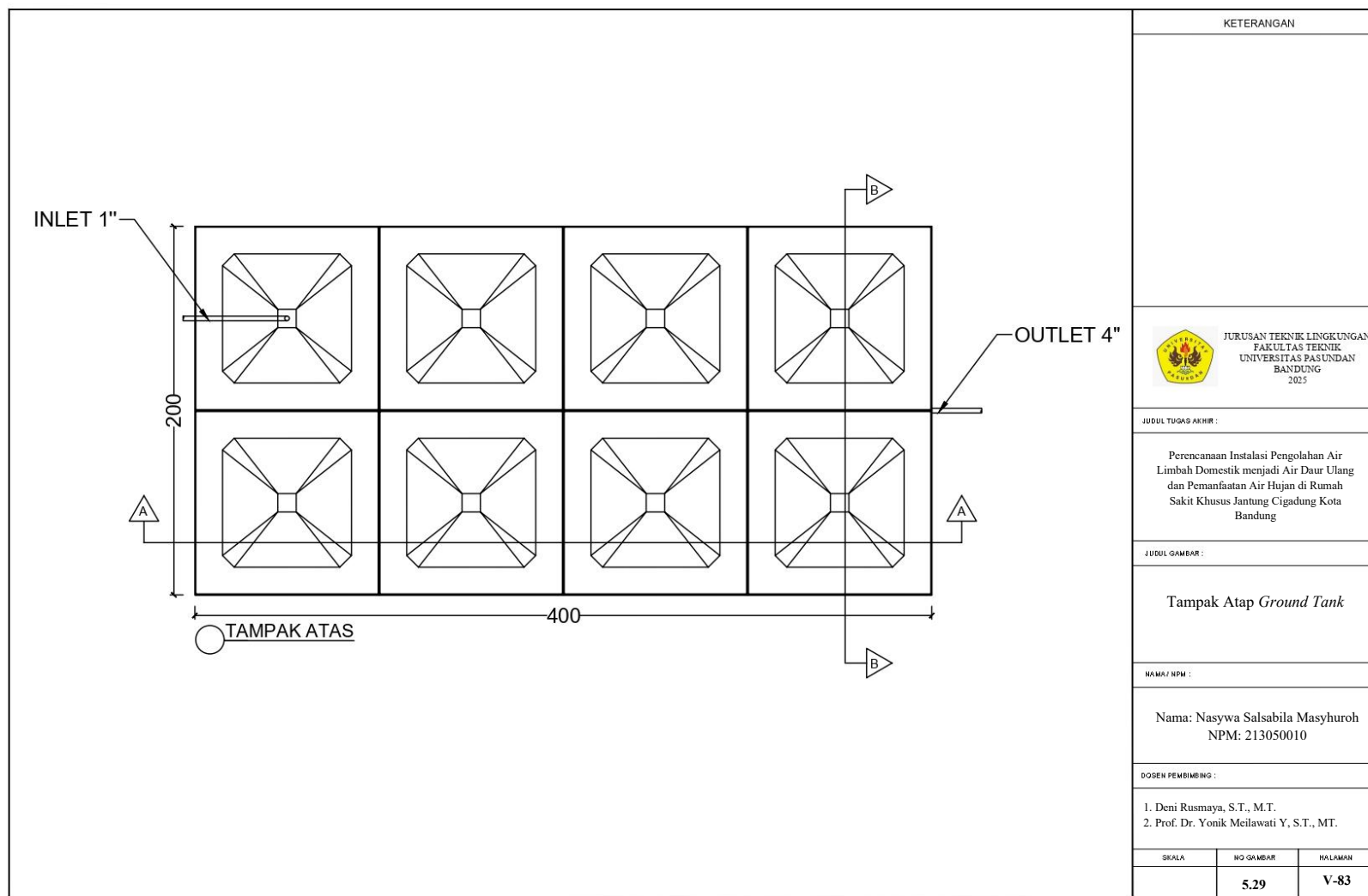
Q_{tr} = Debit air kebutuhan (44,49 m³/hari)

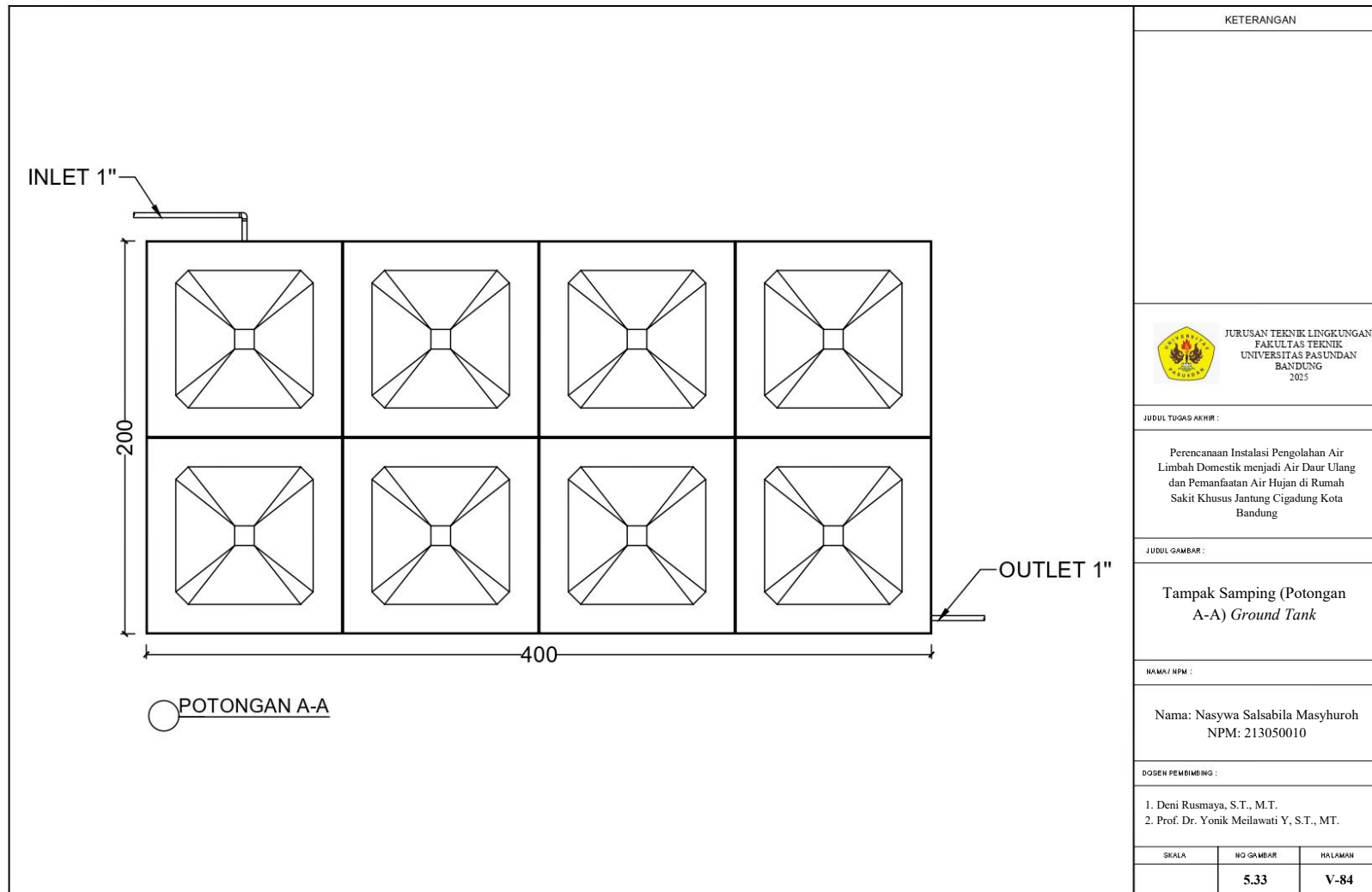
Q_s = Debit rencana air olahan

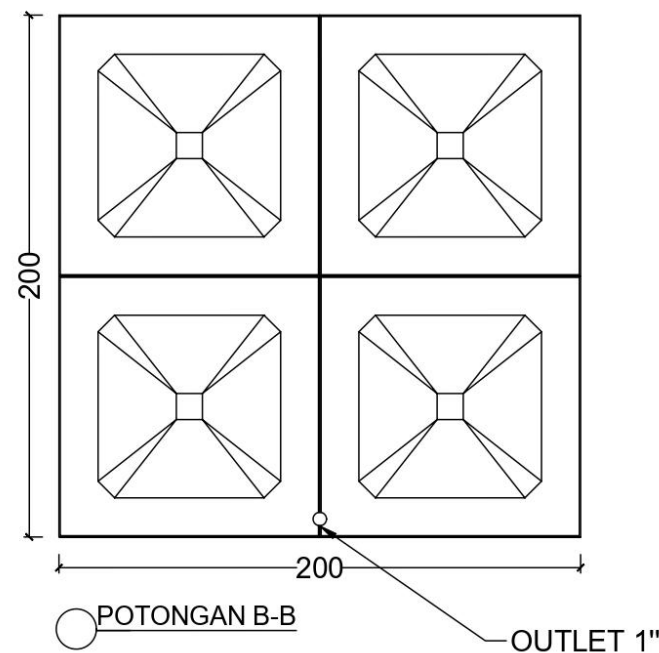
T = Jangka waktu pemakaian air

Dengan volume *Ground Tank* (GT) = 14,83 m³, *Ground Tank* (GT) direncanakan menggunakan tangki berbahan *fiberglass* dengan dimensi 1 panel = 1 m × 1 m. Untuk kemudahan konstruksi, panel yang dibutuhkan untuk GT adalah 16 panel (4 m × 2 m × 2 m).

Berikut adalah gambar untuk *Ground Tank* (GT) yang dapat dilihat pada **Gambar 5.32** s/d **Gambar 5.34**.







KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
B-B) *Ground Tank*

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.34	V-85

5.12.4 Perhitungan Kebutuhan *Flushing Toilet*

Besaran kebutuhan air untuk *flushing* toilet ditentukan oleh jumlah air yang digunakan setiap kali penyiraman (*flush*) pada *Water Closet* (WC) maupun urinal, serta frekuensi pemakaiannya oleh penghuni gedung dalam satu hari. Dengan demikian, jumlah air limbah yang akan didaur ulang setara dengan kebutuhan air *flushing* yang dibutuhkan pengguna fasilitas tersebut.

Adapun data kebutuhan *flushing* toilet tiap lantai di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung yang dapat dilihat pada **Tabel 5.13**:

Tabel 5.13 Kebutuhan *Flushing Toilet* Tiap Lantai Rumah Sakit

Jenis Alat Plumbing	
<i>Water Closet</i> (WC)	<i>Urinal</i>
Lantai Dasar	
11	2
Lantai Satu	
22	2
Lantai Dua	
22	2
Lantai Tiga	
22	2
Total	
77	8

Sumber: Data Tugas Akhir 1

Berdasarkan **Tabel 5.13**, *Water Closet* (WC) dalam satu gedung berjumlah 77 WC dan *urinal* berjumlah 8 *urinal*. Selanjutnya, untuk menentukan besaran air daur ulang yang dibutuhkan, dihitung kebutuhan *flushing* berdasarkan jumlah alat plumbing dan frekuensi pemakaiannya, lalu dibandingkan dengan debit air daur ulang yang tersedia sebesar 44,49 m³/hari.

Berikut data perencanaan yang dibutuhkan dalam perhitungan air daur ulang:

Tabel 5.14 Data Perencanaan Air Daur Ulang

Data Perencanaan	<i>Water Closet</i> (WC)	<i>Urinal</i>	Satuan
Jumlah Alat Plambing RS	77	8	Unit
Kebutuhan Air Alat Plambing	6	4	<i>l/flush</i>
Banyak Penggunaan Populasi			
• Penghuni	5	-	kali <i>flush</i> per hari
• Pegawai	4	2	
• Tamu	2	2	
Catatan:			
1. Penghuni = Pasien Rawat Inap dan Pendamping Pasien			
2. Pegawai = Dokter, Perawat/Terapis, Teknisi/Spesialis, Tenaga non Medis			
3. Tamu = Pengunjung Rumah Sakit			
4. 50% pegawai dan tamu menggunakan toilet (<i>restroom</i>). Pegawai dan tamu menggunakan 66% WC dan 33% <i>urinal</i> (Vickers, 2001).			

Perhitungan:**Perhitungan Jumlah Populasi**

Berikut adalah jumlah populasi yang ada di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung berdasarkan data Tugas Akhir 1:

1. Penghuni = 202 orang
2. Pegawai = 198 orang
3. Tamu = 58 orang

Berdasarkan asumsi Vickers (2001), 50% pegawai dan tamu menggunakan toilet (*restroom*). Pegawai dan tamu menggunakan 66% WC dan 33% *urinal*. Maka,

1. Pegawai

$$\text{Pegawai} = 198 \text{ orang} \times 50\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 99 \text{ orang} \\
 \text{WC} &= 99 \text{ orang} \times 66\% = 65,34 \approx 65 \text{ orang} \\
 \text{Urinal} &= 99 \text{ orang} \times 33\% = 32,67 \approx 33 \text{ orang} \\
 2. \text{ Tamu} \\
 \text{Tamu} &= 58 \text{ orang} \times 50\% \\
 &= 29 \text{ orang} \\
 \text{WC} &= 29 \text{ orang} \times 66\% = 19,14 \approx 19 \text{ orang} \\
 \text{Urinal} &= 29 \text{ orang} \times 33\% = 9,57 \approx 10 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

Flush per hari rata-rata per alat plambing

1. Total *flush* WC

$$\begin{aligned}
 \text{Total flush WC} &= (\text{Penghuni} \times 5) + (\text{Pegawai} \times 4) + (\text{Tamu} \times 2) \\
 &= (202 \text{ orang} \times 5) + (65 \text{ orang} \times 4) + (19 \text{ orang} \times 2) \\
 &= 1010 + 260 + 38 \\
 &= 1308 \text{ flush per hari}
 \end{aligned}$$

2. Total *flush* UR

$$\begin{aligned}
 \text{Total flush UR} &= (\text{Pegawai} \times 2) + (\text{Tamu} \times 2) \\
 &= (33 \text{ orang} \times 2) + (10 \text{ orang} \times 2) \\
 &= 66 + 20 \\
 &= 86 \text{ flush per hari}
 \end{aligned}$$

Maka, rata-rata *flush* per WC dan UR:

Jumlah Alat Plambing, 77 WC dan 8 *urinal*

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Rata-rata flush per WC} &= \frac{\text{Total flush WC}}{\text{jumlah WC}} \\
 &= \frac{1308 \text{ flush per hari}}{77 \text{ WC}} \\
 &= 16,98 \text{ flush/hari} \\
 2. \text{ Rata-rata flush per UR} &= \frac{\text{Total flush UR}}{\text{jumlah UR}} \\
 &= \frac{86 \text{ flush per hari}}{8 \text{ UR}} \\
 &= 10,75 \text{ flush/hari}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan *flushing* berdasarkan kapasitas alat plambing1. *Water Closet (WC)*

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah alat plambing} &= 77 \text{ WC} \\
 \text{Rata-rata } flush \text{ per WC} &= 16,98 \text{ flush/hari} \\
 \text{Kebutuhan air alat plambing} &= 6 \text{ liter/flush} \\
 &= 77 \text{ WC} \times 16,98 \text{ flush/hari} \times 6 \\
 &\quad \text{liter/flush} \\
 &= 7848 \text{ l/hari} = 7,848 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

2. *Urinal*

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah alat plambing} &= 8 \text{ UR} \\
 \text{Rata-rata } flush \text{ per UR} &= 10,75 \text{ flush/hari} \\
 \text{Kebutuhan air alat plambing} &= 4 \text{ liter/flush} \\
 &= 8 \text{ UR} \times 10,75 \text{ flush/hari} \times 4 \\
 &\quad \text{liter/flush} \\
 &= 344 \text{ l/hari} = 0,344 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, total kebutuhan } flushing \text{ berdasarkan kapasitas alat plambing adalah} \\
 &= 7,848 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,344 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 8,192 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

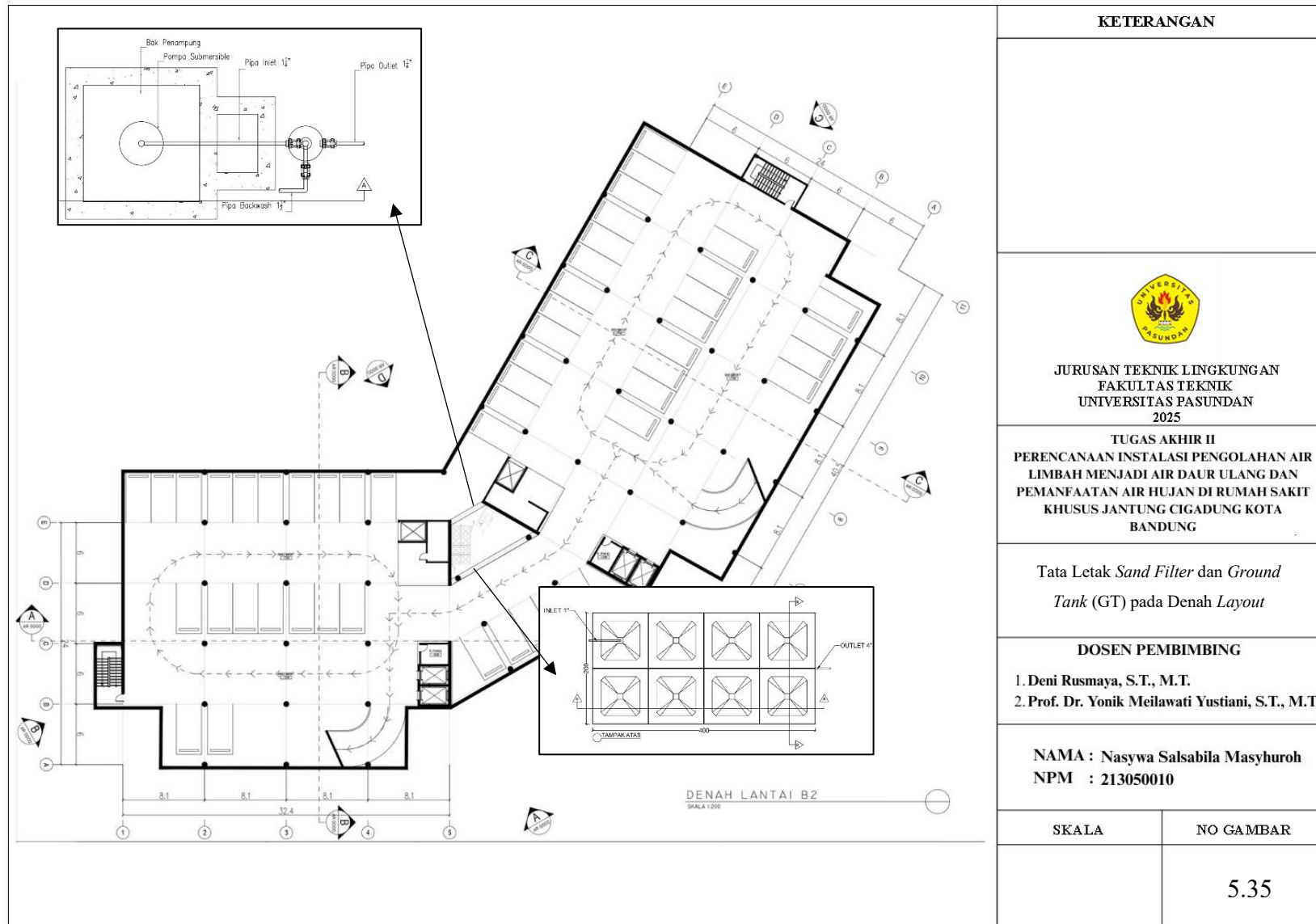
5.12.5 Rekapitulasi Pemanfaatan Air Daur Ulang untuk *Flushing Toilet*

Debit air limbah yang dihasilkan Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung sebesar 63,56 m³/hari, dengan 70% atau 44,49 m³/hari direncanakan untuk dimanfaatkan kembali sebagai *greywater recycle*. Efluen IPAL dikumpulkan terlebih dahulu di bak pengumpul sebelum diproses melalui *sand filter* dan disimpan di *Ground Tank (GT)* dengan kapasitas 14,83 m³ sebagai cadangan harian, kemudian dipompa ke *Roof Tank (RT)* berkapasitas 1.600 liter. Debit pengaliran rencana sebesar 29,66 m³/hari diasumsikan cukup untuk kebutuhan *flushing toilet*, yang hanya memerlukan 8,19 m³/hari, sehingga sistem *greywater* ini mampu memenuhi kebutuhan *flushing* secara penuh.

Dengan pemanfaatan 70% *greywater* dari air limbah domestik, Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung dapat menghemat 52,5% dari total kebutuhan air bersih untuk *flushing toilet*. Berdasarkan tolak ukur Green Building Council Indonesia

(GBCI) untuk bangunan baru, pemanfaatan *greywater* untuk salah satu sistem (*flushing* toilet) memperoleh 2 poin. Dengan demikian, implementasi sistem *greywater* di rumah sakit ini sudah sesuai dengan kriteria GBCI untuk konservasi air, sekaligus mendukung pengurangan konsumsi air bersih dan pemanfaatan sumber air alternatif secara berkelanjutan.

