

**Perancangan Mesin Penyangrai Kopi Kapasitas
Satu Kilogram dengan *Double Walled Drum***

SKRIPSI

Oleh:

**Nama: Muhammad Shaddam Nu'man
NPM: 183030113**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Shaddam Nu'man
Nomor Pokok Mahasiswa : 183030113
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi.
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarism.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka, saya sanggup menerima hukuman/sanksi apa pun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 26 Mei 2023

Penulis,



METERAI
TEMPEL
EA9AKX486107509

Muhammad Shaddam Nu'man

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Muhammad Shaddam Nu'man
Nomor Pokok Mahasiswa : 183030113
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS
Jenis Karya : Skripsi, makalah, laporan magang kerja, karya profesi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Perancangan Mesin Penyangrai Kopi Kapasitas Satu Kilogram dengan *Double Walled Drum*

.....

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 26 Mei 2023

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular postage stamp. The stamp is yellow and red, featuring the number '2000' in large red digits. Below the number, it says 'METERAI TEMPEL' and 'P037AKX486107507'. The signature is written in a cursive style across the stamp.

Muhammad Shaddam Nu'man

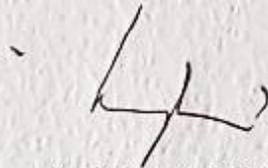
LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan Mesin Penyangrai Kopi Kapasitas Satu Kilogram dengan *Double Walled Drum*



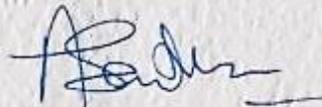
Nama: Muhammad Shaddam Nu'man
NPM: 183030113

Pembimbing Utama



Ir. Endang Achdi, M.T.

Pembimbing Pendamping



Ir. Agus Sentana, M.T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT beserta junjungan-Nya Nabi Muhammad SAW karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perancangan Mesin Penyangrai Kopi Kapasitas Satu Kilogram dengan *Double Walled Drum*”. Penulisan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan mata kuliah skripsi program studi S1 Teknik Mesin, Universitas Pasundan Bandung.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Ayah, ibu, kakak dan adik tercinta sebagai sumber semangat juga sebagai kekuatan yang selalu memberikan dukungan moral maupun materil dengan sepenuh hati kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, MT. selaku ketua prodi Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung.
4. Bapak Ir. Endang Achdi, MT. selaku pembimbing utama dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Agus Sentana, MT. selaku pembimbing pendamping dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan staf karyawan Universitas Pasundan Jurusan Teknik Mesin.
7. Teman-teman kelas Reguler Sore angkatan 2018 yang telah banyak menghibur dan mendukung penulis dari awal perkuliahan hingga penulisan skripsi ini.
8. Semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan maupun penyajian laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan membawa ilmu pengetahuan umumnya bagi semua pembaca dan khususnya bagi penulis.

Bandung, 26 Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Rumusan Masalah	1
3. Tujuan.....	1
4. Manfaat Penelitian.....	2
5. Batasan Masalah.....	2
6. Sistematika Penulisan Skripsi	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
1. Proses Pengolahan Biji Kopi.....	3
2. Proses Penyangraian Kopi.....	7
3. Mesin Penyangrai Kopi.....	13
4. Cacat Biji Kopi saat Penyangraian	24
5. <i>Food Grade Material</i>	27
6. Perancangan Elemen Mesin	28
7. Analisis Energi	35
8. Review Jurnal.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
1. Tahapan Penelitian	41
2. Jadwal Kegiatan	42
3. Perancangan Mesin Penyangrai.....	42
4. Energi Penyangraian.....	61
5. Tahapan Pengoperasian Mesin Penyangrai	66
6. Spesifikasi Mesin Penyangrai	67
7. Estimasi Biaya Pembuatan Alat	67
8. Estimasi Waktu Pembuatan dan Perakitan Alat	68

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	70
1. Kesimpulan.....	70
2. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tahapan Pengolahan Kopi Semi Basah (Kiri) dan Kering (Kanan) [2]	5
Gambar 2. Proses Pengupasan Biji Kopi dengan Menggunakan Mesin <i>Pulper</i> [1].....	6
Gambar 3. Proses pengeringan biji kopi dengan cara penjemuran [1].....	6
Gambar 4. Proses Penyangraian Secara Tradisional [3]	7
Gambar 5. Grafik S (<i>S-Curve</i>) [3].....	7
Gambar 6. Biji Kopi yang Mengalami Dehidrasi [5].....	8
Gambar 7. Biji Kopi yang Telah Mengalami Fase <i>First Crack</i> [5]	9
Gambar 8. Proses Pendinginan Biji Kopi pada <i>Cooling Tray</i> [5].....	10
Gambar 9. <i>Light Roast/Cinnamon Roast</i> [6].....	10
Gambar 10. <i>Medium Roast/City Roast</i> [4]	11
Gambar 11. <i>Full City Roast</i> [4].....	11
Gambar 12. <i>Dark Roast/Viennese Roast</i> [4]	12
Gambar 13. <i>French Roast</i> [6].....	12
Gambar 14. <i>Italian Roast</i> [6]	13
Gambar 15. Skema Perpindahan Panas Konduksi pada <i>Classic Drum Roaster</i>	14
Gambar 16. Skema Penyangraian pada Mesin <i>Classic Drum Roaster</i> [5].....	14
Gambar 17. Skema Penyangraian dengan Mesin <i>Indirectly Heated Drum</i> [4].....	15
Gambar 18. Skema Penyangraian Mesin <i>Fluid Bed/Hot Air Roaster</i> [4]	16
Gambar 19. <i>Hopper</i> [5].....	18
Gambar 20. Skema Perpindahan Panas <i>Double Walled Drum</i>	19
Gambar 21. <i>Single Walled Drum</i> (Kiri) dan <i>Double Walled Drum</i> (Kanan) [4]	20
Gambar 22. Jendela Kaca Tahan Panas [5].....	20
Gambar 23. <i>Sampler</i> [3].....	20
Gambar 24 Posisi <i>Probe</i> Termokopel pada Mesin Penyangrai Kopi [9].....	21
Gambar 25 <i>Probe</i> Termokopel [3].....	22
Gambar 26 Gas <i>Burner</i> [4].....	22
Gambar 27 Saluran dan Tuas <i>Airflow</i> [5]	23
Gambar 28 Biji Kopi yang Didinginkan di <i>Cooling Bin</i> [5].....	24
Gambar 29 <i>Tipping</i> [11].....	24
Gambar 30 <i>Scorching</i> [11]	25
Gambar 31 <i>Overdevelopment</i> [12].....	25
Gambar 32. Gambar Macam-Macam Pasak [19].....	33
Gambar 33. Tegangan Geser pada Pasak [20]	34
Gambar 34. Diagram Alir	41

Gambar 35. Diagram Benda Bebas Poros Penyangrai.....	47
Gambar 36. DBB Segmen Batang A-D (0 mm – 36 mm)	48
Gambar 37. DBB Segmen Batang A-E (0 mm – 336 mm).....	48
Gambar 38. DBB Segmen Batang A-B (0 mm – 366 mm).....	49
Gambar 39. DBB Segmen Batang A-C (0 mm – 410 mm).....	49
Gambar 40. Diagram Gaya Lintang dan Momen.....	51
Gambar 41. Diagram Konsentrasi Tegangan Poros Bertangga [20].....	56
Gambar 42. Diagram Konsentrasi Tegangan Poros dengan Alur Pasak [20]	57
Gambar 43. Grafik Pemilihan Tipe <i>Belt</i> [20].....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel Kriteria Kesesuaian Lahan Biji Kopi Robusta, Arabika. dan Liberika	3
Tabel 2. Tabel Performansi Mesin Penyangrai	17
Tabel 3. Rekomendasi Putaran Drum Berdasarkan Kapasitas Maksimum Drum	23
Tabel 4. Tabel Persentasi Cacat Biji Kopi di Panna <i>Coffee</i> Tahun 2018.....	26
Tabel 5. Faktor-Faktor Koreksi Daya	28
Tabel 6. Tabel Faktor Pembebanan pada Poros	30
Tabel 7. Rencana Kegiatan	42
Tabel 8. Tabel Spesifikasi Motor Listrik	44
Tabel 9. Tabel Koefisien Gesek antara <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i> [24]	46
Tabel 10. Kekuatan Tarik Material	52
Tabel 11. Ukuran-Ukuran Utama Pasak	53
Tabel 12. Sifat Mekanis Baja Karbon <i>Casting</i>	54
Tabel 13. Tabel Diameter Pulley Berdasarkan Tipe <i>Belt</i>	59
Tabel 14. Spesifikasi Mesin Penyangrai	67
Tabel 15 Estimasi Biaya Pembuatan Alat	68
Tabel 16 Estimasi Waktu Pembuatan dan Perakitan Alat.....	69