Adapun tata letak *sand filter* dan *ground tank* pada denah *layout* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.35**



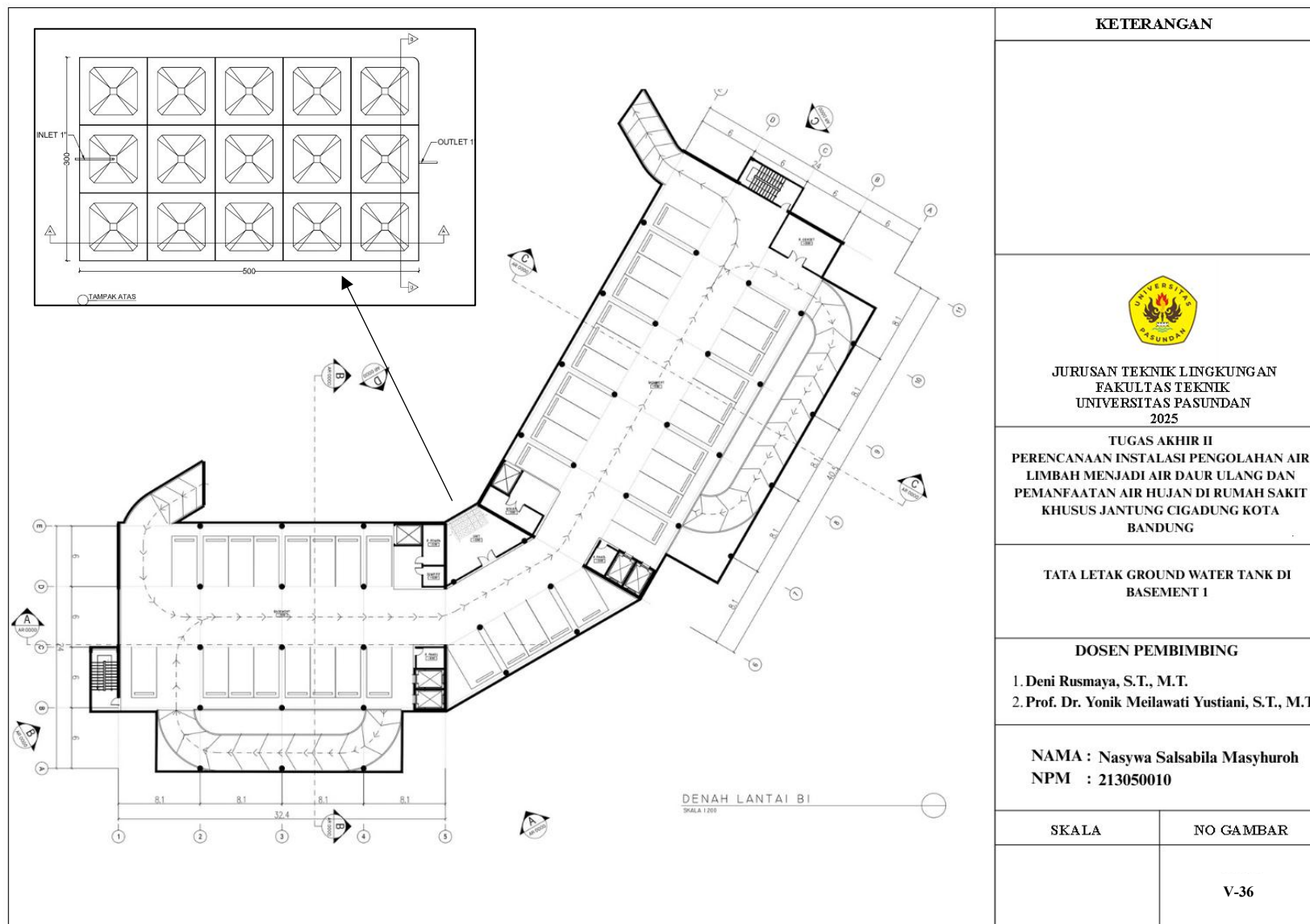
5.13 Data Perencanaan Air Bersih Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Berdasarkan hasil perhitungan air bersih pada Tugas Akhir 1, kebutuhan air bersih mengacu diklasifikasikan berdasarkan total *bed* pasien rawat inap, total *bed* rawat jalan, jumlah sumber daya manusia serta proyeksi pendamping atau keluarga pasien. Untuk kebutuhan untuk layanan khusus meliputi ruang operasi dan sterilisasi mengacu pada standar Permenkes No 40 Tahun 2022.

Berikut adalah hasil identifikasi untuk air bersih dan air khusus:

$$\begin{aligned} Q_{\text{domestik}} &= 84,75 \text{ m}^3/\text{hari} \\ Q_{\text{khusus}} &= 3,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\ Q_{\text{total}} &= 84,75 \text{ m}^3/\text{hari} + 3,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 88,55 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Sementara itu, luas lahan untuk lokasi tangki penyimpanan air bersih dan sistem *Reverse Osmosis* (RO) rumah sakit adalah 37,26 m² dengan bentuk lahan trapesium yang berlokasi di *basement* 1. Berikut **Gambar 5.36** tata letak tangki penyimpanan air bersih yang dapat dilihat sebagai berikut:



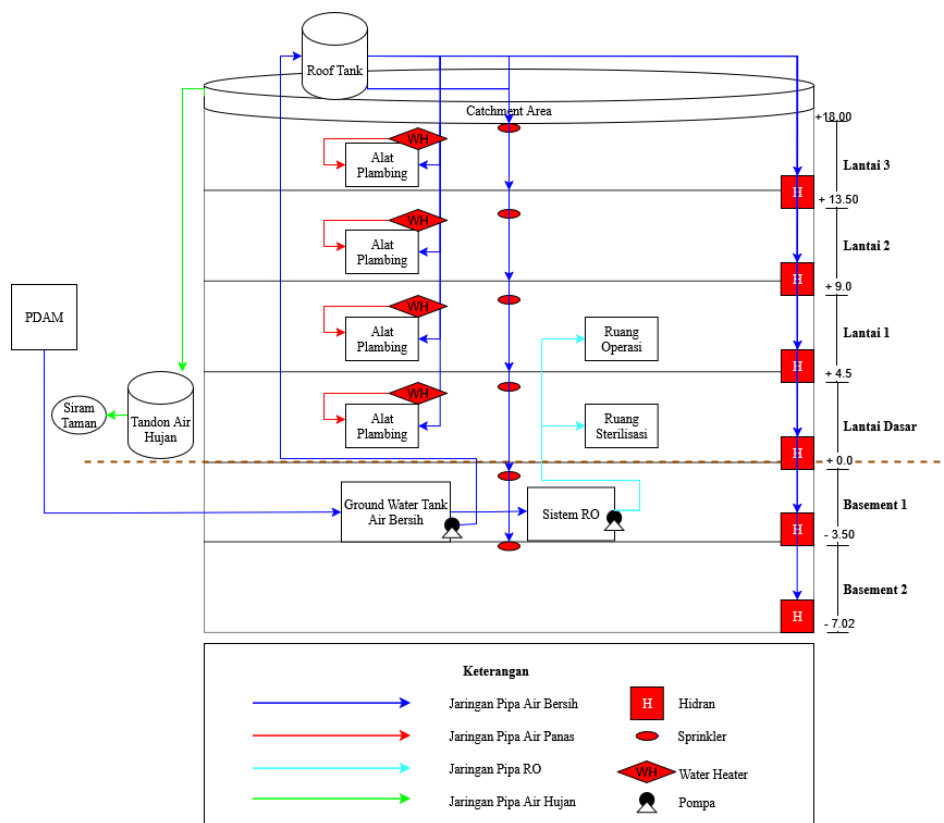
5.14 Skema Air Bersih, Air Khusus, dan *Rainwater Harvesting*

Sistem penyediaan air bersih, air khusus, dan *Rainwater Harvesting* rumah sakit Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung akan dijelaskan secara berurutan (**Gambar 5.37**).

Air bersih rumah sakit bersumber dari PDAM Tirtawening Kota Bandung, kemudian ditampung pada *Ground Water Tank* (GWT) yang terletak di *Basement* 1. Dari *ground tank*, air dipompa menuju *roof tank* di atap bangunan untuk selanjutnya didistribusikan ke seluruh peralatan plambing pada setiap lantai.

Untuk air khusus, kebutuhan terutama terdapat pada ruang operasi dan ruang sterilisasi. Air dari *ground tank* terlebih dahulu diolah menggunakan sistem *Reverse Osmosis* (RO) sehingga diperoleh kualitas air sesuai standar medis.

Sementara itu, sistem *Rainwater Harvesting* (RWH) dirancang untuk memanfaatkan air hujan yang ditampung dari *catchment area* atap. Air hujan dialirkan menuju tandon air hujan yang ditempatkan di area luar bangunan. Pemanfaatannya difokuskan untuk siram taman.



Gambar 5.37 Skema Sistem Penyediaan Air Bersih, Air Khusus, dan *Rainwater Harvesting*

5.15 Perhitungan *Ground Water Tank* (GWT) dan *Roof Tank* Air Bersih

Berikut ini adalah perhitungan volume dan penentuan dimensi *Ground Water Tank* (GWT) berdasarkan rumus (Wijaya *et al*, 2020):

1. Perhitungan dimensi *Ground Water Tank* (GWT) air bersih berdasarkan rumus perhitungan besarnya kapasitas pipa dinas:

$$Q_{\text{domestik}} = 84,75 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_h = \frac{84,75 \text{ m}^3/\text{hari}}{24 \text{ jam}} = 3,53 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_s = \frac{2}{3} \times Q_h$$

$$= \frac{2}{3} \times 3,53 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 2,35 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,00065 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,65 \text{ liter/detik}$$

Jadi, besarnya kapasitas dari pipa dinas adalah sebesar $2,35 \text{ m}^3/\text{jam}$

Adapun perhitungan untuk kebutuhan pipa inlet/outlet sebagai berikut:

$$A = \frac{Q_s}{v}$$

$$= \frac{0,0006528 \text{ m}^3/\text{detik}}{1,5 \text{ m/s}} = 0,0004352 \text{ m}^2$$

Kecepatan aliran = 0,9 – 2,0 m/detik (Friska, D., 2017)

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,0004352 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$= 0,235 \text{ m} = 23,5 \text{ mm}$$

Berdasarkan katalog pasar, didapatkan pipa PVC rucika dengan diameter 25 mm (1 inch).

Keterangan:

Dihitung besarnya kapasitas pipa dinas (Q_s) menggunakan rumus, dengan asumsi bahwa nilai Q_s sebesar $\frac{2}{3}$ dari nilai Q_h . Hal ini didasarkan bahwa air yang didistribusikan dari PDAM umumnya hanya dapat memenuhi sekitar $\frac{2}{3}$ dari kebutuhan rata-rata harian. Oleh karena itu,

kebutuhan air rata-rata per jam tidak bisa dipenuhi 100%, melainkan hanya sekitar $\frac{2}{3}$ dari kebutuhan tersebut ((Wijaya *et al*, 2020).

2. Volume *Ground Water Tank* (GWT)

Volume *Ground Water Tank* (GWT)

$$\begin{aligned} &= (Q_{\text{domestik}} - (Q_s \times T)) \\ &= (84,75 \text{ m}^3/\text{hari} - (2,35 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam/hari})) \\ &= 28,35 \text{ m}^3 \approx 29 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, besarnya volume *Ground Water Tank* (GWT) adalah sebesar 29 m^3

Keterangan:

Q_h = Jumlah kebutuhan air rata-rata per jam (m^3/jam)

Q_{domestik} = Jumlah kebutuhan air per hari (m^3/hari)

Q_s = Kapasitas pipa dinas (m^3/jam)

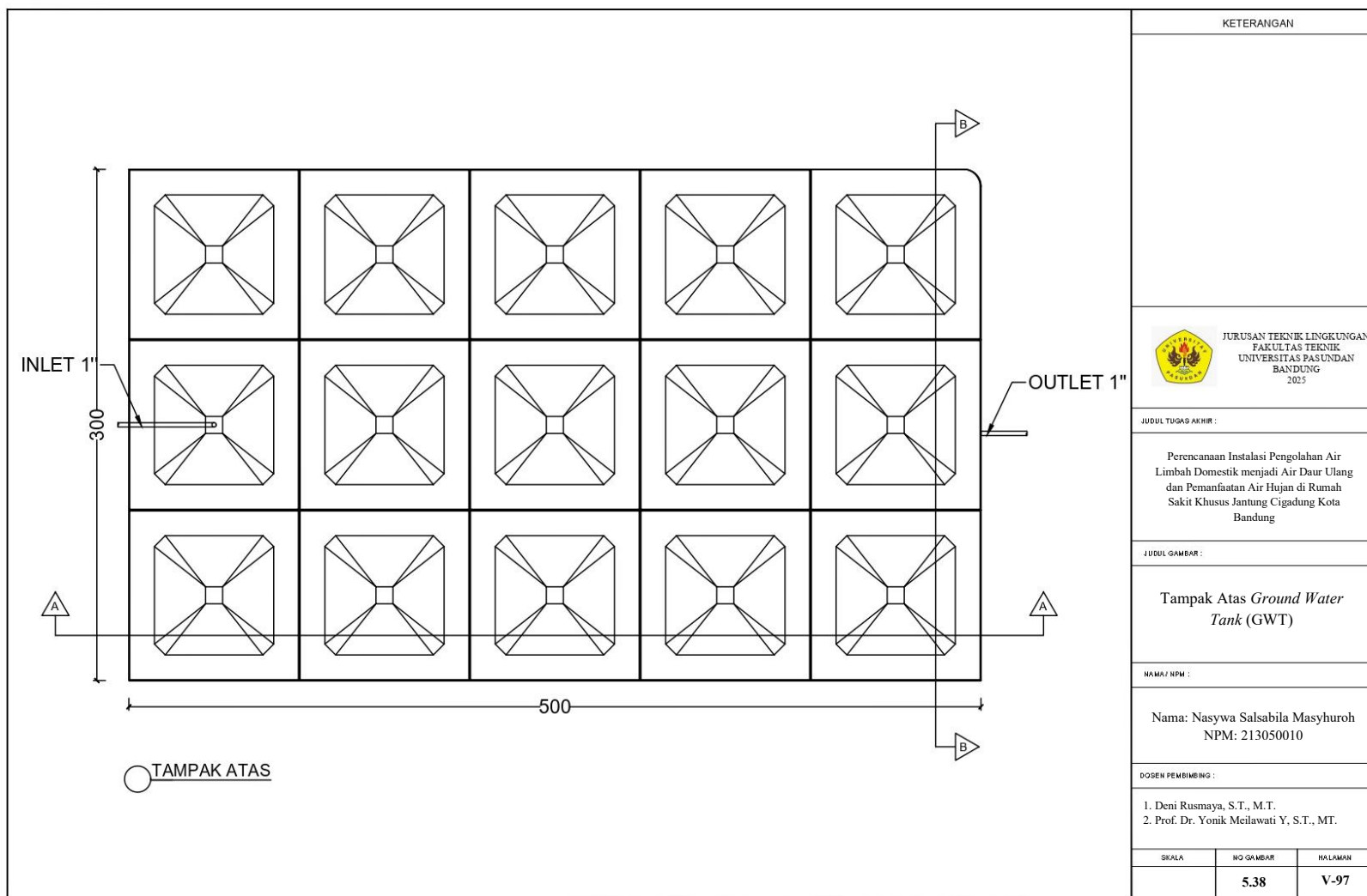
T = Rata-rata jangka waktu pemakaian (jam/hari)

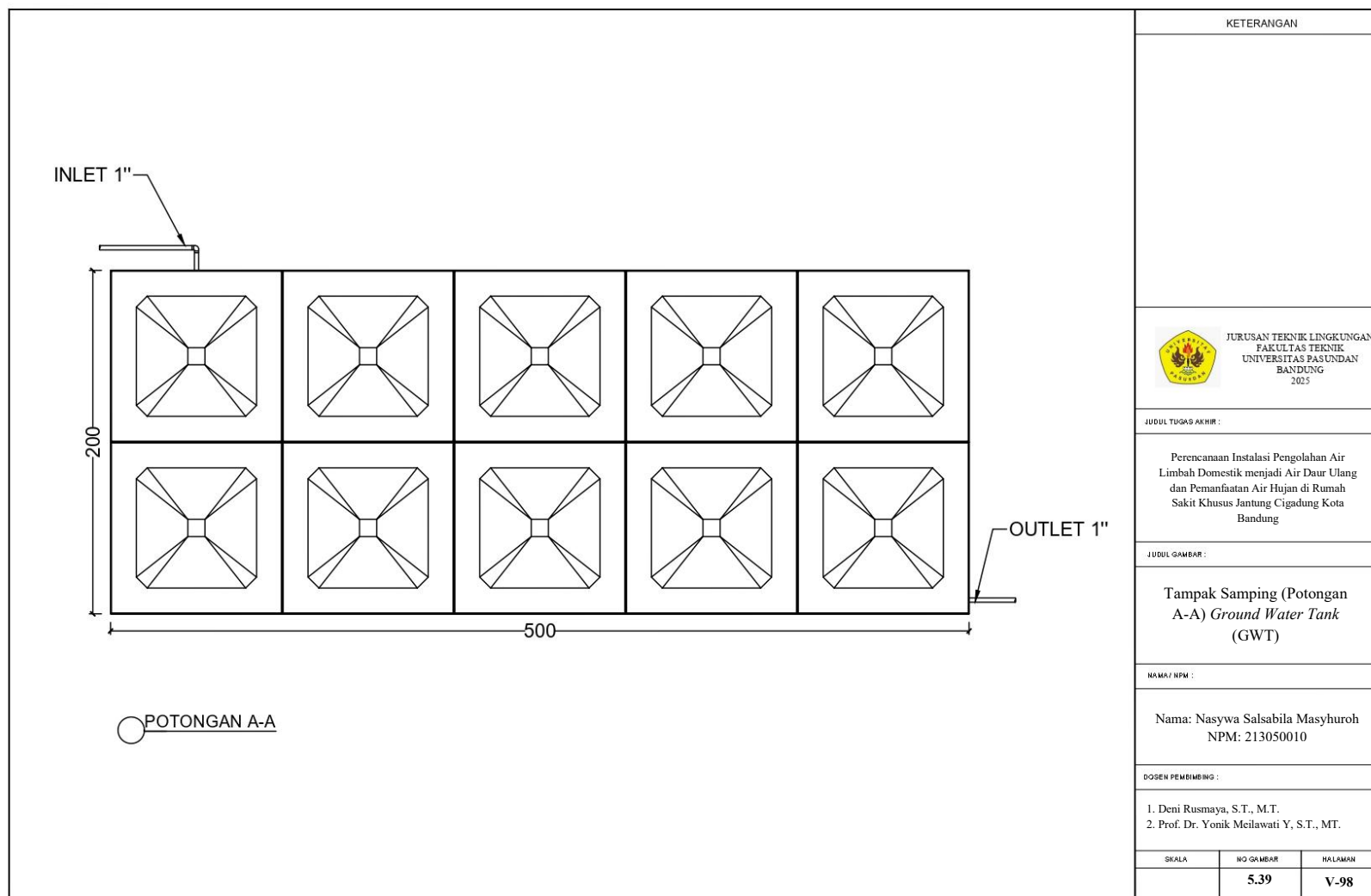
3. Penentuan dimensi *Ground Water Tank* (GWT)

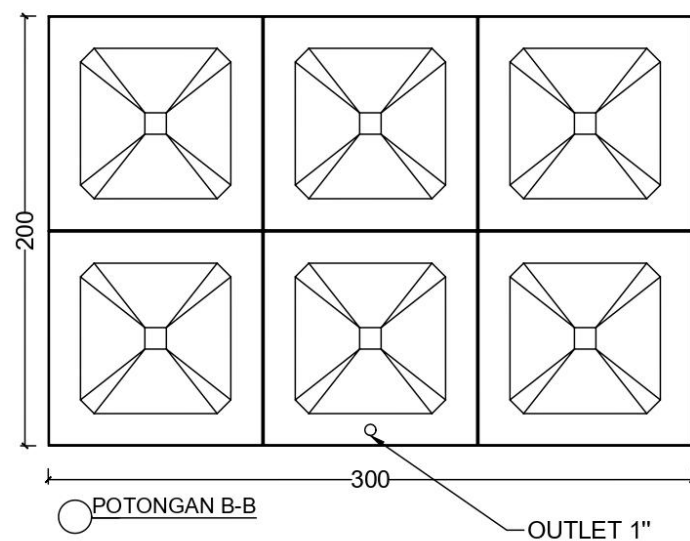
Pada sistem ini, air dari pipa utama PDAM Tirtawening Kota Bandung akan ditampung di dalam *Ground Water Tank* (GWT) yang berlokasi di *basement* 1, sebelum akhirnya dipompakan menuju *roof tank*. Ruang pompa yang ada di *basement* 1 memiliki luas lahan 9 m^2 .

Dengan volume *Ground Water Tank* (GWT) = 29 m^3 , *Ground Water Tank* (GWT) direncanakan menggunakan tangki berbahan *fiberglass* dengan dimensi 1 panel = $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Untuk kemudahan konstruksi, panel yang dibutuhkan untuk GWT adalah 30 panel ($5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$).

Berikut adalah gambar untuk *Ground Water Tank* (GWT) yang dapat dilihat pada **Gambar 5.38** s/d **Gambar 5.40**.







KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
B-B) *Ground Water Tank*
(GWT)

NAMA / NPM :

Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.40	V-99

4. Volume dan Dimensi *Roof Tank* Air Bersih

Kapasitas pipa dinas = $2,35 \text{ m}^3/\text{jam} = 39,17 \text{ liter/menit}$

Waktu Puncak = 60 menit

Maka,

$$\begin{aligned} V_{RT} &= Q_s \times T_{pu} \\ &= 39,17 \text{ liter/menit} \times 60 \text{ menit} \\ &= 2.350 \text{ liter} \\ &= 2,35 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensi untuk *Roof Tank* air bersih diambil dari katalog yang ada di pasar. Berikut adalah spesifikasi *roof tank* air bersih:

Diameter Tangki = 1.430 mm

Diameter Tutup = 420 mm

Tinggi = 1.780 mm

Luas Area = $1.560 \times 1.560 \text{ mm}$

Material = *Stainless Steel*

Ketebalan = 0,5 mm

Kapasitas = 2.550 liter

Inlet = 1 inch

Outlet = 1,5 inch

Lubang Kuras = 1 inch



Gambar 5.41 *Roof Tank* Air Bersih RS

Sumber: <https://www.tokopedia.com/lucyandri/tangki-air-stainless-profil-tank-ps-2500-profon-pakai-kaki>

[Diakses pada 29 September 2025, 14:41 WIB]

5.16 Sistem *Reverse Osmosis*

Dalam perencanaan ini, sistem *Reverse Osmosis* (RO) akan ditempatkan di *Basement 1*, dengan fungsi utama menyediakan pasokan air khusus yang kemudian didistribusikan menuju ruang operasi dan ruang sterilisasi.

Berdasarkan perhitungan Tugas Akhir 1, kebutuhan air khusus Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah sebesar $3,8 \text{ m}^3/\text{hari}$. berikut adalah konversi kebutuhan air khusus:

$$\begin{aligned}\text{Debit harian} &= 3,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 3.800 \text{ liter/hari}\end{aligned}$$

Debit liter per jam (asumsi 24 jam operasi):

$$= \frac{3.800 \text{ liter/hari}}{24 \text{ jam}} = 158,3 \text{ liter/jam} \approx 160 \text{ liter/jam}$$

Dalam *gallon per day* (GPD):

$$1 \text{ US gal} = 3,78541 \text{ liter}$$

$$\begin{aligned}\text{GPD} &= \frac{\text{liter/hari}}{3,78541 \text{ liter}} \\ &= \frac{3.800 \text{ liter/hari}}{3,78541 \text{ liter}} = 1,003.86 \approx 1.000 \text{ GPD}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil konversi kapasitas tersebut, sistem RO yang dipilih merujuk pada produk komersial yang tersedia di pasaran dengan kapasitas ± 1.000 GPD. Berikut adalah spesifikasi sistem *Reverse Osmosis* (RO):

Nomor Model	= WM42521A-216
Kapasitas Sistem	= 1.000 GPD ($3,8 \text{ m}^3/\text{hari}$)
Tegangan Sistem	= 220 V, 1 ph, 60 Hz
Koneksi Listrik	= Kabel terbuka (<i>stripped leads</i>)
Elemen Membran	= (4) unit RO ukuran $2,5" \times 21"$
Inlet RO	= $1/2"$
Outlet Permeate	= $3/8"$ (air hasil RO)
Outlet Konsentrat	= $1/4"$ (air buangan/ <i>reject</i>)
Tekanan Minimum Air Baku	= 40 psi ($2,75 \text{ bar}$)
Pengendali Sistem	= Operasi Otomatis
Dimensi Sistem	= $86 \text{ cm} \times 28 \text{ cm} \times 69 \text{ cm}$



Gambar 5.42 Sistem Reverse Osmosis RS

Sumber: WaterAnywhere

5.17 Rainwater Harvesting

5.17.1 Perhitungan Kebutuhan Air Siram Taman Rumah Sakit

Dalam perencanaan pemanfaatan air hujan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung, air hujan akan dimanfaatkan untuk kebutuhan penyiraman tanaman. Luas area taman di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah 1.089,4 m².

Menurut Widarto (1996), kebutuhan air siram untuk tanaman seluas 20 m² adalah 4 ember atau 40 liter. Sehingga, kebutuhan air siram taman yang dibutuhkan Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Air Siram Taman} &= \frac{\text{Luas Area Taman RS (m}^2\text{)}}{20 \text{ m}^2} \times 40 \text{ liter} \\
 &= \frac{1.089,4 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2} \times 40 \text{ liter} \\
 &= 2.178,8 \text{ liter/hari} \\
 &= 2,1788 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Rekapitulasi Kebutuhan Air Siram Taman per Hari dan per Bulan

Bulan	Jumlah Hari dalam Bulan	Kebutuhan Air Siram Taman (m³/hari)	Kebutuhan Air Siram Taman (m³/bulan)
Januari	31	2,1788	67,5428
Februari	28	2,1788	61,0064
Maret	31	2,1788	67,5428
April	30	2,1788	65,364
Mei	31	2,1788	67,5428
Juni	30	2,1788	65,364
Juli	31	2,1788	67,5428
Agustus	31	2,1788	67,5428
September	30	2,1788	65,364
Oktober	31	2,1788	67,5428
November	30	2,1788	65,364
Desember	31	2,1788	67,5428
Total			795,262

Sumber: Hasil Perhitungan

5.17.2 Perhitungan Sistem *Rainwater Harvesting*

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan proyek–proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia. Debit tersebut digunakan sebagai patokan ketersediaan debit yang masuk pada saat pengoperasiannya. Dengan metode Weibull, debit andalan tersebut dapat dihitung dengan peluang 50% pada periode tertentu tersedia (Soemarto, 1987). Berikut adalah rumus dalam analisis curah hujan andalan:

$$P(\%) = \left(\frac{m}{n+1} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

$P(\%)$: persentase peluang curah hujan andalan

m : peringkat urutan pengamatan curah hujan

n : jumlah tahun pengamatan data curah hujan

Contoh perhitungan peluang untuk 50%:

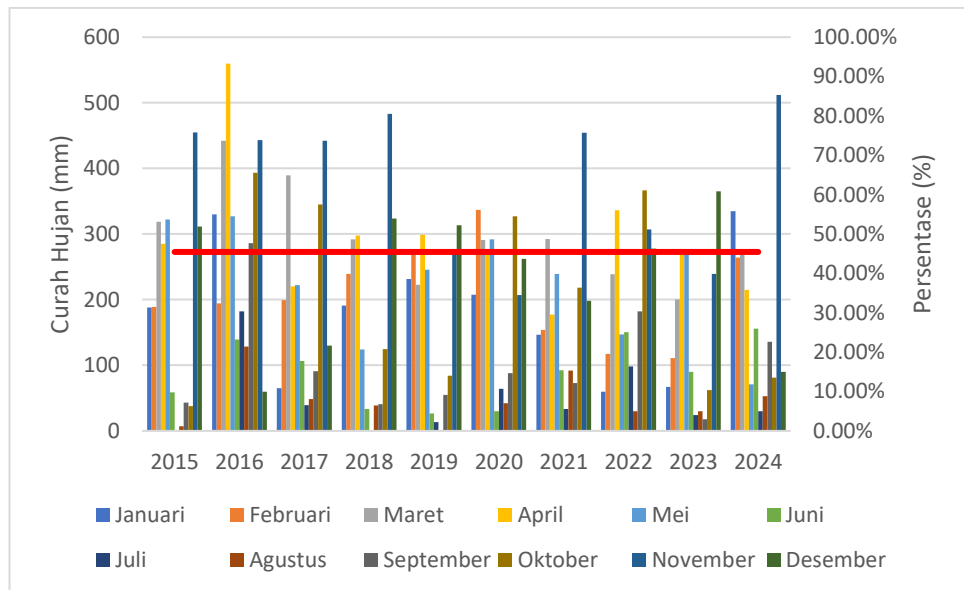
$$\begin{aligned} P(\%) &= \left(\frac{5}{10+1} \right) \times 100\% \\ &= 45,45\% \end{aligned}$$

Indonesia memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Dengan perbedaan signifikan pada nilai curah hujan bulanan, hujan andalan tidak bisa menggunakan data curah hujan rata-rata tahunan. **Tabel 5.16** dan **Gambar 5.43** menunjukkan urutan probabilitas dari nilai hujan andalan terkecil hingga terbesar.

Tabel 5.16 Perhitungan Curah Hujan Andalan (2016 – 2025)

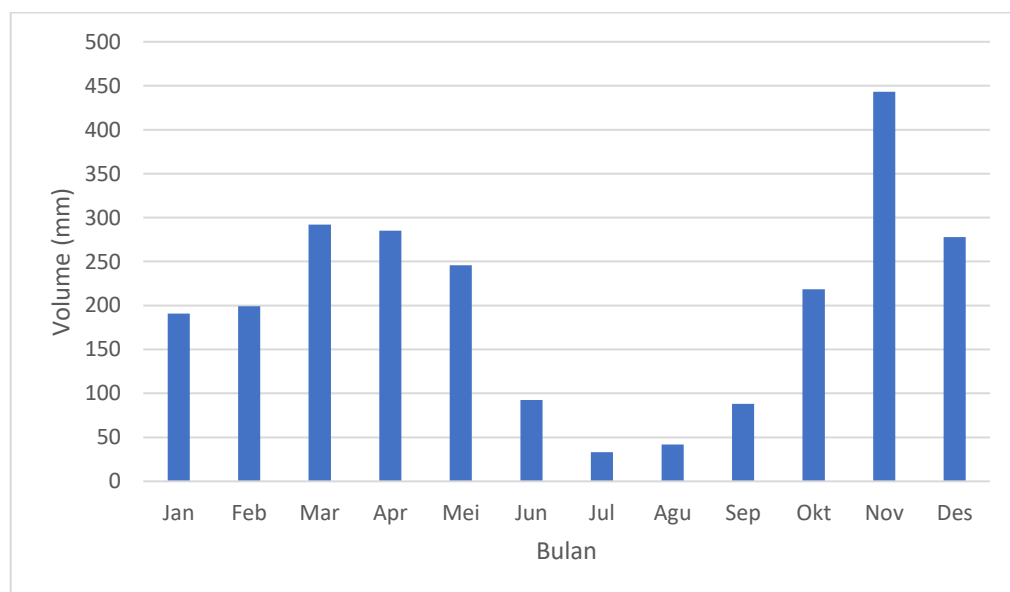
No	Bulan												Rata-rata	Andalan %
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des		
1	335	337	442,3	559,6	327,2	156	182,3	128,7	286,2	393,4	512	365	335,3	9,09
2	329,8	269,1	389,3	336,2	322,4	150,6	98,5	91,8	182,2	366,7	483,2	323,5	278,6	18,18
3	231,6	264	318,6	298,9	292	139,3	64	53	136	345,3	455	313,5	242,6	27,27
4	207,6	239,3	292,5	297,6	269	106,4	39,1	48,4	90,8	327	454,3	311,5	223,6	36,36
5	191	199,3	292	285,2	245,7	92,4	33,2	42	88	218,4	443	277,7	200,6	45,45
6	188	194,4	291	276	239	90	30	38,9	73	124,8	442,2	262	187,4	54,55
7	146,4	189,1	272	271	222,3	58,8	24	30	55	84,2	307,2	198,5	154,8	63,64
8	67	153,9	238,9	220,2	146,9	33,4	13,4	29,9	43,2	81	270,7	129,9	119	72,73
9	65,3	117,1	222,7	215	123,9	30	0,3	6,9	40,8	62	239	90	101	81,82
10	59,5	111	200	177,3	71	26,5	0,3	0,2	18	37,9	207	59,9	80,71	90,91

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 5.43 Curah Hujan Andalan (Tahun 2016 – 2025)

Berikut adalah **Gambar 5.44** untuk curah hujan andalan dengan probabilitas 45,45%:



Gambar 5.44 45,45% Curah Hujan Andalan

5.17.3 Ketersediaan Air Hujan dan Kapasitas *Ground Reservoir*

Cara memenuhi kebutuhan adalah dengan menyimpan dan menampung air hujan untuk memenuhi kebutuhan air siram taman. Volume air hujan yang ditampung di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah air yang tertampung di daerah tangkapan (972 m^2), kemudian dialirkan melalui *trench drain* di atap datar yang dilengkapi saringan (*catch basin*) ke pipa tegak. Air hujan awal yang turun selama 10–20 menit pertama banyak membawa kotoran dari atmosfer dan permukaan atap (Eccles, 2023), sehingga dialirkan terlebih dahulu melalui *first flush diverter* sebelum masuk ke *ground reservoir*.

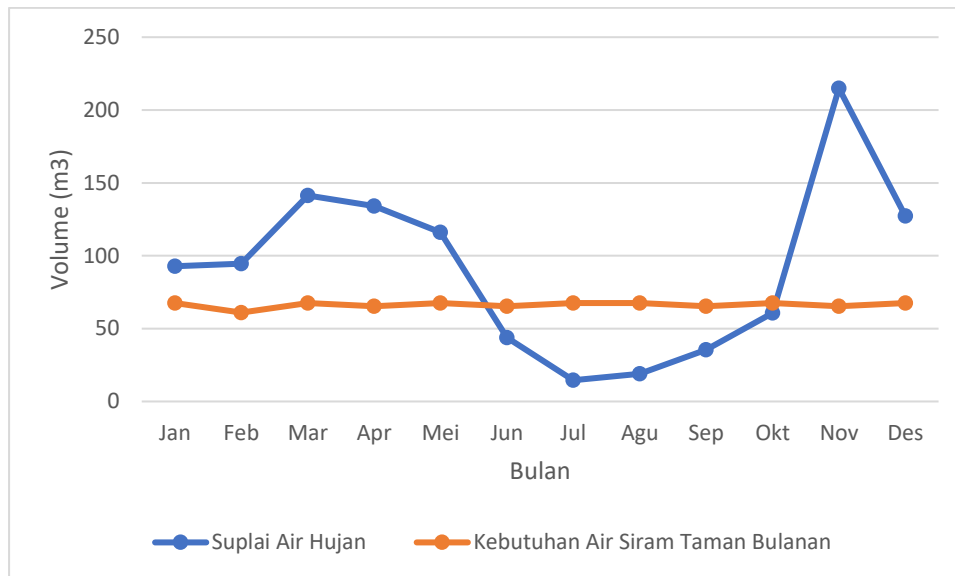
Pemasangan *first flush diverter* ini juga berkaitan dengan kualitas air hujan di Kota Bandung, di mana nilai pH air hujan sering berada di bawah 5,6, mengindikasikan potensi hujan asam, terutama di wilayah dengan aktivitas industri dan lalu lintas padat. Dengan mengalirkan air hujan awal terlebih dahulu, sistem dapat mengurangi masuknya kontaminan dan senyawa asam ke *ground reservoir*, sehingga kualitas air yang digunakan untuk menyiram taman lebih aman.

Pengaturan pasokan air hujan yang tertampung dilakukan dengan menyesuaikan kapasitas *ground reservoir* untuk memenuhi kebutuhan air hujan. Metode ini juga akan menyesuaikan dengan kondisi dua musim, yaitu musim hujan dan kemarau. Adapun **Tabel 5.17** menunjukkan perhitungan kalkulasi ketersediaan air hujan untuk menghemat pemakaian air bersih dari PDAM.

Tabel 5.17 Kalkulasi Ketersediaan Air

Bulan	Jumlah Hari dalam Bulan	Curah Hujan (mm)	Luas <i>Catchment Area</i> (m ²)	Koefisien <i>Runoff</i>	Suplai Air Hujan (m ³)	Kebutuhan Air Siram (m ³ /hari)	Kebutuhan Air Siram (m ³ /bulan)	Kekurangan Air	Kelebihan Air (m ³)
Jan	31	191	972	0,5	92,82	2,17	67,54		25,28
Feb	28	194.4	972	0,5	94,47	2,17	61,00		33,47
Mar	31	291	972	0,5	141,42	2,17	67,54		73,88
Apr	30	276	972	0,5	134,13	2,17	65,36		68,77
Mei	31	239	972	0,5	116,15	2,17	67,54		48,61
Jun	30	90	972	0,5	43,74	2,17	65,36	-21,62	
Jul	31	30	972	0,5	14,58	2,17	67,54	-52,96	
Agu	31	38.9	972	0,5	18,90	2,17	67,54	-48,63	
Sep	30	73	972	0,5	35,47	2,17	65,36	-29,88	
Okt	31	124.8	972	0,5	60,65	2,17	67,54	-6,89	
Nov	30	442.2	972	0,5	214,90	2,17	65,36		149,54
Des	31	262	972	0,5	127,33	2,17	67,54		59,78
Jumlah	365	2252.3			1.094,61		795,26	-131,48	459,35