ABSTRAK

Kedai kopi membutuhkan karakter rasa yang unik pada seduhan biji kopinya. Karakter rasa ini didapat dari proses penyangraian biji kopi. Proses penyangraian biji kopi secara modern dilakukan dengan menggunakan mesin penyangrai kopi. Mesin *Classic Drum Roaster* banyak digunakan produsen kopi skala kedai kopi karena memiliki kemampuan untuk mengembangkan karakter rasa kopi dengan baik. Namun, pada mesin ini sering ditemukan adanya kegosongan pada biji kopi hasil penyangraian. Salah satu cara mengurangi kegosongan adalah dengan menggunakan *double walled drum*. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang mesin penyangrai jenis *Classic Drum Roaster* menggunakan *double walled drum*. Perancangan dilakukan dengan menghitung energi penyangraian, menghitung elemen mesin yang digunakan, dan membuat gambar teknik dari mesin penyangrai. Drum hasil perancangan memiliki diameter 200 mm untuk ruangan sangrai dan 230 mm untuk drum bagian luar dengan panjang drum 300 mm serta ketebalan 5 mm. Drum diputar dengan menggunakan motor listrik 350 W. Elemen mesin yang digunakan adalah poros drum berdiameter 25 mm, pasak ukuran 8x7 mm, *pulley* drum 130 mm dan *pulley* motor 65 mm, serta *belt* dengan panjang keliling 830 mm. Daya input motor penggerak yang digunakan adalah 532 W, daya input motor agitator yang digunakan adalah 150 W, dan daya input *exhaust fan* yang digunakan adalah 90 W. Sementara untuk total kebutuhan energi untuk satu kali proses penyangraian adalah 2347,68 kJ. Energi *burner* yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air kopi adalah 668,333 kJ dengan kebutuhan bahan bakar 0,20 kg. Energi *burner* pada saat pertama kali mesin dinyalakan adalah 4695,36 kJ dengan konsumsi bahan bakar 0,1 kg. Penyangraian selanjutnya membutuhkan energi *burner* sebesar 2067,74 kJ dengan konsumsi bahan bakar 40 gram.

Kata kunci: Biji Kopi, Mesin Penyangrai Kopi, *Double Walled Drum*

ABSTRACT

Coffee shops need a unique taste character in the brewing of coffee beans. This taste character is obtained from the process of roasting coffee beans. The process of roasting coffee beans in a modern way is done by using a coffee roaster machine. The Classic Drum Roaster machine is widely used by coffee shop-scale coffee producers because it can develop coffee flavor characteristics well. However, in this machine, it is often found that there is a scorch in the roasted coffee beans. One way to reduce burnout is to use a double-walled drum. The purpose of writing this thesis is to design a Classic Drum Roaster type roaster using a double-walled drum. The design is done by calculating the roasting energy, calculating the machine elements used, and making technical drawings of the roaster machine. The designed drum has a diameter of 200 mm for the roasting chamber and 230 mm for the outer drum with a drum length of 300 mm and a thickness of 5 mm. The drum is rotated using a 350 W electric motor. The machine elements used are a drum shaft with a diameter of 25 mm, a peg size of 8x7 mm, a 130 mm drum pulley and a 65 mm motor pulley, and a belt with a circumference of 830 mm. The input power of the driving motor used is 532 W, the input power of the agitator motor used is 150 W, and the input power of the exhaust fan used is 90 W. Meanwhile, the total energy requirement for one roasting process is 2347,68 kJ. The burner heat needed to evaporate the water content of the coffee is 668,33 kJ with a fuel requirement of 0,20 kg. The heat of the burner when the machine is first started is 4695,36 kJ with a fuel consumption of 0,1 kg. Further roasting requires a burner energy of 2067,74 kJ with a fuel consumption of 40 gram.

Keywords: Coffee Beans, Coffee Roaster Machine, Double Walled Drum

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Kedai kopi membutuhkan karakter rasa yang unik pada seduhan biji kopinya. Karakter rasa ini didapat dari proses penyangraian biji kopi. Proses penyangraian biji kopi secara modern dilakukan dengan menggunakan mesin penyangrai kopi. Mesin penyangrai biji kopi memiliki beberapa jenis, salah satunya mesin penyangrai jenis *Classic Drum Roaster* atau biasa disebut sebagai *Drum Roaster*. Sebagian besar kedai kopi atau *roastery* skala kecil hingga menengah menggunakan mesin jenis ini karena memiliki kemampuan untuk mengembangkan karakter rasa kopi dengan baik. Namun, pada mesin ini sering ditemukan adanya kegosongan pada biji kopi hasil penyangraian. Kegosongan ini disebabkan oleh kontak antara biji kopi dengan dinding drum yang dipanaskan secara konduksi oleh *burner* atau kompor pada bagian bawah drum tersebut. Kondisi ini dapat menyebabkan kegosongan pada sebagian permukaan biji kopi atau biasa disebut *scorching*. Selain itu, ruangan sangrai dapat mengalami *overheating* saat proses penyangraian dan mengakibatkan *tipping* pada biji kopi. Biji kopi yang gosong ini akan merusak cita rasa asli dari kopi yang dihasilkan. Rasa pahit dan *after taste* yang *smokey* akan timbul apabila biji kopi yang gosong ini tercampur dan diseduh dengan biji kopi dengan kualitas baik.

Salah satu cara mengurangi kegosongan ini adalah dengan menggunakan *double walled drum* atau drum ber dinding ganda. Namun, mesin penyangrai dengan *double walled drum* biasanya digunakan pada mesin-mesin berkapasitas besar, yaitu 5-12 kg. Oleh karena itu, melalui skripsi ini diupayakan untuk merancang mesin penyangrai yang dapat mencegah terjadinya kegosongan saat proses penyangraian menggunakan *double walled drum* dengan kapasitas satu kilogram biji kopi basah. Perancangan ini difokuskan pada mesin penyangrai jenis *Classic Drum Roaster* dengan menggunakan material drum *stainless steel 304*.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah utama dalam skripsi ini adalah apakah dengan menggunakan *double walled drum* dapat mengatasi kegosongan biji kopi saat proses penyangraian pada mesin penyangrai jenis *Classic Drum Roaster*.

3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang mesin penyangrai kopi kapasitas satu kilogram dengan *double walled drum* pada jenis mesin *Classic Drum Roaster* untuk mengatasi kegosongan saat proses penyangraian.

4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada masyarakat, baik secara akademis maupun secara praktis. Manfaat dari penyusunan skripsi ini diuraikan sebagai berikut.

Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan baru dalam pengembangan ilmu dibidang penyangraian kopi, baik untuk mahasiswa ataupun pihak yang memiliki minat di bidang kopi.

Manfaat Praktis

Diharapkan dapat mengurangi kecacatan biji kopi yang dihasilkan saat menyangrai biji kopi terutama kecacatan *scorching* dan dapat mempermudah operator penyangraian dalam mengembangkan rasa biji kopi.

5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi ini adalah perancangan mesin sangrai jenis *Classic Drum Roaster* dengan kapasitas maksimum drum sebesar satu kilogram biji kopi.

6. Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan laporan usulan skripsi ini disusun dengan urutan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori dasar yang menunjang penyusunan skripsi yang akan dilakukan dari kutipan buku dan juga *review* jurnal yang berhubungan dengan topik skripsi yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir penyusunan skripsi, perhitungan kebutuhan energi penyangraian dan rancangan mesin penyangrai kopi berupa persamaan.

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari skripsi yang telah dilakukan dan saran kepada pihak yang akan meneruskan penelitian ini lebih lanjut.

LAMPIRAN

Bab ini berisi mengenai gambar teknik hasil perancangan mesin penyangrai kopi yang telah dibuat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1. Proses Pengolahan Biji Kopi

Biji kopi dihasilkan dari berbagai macam proses sebelum siap dihidangkan menjadi minuman, mulai dari proses budi daya, pasca panen, penyangraian, hingga proses *cupping* (pencicipan).