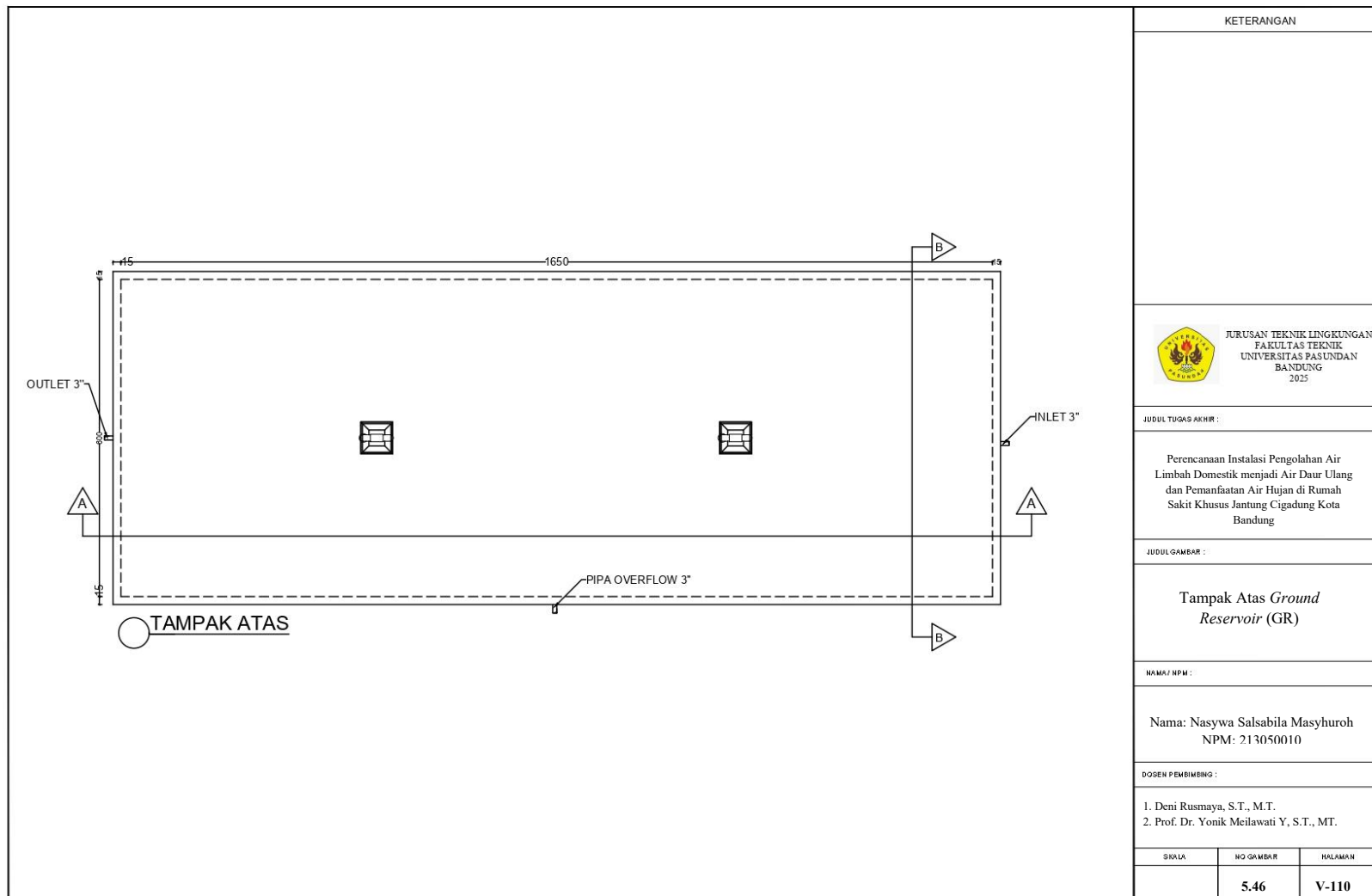
Sumber: Hasil Perhitungan

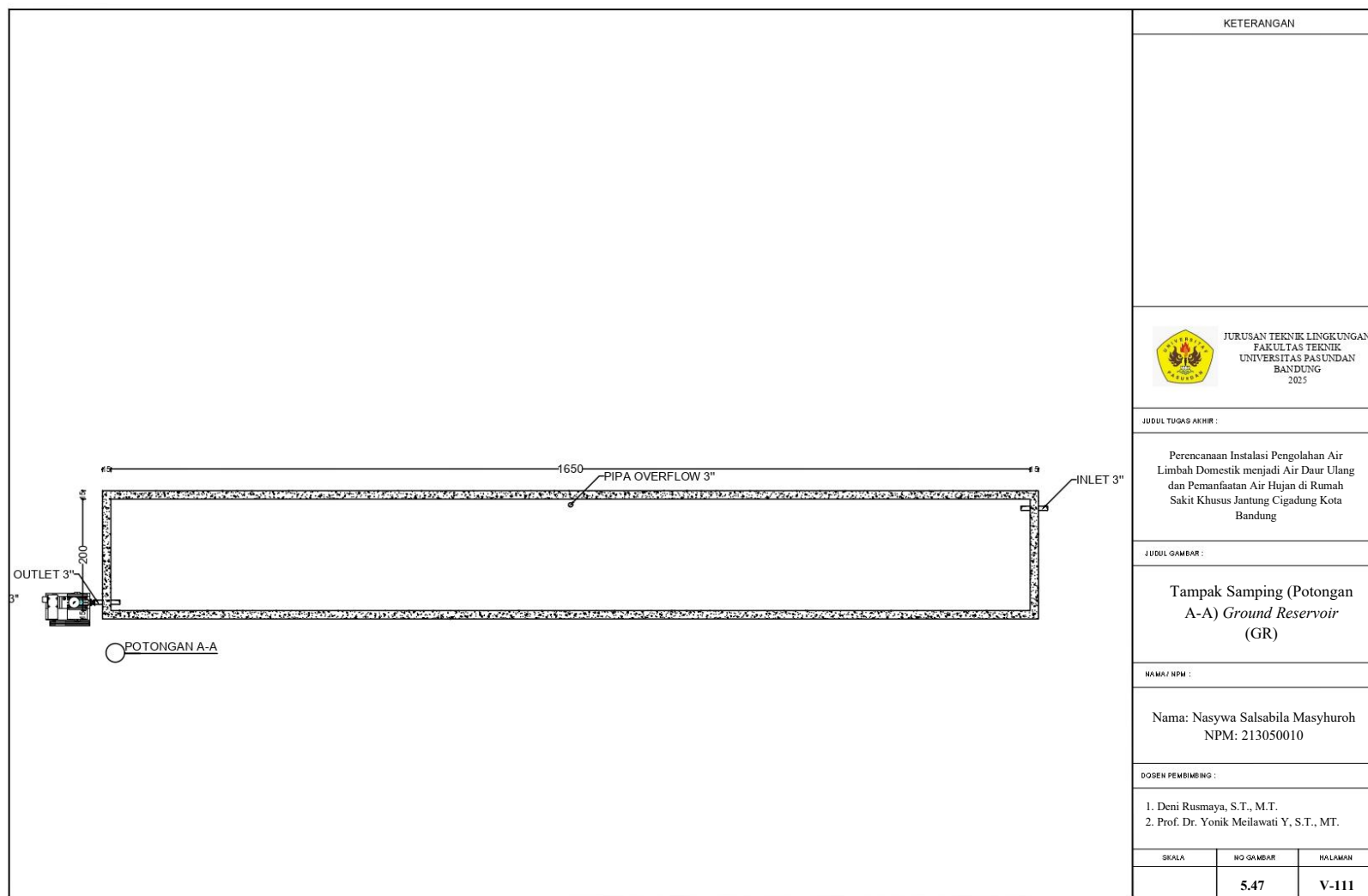


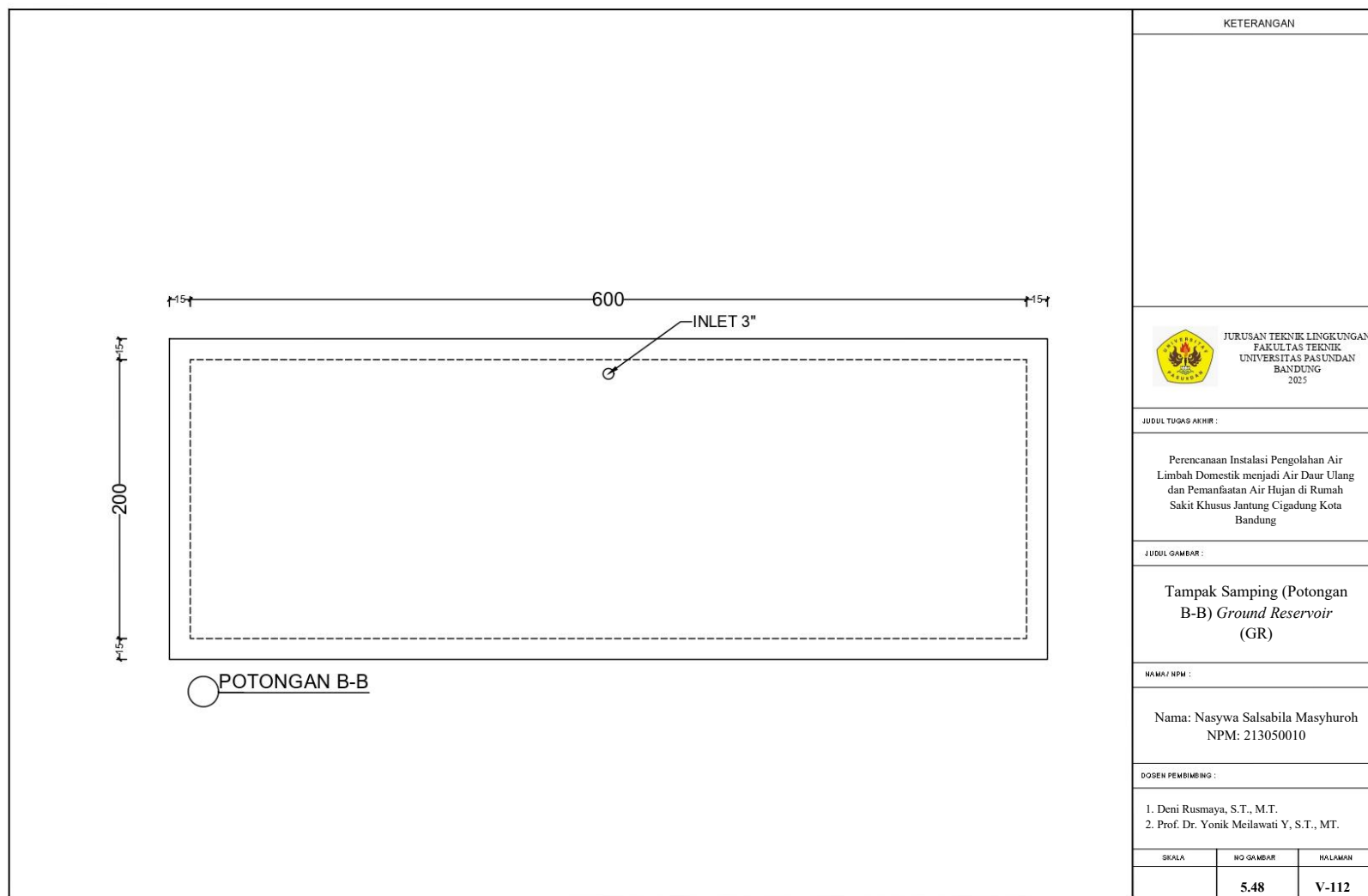
Gambar 5.45 Suplai dan *Demand* dari Air Siram Taman Butuhkan

Pada **Gambar 5.45**, ditampilkan grafik perbandingan antara suplai air hujan dan kebutuhan air siram taman bulanan. Pada bulan Januari–Mei dan November–Desember, suplai air hujan berada di atas garis kebutuhan air bulan, yang menunjukkan bahwa terdapat surplus air hujan. Volume air hujan yang berlebih akan disimpan di *ground* reservoir untuk digunakan pada bulan-bulan yang mengalami defisit, yaitu Juni–Oktober. Untuk kapasitas *ground* reservoir Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung akan disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia. Volumennya adalah $194,4 \text{ m}^3$ dan untuk kemudahan konstruksi akan dibulatkan menjadi 198 m^3 ($16,5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$).

Berikut adalah gambar untuk *Ground Reservoir* (GR) yang dapat dilihat pada **Gambar 5.46** s/d **Gambar 5.48**.





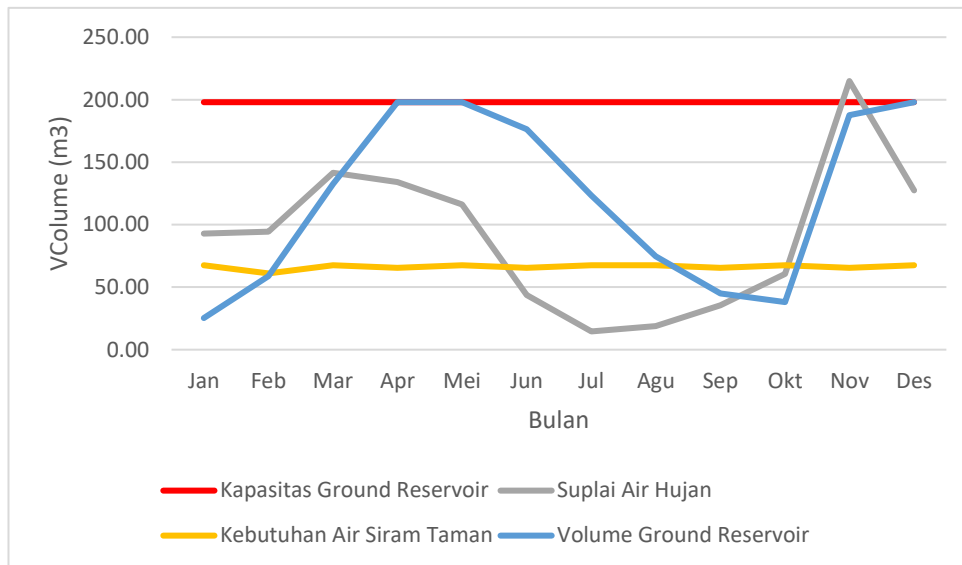


Perhitungan neraca air didasarkan pada hubungan antara pasokan air (*input*) dengan keluaran air (*output*) di suatu wilayah dalam periode tertentu. Neraca air ini dapat mengidentifikasi sumber air dan pemakaian air di suatu area selama periode tertentu. Setelah memperoleh volume *ground* reservoir, neraca air bulanan dapat dihitung sebagaimana disajikan dalam **Tabel 5.18** dan **Gambar 5.49** untuk menentukan volume air hujan yang dapat ditampung dan dimanfaatkan setiap bulannya. Studi ini menggunakan analisis pada dua tahun pertama. Pada tahun pertama, pada bulan Januari saat musim hujan, *ground* reservoir diisi mulai dari volume 0 m³. Kemudian, pada akhir Januari, volume *ground* reservoir telah terisi sesuai kapasitas reservoir dikurangi kebutuhan air siram taman selama satu bulan. Pada bulan April–Mei tahun pertama, volume air dalam *ground* reservoir melebihi kapasitasnya. Pada bulan-bulan tersebut, suplai air hujan melimpah dan kelebihannya harus dialirkan ke saluran pembuangan atau diserap ke dalam tanah.

Tabel 5.18 Perhitungan Neraca Air Hujan Bulanan

Bulan	Suplai Air Hujan (m ³)	Kapasitas <i>Ground Reservoir</i> (m ³)	Tahun Pertama			Tahun Kedua		
			Awal (m ³)	Kebutuhan Siram Taman (m ³)	Akhir (m ³)	Awal (m ³)	Kebutuhan Siram Taman (m ³)	Akhir (m ³)
Jan	92,83	198	0	67,54	25,28	198	67,54	198
Feb	94,48	198	25,28	61,01	58,76	198	61,01	198
Mar	141,426	198	58,76	67,54	132,64	198	67,54	198
Apr	134,136	198	132,64	65,36	198	198	65,36	198
Mei	116,15	198	198	67,54	198	198	67,54	198
Jun	43,74	198	198	65,36	176,38	198	65,36	176,38
Jul	14,58	198	176,38	67,54	123,41	176,38	67,54	123,41
Agu	18,91	198	123,41	67,54	74,78	123,41	67,54	74,78
Sep	35,48	198	74,78	65,36	44,89	74,78	65,36	44,89
Okt	60,65	198	44,89	67,54	38	44,89	67,54	38
Nov	214,91	198	38	65,36	187,55	38	65,36	187,55
Des	127,33	198	187,55	67,54	198	187,55	67,54	198
Total	1.094,618			795,26			795,26	

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 5.49 Neraca Sistem *Rainwater Harvesting*

5.17.4 Perencanaan Komponen Sistem *Rainwater Harvesting*

Perencanaan *ground reservoir* untuk Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung menggunakan bahan utama beton bertulang, dimana kapasitas *ground reservoir* sebesar 198 m³ (16,5 m × 6 m × 2 m). Untuk pemilihan *trench drain*, *catch basin*, dan jalur perpipaan menyesuaikan dengan katalog yang ada di pasar. Berikut adalah spesifikasi teknis untuk *trench drain*:

- Tipe produk : T1401-PB-4 (*presloped channel*, 4" internal width)
- Pabrikan : MIFAB (TD-2025 Series)
- Bahan : *Glass Reinforced Polyester* (GRP)
- Lebar internal : 4" (100 mm)
- Lebar total : 140 – 150 mm
- Panjang : 500 - 1.000 mm
- Kemiringan : 0,5%
- Kedalaman : 80-90 mm (minimal, ujung awal channel), 200-250 mm (maksimal, ujung akhir channel)



Gambar 5.50 Trench Drain T1400

Sumber: Trench Drain Catalog 2025

Spesifikasi teknis untuk *catch basin*:

Tipe produk : T1400-CB620 *Catch Basin*

Pabrikan : MIFAB (TD-2025 series)

Bahan : *Glass Reinforced Polyester (GRP)*

Outlet : 3” atau 4”

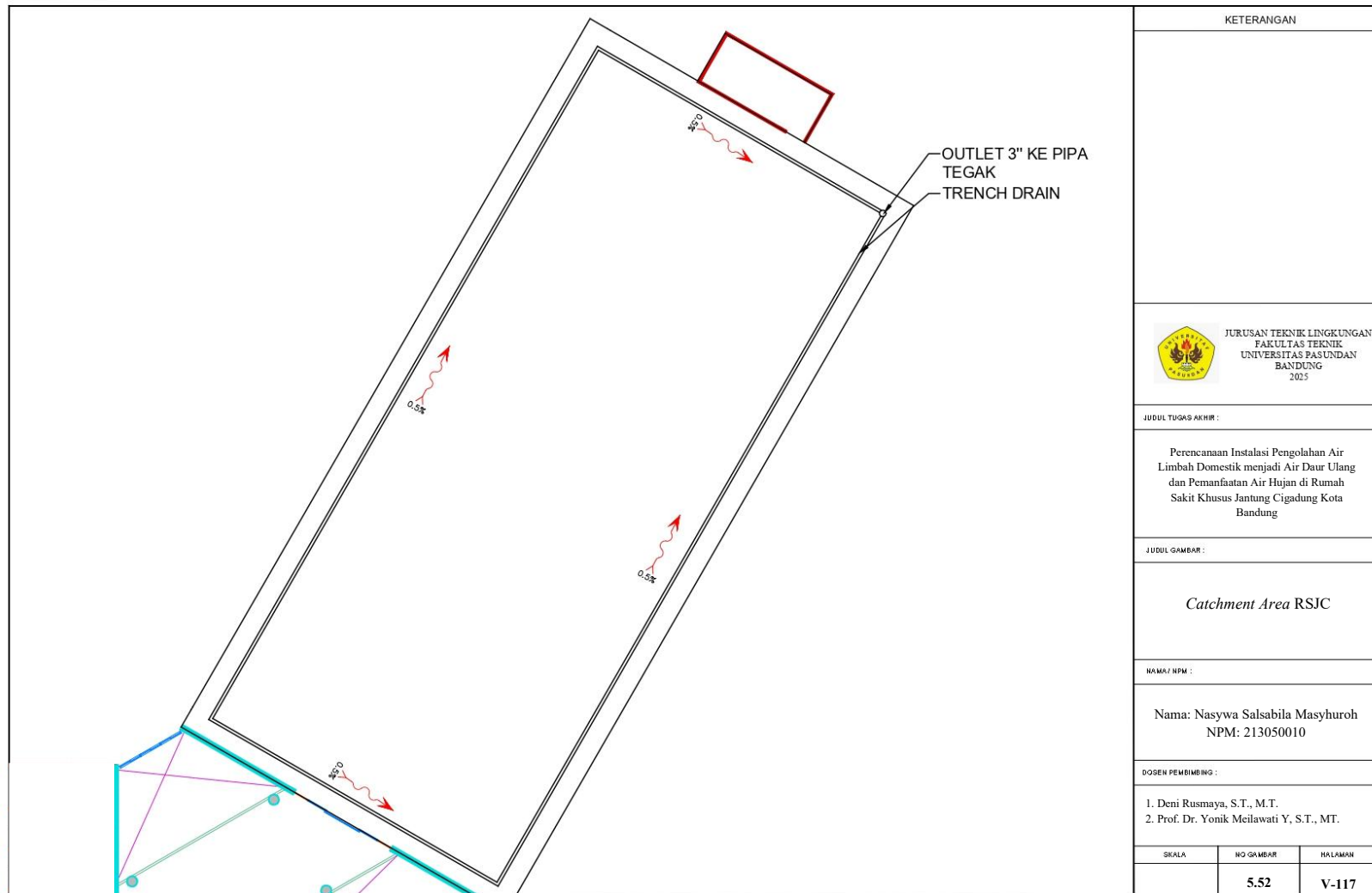
Komponen : *sediment bucket*

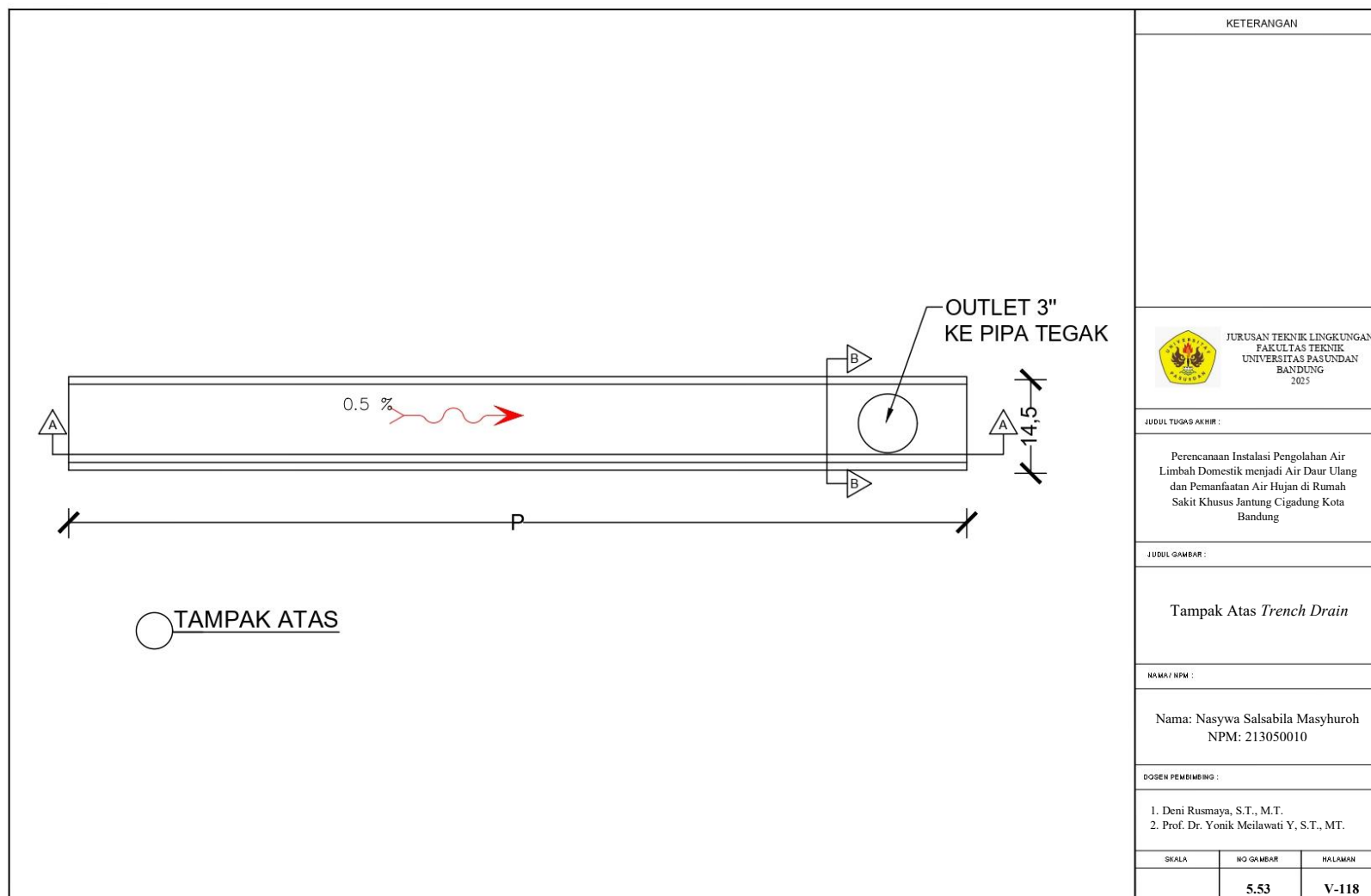
T1400-CB620 Catch Basin

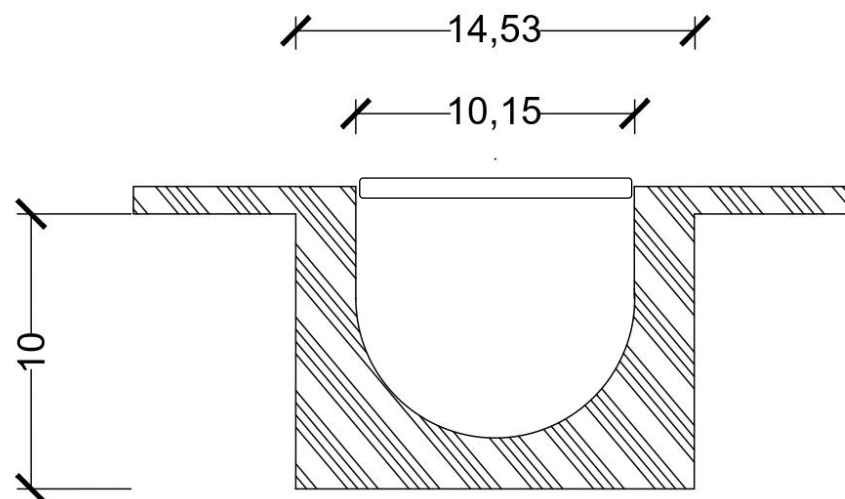


Gambar 5.51 T1400-CB620 *Catch Basin*

Berikut adalah gambar untuk Sistem *Rainwater Harvesting (RWH)* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.52** s/d **Gambar 5.56** serta tata letak *Ground Reservoir* pada **Gambar 5.57**.