Proses Budi daya Biji Kopi

Proses budi daya ini adalah proses dari menanam pohon biji kopi hingga pemetikan biji kopi. Penanaman biji kopi ini dilakukan pada ketinggian lahan tertentu sesuai dengan jenis biji kopi yang akan dibudidayakan. Ketinggian ini sangat berpengaruh kepada rasa dan aroma kopi yang dihasilkan. Makin tinggi lahan yang ditanami pohon biji kopi, maka makin beragam aroma dan rasa biji kopi yang dihasilkan.

Ada dua jenis kopi yang ada di Indonesia, yaitu jenis arabika dan robusta. Kopi arabika dengan cita rasa yang baik dan mempunyai kualitas baik tumbuh pada ketinggian di atas 1000 m dpl, sementara kopi robusta hanya optimal pada ketinggian 800 m dpl. Ketersediaan lahan di Indonesia untuk perkebunan kopi berkisar antara 700 – 900 m dpl. Oleh karena itu, sebagian besar jenis kopi di Indonesia didominasi oleh jenis kopi robusta (sekitar 95%) [1].

Selain ketinggian, banyak faktor yang memengaruhi kualitas biji kopi yang dihasilkan, mulai dari kualitas tanah, iklim, dan sebagainya. Sebagai contoh, berikut adalah kriteria teknis kesesuaian lahan untuk biji kopi Robusta, Arabika, dan Liberika.

Tabel 1. Tabel Kriteria Kesesuaian Lahan Biji Kopi Robusta, Arabika, dan Liberika

No	Parameter	Kelas Kesesuaian			
		S1	S2	S3	N
1	Iklim				
	Curah hujan tahunan (mm)	1500–2000	1250	1250	< 1000
			2000–2500	2500–3000	> 3000
	Lama bulan kering (<60 mm/bl)	2–3	3–4	4–5	> 5
			1–2	< 1	
2	Ketinggian tempat (m dpl)				
	Robusta	300–500	500–600	600–700	> 700
			100–300	0–100	
	Arabika	1000–1.500	850–1000	650–850	< 650

			1500–1750	1750–2000	> 2000
	Liberika	300–500	600–800	800–1000	> 1000
			0–300		
3	Lereng (%)	0–8	8–25	25–45	> 45
4	Sifat fisik tanah				
	Ke dalam efektif (cm)	> 150	100–150	60–100	< 60
	Tekstur	Lempung berpasir;	Pasir berlempung,	Liat	Pasir
		Lempung berliat;	Liat berpasir;		Liat berat
		Lempung berdebu;	Liat berdebu		
		Lempung liat berdebu;			
	Batu dipermukaan (%)	-	0–3	3–15	> 15
5	Genangan			1–7 hari	> 7 hari
	Klas drainase	Baik	Agak baik	Agak buruk	Berlebihan
				Buruk	Sangat buruk
				Agak berlebihan	
6	Sifat kimia tanah (0–30 cm)				
	pH	5,5–6,0	6,1–7,0	7,1–8,0	> 8,0
			5,0–5,4	4,0–4,9	< 4,0
	C-Organik (%)	2–5	1–2	0,5–1	< 0,5
			5–10	10–15	> 15
	KTK (me/100 g)	> 15	10–15	5–10	< 5
	KB (%)	> 35	20–35	< 20	-
	N (%)	> 0,21	0,1–0,2	<0,1	-
	P ₂ O ₅ tersedia (ppm)	> 16	10–15	< 10	-
	K dd (me %)	> 0,3	0,1–0,3	< 0,1	-
7	Toksitas				

	Salinitas (mm hos/cm)	< 1	1–3	3–4	> 4
	Kejenuhan Al (%)	< 5	5–20	20–60	> 60

Source: Peraturan Menteri Pertanian, 2014 [1]

Proses Pascapanen

Proses pascapanen biji kopi terdiri dari proses pemetikan, pengolahan, sortasi kopi, pengupasan, fermentasi, pencucian, pengeringan, pengukuran kadar air, penggilingan, dan penggudangan.

Proses pemetikan dilakukan setelah biji kopi matang. Biji kopi yang sudah matang ditandai dengan perubahan warna dari hijau tua menjadi merah kehitam-hitaman.

Proses pengolahan biji kopi memiliki dua metode, yaitu proses pengolahan cara basah dan juga semi basah. Proses ini bisa dipilih berdasarkan luas kebun kopi yang tersedia. Apabila memiliki luas tanah 0,5-2 hektare dengan hasil panen sekitar 50-200 kg diusulkan menggunakan proses semi basah karena kebutuhan air lebih sedikit dari pengolahan dengan basah penuh [2].



Gambar 1. Tahapan Pengolahan Kopi Semi Basah (Kiri) dan Kering (Kanan) [1]

Proses sortasi ini bertujuan untuk memisahkan biji kopi yang layak untuk diproses. Sering kali pada proses ini dilakukan proses pembersihan biji kopi dari ranting, daun, dan kotoran lainnya. Selain itu, proses sortasi dilakukan untuk memilah biji kopi sesuai dengan ukurannya. Proses ini dapat dilakukan secara manual atau dengan menggunakan mesin sortasi.

Proses pengupasan biji kopi biasanya menggunakan mesin yang disebut *pulper*. Mesin ini akan mengupas kulit biji kopi sesuai dengan ukurannya dengan cara memasukkan biji kopi ke dalam silinder dengan bantuan air, lalu akan dikupas menggunakan mata pisau statis pada mesin *pulper*.



Gambar 2. Proses Pengupasan Biji Kopi dengan Menggunakan Mesin *Pulper* [2]

Proses fermentasi diperlukan untuk menghilangkan lendir pada biji kopi. Umumnya, proses ini hanya dilakukan untuk biji kopi arabika untuk mengurangi rasa pahitnya. Prinsipnya adalah dengan metode alami atau dengan dibantu oleh oksigen yang ada di udara. Proses ini dapat dilakukan dengan merendam dalam air (basah) dan tanpa rendaman air (kering).

Setelah proses fermentasi, biji kopi akan dicuci lagi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan lendir sisa proses fermentasi. Untuk skala kecil pengeringan dapat dilakukan secara manual, yaitu dengan menggunakan bak atau ember, sementara untuk skala besar bisa menggunakan mesin.

Lalu biji kopi akan dikeringkan dengan temperatur udara sekitar 45-50°C sampai mencapai kadar air maksimal 12,5%. Temperatur pengeringan yang terlalu tinggi akan merusak citarasa dari kopi, terutama pada kopi arabika. Pengeringan ini dilakukan secara bertahap. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan beberapa cara, mulai dari penjemuran, mekanis, atau kombinasi keduanya [2].



Gambar 3. Proses pengeringan biji kopi dengan cara penjemuran [2]

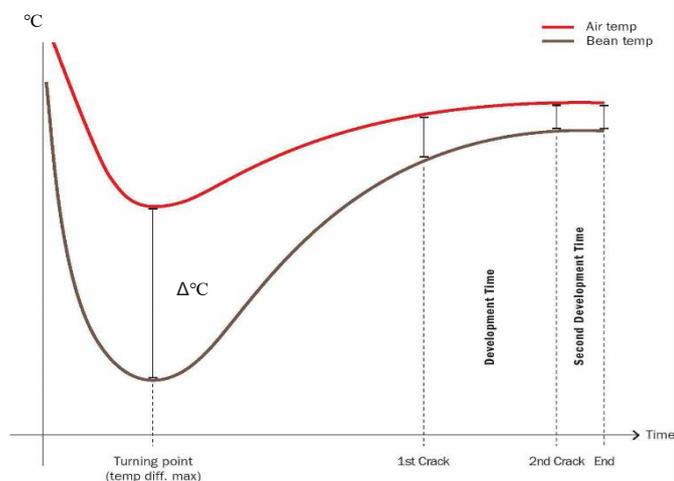
2. Proses Penyangraian Kopi

Proses penyangraian kopi adalah proses menyangrai kopi dengan tujuan menghasilkan citarasa yang diinginkan. Proses penyangraian ini dapat dilakukan secara tradisional ataupun modern. Penyangraian secara tradisional dilakukan dengan menggunakan wajan, sementara penyangraian secara modern dilakukan dengan menggunakan mesin penyangrai kopi.



Gambar 4. Proses Penyangraian Secara Tradisional [3]

Proses penyangraian dengan menggunakan mesin penyangrai kopi memiliki kriteria atau tahapan-tahapan pengembangan biji kopi yang dinamakan *progression of roast* (progresi penyangraian). Progresi ini menjelaskan apa saja yang terjadi ketika biji kopi mulai dimasukkan untuk disangrai hingga akhirnya akan selesai disangrai. Dalam buku Scott Rao, progresi ini disajikan dalam bentuk grafik, yaitu grafik S (*S-Curve*). Grafik S ini merupakan representasi standar dari progresi biji kopi saat penyangraian dengan mengukur temperatur dari biji kopi menggunakan pembacaan *probe*. Namun, kesesuaian dari grafik ini bisa saja berubah tergantung penempatan dan juga keakuratan dari *probe* itu sendiri [4].



Gambar 5. Grafik S (*S-Curve*) [3]

Progresi ini juga merepresentasikan bagaimana perubahan fisik atau tahapan yang terjadi pada biji kopi saat penyangraian. Tahapan dimulai ketika biji kopi dimasukkan ke dalam drum hingga proses pendinginan biji kopi setelah disangrai.

Tahapan pertama adalah fase dehidrasi atau fase pengeringan. Fase dehidrasi ini dimulai ketika biji kopi masuk ke dalam mesin penyangrai kopi. Sebelumnya, drum akan dipanaskan terlebih dahulu (*preheat*) agar panas yang disimpan pada drum maksimal sehingga proses penyangraian lebih baik dan lebih cepat. Pemanasan awal drum dilakukan karena pada proses dehidrasi atau pengeringan membutuhkan panas yang cukup besar. Panas dari drum ini akan diserap oleh biji kopi untuk menguapkan kandungan air yang ada di dalam biji kopi. Jika menggunakan indikator temperatur, fase dehidrasi dimulai sejak awal penyangraian hingga temperatur 140-150°C, jika menggunakan indikator warna fisik kopi, maka fase dehidrasi selesai ketika biji kopi berwarna putih kekuningan [5].



Gambar 6. Biji Kopi yang Mengalami Dehidrasi [5]

Pada fase dehidrasi, kandungan air pada biji kopi berkurang karena terjadi proses penguapan. Perbandingan ideal kadar air dari biji kopi basah (*green bean*) dengan kadar air biji kopi hasil penyangraian (*roasted bean*) adalah sekitar 2 : 1. Berarti, bila biji kopi basah memiliki kadar air awal sebesar 10-12%, maka kadar air ideal biji kopi hasil penyangraian adalah 6-7% [5].

Fase pertengahan (*nameless phase*) adalah fase di mana biji kopi berubah menjadi kecokelatan. Pada fase ini, terjadi reaksi Maillard, di mana biji kopi mengalami perubahan warna dan aroma [4]. Reaksi Maillard memegang peran penting dalam menghasilkan aroma dan rasa kopi. Biji kopi akan mulai mengembang dan sebelum terjadinya *first crack*, kulit tipis atau kulit ari akan mulai mengelupas. Kulit ari ini harus dikeluarkan dari dalam ruangan sangrai agar tidak terbakar dan memengaruhi rasa dari kopi yang disangrai. Kulit ari ini akan dikeluarkan dengan sistem aliran udara pada mesin roaster dengan bantuan *blower* atau *fan*. Proses ini bisa disebut proses karamelisasi, di mana komponen penyusun gula lepas, fruktosa pada temperatur 103°C, glukosa pada temperatur 146-150°C, dan sukrosa pada temperatur 186°C. Indikatornya, mulai dari temperatur 150°C sampai akhirnya terjadi *first crack* [5].

Fase *first crack* atau retakan pertama merupakan sebuah proses di mana biji kopi mengembang karena biji kopi tidak bisa lagi menyimpan panas sehingga terjadi *crack* pada bagian tengah biji kopi. Fase ini biasanya ditandai dengan bunyi kacang pecah dan juga biasanya terjadi pada temperatur 165-190°C [5]. Ketika fase ini terjadi biji kopi akan mengeluarkan aroma gula dan warnanya akan berubah menjadi kecokelatan. Biji kopi yang telah melewati fase ini (akhir fase *first crack*) sudah bisa dikonsumsi dengan kategori biji kopi *medium roast* dengan karakter rasa yang asam.



Gambar 7. Biji Kopi yang Telah Mengalami Fase *First Crack* [5]

Fase selanjutnya adalah fase *development* biji kopi. Proses ini merupakan proses penting karena akan berpengaruh kepada rasa, warna dan kematangan pada biji kopi yang disangrai. Proses ini terjadi 2-4 menit setelah fase *first crack* atau biasanya ketika suara *first crack* sudah tidak terdengar lagi. Pada fase ini, biji kopi akan mengeluarkan aroma dan rasa kopi yang utuh, namun tujuan sebenarnya dari fase ini adalah untuk memunculkan karakteristik ideal dari biji kopi itu sendiri. Karakteristik ini sebenarnya adalah tingkat keasaman, kepahitan (*body*), ataupun manisnya. Caranya adalah dengan menggunakan variasi temperatur dan waktu penyangraian. Pada fase ini operator penyangraian akan menentukan warna akhir dari biji kopi dan derajat penyangraiannya (*light, medium, atau dark roast*).

Fase selanjutnya adalah fase *second crack* di mana biji kopi akan mengembang sekali lagi namun dengan suara letupan yang tidak sekeras fase *first crack*. Jika biji kopi sampai pada fase ini, minyak alami pada biji kopi akan keluar ke permukaan. Fase ini akan mengurangi karakter unik yang dihasilkan, biasanya akan timbul rasa *smokey* atau gosong pada saat diseduh [3].

Fase terakhir dalam proses penyangraian adalah proses pendinginan (*cooldown*). Biji kopi yang sudah selesai disangrai akan didinginkan pada *cooling tray* pada mesin penyangrai. Biji kopi akan mencapai temperatur ruang sekitar 3 menit setelah keluar dari drum.



Gambar 8. Proses Pendinginan Biji Kopi pada *Cooling Tray* [5]

Warna kopi yang dihasilkan memiliki kriterianya masing-masing, mulai dari *light roast* hingga *dark roast*. Warna kopi yang dihasilkan ini dijadikan sebagai ukuran kematangan biji kopi saat proses penyangraian. Berikut adalah beberapa warna kopi yang biasa disebut dengan derajat penyangraian.

Light Roast (Cinnamon Roast)

Light Roast dihasilkan pada saat biji kopi mengalami *first crack*. Pada tahap ini biji kopi bisa dikonsumsi, namun akan memiliki rasa yang sangat asam, *peanutty*, dan rasa pahit yang kurang keluar. Rasanya akan seperti kurang matang atau tingkat kematangannya kurang maksimal [4].



Gambar 9. *Light Roast/Cinnamon Roast* [6]

Medium Roast/City

Medium roast dihasilkan pada saat akhir atau saat berlangsungnya *first crack*. Warnanya lebih gelap dari biji kopi *light roast*, cenderung lebih kecokelatan. Rasa yang dihasilkan masih dominan asam, rasa “*body*” kurang keluar, mengeluarkan aroma buah-buahan, sedikit rasa karamel.

Karakter kopi sudah keluar pada tahap ini sehingga kopi *city* ini bisa digunakan untuk kopi *single origin* [4].



Gambar 10. *Medium Roast/City Roast* [4]

Full City

Full city terjadi sebelum terdengar suara *second crack*. Biji kopi akan berubah menjadi lebih gelap dari kematangan *city*. Permukaan kopi mengeluarkan sedikit minyak. *Full city* adalah kematangan yang paling banyak diminati oleh konsumen karena memiliki rasa yang *balanced* antara “*body*” dan juga keasamannya [4].



Gambar 11. *Full City Roast* [4]

Dark Roast/Viennese

Viennese atau *dark roast* terjadi saat biji kopi mengalami proses *second crack*. Perusahaan Starbucks menggunakan biji kopi dengan tingkat kematangan ini. Rasa yang dihasilkan karamel dan rasa *body* yang dominan dibandingkan rasa asamnya [4].



Gambar 12. *Dark Roast/Viennese Roast* [4]

French Roast

French Roast terjadi saat *second crack* berakhir dan menghasilkan permukaan berminyak cenderung membuat permukaan kopi mengkilap. Karena biji kopi semakin hitam, maka rasa unik dari biji kopi mulai menghilang atau sulit ditemukan. Rasa yang dihasilkan cenderung pahit, *smokey*, dan terdapat sedikit rasa gosong [4].