POTONGAN B-B

KETERANGAN



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025

JUDUL TUGAS AKHIR :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air
Limbah Domestik menjadi Air Daur Ulang
dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah
Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota
Bandung

JUDUL GAMBAR :

Tampak Samping (Potongan
B-B) Trench Drain

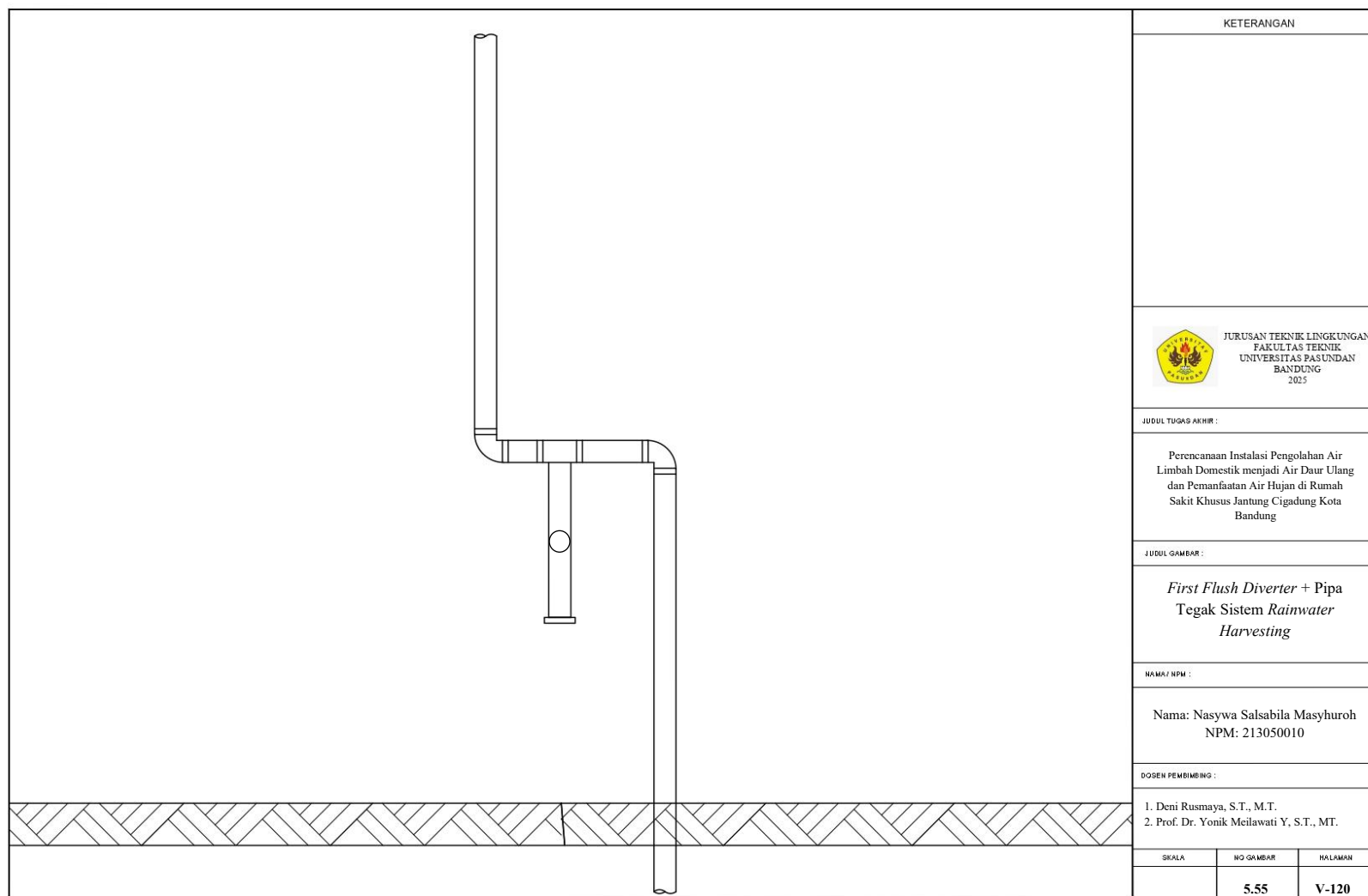
NAMA / NPM :

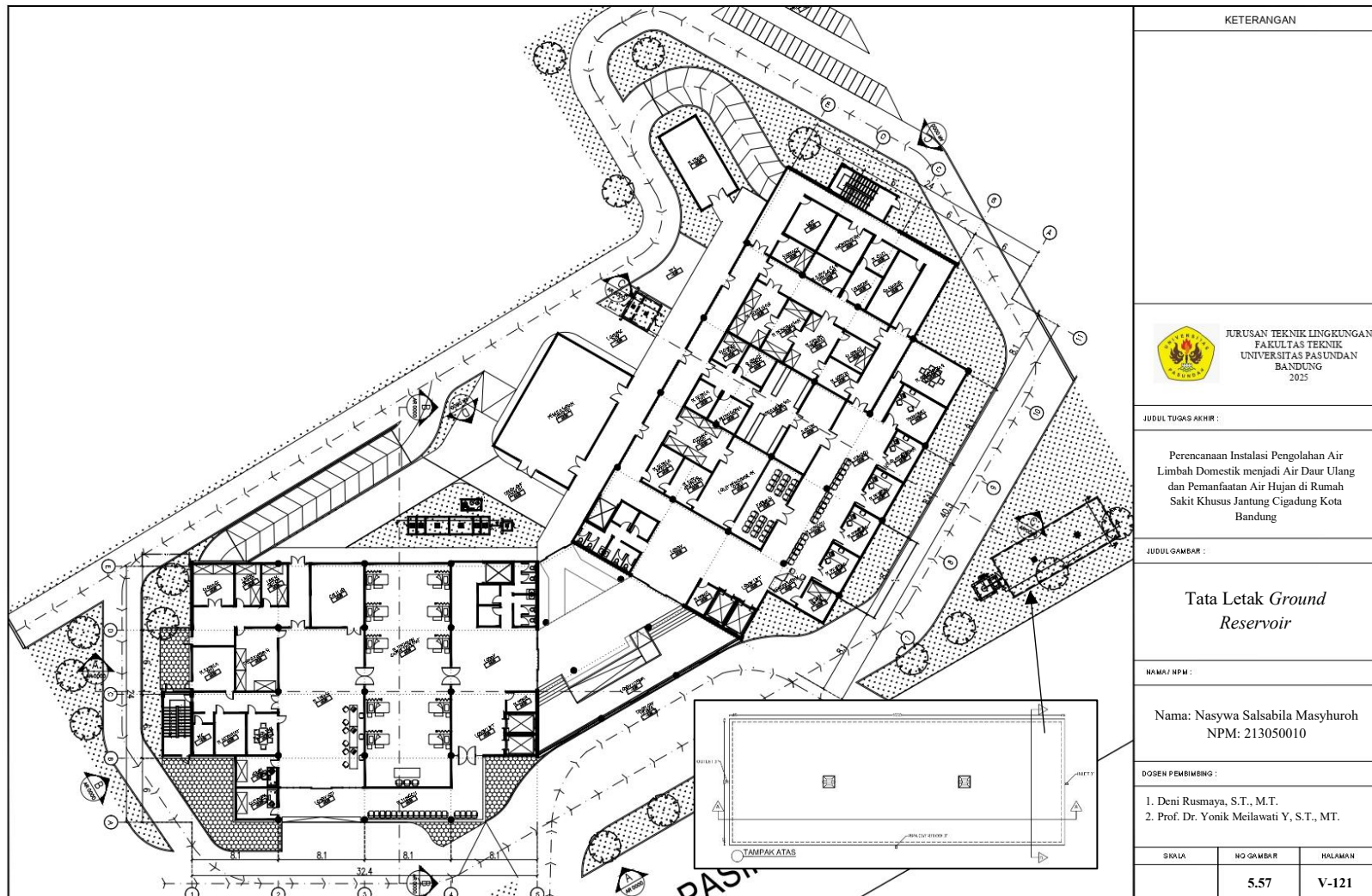
Nama: Nasywa Salsabila Masyhuroh
NPM: 213050010

DOSEN PEMBIMBING :

1. Deni Rusmaya, S.T., M.T.
2. Prof. Dr. Yonik Meilawati Y, S.T., MT.

SKALA	NO GAMBAR	HALAMAN
	5.54	V-119





BAB VI

SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

6.1 Umum

Spesifikasi teknis bangunan pengolahan air limbah dan pemanfaatan air hujan disusun berdasarkan hasil perencanaan teknis pada Bab V. Spesifikasi meliputi bangunan IPAL domestik, unit daur ulang (*recycle*), sistem pemanfaatan air hujan (*rainwater harvesting*), serta fasilitas pendukung lainnya.

6.2 Spesifikasi Teknis *Septic Tank* dan Bak Kontrol

6.2.1 Spesifikasi Teknis *Septic Tank*

Septic tank yang direncanakan untuk Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung memiliki total volume sebesar 15,89 m³, terbagi menjadi dua kompartemen. Kompartemen pertama berkapasitas 10,593 m³ berfungsi untuk menahan dan mengendapkan padatan, sementara kompartemen kedua berkapasitas 5,2967 m³ digunakan sebagai ruang tambahan untuk pengolahan limbah cair sebelum dialirkan ke bak kontrol.

Dimensi untuk total dari bak *septic tank*, yaitu 3,50 m × 3,50 m × 1,60 m dengan masing-masing kompartemen disesuaikan dengan volume yang dibutuhkan. Perhitungan ini menjadi dasar bagi pekerjaan tanah, perungguan, dan pekerjaan beton yang akan dilakukan untuk membangun *septic tank*. Berikut adalah perhitungan untuk pekerjaan tanah dan perungguan dengan pemadatan *septic tank*:

Rumus Pekerjaan Tanah = (panjang + (2 × tebal dinding)) × (lebar + (2 × tebal dinding)) × (kedalaman bangunan yang digali + tebal lantai bak + tebal pasir + tebal lantai kerja)

Rumus Perungguan = (panjang + (2 × tebal dinding)) × (lebar + (2 × tebal dinding)) × tebal pasir

Keterangan:

Tebal dinding = 0,15 m

Tebal lantai bak = 0,15 m

Tebal lantai kerja = 0,05 m

Tebal pasir = 0,05 m

Tabel 6.1 Penggalan Tanah dan Perunggan *Septic Tank* RSJC

Pekerjaan Tanah <i>Septic Tank</i>				
	Vol. Bak (m)	Galian $P \times L$	Kedalaman Galian (m)	Vol. Galian (m³)
Kompartemen 1	2,3	2,6		18,278
	3,5	3,8		
	1,6		1,85	
Kompartemen 2	1,17	1,47		10,334
	3,5	3,8		
	1,6		1,85	
Total		11,67		28,612
Perunggan dengan Pemadatan				
	Vol. Bak (m)	Galian $P \times L$	Tebal Pasir	Vol. Perunggan (m³)
Kompartemen 1	2,3	2,6		0,494
	3,5	3,8		
	1,6		0,05	
Kompartemen 2	1,17	1,47		0,279
	3,5	3,8		
	1,6		0,05	
Total				0,773

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.1**, volume galian untuk *septic tank* adalah sebesar 28,612 m³ dengan luas tanah terpakai sebesar 11,67 m². Dengan luas lahan perencanaan 16 m², *septic tank* tersebut muat pada lahan yang tersedia. Sementara

itu, untuk perunggan dengan pemadatan *septic tank* didapatkan volume sebesar $0,773 \text{ m}^3$.

Adapun perhitungan untuk beton dinding bangunan *septic tank*, dimana menggunakan beton bertulang dengan mutu beton K-150 yang dapat dilihat pada tabel berikut:

$$\text{Beton Lantai Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{tebal lantai bak})$$

Keterangan:

Tebal lantai = $0,15 \text{ m}$

Tabel 6.2 Beton Lantai *Septic Tank*

	Vol. Bak (m)	Vol. Bak + Tebal Dinding (m^2)	Tebal Lantai	Volume (m^3)
Kompartemen 1	2,3	2,6	0,15	1,482
	3,5	3,8		
Kompartemen 2	1,17	1,47		0,837
	3,5	3,8		
Total		15,46		2,319

Sumber: Hasil Perhitungan

$$\text{Beton Dinding Bangunan} = (2 \times (\text{panjang} + \text{lebar})) \times \text{kedalaman bak} \times \text{tebal dinding}$$

$$\text{Bekisting Dinding} = (2 \times (\text{Panjang} + \text{Lebar})) \times \text{Tinggi}$$

Keterangan:

Tebal dinding = $0,15 \text{ m}$

Tabel 6.3 Beton Dinding *Septic Tank*

	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Tebal Dinding	Volume (m³)	Bekisting Dinding (m²)
Kompartemen 1	2,3	3,5	1,6	0,15	2,784	23,68
Kompartemen 2	1,17	3,5	1,6		2,231	19,499
Total					5,025	43,179

Sumber: Hasil Perhitungan

$$\text{Beton Tutup Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal tutup}$$

Keterangan:

Tebal tutup = 0,15 m

Tabel 6.4 Beton Tutup *Septic Tank*

	Vol. Bak (m)	Vol. Bak + Tebal Dinding (m ²)	Tebal Tutup	Volume (m ³)
Kompartemen 1	2,3	2,6	0,15	1,482
	3,5	3,8		
Kompartemen 2	1,17	1,47		0,837
	3,5	3,8		
Total		15,46		2,319

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.2** s/d **Tabel 6.4**, hasil volume total beton K-150 pada *septic tank* adalah sebagai berikut:

- Beton Lantai Bangunan = 2,319 m³
- Beton Dinding Bangunan = 5,025 m³
- Beton Tutup Bangunan = 2,319 m³
- Total Beton K-150 = 2,319 m³ + 5,025 m³ + 2,319 m³
= 6,657 m³
- Bekisting Lantai = 15,46 m²
- Bekisting Dinding = 43,179 m²
- Bekisting Tutup = 15,46 m²

Pekerjaan Pembesian dengan Besin Beton (Polos)

Untuk pekerjaan pembesian berdasarkan perhitungan volume pekerjaan beton dan lantai bangunan, berdasarkan hasil perhitungan total volume beton K-150 adalah 6,675 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m³ (Batubara, 2017). Sehingga didapatkan berat besi adalah 1.001,25 kg.

6.2.2 Bak Kontrol

Bak kontrol untuk Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung memiliki volume total 2,88 m³ dengan dimensi 1,20 m × 1,20 m × 2,15 m. Berikut adalah perhitungan untuk pekerjaan tanah dan perungugan dengan pemadatan bak kontrol:

$$\text{Rumus Pekerjaan Tanah} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{kedalaman bangunan yang digali} + \text{tebal lantai bak} + \text{tebal pasir} + \text{tebal lantai kerja})$$

$$\text{Rumus Perungugan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal pasir}$$

Keterangan:

Tebal dinding = 0,15 m

Tebal lantai bak = 0,15 m

Tebal lantai kerja = 0,05 m

Tebal pasir = 0,05 m

Tabel 6.5 Penggalian Tanah dan Perungugan Bak Kontrol RSJC

Pekerjaan Tanah Bak Kontrol			
Volume Bak (m³)	Galian P × L (m)	Kedalaman Galian (m)	Volume Galian (m³)
1,20 m × 1,20 m × 2,15 m	1,50 × 1,50	2,4	5,4
Perungugan dengan Pemadatan			
Volume Bak (m³)	Galian P × L (m)	Tebal Pasir	Volume Perungugan (m³)
1,20 m × 1,20 m × 2,15 m	1,50 × 1,50	0,05	0,112

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.5**, volume galian untuk bak kontrol adalah sebesar 5,4 m³. Sementara itu, untuk perungugan dengan pemadatan bak kontrol didapatkan volume sebesar 0,112 m³.

Adapun perhitungan untuk beton dinding bangunan bak kontrol, dimana menggunakan beton bertulang dengan mutu beton K-225 yang dapat dilihat pada tabel berikut:

$$\text{Beton Lantai Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{tebal lantai bak})$$

Keterangan:

$$\text{Tebal lantai} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Beton Tutup Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal tutup}$$

Keterangan:

$$\text{Tebal tutup} = 0,15 \text{ m}$$

Tabel 6.6 Beton Lantai dan Tutup Bak Kontrol

Beton Lantai Bak Kontrol			
Volume Bak (m³)	Galian P × L (m)	Tebal Lantai	Volume Beton (m³)
1,20 m × 1,20 m × 2,15 m	1,50 × 1,50	0,15	0,337
Beton Tutup Bak Kontrol			
Volume Bak (m³)	Galian P × L (m)	Tebal Tutup	Volume Beton (m³)
1,20 m × 1,20 m × 2,15 m	1,50 × 1,50	0,15	0,337

Sumber: Hasil Perhitungan

$$\text{Beton Dinding Bangunan} = (2 \times (\text{panjang} + \text{lebar})) \times \text{kedalaman bak} \times \text{tebal dinding}$$

$$\text{Bekisting Dinding} = (2 \times (\text{Panjang} + \text{Lebar})) \times \text{Tinggi}$$

Keterangan:

$$\text{Tebal dinding} = 0,15 \text{ m}$$

Tabel 6.7 Beton Dinding Bak Kontrol

Beton Dinding Bak Kontrol					Bekisting Dinding (m²)
Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Tebal Dinding (m)	Volume (m³)	
1,20	1,20	2,15	0,15	1,548	14,4

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.6** s/d **Tabel 6.7**, hasil volume total beton K-225 pada bak kontrol adalah sebagai berikut:

- Beton Lantai Bangunan = 0,337 m³
- Beton Dinding Bangunan = 1,548 m³
- Beton Tutup Bangunan = 0,337 m³
- Total Beton K-225 = 0,337 m³ + 1,548 m³ + 0,337 m³
= 2,222 m³
- Bekisting Lantai = 2,25 m²
- Bekisting Dinding = 14,4 m²
- Bekisting Tutup = 2,25 m²

Pekerjaan Pembesian dengan Besin Beton (Polos)

Untuk pekerjaan pembesian berdasarkan perhitungan volume pekerjaan beton dan lantai bangunan, berdasarkan hasil perhitungan total volume beton K-225 adalah 2,222 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m³ (Batubara, 2017). Sehingga didapatkan berat besi adalah 333,3 kg.

6.3 Spesifikasi Teknis IPAL Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung

Desain bangunan IPAL Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung disesuaikan dengan kebutuhan pengolahan air limbah domestik dengan kapasitas 63,56 m³/hari. Seluruh konstruksi dibuat untuk memastikan ketahanan terhadap kebocoran dan kemudahan pemeliharaan. Komponen utama IPAL meliputi 6 *chamber*: bak kontrol, bak ekualisasi, bak netralisasi, bak *biofilter*

anaerob, bak *biofilter aerob*, bak pengendap, bak desinfeksi, dan fasilitas pendukung seperti pipa, *blower*, *manhole*.

6.3.1 Pekerjaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik

Konstruksi dari 1 unit IPAL dengan 6 *chamber* Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah berupa material beton bertulang dengan mutu beton K-225 Kelas II, dengan ketebalan dinding 0,15 m, tebal lantai dasar 0,15 m, dan tebal tutup (*top slab*) di atas tanah 0,15 m. Untuk beton K-225 kelas II umumnya digunakan dalam pekerjaan struktural, seperti pengecoran lantai, kolom, pondasi, dan sejenisnya.

Berikut adalah spesifikasi teknis untuk setiap *chamber* IPAL yang akan direncanakan:

1. Bak Ekualisasi

Dimensi Bak = 1,05 m × 2,25 m × 2,55 m

Tebal Dinding = 0,15 m

Top Slab = 0,15 m

2. Bak Netralisasi

Bak Netralisasi dilengkapi dengan tangki kimia dan *dosing pump*.

Dimensi Bak = 0,90 m × 2,2 m × 1,30 m

Tebal Dinding = 0,15 m

Top Slab = 0,15 m

Tabel 6.8 Spesifikasi *Dosing Tank*

Spesifikasi	Keterangan
Model	: <i>Dosing Tank with Agitator</i> IB-DTE00150-22
Kapasitas	: 150 liter
Diameter	: 550 mm
Daya listrik motor	: 0,25 Kw
Propeller (baling-baling)	: 88
Material	: Polyethylene (PE), UV stabilized

Spesifikasi	Keterangan
Desain tangki	: Bulat, silinder tegak dengan tutup ulir dan seal
	: Kecepatan 1500 rpm, motor tiga fasa 230/400 V, IP 55, kelas F
Poros dan propeller	: <i>Stainless steel</i>
Outlet ulir	: 3/4" (26 mm)

Tabel 6.9 Spesifikasi *Dosing Pump*

Spesifikasi	Keterangan
Model	: Tacmina PZ-60
Volume debit maksimum	: 60 mL/menit atau 3,6 liter/jam
Tekanan pelepasan maksimum	: 0,8 Mpa atau 8,0 bar
Tipe pompa	: Pompa dosing elektromagnetik
Sumber tenaga	: Catu daya rentan
Presisi dosis	: Tinggi dan stabil

3. *Biofilter Anaerob*

Media yang digunakan dalam tangki, yaitu media sarang tawon (*honeycomb*) berbahan plastik (PVC/Polivinil Klorida).