Gambar 13. *French Roast* [6]

Italian Roast

Italian Roast terjadi pada beberapa menit setelah *second crack*. Warna biji kopi sangat hitam dan pada titik ini biji kopi penyangraian bisa dikatakan mengalami kegosongan. Namun, di negara Italia jenis kematangan ini sangat populer karena beberapa dari mereka menyukai rasa biji kopi

yang kuat dan *after taste* yang panjang. Rasa yang dihasilkan adalah rasa *body* yang kuat, rasa gosong, dan smokey yang kuat [4].



Gambar 14. *Italian Roast* [6]

3. Mesin Penyangrai Kopi

Mesin penyangrai kopi (*Roasting Coffee Machine*) merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk menyangrai biji kopi. Mesin ini akan memindahkan panas drum ke biji kopi dengan cara konduksi, konveksi atau radiasi. Penggunaan mesin ini akan lebih efektif dibandingkan dengan penyangraian secara tradisional menggunakan wajan. Penyangraian menggunakan mesin penyangrai dapat membuat tingkat kematangan biji kopi lebih merata serta dapat membuat rasa kopi lebih berkarakter dibandingkan penyangraian dengan menggunakan wajan.

Kapasitasnya mesin ini pun bermacam-macam, mulai dari kapasitas 125 gram hingga lebih dari 60 kilogram. Mesin penyangrai dengan kapasitas satu kilogram hingga lima kilogram biasa digunakan untuk produsen biji kopi menengah ke bawah, baik kedai kopi ataupun penjual biji kopi jadi. Sementara untuk mesin penyangrai kopi lebih dari lima kilogram biasanya digunakan pada produsen skala industri atau *industrial roaster* di mana membutuhkan kuantitas produksi yang lebih besar.

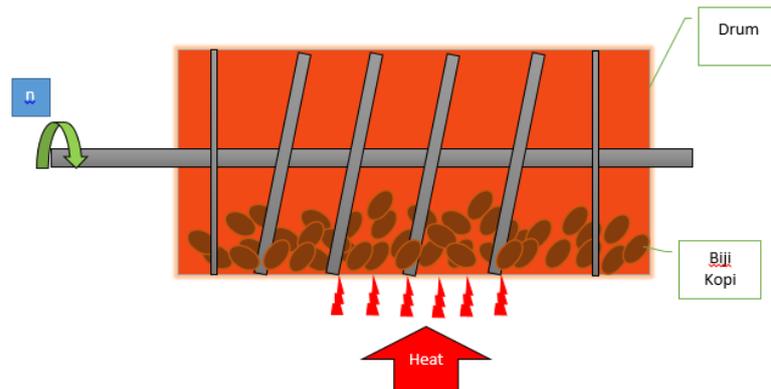
Jenis-jenis Mesin Penyangrai kopi

Adapun beberapa jenis mesin penyangrai kopi yang sering digunakan untuk kebutuhan komersial sebagai berikut [4].

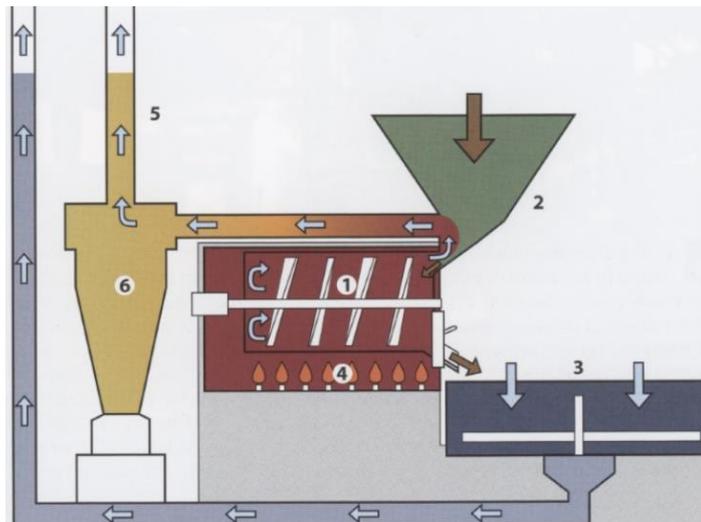
Classic Drum Roaster

Mesin ini adalah mesin penyangrai yang paling banyak digunakan. Mesin ini juga disebut sebagai mesin penyangrai yang paling tradisional. Penyangraian pada mesin ini dilakukan di dalam sebuah drum yang berputar. Drum ini biasanya dibuat dari bahan

stainless steel atau juga *cast iron*. Pemanas atau api untuk penyangraian berada dibagian bawah dari drum sehingga mesin ini mentransfer panas secara konduksi (60%). Konduksi terjadi ketika api dinyalakan dan menyentuh drum lalu panasnya akan merambat ke seluruh permukaan drum. Putaran drum akan mengaduk biji kopi bersamaan dengan biji kopi yang menyerap panas secara konduksi di mana biji kopi kontak langsung dengan drum panas dan juga secara konveksi melalui udara panas yang mengalir dalam drum penyangrai [4].



Gambar 15. Skema Perpindahan Panas Konduksi pada *Classic Drum Roaster*



Gambar 16. Skema Penyangraian pada Mesin *Classic Drum Roaster* [5]

Biji kopi akan masuk ke dalam drum melalui *hopper*. Di dalam drum panas, biji kopi akan disangrai. Sebelum mencapai *first crack*, katup *airflow* dibuka untuk membuang kulit kering yang dihasilkan oleh biji kopi yang mengembang. Setelah matang biji kopi akan didinginkan pada *cooling tray*.

Keunggulan dari mesin ini adalah memberikan perpindahan panas secara konduktif, terutama pada menit pertama penyangraian (fase dehidrasi dan fase penguningan) [4], lebih

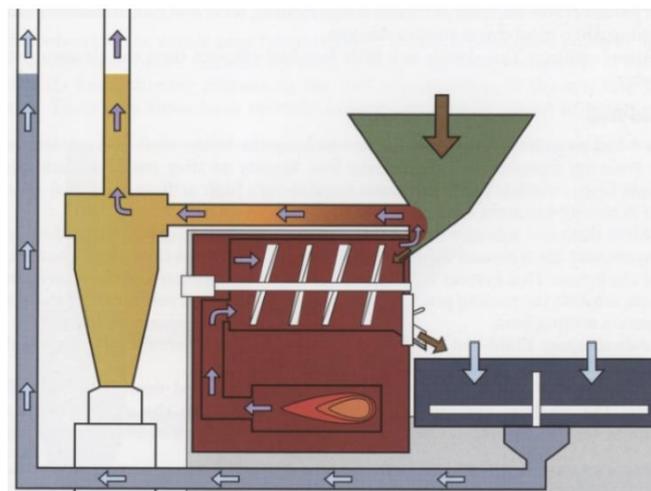
mudah mengontrol kematangan kopi, dan kemampuan dalam mengembangkan rasa akhir kopi lebih baik dari mesin-mesin lainnya [5].

Keterbatasan dari mesin ini adalah kemungkinan terjadi kegosongan lebih besar dibandingkan mesin-mesin penyangrai lainnya. Hal ini dikarenakan sumber panas yang kontak langsung dengan drum dapat membuat temperatur di dalam drum terlalu panas. Apalagi apabila putaran drum pada mesin penyangrai tidak sesuai dengan kapasitas dari mesin penyangrai itu sendiri. Sehingga, operator harus lebih mahir dalam mengatur temperatur dan *airflow* yang digunakan.

Indirectly Heated Drum

Mesin ini sebenarnya sama dengan *classic drum roaster*, yang berbeda hanyalah cara pengapian atau cara pemberian panasnya. Mesin ini tidak mentransfer panas secara langsung atau *direct* ke permukaan drum, melainkan memanfaatkan udara panas dari burner. Sehingga, penyangraian dengan mesin ini dapat mengurangi tingkat kegosongan pada biji kopi. Umumnya, mesin ini digunakan untuk kebutuhan industrial atau untuk perusahaan biji kopi dengan produksi skala besar. Alasannya adalah mesin ini dapat mempertahankan profil dari biji kopi sehingga tidak akan terjadi perbedaan profil dari setiap *batch*-nya.

Penyangraian dilakukan dengan *burner* yang memanaskan ruangan drum secara konveksi bebas atau konveksi paksa. Pada konveksi paksa, burner akan memanaskan udara dari *blower*. Udara panas ini akan masuk ke dalam drum penyangrai dan menaikkan temperatur drum penyangrai. Berbeda dengan *Classic Drum Roaster*, biji kopi menerima panas dari bagian dalam biji kopi ke bagian permukaan biji kopi.



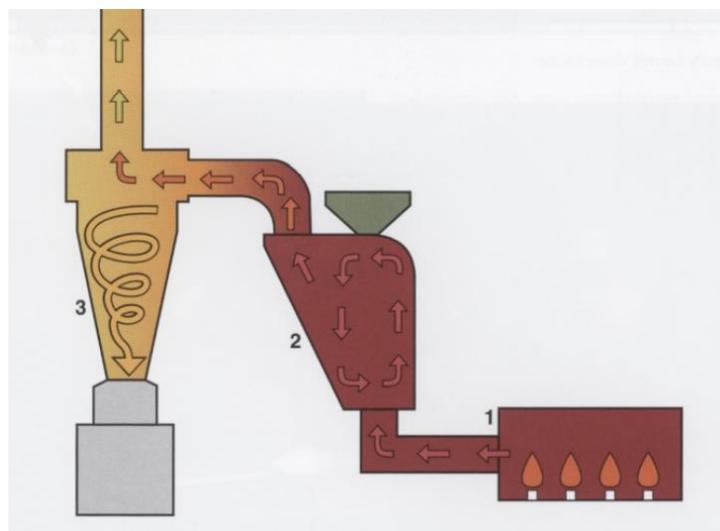
Gambar 17. Skema Penyangraian dengan Mesin *Indirectly Heated Drum* [4]

Keunggulan dari mesin ini adalah minim terjadi kekosongan atau *defect* pada biji kopi yang dihasilkan karena pemberian panas tidak menempel langsung (*direct*) dengan drumnya. Selain itu, profil biji kopi yang dihasilkan juga lebih *balance* atau sama tiap penyangraian.

Keterbatasan dari mesin ini adalah operator akan lebih sulit dalam mengembangkan rasa biji kopi. Hal ini karena saat proses *development* biji kopi, diperlukan kenaikan temperatur yang baik setiap menitnya. Mesin ini kurang mampu menaikkan temperatur dengan rentang waktu yang cukup singkat (setiap menit) sehingga sangat sulit bagi operator dalam mengembangkan biji kopinya [5].

Hot air roaster / Fluid-bed roaster

Berbeda dengan dua jenis mesin di atas, mesin ini menggunakan aliran udara tinggi untuk mengaduk biji kopi yang sedang disangrai bukan dengan menggunakan drum yang berputar. Sistem pengapiannya sama dengan mesin *indirectly heated drum* atau *semi hot air roaster*, di mana sumber panas dilewati oleh udara yang akan masuk ke dalam ruangan sangrai [4]. Udara panas yang dialirkan ke dalam ruangan sangrai, atau dalam hal ini adalah *fluid bed*, memiliki kecepatan yang lebih tinggi dari jenis mesin *Indirect Heated Roaster*. Pada mesin ini, biji kopi diaduk dengan menggunakan udara panas yang dialirkan ke dalam ruangan sangrai.



Gambar 18. Skema Penyangraian Mesin *Fluid Bed/Hot Air Roaster* [4]

Keunggulan dari mesin ini kurang lebih sama dengan mesin *semi hot air*, yaitu profil yang lebih *balance* sehingga banyak digunakan pada industri kopi. Selain itu, rendahnya kemungkinan gosong pada permukaan biji kopi [4].

Keterbatasannya mesin ini adalah jika pengaturan udara terlalu berlebihan akan merusak citarasa dari biji kopi yang disangrai [4]. Jika biji kopi yang disangrai berbeda

ukurannya, maka biji kopi yang lebih kecil akan memiliki hasil yang berbeda dari biji kopin yang ukurannya lebih besar. Selain itu, saat biji kopi telah mengalami pengurangan berat atau sudah mulai kering, maka diperlukan beberapa penyesuaian dari pasokan udara yang masuk [3].

Jenis-jenis mesin di atas memiliki keunggulan dan keterbatasannya masing-masing, terutama pada dua jenis mesin penyangrai yang paling sering digunakan, yaitu *Classic Drum Roaster* dan *Indirect Heated Roaster*. Kriteria pemilihan jenis mesin didasari dengan kemampuan mesin dalam mengembangkan karakter rasa kopi. Kemampuan mesin dalam mengembangkan karakter kopi sangat dibutuhkan agar dapat menghasilkan rasa kopi yang unik dan berkarakter. Selain itu, ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan penulis dalam memilih mesin yang akan dirancang. Parameter-parameter ini di ambil dari buku beberapa ahli bidang kopi, seperti Scott Rao, Len Brault, dan Eris Susandi. Beberapa pertimbangan ini disajikan pada tabel performansi di bawah ini.

Tabel 2. Tabel Performansi Mesin Penyangrai

No	Parameter Performansi	Jenis Roaster	
		<i>Classic Drum Roaster (Direct Heated Roaster)</i>	<i>Hot Air Roaster (Indirect Heated Roaster)</i>
1	Minim <i>Deffect</i> (Kegosongan)	x	✓
2	Kemudahan Mengontrol Kualitas Kopi	✓	x
3	Kemampuan untuk Mengembangkan Kopi	✓	x
4	Kemudahan Operasi	x	✓
5	Kontrol Panas <i>Heater</i>	✓	✓
6	Efisiensi Bahan Bakar	✓	x
7	Kontrol <i>Airflow</i>	✓	x

Mesin penyangrai jenis *Classic Drum Roaster* memiliki kemampuan dalam mengontrol kualitas kopi saat penyangraian. Kontrol kualitas yang dimaksud, yaitu progresi penyangraian secara fisik dapat terlihat lebih jelas dibandingkan dengan menggunakan *Hot Air Roaster*. Kemampuan untuk mengembangkan kopi yang dimaksud adalah kemampuan dalam mengembangkan karakter kopi yang lebih kompleks dibandingkan dengan *Hot Air Roaster*. Bahan bakar yang dipakai pun lebih efisien pada jenis mesin ini karena dikonversikan menjadi energi panas yang lebih optimal dengan menggunakan metode konduksi yang secara langsung memanaskan bagian drum, sementara pada *Hot Air Roaster* memiliki rugi-rugi panas yang cukup banyak. Kontrol *airflow* pun lebih baik karena tidak terlalu memengaruhi temperatur di dalam ruangan sangrai, sementara pada *Hot Air Roaster* apabila *airflow* dibuka, temperatur di dalam ruangan sangrai cenderung turun lebih banyak dibandingkan dengan pada mesin *Classic Drum Roaster*.

Bagian-Bagian Mesin Penyangrai Kopi

Mesin penyangrai kopi terdiri dari beberapa bagian. Berikut merupakan beberapa bagian mesin penyangrai kopi modern yang banyak digunakan [5].

Hopper

Hopper adalah komponen mesin penyangrai yang berbentuk corong untuk memasukkan biji kopi ke dalam drum penyangrai. Pada bagian ujung bawah *hopper* ini terdapat tuas yang dapat dibuka tutup. Fungsinya adalah untuk memasukkan biji kopi yang akan disangrai ke dalam drum. Dalam beberapa mesin, *hopper* dapat juga digunakan untuk saluran *airflow* [5].