Dimensi Bak = 3,13 m × 2,25 m × 2,55 m

Tebal Dinding = 0,15 m

Top Slab = 0,15 m

4. *Biofilter Aerob*

Media yang digunakan dalam tangki, yaitu media sarang tawon (*honeycomb*) berbahan plastik (PVC/Polivinil Klorida). *Biofilter aerob* dilengkapi dengan *blower* udara model AP-30 dengan kapasitas 30 liter/menit, dengan jumlah diffuser udara (tipe: *fine bubble tube diffuser*) sebanyak 1 buah.

Dimensi Bak = 3,13 m × 2,25 m × 2,55 m

Tebal Dinding = 0,15 m

Top Slab = 0,15 m

Tabel 6.10 Spesifikasi Teknis *Blower* Udara dan Diffuser Udara

Spesifikasi	Keterangan
<i>Blower</i> Udara	
Kapasitas	: 30 liter/menit
Jumlah	: 1 unit
Model	: AP-30
Outlet Diameter	: 18 mm
Daya	: 25 watt
Dimensi	: 215 × 172 × 199 m
<i>Diffuser</i> Udara	
Tipe	: <i>fine bubble tube diffuser</i>
Jumlah	: 1 buah
Diameter	: 8 inch
<i>Flowrate</i>	: 30 liter/menit

5. Bak Pengendap

Dimensi Bak = 1,05 m × 2,25 m × 2,55 m

Tebal Dinding = 0,15 m

Top Slab = 0,15 m

6. Unit Desinfeksi

Unit desinfeksi (klorinasi) dilengkapi dengan tangki kimia dan *dosing pump*.

Dimensi Bak = 1,00 m × 2,25 m × 0,8885 m

Tebal Dinding = 0,15 m

Top Slab = 0,15 m

Tabel 6.11 Spesifikasi Teknis *Dosing Tank*

Spesifikasi	Keterangan
Model	: <i>Dosing Tank</i> 60 liter series 98150038
Volume larutan	: 60 liter

Spesifikasi	Keterangan
Bahan	: LLDPE (<i>Polyethylene UV-stabilized</i>)
Berat kosong	: 5,5 kg
Diameter	: 500 mm
Tinggi	: 545 mm

Tabel 6.12 Spesifikasi Teknis *Dosing Pump*

Spesifikasi	Keterangan
Model	: <i>Dosing Pump</i> TN0110-M PV
Berat bersih	: 3 kg
Bahan	: Polyvinyl Chloride (PVC)
Ukuran	: 5 × 8 mm
Kapasitas	: 0 – 1 liter/jam
Tekanan	: 10 bar
Angkat hisap (<i>suction lift</i>)	: 1,5 mtr
Diaphragm diameter	: 34 mm
<i>Stroker speed</i>	: 32 mm
Daya pompa	: 24W 220V 50 Hz 0,65A

6.3.2 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah meliputi pekerjaan yang berhubungan dengan pengupasan, penimbunan atau pembuangan tanah, batu atau material lain dari atau ke tempat proyek serta pembongkaran dan yang berhubungan dengan pekerjaan yang sesuai dengan spesifikasi, gambar pelaksanaan serta petunjuk direksi (Fadillah, 2025).

Berikut adalah *Bill of Quantity* (BOQ) penggalian tanah untuk konstruksi IPAL Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung (Batubara, 2017):

$$\text{Rumus} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{kedalaman bangunan yang digali} + \text{tebal lantai bak} + \text{tebal pasir} + \text{tebal lantai kerja})$$

Keterangan:

Tebal dinding = 0,15 m

Tebal lantai bak = 0,15 m

Tebal lantai kerja = 0,05 m

Tebal pasir = 0,05 m

Tabel 6.13 Penggalan Tanah Konstruksi IPAL Domestik

Unit IPAL RSJC	Volume Bak (m)	Galian Panjang × Lebar (m)	Kedalaman Galian (m)	Volume Galian (m ³)
Bak Ekualisasi	$1,05 \times 2,25 \times 2,55$	$1,35 \times 2,55$	2,80	9,639
Bak Netralisasi	$0,90 \times 2,20 \times 1,30$	$1,2 \times 2,5$	1,55	4,65
Biofilter Anaerob	$3,13 \times 2,25 \times 2,55$	$3,43 \times 2,55$	2,80	24,490
Biofilter Aerob	$3,13 \times 2,25 \times 2,55$	$3,43 \times 2,55$	2,80	24,490
Bak Pengendap	$1,05 \times 2,25 \times 2,55$	$1,35 \times 2,55$	2,80	9,639
Unit Desinfeksi	$1,00 \times 2,25 \times 0,8885$	$1,30 \times 2,55$	1,1385	3,774
Total		30,69		76,68

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.13**, volume galian untuk unit IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah sebesar 76,68 m³ dengan luas tanah terpakai sebesar 30,69 m². Dengan luas lahan perencanaan 67 m², sistem IPAL tersebut muat pada lahan yang tersedia.

6.3.3 Pekerjaan Pengurugan

Pekerjaan pengurugan dilakukan sesuai dengan gambar rencana, spesifikasi, dan disebutkan dalam pekerjaan tanah. Urugan harus bebas dari akar-akar, sampah serta batuan yang lebih besar dari 10 cm. Urugan pasir dilaksanakan di bahwa semua lantai atau plat dasar dengan tebal urugan sesuai dengan gambar. Selain itu, urugan pasir digunakan pada bekas galian pondasi dalam bangun dengan

ketebalan yang sesuai dengan gambar rencana, di bawah pondasi, pipa serta sesuai dengan gambar (Fadillah, 2025).

Berikut adalah *Bill of Quantity* (BOQ) pengurugan pasir dengan pemadatan konstruksi IPAL Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung (Batubara, 2017):

$$\text{Rumus} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal pasir}$$

Keterangan:

Tebal dinding = 0,15 m

Tebal pasir = 0,05 m

Tabel 6.14 Pengurugan Konstruksi IPAL Domestik

Unit IPAL RSJC	Volume Bak (m)	Panjang × Lebar (m)	Tebal Pasir	Volume Pengurugan (m ³)
Bak Ekualisasi	$1,05 \times 2,25 \times 2,55$	$1,35 \times 2,55$	0,05	0,172
Bak Netralisasi	$0,90 \times 2,2 \times 1,30$	$1,2 \times 2,5$	0,05	0,15
<i>Biofilter</i> <i>Anaerob</i>	$3,13 \times 2,25 \times 2,55$	$3,43 \times 2,55$	0,05	0,437
<i>Biofilter</i> <i>Aerob</i>	$3,13 \times 2,25 \times 2,55$	$3,43 \times 2,55$	0,05	0,437
Bak Pengendap	$1,05 \times 2,25 \times 2,55$	$1,35 \times 2,55$	0,05	0,172
Unit Desinfeksi	$1,00 \times 2,25 \times 0,8885$	$1,30 \times 2,55$	0,05	0,65
Total				1,53

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.14**, volume total urugan dengan pemadatan untuk unit IPAL Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah sebesar 1,53 m³. Volume ini dialokasikan untuk pengurugan pasir di dasar dan di sekitar struktur sesuai spesifikasi pelaksanaan.

6.3.4 Pekerjaan Beton-K225

Beton yang digunakan harus berdasarkan peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI NI-2, 1971). Beton memiliki beberapa jenis, yaitu B1 (beton yang memerlukan kedapan air, pelat atap, reservoir, dan balok yang bersangkutan dengan atap dan reservoir), B2 (semua beton bertulang kolom, *sloof*, balok, dan pondasi di luar ketentuan pada B1), B3 (beton yang digunakan untuk jalan setapak sekitar bangunan), B4 (semua beton bertulang kecuali yang ditentukan memakai jenis B2). Untuk mendapatkan mutu beton yang baik perbandingan kerikil dan pecahan batu yang digunakan harus diubah-ubah. Pengadukan beton dilakukan pada mesin pengaduk hingga susunan warna dan kekentalannya harus sama (Fadillah, 2025).

Berikut adalah *Bill of Quantity* (BOQ) pekerjaan beton K-225 konstruksi IPAL Domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung (Batubara, 2017):

$$\text{Beton Lantai Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{tebal lantai bak})$$

Keterangan:

Tebal dinding = 0,15 m

Tebal lantai bak = 0,15 m

Tabel 6.15 Beton Lantai Bangunan Konstruksi IPAL Domestik

Unit IPAL RSJC	Volume Bak (m)	Vol. Bak + Tebal Dinding (m ²)	Tebal Lantai Bak	Volume (m ³)
Bak Ekualisasi	1,05 × 2,25 × 2,55	1,35 × 2,55	0,15	0,516
Bak Netralisasi	0,90 × 2,2 × 1,30	1,2 × 2,5		0,45
<i>Biofilter</i> <i>Anaerob</i>	3,13 × 2,25 × 2,55	3,43 × 2,55		1,311
<i>Biofilter</i> <i>Aerob</i>	3,13 × 2,25 × 2,55	3,43 × 2,55		1,311
Bak Pengendap	1,05 × 2,25 × 2,55	1,35 × 2,55		0,516

Unit IPAL RSJC	Volume Bak (m)	Vol. Bak + Tebal Dinding (m ²)	Tebal Lantai Bak	Volume (m ³)
Unit Desinfeksi	1,00 × 2,25 × 0,8885	1,30 × 2,55		0,497
Total		30,69		4,6

Sumber: Hasil Perhitungan

Beton Dinding Bangunan = $(2 \times (\text{panjang} + \text{lebar})) \times \text{kedalaman bak} \times \text{tebal dinding}$

Bekisting Dinding = $(2 \times (\text{Panjang} + \text{Lebar})) \times \text{Tinggi}$

Keterangan:

Tebal dinding = 0,15 m

Tabel 6.16 Beton Dinding Bangunan Konstruksi IPAL Domestik

Unit IPAL RSJC	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Tebal Lantai Bak (m)	Volume (m³)	Bekisting Dinding (m²)
Bak Ekualisasi	1,05	2,25	2,55	0,15	2,524	21,84
Bak Netralisasi	0,90	2.2	1,30		1,209	11,47
Biofilter Anaerob	3,13	2,25	2,55		4,115	33,488
Biofilter Aerob	3,13	2,25	2,55		4,115	33,488
Bak Pengendap	1,05	2,25	2,55		2,524	21,84
Unit Desinfeksi	1,00	2,25	0,8885		0,866	8,76645
Total					15,35	130,89

Sumber: Hasil Perhitungan

Beton Tutup Bangunan = $(\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal tutup}$

Keterangan:

Tebal tutup = 0,15 m

Tabel 6.17 Beton Tebal Tutup Bangunan Konstruksi IPAL Domestik

Unit IPAL RSJC	Volume Bak (m)	Vol. Bak + Tebal Dinding (m ²)	Tebal Tutup Bak	Volume (m ³)
Bak Ekualisasi	$1,05 \times 2,25 \times 2,55$	$1,35 \times 2,55$	0,15	0,516
Bak Netralisasi	$0,90 \times 2,2 \times 1,30$	$1,2 \times 2,5$		0,45
Biofilter Anaerob	$3,13 \times 2,25 \times 2,55$	$3,43 \times 2,55$		1,311
Biofilter Aerob	$3,13 \times 2,25 \times 2,55$	$3,43 \times 2,55$		1,311
Bak Pengendap	$1,05 \times 2,25 \times 2,55$	$1,35 \times 2,55$		0,516
Unit Desinfeksi	$1,00 \times 2,25 \times 0,8885$	$1,30 \times 2,55$		0,497
Total		30,69		4,6

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.15** s/d **Tabel 6.17**, berikut rekapitulasi perhitungan pada unit IPAL adalah sebagai berikut:

- Beton Lantai Bangunan = $4,6 \text{ m}^3$
- Beton Dinding Bangunan = $15,35 \text{ m}^3$
- Beton Tutup Bangunan = $4,6 \text{ m}^3$
- Total Beton K-225 = $4,46 \text{ m}^3 + 15,35 \text{ m}^3 + 4,46 \text{ m}^3$
= $24,56 \text{ m}^3$
- Bekisting Lantai = $30,69 \text{ m}^2$
- Bekisting Dinding = $130,89 \text{ m}^2$
- Bekisting Tutup = $30,69 \text{ m}^2$

Pekerjaan Pembesian dengan Besin Beton (Polos)

Untuk pekerjaan pembesian berdasarkan perhitungan volume pekerjaan beton dan lantai bangunan, berdasarkan hasil perhitungan total volume beton K-225 adalah $24,56 \text{ m}^3$. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m^3 (Batubara, 2017). Sehingga didapatkan berat besi adalah 3.684 kg .

6.4 Spesifikasi Teknis *Recycle Greywater*

Dalam perencanaan konservasi air, air daur ulang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan *flushing* toilet di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung. Berdasarkan katalog produk Airkom Group, unit yang dipilih adalah *Sand Filter* (SF) seri WipMSF2. Adapun spesifikasi teknologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 6.18 Spesifikasi *Sand Filter* (SF)

Spesifikasi	Keterangan
Seri	: WipMSF2
Dimensi	: 363 mm
Tinggi Tabung	: 1674 mm
Kapasitas	: 1,2 – 3,0 m ³ /jam
<i>Backwash Flow</i>	: 3,7 m ³ /jam
Volume Media	: 0,091 m ³
Material	: FRP (<i>Fiberglass Reinforced Plastic</i>)

Untuk mendukung sistem distribusi air daur ulang, diperlukan tangki penyimpanan, seperti *Ground Tank* (GT). GT ditempatkan di *basement* 2 dengan kapasitas yang dibutuhkan adalah 14,83 m³. Untuk keperluan desain dan kemudahan konstruksi, kapasitas tersebut kemudian dibulatkan menjadi 15 m³. *Ground Tank* direncanakan menggunakan tangki panel dengan material *fiberglass*, dengan 1 panel = 1 m³ (1 m × 1 m × 1 m). Sehingga, total panel GT adalah 16 m³ (4 m × 2 m × 2 m).

Kemudian dari *Ground Tank* (GT) disalurkan ke *roof tank* air daur ulang sebelum didistribusikan ke seluruh *flushing* toilet yang ada di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung. Berikut adalah spesifikasi teknis untuk *roof tank* air daur ulang:

Tabel 6.19 Spesifikasi *Roof Tank* Air Daur Ulang

Spesifikasi	Keterangan
Model	: Profil Tank
Diameter Tangki	: 1.050 mm

Spesifikasi	Keterangan
Diameter Tutup	: 420 mm
Tinggi	: 2.030 m
Material	<i>Stainless Steel</i>
Ketebalan	: 0,5 mm
Kapasitas	: 1.600 liter
Inlet/Outlet	: 1 inch
Lubang Kuras	: 1 inch

6.5 Spesifikasi Teknis Air Bersih dan Air Khusus

Sistem penyediaan air di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung terdiri dari air bersih dan air khusus. Air bersih diperoleh dari sumber air PDAM Tirtawening Kota Bandung yang kemudian disimpan pada *Ground Water Tank* (GWT) yang terletak di *basement* 1. Selanjutnya, air dialirkan ke *Roof Tank* (RT) untuk didistribusikan ke seluruh bangunan rumah sakit.

Volume *Ground Water Tank* (GWT) RSJC adalah 29 m³. Untuk keperluan desain dan kemudahan konstruksi, kapasitas tersebut kemudian dibulatkan menjadi 30 m³. *Ground Water Tank* (GWT) direncanakan menggunakan tangki panel dengan material *fiberglass*, dengan 1 panel = 1 m³ (1 m × 1 m × 1 m). Sehingga, total panel GT adalah 30 m³ (3 m × 5 m × 2 m).

Kemudian dari *Ground Water Tank* (GWT) disalurkan ke *roof tank* air bersih sebelum didistribusikan ke seluruh Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung. Untuk spesifikasi teknis untuk *roof tank* air bersih adalah sebagai berikut:

Tabel 6.20 Spesifikasi *Roof Tank* Air Bersih

Spesifikasi	Keterangan
Model	: Profil Tank
Diameter Tangki	: 1.430 mm
Diameter Tutup	: 420 mm
Tinggi	: 1.780 m
Luas Area	: 1.560 × 1.560 mm

Spesifikasi	Keterangan
Material	: <i>Stainless Steel</i>
Ketebalan	: 0,5 mm
Kapasitas	: 2.550 liter
Inlet	: 1 inch
Outlet	: 1,5 inch
Lubang Kuras	: 1 inch

Sementara itu, air khusus digunakan untuk keperluan medis, seperti ruang operasi dan sterilisasi, yang memerlukan kualitas air dengan tingkat kemurnian tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan ini, digunakan sistem *Reverse Osmosis* (RO) yang berfungsi menyaring dan memurnikan air sehingga sesuai dengan standar kualitas yang dipersyaratkan untuk peralatan medis.

Sistem RO yang dipilih merujuk pada produk komersial yang tersedia di pasaran dengan kapasitas ± 1.000 GPD. Berikut adalah spesifikasi sistem *Reverse Osmosis* (RO):

Tabel 6.21 Spesifikasi Sistem *Reverse Osmosis* (RO)

Spesifikasi	Keterangan
Model	: WM42521A-216
Kapasitas Sistem	: 1.000 GPD (3,8 m ³ /hari)
Tegangan Sistem	: 220 V, 1 ph, 60 Hz
Koneksi Listrik	: Kabel terbuka (<i>stripped leads</i>)
Elemen Membran	: (4) unit RO ukuran 2,5" $\times$ 21"
Inlet RO	: 1/2"
Outlet Permeate	: 3/8" (air hasil RO)
Outlet Konsentrat	: 1/4" (air buangan/ <i>reject</i>)
Tekanan Minimum Air Baku	: 40 psi (2,75 bar)
Pengendali Sistem	: Operasi Otomatis
Dimensi Sistem	: 86 cm $\times$ 28 cm $\times$ 69 cm

6.6 Spesifikasi Teknis *Rainwater Harvesting*

Sistem *Rainwater Harvesting* di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung dimanfaatkan untuk kebutuhan siram taman. Perencanaan *ground reservoir* untuk Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung menggunakan bahan utama beton bertulang, dimana kapasitas *ground reservoir* sebesar 198 m^3 ($16,5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$).

Berikut adalah perhitungan untuk pekerjaan tanah dan perungugan dengan pemadatan bak kontrol:

$$\text{Rumus Pekerjaan Tanah} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{kedalaman bangunan yang digali} + \text{tebal lantai bak} + \text{tebal pasir} + \text{tebal lantai kerja})$$

$$\text{Rumus Perungugan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal pasir}$$

Keterangan:

Tebal dinding	= 0,15 m
Tebal lantai bak	= 0,15 m
Tebal lantai kerja	= 0,05 m
Tebal pasir	= 0,05 m

Tabel 6.22 Penggalan Tanah dan Perungugan *Ground Reservoir* RSJC

Pekerjaan Tanah			
Volume Bak (m^3)	Galian P $\times$ L (m)	Kedalaman Galian (m)	Volume Galian (m^3)
$16,5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$	$16,8 \times 6,3$	2,25	238,14
Perungugan dengan Pemadatan			
Volume Bak (m^3)	Galian P $\times$ L (m)	Tebal Pasir	Volume Perungugan (m^3)
$16,5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$	$16,8 \times 6,3$	0,05	5,292

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.22**, volume galian untuk *ground* reservoir adalah sebesar 243,432 m³. Sementara itu, untuk perunguan dengan pemadatan didapatkan volume sebesar 5,292 m³.

Adapun perhitungan untuk beton dinding bangunan *ground* reservoir, dimana menggunakan beton bertulang dengan mutu beton K-225 yang dapat dilihat pada tabel berikut:

$$\text{Beton Lantai Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{tebal lantai bak})$$

Keterangan:

$$\text{Tebal lantai} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Beton Tutup Bangunan} = (\text{panjang} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times (\text{lebar} + (2 \times \text{tebal dinding})) \times \text{tebal tutup}$$

Keterangan:

$$\text{Tebal tutup} = 0,15 \text{ m}$$

Tabel 6.23 Beton Lantai dan Tutup *Ground* Reservoir

Beton Lantai			
Volume Bak (m³)	Galian P × L (m)	Tebal Lantai	Volume Beton (m³)
16,5 m × 6 m × 2 m	16,8 × 6,3	0,15	15,87
Beton Tutup			
Volume Bak (m³)	Galian P × L (m)	Tebal Tutup	Volume Beton (m³)
16,5 m × 6 m × 2 m	16,8 × 6,3	0,15	15,87

Sumber: Hasil Perhitungan

$$\text{Beton Dinding Bangunan} = (2 \times (\text{panjang} + \text{lebar})) \times \text{kedalaman bak} \times \text{tebal dinding}$$

$$\text{Bekisting Dinding} = (2 \times (\text{Panjang} + \text{Lebar})) \times \text{Tinggi}$$

Keterangan:

$$\text{Tebal dinding} = 0,15 \text{ m}$$

Tabel 6.24 Beton Dinding *Ground* Reservoir

Beton Dinding Bak					Bekisting Dinding (m ²)
Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Tebal Dinding (m)	Volume (m ³)	
16,5	6	2	0,15	13,5	103,95

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 6.22** s/d **Tabel 6.24**, hasil volume total beton K-225 pada bak kontrol adalah sebagai berikut:

- Beton Lantai Bangunan = 15,87 m³
- Beton Dinding Bangunan = 15,93 m³
- Beton Tutup Bangunan = 15,87 m³
- Total Beton K-225 = 15,87 m³ + 15,93 m³ + 15,87 m³
= 47,67 m³
- Bekisting Lantai = 105,84 m²
- Bekisting Dinding = 46,2 m²
- Bekisting Tutup = 105,84 m²

Pekerjaan Pembesian dengan Besin Beton (Polos)

Untuk pekerjaan pembesian berdasarkan perhitungan volume pekerjaan beton dan lantai bangunan, berdasarkan hasil perhitungan total volume beton K-225 adalah 45,24 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m³ (Batubara, 2017). Sehingga didapatkan berat besi adalah 6.786 kg.