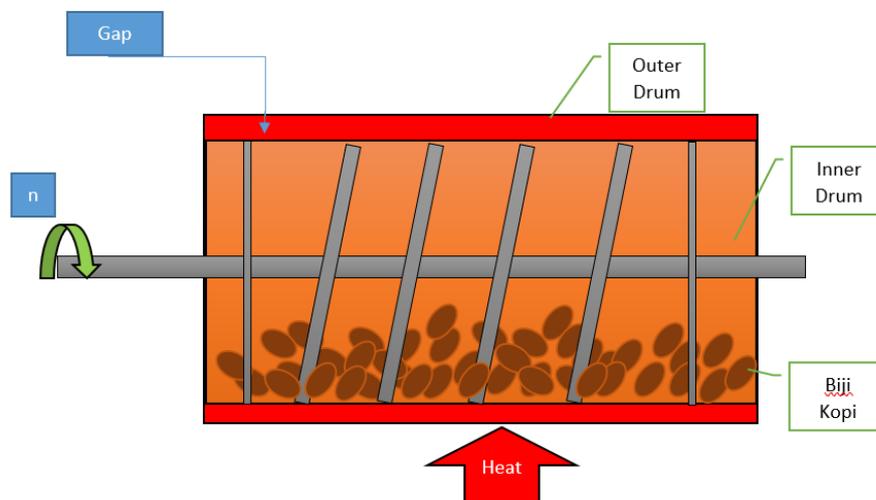
Gambar 19. Hopper [5]

Drum Roaster

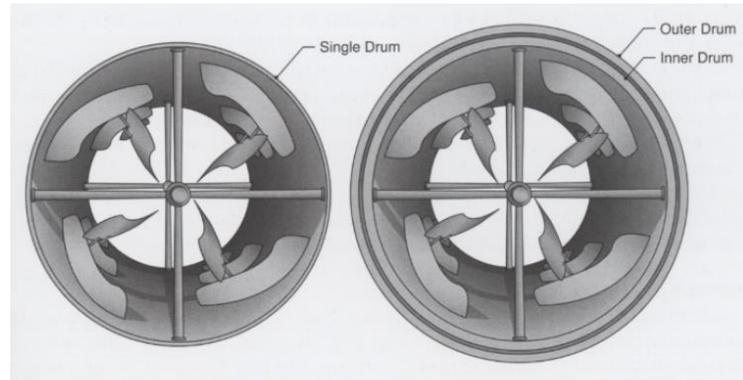
Drum *roaster* adalah bagian yang sangat penting pada mesin ini. Drum ini merupakan tempat di mana biji kopi akan disangrai. Ukuran dari drum ini disesuaikan dengan kapasitas maksimum yang dapat ditampung tergantung kebutuhannya. Sebagian mesin penyangrai masih menggunakan drum yang diputar dengan motor listrik. Tujuannya adalah untuk memastikan biji kopi matang dengan merata [3]. Menurut Scott Rao, hasil sangrai yang terbaik dihasilkan pada 50-70% dari kapasitas maksimum drum tersebut [4].

Material drum yang banyak digunakan adalah *stainless steel* dan *cast iron*. Material ini memiliki keunggulan dan juga keterbatasannya masing-masing yang bergantung pada metode perpindahan panas yang diaplikasikan. Sebagai contoh, bila drum dengan material *stainless steel* menggunakan metode perpindahan panas secara konduksi, maka kemungkinan terjadi kecacatan atau kegosongan akan makin tinggi [4], namun material ini adalah material yang paling banyak dipakai (terutama pada mesin penyangrai buatan lokal) karena bahan yang mudah didapat dan jauh lebih murah dari material *cast iron*.

Desain drum ini juga berbeda-beda, mulai dari ketebalan, dimensinya dan juga bentuk desainnya. Ada dua desain yang paling sering digunakan, yaitu drum berdinding tunggal (*single walled drum*) dan drum berdinding ganda (*double walled drum*). Drum berdinding tunggal dengan material *stainless steel* mulai ditinggalkan oleh produsen mesin penyangrai luar negeri dan beralih ke material *cast iron* atau *mild steel*. Contohnya adalah produsen mesin penyangrai kopi *San Fransiscan* menggunakan drum berdinding tunggal dengan menggunakan *mild steel* karena memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dari *stainless steel* sehingga tidak diperlukan drum berdinding ganda untuk mengimbangnya [7]. Material *stainless steel* sekarang digunakan pada drum berdinding ganda. Drum berdinding ganda ini memiliki celah yang memisahkan dinding drum yang kontak langsung dengan api dan dinding drum biji kopi disangrai. Dinding bagian luar kontak secara langsung dengan api dan memanaskan drum, sementara pada bagian dalam drum temperaturnya lebih rendah. Karena dinding drum tidak kontak langsung dengan biji kopi, maka kegosongan seperti *scorching*, *tipping*, dan *facing* akan dapat terhindari [4]. Selain itu, desain drum ganda ini juga dapat mencegah perbedaan warna dari biji kopi yang dihasilkan dan juga dapat membuat proses penyangraian lebih stabil. Drum berdinding ganda juga akan membuat profil kopi yang dihasilkan sama (variabel yang dihasilkan sama) [8].



Gambar 20. Skema Perpindahan Panas *Double Walled Drum*

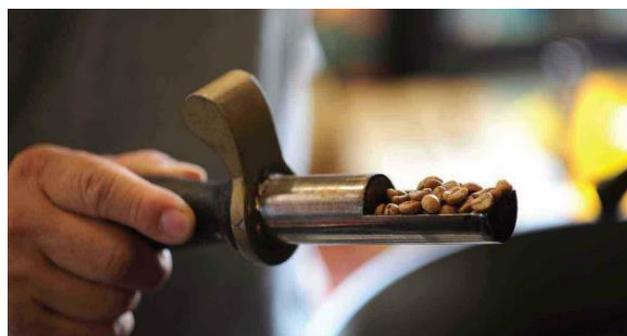


Gambar 21. *Single Walled Drum* (Kiri) dan *Double Walled Drum* (Kanan) [4]

Drum *roaster* dilengkapi penutup dengan kaca tahan panas yang berfungsi untuk melihat perubahan warna yang terjadi saat proses penyangraian. Selain itu, terdapat sebuah alat yang berfungsi sebagai pengambil *sample* dari hasil biji kopi yang disebut dengan *sampler*. *Sampler* ini terbuat dari bahan *stainless steel* dengan gagang yang terbuat dari kayu. Dengan alat ini, operator *roasting* dapat melihat kematangan, warna, dan mencium aroma yang dihasilkan kopi pada setiap fasenya [5].



Gambar 22. Jendela Kaca Tahan Panas [5]

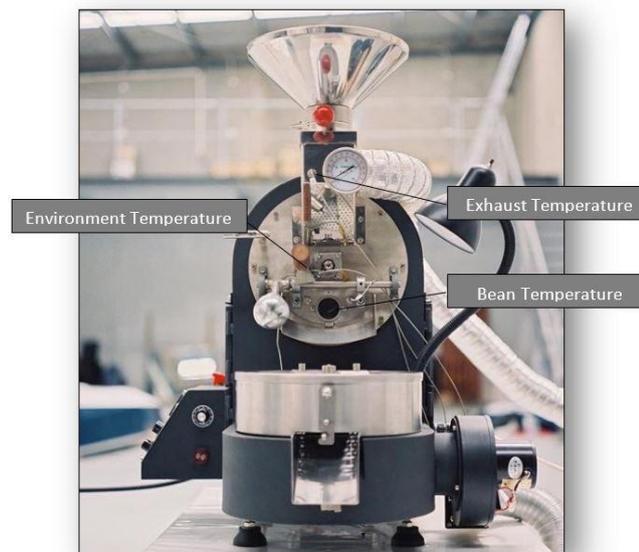


Gambar 23. *Sampler* [3]

Indikator Temperatur

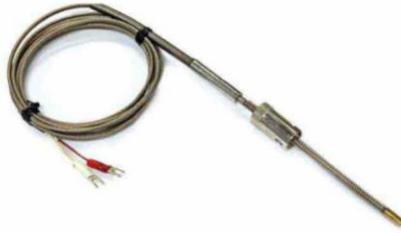
Indikator temperatur ini biasanya terletak di panel mesin penyangrai kopi. Indikator ini berupa sebuah termokopel yang dipasang di dalam drum untuk mengetahui temperatur pada ruangan sangrai. Terdapat dua sampai tiga indikator temperatur pada mesin penyangrai kopi.

Tiap indikator ini memiliki fungsi yang berbeda. Indikator ET atau *environment temperature* berfungsi untuk mengukur temperatur pada ruangan sangrai dan memantau berapa banyak panas yang dipindahkan melalui konveksi. Posisinya ada pada bagian tengah atau bagian atas dari drum. Indikator BT atau *bean temperature* berfungsi untuk mengukur temperatur biji kopi yang sedang disangrai untuk di plot kurva pemanggangannya dan memberi tahu tingkat kematangan dari biji kopi. Posisinya ada di bagian bawah *sampler* atau di bawah kaca tahan panas [5]. Indikator EXT atau *exhaust temperature* berfungsi untuk mengukur temperature *airflow* dan biasanya bersifat *optional* atau tidak wajib ada pada mesin penyangrai kopi. Posisinya berada pada bagian bawah *hopper* atau pada bagian tempat masuknya *airflow* [9].