Untuk pemilihan *trench drain*, *catch basin*, dan jalur perpipaan menyesuaikan dengan katalog yang ada di pasar. Berikut adalah spesifikasi teknis untuk *trench drain*:

Tabel 6.25 Spesifikasi Teknis Trench Drain

Spesifikasi	Keterangan
Model	: T1401-PB-4 (<i>presloped channel, 4" internal width</i>)
Pabrikan	: MIFAB (TD-2025 Series)

Spesifikasi	Keterangan
Bahan	: <i>Glass Reinforced Polyester</i> (GRP)
Lebar internal	: 4" (100 mm)
Lebar total	: 140 – 150 mm
Panjang	: 500 atau 1.000 mm
Kemiringan	: 0,5%
Kedalaman	: Min. 80 – 90 mm, Max 200 – 250 mm

Tabel 6.26 Spesifikasi Teknis *Catch Basin*

Spesifikasi	Keterangan
Model	: T1400-CB620
Pabrikan	: MIFAB (TD-2025 Series)
Bahan	: <i>Glass Reinforced Polyester</i> (GRP)
Outlet	: 3" atau 4"
Komponen	: <i>Sediment Bucket</i>

Adapun untuk perhitungan *trench drain* dengan menghitung luas dari atap tersebut. Kemudian, dipilih spesifikasi yang ada di katalog. Berikut adalah perhitungan untuk kebutuhan *trench drain*:

1. Total panjang *trench drain* = $2 \times (40,5 \text{ m} + 24 \text{ m}) = 129 \text{ m}$
2. Jumlah unit *trench drain* = $129 \div 1 \text{ m} = 129 \text{ unit}$ (maka, tutup/*grating* = 129 buah)
3. Volume beton slot yang dibongkar (pembuangan = $129 \text{ m} \times 0,145 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} = 3,741 \text{ m}^3$)
4. Luas tutup/*grating trench drain* = $129 \text{ m} \times 0,145 \text{ m} = 18,705 \text{ m}^2$

6.7 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik menjadi air daur ulang dan pemanfaatan air hujan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung berdasarkan desain yang telah dibuat, baik luas lahan, unit teknologi, dan fasilitas pendukung.

Untuk perhitungan RAB akan mengacu Keputusan Wali Kota Bandung Nomor: 027/Kep.734-BKAD/2024 tentang Standar Harga Satuan dan Standar Biaya Umum Tahun Anggaran 2025. Setelah mengetahui harga satuan tiap pekerjaan, selanjutnya disesuaikan dengan perencanaan yang dirancang. Berikut adalah Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dapat dilihat pada **Tabel 6.28** s/d **Tabel 6.33**.

Tabel 6.27 Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan IPAL Domestik RSJC

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
I	Pekerjaan Persiapan					
	1	Pembersihan Site dan Pengukuran	m ²	66,7533	18.788,33	1.254.183,029
	2	Tenaga Keamanan Proyek	ls	1	6.500.000	6.500.000
	3	Pembuatan Papan Nama Proyek	ls	1	300.000	300.000
	4	Dokumentasi	ls	1	2.500.000	2.500.000
	Total I					10.554.183.03
II.1	Bak Ekualisasi					
	1	Galian Tanah	m ³	9,639	132.130	1.273.601,07
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	9,639	98.581	950.222,259
	3	Urugan Pasir	m ³	0.172	181.500	31.218
		Pasir Urug	m ³	9,639	239.200	2.305.648,8
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	3,4425	55.000	189.337,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,042	5.377.612	225.859,704

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	2	Bekisting Dinding	m ²	21,84	60.000	1.310.400
		Papan 3/20 cm	m ³	0,672	9.345.919	6.280.457,568
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,196	5.377.612	1.054.011,952
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
		Bekisting Tutup	m ²	3,4425	55.000	189.337,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,042	5.377.612	225.859,704
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	3	Bekisting Tutup	m ²	3,4425	55.000	189.337,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,042	5.377.612	225.859,704
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	3,556	1.380.000	4.907.280
		Semen/PC (50 kg)	zak	23	85.000	1.955.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	2,1138	337.000	712.350,6
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	3,06061	259.550	794.381,3255
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	5	Pembesian dengan Besi Beton	Kg	533,4	17.679	9.429.978,6
		Kawat Beton	Kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 4"	batang	1	487.500	487.500
	2	Pipa PVC 3"	batang	1	214.500	214.500
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
	Total II.1					38.699.016,08
II.2	Bak Netralisasi					
	1	Galian Tanah	m ³	4,65	132.130	614.404,5
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	4,65	98.581	458.401,65
	3	Urugan Pasir	m ³	0,15	181.500	27.225
		Pasir Urug	m ³	4,65	239.200	1.112.280
	Pekerjaan Konstruksi					

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	1	Bekisting Lantai	m ²	3	55.000	165.000
		Papan 3/20 cm	m ³	0,096	9.345.919	897.208,224
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,136
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	2	Bekisting Dinding	m ²	11,47	60.000	688.200
		Papan 3/20 cm	m ³	0,36	9.345.919	3.364.530,84
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,112	5.377.612	602.292,544
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	3	Bekisting Tutup	m ²	3	55.000	165.000
		Papan 3/20 cm	m ³	0,096	9.345.919	897.208,224
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,136
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	2,109	1.380.000	2.910.420
		Semen/PC (50 kg)	zak	14	85.000	1.190.000

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Pasir Cor/Beton	m ³	1,253	337.000	422.261
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	1,815	259.550	471.083,25
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	kg	316,35	17.679	5.592.751,65
		Kawat Beton	kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	2	214.500	429.000
	2	<i>Dosing Tank</i> 150 liter IB-DTE00150-22	buah	1	6.700.000	6.700.000
	3	<i>Dosing Pump</i> Tacmina PZ-60	buah	1	4.800.000	4.800.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
	Total II.2					35.727.464,1
II.3	Bak <i>Biofilter Anaerob</i>					
	1	Galian Tanah	m ³	24.49	132.130	3235863.7

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	24.49	98.581	2414248.69
	3	Urugan Pasir	m ³	0.437	181.500	79315.5
		Pasir Urug	m ³	24.49	239.200	5858008
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	8,7465	55.000	481.057,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,264	9.345.919	2.467.322,616
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,84	5.377.612	4.517.194,08
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	2	Bekisting Dinding	m ²	33,488	60.000	2.009.280
		Papan 3/20 cm	m ³	1,008	9.345.919	9.420.686,352
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,294	5.377.612	1.419.689,568
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	3	Bekisting Tutup	m ²	8,7465	55.000	481.057,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,264	9.345.919	2.467.322,616

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,84	5.377.612	4.517.194,08
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	6,737	1.380.000	92.97.060
		Semen/PC (50 kg)	zak	43	85.000	3.655.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	4,004	337.000	1.349.348
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	5,798	259.550	1.504.870,9
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	kg	1.010,55	17.679	17.865.513,45
		Kawat Beton	kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	2	214.500	429.000
	2	Media Sarang Tawon	unit	1	2.499.000	2.499.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	Total II.3					79.887.083,49
II.4	Bak <i>Biofilter Aerob</i>					
	1	Galian Tanah	m ³	24.49	132.130	3235863.7
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	24.49	98.581	2414248.69
	3	Urugan Pasir	m ³	0.437	181.500	79315.5
		Pasir Urug	m ³	24.49	239.200	5858008
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	8,7465	55.000	481.057,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,264	9.345.919	2.467.322,616
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,84	5.377.612	4.517.194,08
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	2	Bekisting Dinding	m ²	33,488	60.000	2.009.280
		Papan 3/20 cm	m ³	1,008	9.345.919	9.420.686,352
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,294	5.377.612	1.419.689,568
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	4	20.800	83.200

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	3	Bekisting Tutup	m ²	8,7465	55.000	481.057,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,264	9.345.919	2.467.322,616
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,84	5.377.612	4.517.194,08
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	6,737	1.380.000	92.97.060
		Semen/PC (50 kg)	zak	43	85.000	3.655.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	4,004	337.000	1.349.348
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	5,798	259.550	1.504.870,9
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	kg	1.010,55	17.679	17.865.513,45
		Kawat Beton	kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	2	214.500	429.000
	2	Media Sarang Tawon	unit	1	2.499.000	2.499.000

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	3	Blower Udara	unit	1	1.790.000	1.790.000
	4	Fine Bubble Tube Settler	buah	1	125.000	125.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
	Total III.4					81.963.411,85
II.5	Bak Pengendap					
	1	Galian Tanah	m ³	9,639	132.130	1.273.601,07
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	9,639	98.581	950.222,259
	3	Urugan Pasir	m ³	0,172	181.500	31.218
		Pasir Urug	m ³	9,639	239.200	2.305.648,8
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	3,4425	55.000	189.337,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,042	5.377.612	225.859,704
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	2	Bekisting Dinding	m ²	21,84	60.000	1.310.400
		Papan 3/20 cm	m ³	0,672	9.345.919	6.280.457,568
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,196	5.377.612	1.054.011,952
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	3	Bekisting Tutup	m ²	3,4425	55.000	189.337,5
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,042	5.377.612	225.859,704
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	3,556	1.380.000	4.907.280
		Semen/PC (50 kg)	zak	23	85.000	1.955.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	2,113	337.000	712.081
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	3,061	259.550	794.482,55
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	kg	533.4	17.679	5.592.751,65

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Kawat Beton	kg	2	22.990	45.980
	6	Rectangular Manhole Cover 001	set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	2	214.500	429.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
	Total II.5					38.381.958,71
II.6	Desinfeksi (Klorinasi)					
	1	Galian Tanah	m ³	3,774	132.130	498.658,62
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	3,774	98.581	372.044,694
	3	Urugan Pasir	m ³	0,65	181.500	117.975
		Pasir Urug	m ³	3,774	239.200	902.740,8
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	3,315	55.000	182.325
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,136
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	2	Bekisting Dinding	m ²	8,76645	60.000	525.987
		Papan 3/20 cm	m ³	0,264	9.345.919	2.467.322,616
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,07	5.377.612	376.432,84
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	3	Bekisting Tutup	m ²	3,315	55.000	182.325
		Papan 3/20 cm	m ³	0,12	9.345.919	1.121.510,28
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,136
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	1,86	1.380.000	2.566.800
		Semen/PC (50 kg)	zak	12	85.000	1.020.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	1,105	337.000	372.385
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	1,601	259.550	415.539,55

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	5	Pembesian dengan Besi Beton	kg	279	17.679	4.932.441
		Kawat Beton	kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	1	214.500	214.500
	2	Pipa PVC 4"	batang	1	487.500	487.500
	3	<i>Dosing Tank</i> 60 liter 98130038	buah	1	4.231.000	4.231.000
	4	<i>Dosing Pump</i> TN0110-M PV	buah	1	2.400.000	2.400.000
	5	Kaporit Powder 17 gr	kaleng	1	900.000	900.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
	Total II.6					29.585.305,89
III	1	Rumah Pompa (termasuk pengadaan, instalasi, dan kelengkapan)	unit	1	7.000.000	7.000.000
TOTAL PEKERJAAN IPAL DOMESTIK RSJC						315.498.423,2

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6.28 Rencana Anggaran Biaya Fasilitas Pendukung IPAL Domestik RSJC

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
I	1	<i>Grease Guardian X Series GGX25</i>	set	1	2.000.000	2.000.000
	2	<i>Kitchen Sink (double bowl)</i>	unit	1	3.650.000	3.650.000
	Total I					5.650.000
II	1	Kolam Bioindikator (<i>fiber tank</i>)	Liter	2000	4.950.000	4.950.000
III	Septic Tank					
	Kompartemen 1					
	1	Galian Tanah	m ³	18,278	132.130	2.415.072,14
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	18,278	98.581	1.801.863,518
	3	Urugan Pasir	m ³	0,494	181.500	89.661
		Pasir Urug	m ³	18,278	239.200	4.372.097,6
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	9,88	55.000	543.400
		Papan 3/20 cm	m ³	0,312	9.345.919	2.915.926,728
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,098	5.377.612	527.005,976
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	1	20.800	20.800

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	2	Bekisting Dinding	m ²	23,68	60.000	1.420.800
		Papan 3/20 cm	m ³	0,72	9.345.919	6.729.061,68
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,21	5.377.612	1.129.298,52
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	3	Bekisting Tutup	m ²	9,88	55.000	543.400
		Papan 3/20 cm	m ³	0,312	9.345.919	2.915.926,728
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,098	5.377.612	527.005,976
		Paku 5 cm dan 7 cm	kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	Liter	1	2.289	2.289
	4	Beton Bertulang K-150	m ³	5,748	1.380.000	7.932.240
		Semen/PC (50 kg)	Zak	29	85.000	2.465.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	3,530	337.000	1.189.610
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	5,113	259.550	1.327.079,15
		Semen Spatula	Buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	Kg	862.2	17.679	15.242.833,8

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Kawat Beton	Kg	2	22.990	45.980
6		Rectangular Manhole Cover 001	Set	1	2.145.000	2.145.000
Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal						
1		Pipa PVC 4"	batang	1	487.500	487.500
Tenaga Kerja						
1		Mandor	OH	1	185.000	185.000
2		Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
Total III.1						59.0151.060,82
Kompartemen 2						
1		Galian Tanah	m ³	10,334	132.130	1.365.431,42
2		Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	10,334	98.581	1.018.736,054
3		Urugan Pasir	m ³	0,279	181.500	50.638,5
		Pasir Urug	m ³	10,334	239.200	2.471.892,8
Pekerjaan Konstruksi						
1		Bekisting Lantai	m ²	5,586	55.000	307.230
		Papan 3/20 cm	m ³	0,168	9.345.919	1.570.114,392

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,056	5.377.612	301.146,272
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	2	Bekisting Dinding	m ²	19,499	60.000	1.169.940
		Papan 3/20 cm	m ³	0,6	9.345.919	5.607.551,4
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,182	5.377.612	978.725,384
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	2	20.800	41.600
		Minyak Bekisting	liter	2	2.289	4.578
	3	Bekisting Tutup	m ²	5,586	55.000	307.230
		Papan 3/20 cm	m ³	0,168	9.345.919	1.570.114,392
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,056	5.377.612	301.146,272
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	4	Beton Bertulang K-150	m ³	3,905	1.380.000	5.388.900
		Semen/PC (50 kg)	Zak	20	85.000	1.700.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	2,398	337.000	808.126
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	3,474	259.550	901.676,7

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	Kg	585,75	17.679	10.355.474,25
		Kawat Beton	Kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	Set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa					
	1	Pipa PVC 4"	batang	1	487.500	487.500
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
	Total III.2					41.137.851,84
	Total Pekerjaan <i>Septic Tank</i> (III.1 – III.2)					100.188.912,7
IV	Bak Kontrol					
	1	Galian Tanah	m ³	5,4	132.130	713.502
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	5,4	98.581	532.337,4
	3	Urugan Pasir	m ³	0,112	181.500	20.328
		Pasir Urug	m ³	5,4	239.200	1.291.680

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	2,25	55.000	123.750
		Papan 3/20 cm	m ³	0,072	9.345.919	672.906,168
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,136
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	2	Bekisting Dinding	m ²	14,4	60.000	864.000
		Papan 3/20 cm	m ³	0,432	9.345.919	4.037.437,008
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,126	5.377.612	677.579,112
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	3	Bekisting Tutup	m ²	2,25	55.000	123.750
		Papan 3/20 cm	m ³	0,072	9.345.919	672.906,168
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,136
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	4	Beton Bertulang K-225	m ³	2,222	1.380.000	3.066.360

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Semen/PC (50 kg)	Zak	14	85.000	1.190.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	1,321	337.000	445.177
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	1,912	259.550	496.259,6
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	Kg	333,3	17.679	5.892.410,7
		Kawat Beton	Kg	2	22.990	45.980
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	Set	1	2.145.000	2.145.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 4"	batang	2	487.500	975.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	8	170.000	1.360.000
Total IV						26.549.718,43
TOTAL PEKERJAAN FASILITAS PENDUKUNG IPAL DOMESTIK RSJC						137.338.631,1

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6.29 Rencana Anggaran Biaya Pemanfaatan Air Daur Ulang RSJC

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
I	1. <i>Sand Filter</i> (SF)	set	-	5.000.000	5.000.000
	2. Pasir <i>Silica</i>	zak	6	99.500	597.000
	3. Pompa <i>Submersible</i>	set	1	17.000.000	17.000.000
	Bak Pengumpul				
	1 Galian Tanah	m ³	3,81	132.130	504.669,478
	2 Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	3,81	98.581	376.529,3409
	3 Urugan Pasir	m ³	0,125	181.500	22.654,83
	Pasir Urug	m ³	3,81	239.200	913.622,4864
	Pekerjaan Konstruksi				
	1 Bekisting Lantai	m ²	2,4964	55.000	137.302
	Papan 3/20 cm	m ³	0.096	9.345.919	897.208,22
	Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,1
	Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
	Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	2 Bekisting Dinding	m ²	9,6696	60.000	580.176

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
		Papan 3/20 cm	m ³	0,312	9.345.919	2.915.926,7
		Kaso 5/7 cm	m ³	0.098	5.377.612	527.006
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	3	Bekisting Tutup	m ²	2,4964	55.000	137.302
		Papan 3/20 cm	m ³	0.096	9.345.919	897.208,22
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,028	5.377.612	150.573,1
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	1	20.800	20.800
		Minyak Bekisting	liter	1	2.289	2.289
	4	Beton Bertulang K-150	m ³	1.73196	1.380.000	2390104.8
		Semen/PC (50 kg)	Zak	9	85.000	765000
		Pasir Cor/Beton	m ³	1.064	337.000	358568
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	1.541	259.550	399966.55
		Semen Spatula	buah	1	323.971	323.971
	5	Pembesian dengan Besi Beton	Kg	259,794	17.679	4.592.898,126
		Kawat Beton	Kg	1	22.990	22.990
	6	<i>Rectangular Manhole Cover 001</i>	Set	1	2.145.000	2.145.000

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	1	214.500	214.500
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	5	170.000	850.000
	Total I					43.125.017
II	1	<i>Ground Tank Panel Fiberglass</i>	m ³	16	4.000.000	64.000.000
III	2	<i>Roof Tank Air Daur Ulang</i>	buah	1	6.050.000	6.050.000
PEMANFAATAN AIR DAUR ULANG RSJC						113.175.017

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6.30 Rencana Anggaran Biaya untuk Air Bersih dan Air Khusus RSJC

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
I	1	<i>Ground Water Tank</i>	m ³	30	4.000.000	120.000.000
II	2	<i>Roof Tank Air Bersih</i>	buah	1	7.790.000	7.790.000
III	3	<i>Sistem Reverse Osmosis</i>	set	1	6.000.000	6.000.000
AIR BERSIH DAN AIR KHUSUS						133.790.000

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6.31 Rencana Anggaran Biaya Sistem *Rainwater Harvesting*

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
I	Trench Drain					
	1	Pemotongan slot beton sesuai lebar channel	m	129	400.000	51.600.000
	2	Pembongkaran/angkut	m ³	3,741	116.120	434.404,92
	3	Pembersihan slot dan persiapan dasar	m ²	18,705	11.506	215.219,73
	4	Pemasangan Trench Drain	m	129	1.100.000	141.900.000
	5	Pemasangan grating penutup	buah	129	807.500	104.167.500
	6	Catch Basin	unit	6	1.145.437	6.872.622
	Pipa Mekanika dan Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3”	batang	8	214.500	17.160.00
	2	First Flush Diverter	unit	1	658.480	658.480
	3	Pompa Submersible	set	1	17.000.000	17.000.000
	Upah					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000
	2	Tukang	OH	10	170.000	1.700.000
	Total I					326.449.226,7

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
II	Ground Reservoir					
	1	Galian Tanah	m ³	238,14	132.130	31.465.328,2
	2	Pengangkutan Hasil Galian Tanah (termasuk peralatan dan perapihan)	m ³	238,14	98.581	23.476.079,34
	3	Urugan Pasir	m ³	5,292	181.500	960.498
		Pasir Urug	m ³	238,14	239.200	56.963.088
	Pekerjaan Konstruksi					
	1	Bekisting Lantai	m ²	105,84	55.000	5.821.200
		Papan 3/20 cm	m ³	3,192	9.345.919	29.832.173,4
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,742	5.377.612	5.044.200,06
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	2	Bekisting Dinding	m ²	103,95	60.000	6.237.000
		Papan 3/20 cm	m ³	3,12	9.345.919	29.159.267,3
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,91	5.377.612	4.893.626,92
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	3	Bekisting Tutup	m ²	105,84	55.000	5.821.200
		Papan 3/20 cm	m ³	3,192	9.345.919	29.832.173,4
		Kaso 5/7 cm	m ³	0,742	5.377.612	5.044.200,06
		Paku 5 cm dan 7 cm	Kg	4	20.800	83.200
		Minyak Bekisting	liter	3	2.289	6.867
	4	Beton Bertulang K-150	m ³	47,691	1.380.000	65.813.580
		Semen/PC (50 kg)	Zak	305	85.000	25.925.000
		Pasir Cor/Beton	m ³	28,34208	337.000	9.551.280,96
		Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	41,04715	259.550	10.653.787,87
		Semen Spatula	buah	2	323.971	647.942
	5	Pembesian dengan Besi Beton	Kg	7.153,65	17.679	126.469.378,4
		Kawat Beton	Kg	3	22.990	68.970
	6	<i>Rectangular Manhole Cover</i> 001	Set	2	2.145.000	4.290.000
	Pekerjaan Pipa dan Mekanika Elektrikal					
	1	Pipa PVC 3"	batang	2	214.500	429.000
	Tenaga Kerja					
	1	Mandor	OH	1	185.000	185.000

No	Uraian Pekerjaan		Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
	2	Tukang	OH	6	170.000	1.020.000
	Total II					478.330.449
	PEKERJAAN SISTEM <i>RAINWATER HARVESTING</i>					804.779.675,2

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6.32 Rekapitulasi RAB RSJC Kota Bandung

Rekapitulasi RAB RSJC Kota Bandung	Jumlah Harga (Rp.)
Pekerjaan IPAL Domestik	315.498.423,2
Pekerjaan Fasilitas Pendukung IPAL Domestik	137.338.631,1
Pemanfaatan Air Daur Ulang	113.175.017
Pekerjaan Air Bersih Dan Air Khusus	133.790.000
Pekerjaan Sistem <i>Rainwater Harvesting</i>	804.779.675,2
TOTAL	1.504.581.746

Berdasarkan hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik menjadi air daur ulang dan pemanfaatan air hujan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung serta fasilitas pendukungnya, besar biaya yang dibutuhkan adalah sebesar **Rp. 1.504.581.746** yang dibulatkan menjadi **Rp. 1.505.000.000** atau *satu miliar lima ratus lima juta rupiah*.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah diuraikan sebelumnya, berikut adalah kesimpulan dari “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dan Pemanfaatan Air Hujan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung”:

1. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung menghasilkan satu unit pengolahan dengan 6 *chamber* (76,68 m³), dimana teknologi yang digunakan adalah *biofilter anaerob-aerob*. 6 *chamber* tersebut terdiri dari bak ekualisasi (1,05 m × 2,55 m × 2,55 m), bak netralisasi (0,90 m × 2,2 m × 1,3 m), *biofilter anaerob* (3,13 m × 2,25 m × 2,55 m), *biofilter aerob* (3,13 m × 2,25 m × 2,55 m), bak pengendap (1,05 m × 2,25 m × 2,55 m), dan desinfeksi (klorinasi) (1,00 m × 2,25 m × 0,8885 m). Sistem IPAL ini dirancang untuk menurunkan parameter pencemar hingga memenuhi baku mutu sesuai Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
2. Sistem daur ulang *greywater* memanfaatkan debit efluen IPAL sebesar 63,56 m³/hari, dengan sekitar 44,49 m³/hari (70%) untuk kebutuhan *flushing* toilet. Debit pengaliran rencana sebesar 29,66 m³/hari diasumsikan cukup untuk kebutuhan *flushing* toilet, yang hanya memerlukan 8,19 m³/hari, sehingga sistem *greywater* ini mampu memenuhi kebutuhan *flushing* secara penuh. Teknologi yang digunakan dalam sistem *reuse* ini adalah *Sand Filter* (SF) dengan dimensi tabung 363 mm dan media pasir silika sebesar 0,091 m³.
3. Perencanaan sistem *Rainwater Harvesting* dimanfaatkan untuk kebutuhan penyiraman taman. Sistem ini menggunakan *trench drain* dengan luas *catchment area* sebesar 972 m² yang menghasilkan debit

4. limpasan 1.094,618 m³/tahun. Debit tersebut cukup untuk memenuhi kebutuhan siram taman sebesar 795,26 m³/tahun. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan *first flush diverter* dan *ground reservoir* (198 m³).
5. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air bersih di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung (RSJC) Kota Bandung sebesar 32.320,75 m³/tahun. Melalui pemanfaatan *rainwater harvesting* sebesar 1.094,618 m³/tahun dan penerapan sistem daur ulang air limbah (*greywater recycle*) sebesar 16.228,85 m³/tahun, diperoleh total penghematan air bersih sekitar 17.323,47 m³/tahun atau 53,6% dari total kebutuhan. Implementasi sistem *greywater* untuk *flushing* toilet sesuai kriteria Green Building Council Indonesia (GBCI) memperoleh 2 poin, sementara pemanfaatan air hujan untuk kebutuhan non-minum mendukung poin konservasi air tambahan. Dengan demikian, RSJC berhasil mengurangi ketergantungan pada air PDAM sekaligus memenuhi standar *Green Hospital* dalam hal konservasi air (*Water Conservation*).
6. Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk keseluruhan perencanaan di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung adalah sebesar Rp. 1.505.000.000,00.

7.2 Saran

Adapun saran yang perlu diberikan untuk perencanaan yang telah dilakukan untuk perencanaan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk perencanaan IPAL yang telah dilakukan, sebaiknya dipertimbangkan penerapan teknologi terbaru yang inovatif dan terkini. Pertimbangan ini dapat menjadi acuan untuk menerapkan perencanaan IPAL di rumah sakit yang sama dengan menggunakan teknologi berbeda.
2. Dalam perencanaan sistem *Rainwater Harvesting* (RWH), khususnya pada perhitungan talang ataupun *trench drain*, diperlukan data hidrologi, seperti Curah Hujan Harian Maksimum (CHHM). Hal ini bertujuan agar hasil perhitungan yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, L., dkk. (2022). Pemeriksaan Kualitas Limbah Cair dengan Parameter Amonia Bebas ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Fosfat (PO_4) (Studi Kasus: Rumah Sakit Islam Ahmad Yani Surabaya). *Human Care Journal*, 7(3).
- Badan Pusat Statistik Kota Bandung. (2024). *Kecamatan Cicendo dalam angka 2024* (Vol. 17). BPS Kota Bandung.
- Badan Pusat Statistik Kota Bandung. (2025). *Kota Bandung dalam angka 2025* (Vol. 45). BPS Kota Bandung.
- Baeti *et. al.* (2022). Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Rumah Sakit Umum Roemani Muhammadiyah Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(3), hlm. 281 – 289.
- Barus, B. R. (2019). Analisa Kualtias Limbah Cair Rumah Sakit Sembiring, Deli Tua. *Jurnal Inovasi Kesehatan Masyarakat*, 1(1), hlm. 39 – 48.
- Batubara, G. O. (2017). *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Medis dan Daur Ulang Efluen IPAL di Rumah Sakit Kelas C*. (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Berita Negara Republik Indonesia. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*.
- Bestari, O. F., dkk. (2017). Daur Ulang Greywater untuk Keperluan Siram WC dan Urinal pada Rumah Sakit Pendidikan Universitas Tanjungpura. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), hlm. 1 – 10.
- Bontinge, S. R. *et. al.* (2021, Juli). Study of Greywater Reuse System with Local Material Filter. *ASEAN Journal of System Engineering*, 5(1), hlm. 27 – 30.
- Dani, R. F. R. (2022). Perencanaan IPAL Biofilter Anaerob-Aerob di Puskesmas Way Halim Kota Bandar Lampung. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Ruwa Jurai*, 15(3), hlm. 149 – 155.
- David, V. V., dkk. (2019, Oktober). Implementasi Konsep Konservasi Air di Gedung Apartemen X. *Serambi Engineering*, IV, hlm. 694 – 702.

- Djalle, R. N., dkk. (2022, November). Konsep Pemanen Air Hujan (*Rainwater Harvesting*) sebagai Alternatif Sumber Daya Air Bersih di Kampung Lakkang Kota Makassar. *Jurnal WKM*, 10(2), hlm. 102 – 110.
- EDGE. (2024). *Edge User Guide Part 4 Water Measures Version 3*.
- Fadillah, N. (2025). *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Skala Kota menggunakan Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) di Kota Tasikmalaya*. (Tugas Akhir). Universitas Pasundan: Bandung.
- Fulton, L. V. (2018). A Simulation of Rainwater Harvesting Design and Demand Side Controls for Large Hospitals. *Sustainability*, 10(1659), hlm. 1 – 17.
- Green Building Council Indonesia. (2013, April). GREENSHIP untuk BANGUNAN BARU Versi 1.2.
- Gubernur Jawa Barat. (2017). Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 1 Tahun 2017 tentang Pengelolaan Air Tanah.
- Hakim, A. R., dkk. (2017). Pendekatan Aplikasi DEWATS dalam Manajemen Limbah Cair Rumah Sakit. *Jurnal Biologi Tropis*, 17(2), hlm. 28 – 34.
- Handayani, D. S. (2013, Maret). Kajian Pustaka Potensi Pemanfaatan *Greywater* sebagai Air Siram WC dan Air Siram Tanaman di Rumah Tangga. *Jurnal PRESIPITASI*, 10(1), hlm. 41 – 50.
- Hariyani, N. & Sarto, S. (2018). Evaluasi Penggunaan Biofilter Anaerob-Aerob untuk Meningkatkan Kualitas Air Limbah Rumah Sakit. *Berita Kedokteran Masyarakat*, 34(5), hlm. 199 – 204.
- Health Canada. (2010). Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing.
- Indrawati, A., & Tanti, D. A. (2017). Pengukuran pH dan Konduktivitas Air Hujan untuk Pemantauan Kualitas Udara di Daerah Bandung. *Berita Dirgantara*. 18(2): 53–60.
- Juliana, I. C., dkk. (2019). *Dasar-dasar Penerapan Sistem Rainwater Harvesting (RWH)*. Universitas Sriwijaya: Palembang.
- Kemenko Bidang Kemaritiman dan Investasi. (2009). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009 tentang Pemanfaatan Air Hujan.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2011). *Seri Sanitasi Lingkungan Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter*

- Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 3 Tahun 2020 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Khajvand, M. dkk. (2022). Management of Greywater: Environmental Impact, Treatment, Resource Recovery, Water Recycling, and Decentralization. *Water Science & Technology*, 85(5), hlm. 909 – 937.
- Khan *et. al.* (2021). Hospital Wastewater As A Source Of Environmental Contamination: An Overview Of Management Practices, Environmental Risks, And Treatment Processes: *Journal of Water Process Engineering*, 41 (101990), hlm. 1 – 17.
- Kurniajati, S., dkk. (2023, Agustus). Literatur Review: Analisis Kualitas Air Limbah Rumah Sakit Menggunakan Indikator Baku Mutu BOD, COD, TSS. *Jurnal Penelitian Keperawatan*, 9(2), hlm. 243 – 251.
- Larasati dan Marsono. (2024). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUD dr. Soedono Madiun. *Jurnal Teknik ITS*, 13(1), hlm. 26 – 32.
- Liu, Q. *et. al.* (2010). Performance of a hybrid membrane bioreactor in municipal wastewater treatment. *Desalination*, 258(1-3), hlm. 143 – 148.
- Luo, Y. *et al.* (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473, hlm. 619 – 641.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk-*

Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Jakarta: Menteri LHK RI.

Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Jakarta: Menteri PUPR RI.

Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 11/PRT/M/2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya*. Jakarta: Menteri PU RI.

Metcalf dan Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reus (Fourth Edition)*. New York: McGraw-Hill.

Moh. Noerbambang, Soufyan dan Morimura, Takeo. (1993). *Perencanaan Dan Pemeliharaan Sistem Plambing*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Natabraja, G. S. (2022). Laporan Studi Akhir Arsitektur 51 “Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung”. Universitas Katolik Parahyangan, Kota Bandung.

Novi, N. S. (2018). *Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Universitas Tanjungpura Pontianak*. (Tugas Akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

Oteng-Peprah, M. *et. al.* (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies, and User Perception a Review. *National Library of Medicine*, 229(8), hlm. 255.

Perwira, N. K, dkk. (2020). Design of Waste Water Treatment Plant for Hospital. *Science and Technology Publications*, hlm. 102 – 106.

Pratama, M., dkk. (2022, Desember). Desain Ulang Instalasi Pengolahan Limbah Greywater dan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik pada Rusunawa Gunung Anyar Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(3), hlm. 203 – 212.

Presiden Republik Indonesia. (2019). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air*.

Presiden Republik Indonesia. (2023). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2023 tentang Kesehatan*.

- Presiden Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2024 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air*.
- Qasim, S. R. (1999). *Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operation* (Second Edition). United States: CRC PRESS.
- Ramsuroop J, et al. (2024). A Review of Biological Processes for Dairy Wastewater Treatment and the Effect of Physical Parameters Which Affect Their Efficiency. *Water*, 16(4) hlm. 537.
- Raju, M.V. et. al. (2024, Juni). Advances in Unit Operations and Processes for Wastewater Treatment: A Comprehensive Review. *AFJBS*, 6(Si3), hlm. 2608 – 2613.
- Reynolds, T. D. & Richards, P. A. C. (1995). *Unit operations and processes in environmental engineering*: PWS Publishing Company.
- Ridha, M. F. R. (2024). *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Terpusat di Kampus UNHAS Tamalanrea*. (Skripsi). Universitas Hasanuddin, Gowa.
- Riyanto, E. & Setiawan, A. (2020, Mei). Pemanenan Air Hujan menggunakan *Ground Water Tank* untuk Pemenuhan Air Baku di Lokasi Bangunan Perkuliahan (Lokasi Penelitian: Kampus 3, UM Purworejo). *Semesta Teknika*, 23(1), hlm. 54 – 62.
- Sahila, R. T., dkk. (2023, Juni). Perencanaan Sistem Distribusi Air Bersih dan Pengolahan Air Buangan pada Pembangunan RSUD Krian Kabupaten Sidoarjo. *JOS – MRK*, 4(2), hlm. 44 – 51.
- Sari, W. M. (2015). Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Muhammadiyah Palembang (RSMP) dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob. *Distilasi*, 1(1), hlm.7 – 18.
- Setiawan, N. (2015). *Studi Threshold Indeks Stabilitas Udara terhadap Kejadian Hujan di Wilayah Pangkalpinang Bangka Belitung*. (Tugas Akhir). Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Sherlina, V. & Annisa, B. (2022). Evaluation of Drainage Channel Capacity in Griya Rumbai Lestari Complex, Limbungan Baru Village with EPA SWMM 5.2. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(3), hlm. 241 – 250.

- Suthersan S. S. (1999). *Remediation Engineering: Design Concept*, S. S. Suthersan (ed). Boca Raton: CRC Press LLC.
- US EPA. (2002, Agustus). *Nitrification*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- US EPA. (2006, September). *Biosolids Technology Fact Sheet Multi-Stage Anaerobic Digestion*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- US EPA. (2020, Juni). *Disinfection Profiling and Benchmarking*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- Wali Kota Bandung. (2024). Keputusan Wali Kota Bandung Nomor: 027/Kep.734-BKAD/2024 tentang Standar Harga Satuan dan Standar Biaya Umum Tahun Anggaran 2025. Bandung: Keputusan Wali Kota Bandung.
- Wigati, R., dkk. (2021). Rainwater Harvesting System Planning and Design (Case Study: Female Dormitory Building, Campus E, Untirta Sindangsari). *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 17(2), hlm. 262 – 271.
- Wijekoon, K. et. al. (2013). Fate of pharmaceuticals and personal care products in a membrane bioreactor treating municipal wastewater. *Water Science and Technology*, 68(12), hlm. 2670 – 2676.
- Yoon, S. H., Kim, H. S., & Yeom, I. T. (2004). Performance of a membrane bioreactor for treating municipal wastewater. *Desalination*, 168, hlm. 239 – 243.
- Yudistira, N. A., dkk. (2016, Februari). Pemilihan Teknologi Daur Ulang *Effluent* Limbah Cair Rumah Sakit untuk Memenuhi Kebutuhan Air Bersih Pertamanan dan Kegiatan *Non-Potable*. *JOM FTEKNIK*, 3(1), hlm. 1 – 8.

**L
A
M
P
I
R
A
N**



UNIVERSITAS PASUNDAN

Fakultas Teknik

Teknik Industri ☐ 022 - 2019335
Teknologi Pangan ☐ 022 - 2019339
Teknik Mesin ☐ 022 - 2019352
Teknik Informatika ☐ 022 - 2019371
Teknik Lingkungan ☐ 022 - 2009574
Perencanaan Wilayah dan Kota ☐ 022 - 2006466

Nomor : 322/Unpas-FT.TL/Q/VIII/2025
Perihal : Surat Permintaan Data TA

Kepada Ykh.
Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kota Bandung
Jl. Cemara No. 66, Pasteur, Kec. Sukajadi
Kota Bandung

Dengan Hormat,

Bersama ini kami sampaikan surat pengantar permintaan data untuk mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Pasundan atas nama :

NO	NAMA	NRP
1	Nasywa Salsabila Masyhuroh	213050010

Mahasiswa tersebut di atas bermaksud memohon izin untuk bisa mendapatkan informasi data :

1. Data Curah Hujan Kota Bandung 5 tahun terakhir (Curah Hujan (CH), Hari Hujan (HH), dan Curah Hujan Harian Maksimum (CHHM)

Data tersebut digunakan untuk keperluan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir dengan judul :

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Menjadi Air Daur Ulang Dan Pemanfaatan Air Hujan Di Rumah Sakit Khusus Jantung Cigadung Kota Bandung

Dengan ini kami mohon kiranya Bapak/Ibu dapat membantu dan memberikan izin kepada mahasiswa yang bersangkutan.

Demikian permohonan ini kami sampaikan atas perhatian, bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Hormat Kami,

Bandung, 27 Agustus 2025

Ketua Prodi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik – UNPAS



Dr. Ir. Anni Rochaeni, MT.
NUPTK. 1062747648230093



BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA STASIUN GEOFISIKA KELAS I BANDUNG

Jl. Cemara No. 66, Sukajadi, Bandung 40161

Telp. (022) 2031881, Fax : (022) 2036212 Email: stageof.bandung@bmkg.go.id

Website : www.bmkgbandung.id

Nomor : ME.02.04/ 829 /KLEM/VIII/2025
Sifat : -
Lampiran : 1 berkas
Hal : Permohonan Tarif Rp.0,00 (Nol
Rupiah Untuk Data Klimatologi)

Bandung, 29 Agustus 2025

Kepada :

Yth. Nasywa Salsabila Masyhuroh

di
Bandung

1. Berdasarkan surat Permohonan Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik UNPAS, Nomor: 322/Unpas-FT.TL/Q/VIII/2025 tanggal 27 Agustus 2025 perihal sebagaimana tercantum dalam pokok surat, bersama ini kami sampaikan persetujuan atas Permohonan Tarif RP.0,00 (Nol Rupiah) untuk data curah hujan dan jumlah hari hujan tahun 2020 s/d 2024.
2. Alasan persetujuan atas permohonan tersebut berdasarkan Peraturan Kepala BMKG Nomor 12 tahun 2019 Tentang Tata Cara dan Syarat Pengenaan Tarif Rp.0,00 (Nol Rupiah) Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak Terhadap Kegiatan Tertentu Di Lingkungan Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika.
3. Mohon untuk segera melengkapi persyaratan pengajuan tarif nol rupiah berupa hasil penelitian paling lambat tanggal 1 bulan Desember tahun 2025 (berdasarkan surat pernyataan).
4. Demikian kami sampaikan, atas kerja samanya diucapkan terima kasih.



Koordinator Seksi Data dan Informasi
Stasiun Geofisika Bandung

Virga Librian



BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN GEOFISIKA BANDUNG

Jl. Cemara No. 66, Sukajadi, Kota Bandung, 40161, Telp. (022) 2031881, Fax : (022) 2036212
Website : www.bmkgbandung.id E-mail : stageof.bandung@bmkg.go.id

DATA KLIMATOLOGI

Lintang : 06° 53' 00,92750" S

STASIUN GEOFISIKA BANDUNG

Bujur : 107° 35' 50,52075" E

TAHUN : 2020 - 2024

BULAN	Curah Hujan (mm)				
	2020	2021	2022	2023	2024
JAN	207,6	146,4	59,5	67,0	335
FEB	336,6	153,9	117,2	111,0	264
MAR	292,5	309,0	238,9	200,0	272
APR	271,4	177,3	336	276,0	215
MEI	292,3	239	146,9	269,0	71
JUN	30,3	92,4	150,6	90,0	156
JUL	63,7	33,2	98,5	24,0	30
AGST	41,6	91,8	29,9	30,0	53
SEPT	87,7	73,0	181,7	18,0	136
OKT	327,3	218,4	366,4	62,0	81
NOP	207,3	454,3	307,2	239,0	512
DES	262,1	198,5	277,9	365,0	90



BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN GEOFISIKA BANDUNG

Jl. Cemara No. 66, Sukajadi, Kota Bandung, 40161, Telp. (022) 2031881, Fax : (022) 2036212
Website : www.bmkgbandung.id E-mail : stageof.bandung@bmkg.go.id

DATA KLIMATOLOGI

Lintang : 06° 53' 00,92750" S
Bujur : 107° 35' 50,52075" E

STASIUN GEOFISIKA BANDUNG
TAHUN : 2020 - 2024

BULAN	Jumlah Hari Hujan				
	2020	2021	2022	2023	2024
JAN	23	27	13	10	24
FEB	27	20	22	20	22
MAR	27	24	22	20	27
APR	20	18	27	18	21
MEI	17	16	20	13	6
JUN	17	21	20	11	11
JUL	10	8	14	3	5
AGST	8	8	10	4	3
SEPT	9	13	18	1	7
OKT	20	21	22	4	9
NOP	23	26	25	18	25
DES	29	28	27	21	18