Gambar 24 Posisi Probe Termokopel pada Mesin Penyangrai Kopi [9]

Selain posisi *probe*, jenis *probe* yang digunakan pun sangat penting. Penggunaan RTD (*Resistance Temperature Detector*) pada mesin penyangrai sangatlah dianjurkan karena pembacaannya sangat akurat dan juga dilindungi oleh selubung *stainless steel*, namun harganya sangatlah mahal. Jenis *probe* yang banyak digunakan adalah termokopel. Termokopel memiliki keakuratan pembacaan yang sedikit kurang akurat dalam pembacaan temperatur, namun harganya lebih murah. RTD digunakan untuk mengukur temperatur biji kopi (BT), sementara termokopel digunakan untuk mengukur temperatur ruang sangrai (ET) [3].



Gambar 25 Probe Termokopel [3]

Pengapian

Pengapian merupakan sumber panas yang digunakan untuk menyangrai biji kopi pada mesin penyangrai kopi. Jenisnya bermacam-macam, mulai dari *gas burner*, *jet flame*, inframerah, ataupun pemanas elektrik (*electric heater*) [5]. *Gas burner* dan juga *jet flame* menggunakan bahan bakar gas LPG, sementara untuk inframerah dan pemanas elektrik menggunakan listrik.



Gambar 26 Gas Burner [4]

Airflow

Fungsi utama dari *airflow* adalah untuk mengatur udara, temperatur dan juga untuk mengeluarkan kulit ari (*silver skin*) dari dalam ruangan sangrai. Kulit ari ini akan ditampung pada *cyclone*. *Airflow* pada mesin penyangrai kopi terletak pada bagian atas drum maupun di belakang drum. *Airflow* masuk dari sebuah ventilasi pada bagian paling bawah *hooper*. Ventilasi ini dapat diatur bukaannya dengan menggunakan tuas [5].

Waktu untuk membuka tuas *airflow* adalah pada saat proses *development* atau pengembangan rasa kopi. Udara bersih yang dialirkan ke dalam drum akan menghantarkan panas ke biji kopi sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi. Biji kopi yang memasuki proses *development* akan mengeluarkan panas dan juga menghasilkan kulit ari. Kulit ari yang tidak dikeluarkan dari drum akan merusak rasa kopi, di mana kopi yang dihasilkan akan memiliki rasa gosong saat diminum [4].



Gambar 27 Saluran dan Tuas *Airflow* [5]

Motor Listrik

Motor listrik pada mesin penyangrai kopi berfungsi untuk memutar drum. Putaran drum akan mengaduk biji kopi dalam drum sangrai. Pengaturan drum ini harus dapat membuat biji kopi teraduk dengan baik saat proses penyangraian, untuk meminimalkan terjadinya kegosongan dan kematangan yang tidak merata pada biji kopi [1]. Beberapa mesin memiliki *variable speed* yang dapat diatur kecepatannya. Namun, tidak dianjurkan untuk merubah kecepatan drum saat menyangrai karena akan membuat hasil biji kopi menjadi belang-belang [5]. Berikut merupakan rekomendasi putaran drum berdasarkan dengan kapasitas drum penyangrainya. [4]

Tabel 3. Rekomendasi Putaran Drum Berdasarkan Kapasitas Maksimum Drum

No	Kapasitas Maksimum	RPM
1	1 – 2 kg	70 – 80 RPM
2	5 – 12 kg	52 – 54 RPM
3	15 – 22 kg	50 – 52 RPM
4	30 – 45	48 – 50 RPM
5	60 kg	40 – 44 RPM

Source: Scott Rao, 2014

Cooling Bin

Cooling Bin adalah bagian mesin penyangrai yang berfungsi sebagai tempat biji kopi melakukan proses *resting*. Bagian ini berbentuk bulat dan memiliki bagian bawah yang berlubang. Biji kopi akan didinginkan dengan sebuah kipas dan diputar dengan sebuah agitator. Kipas ini berfungsi untuk mengisap panas yang dihasilkan biji kopi setelah proses

penyangraian, sementara agitator berfungsi untuk meratakan biji kopi agar proses *resting* merata [5]. Pendinginan yang cepat ini bertujuan untuk mencegah adanya *baked flavor* dan mencegah biji kopi kehilangan rasa manisnya [4].



Gambar 28 Biji Kopi yang Didinginkan di *Cooling Bin* [5]

4. Cacat Biji Kopi saat Penyangraian

Cacat biji kopi merupakan hasil dari proses penyangraian yang kurang baik. Cacat biji kopi ini kebanyakan berupa kegosongan pada biji kopi. Berikut adalah cacat pada biji kopi yang sering terjadi.

Tipping

Tipping adalah kegosongan pada biji kopi yang membentuk sebuah titik atau bintik gosong pada permukaan biji kopi. Kegosongan ini diakibatkan oleh temperatur drum yang terlalu panas. Kegosongan ini ditandai dengan adanya retakan pada biji kopi, proses *first crack* terjadi lebih cepat dan disusul oleh adanya bunyi retakan atau *crack* yang cepat, keras, dan beruntun. Biasanya, kegosongan ini terjadi setelah proses pengeringan [5]. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan kecacatan ini adalah densitas dari jenis kopi yang disangrai tidak mampu untuk menyerap panas yang ada di dalam ruangan sangrai [10].



Gambar 29 *Tipping* [11]

Scorching

Scorching merupakan kegosongan biji kopi di beberapa bagian permukaannya. Kegosongan ini diakibatkan oleh biji kopi yang dimasukkan ke dalam drum terlalu banyak sehingga biji kopi yang terlalu padat menyebabkan biji kopi tidak teraduk dengan baik dan kontak dengan dinding drum lebih lama. Penyebab lainnya adalah putaran drum yang terlalu lambat atau temperatur drum terlalu tinggi. Cara mengatasinya adalah dengan menurunkan temperatur, menaikkan putaran drum, atau dengan mengurangi jumlah biji kopi yang disangrai sebesar 80% dari kapasitas maksimumnya [5].



Gambar 30 *Scorching* [11]

Overdevelopment

Overdevelopment adalah biji kopi yang memiliki permukaan yang lebih gelap, bahkan cenderung menjadi hitam dan juga memiliki permukaan yang mengkilap (*oily*) [12]. Ada beberapa perdebatan apakah *overdevelopment* ini dikategorikan sebagai sebuah kegosongan atau tidak. Alasannya adalah tingkat kematangan dari *Italian Roast* memiliki karakter yang serupa, yaitu warna cenderung hitam dan memiliki rasa yang pahit, *smokey*, dan juga *after taste* yang kurang nyaman. Maka dari itu, *overdevelopment* dikatakan sebagai kegosongan apabila biji kopi yang disangrai melebihi tingkat kematangan yang diinginkan. Misalnya biji kopi yang akan disangrai *Full City* namun memiliki karakter dari *Italian Roast* atau *Overdevelopment* [13].



Gambar 31 *Overdevelopment* [12]

Persentasi cacat biji kopi yang terjadi pada proses penyangraian cukup besar. Contohnya dalam hasil observasi Cipta Mahardika di Panna *Coffee* pada tahun 2018 di mana persentasi cacat biji kopi disajikan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. Tabel Persentasi Cacat Biji Kopi di Panna *Coffee* Tahun 2018

Tanggal	Jenis Kopi	Jumlah Produksi	Jumlah Produk Cacat	Jumlah Produk Cacat	Persentase
02/07/2018	Arabika Blend	3 kg	120 gram	Hitam atau gosong (4%)	10,70%
			110 gram	Hitam Pecah (3,7%)	
			90 gram	Gelondong (3%)	
03/07/2018	Arabika Blend		175 gram	Hitam atau gosong (5,83%)	12%
			105 gram	Hitam Pecah (3,5%)	
			80 gram	Gelondong (2,67%)	
04/07/2018	Arabika Blend		160 gram	Hitam atau gosong (5,33%)	13,33%
			200 gram	Hitam Pecah (6,66%)	
			40 gram	Gelondong (1,34%)	
05/07/2018	Flores Arabika	210 gram	Hitam atau gosong (7%)	13,67%	
		150 gram	Hitam Pecah (5%)		
		50 gram	Gelondong (1,67%)		
06/07/2018	Flores Arabika	215 gram	Hitam atau gosong (7,17%)	14,28%	
		148 gram	Hitam Pecah (4,94%)		
		65 gram	Gelondong (2,17%)		
07/07/2018	Toraja Arabika	120 gram	Hitam atau gosong (4%)	7,17%	
		95 gram	Hitam Pecah (3,17%)		
08/07/2018	Toraja Arabika	135 gram	Hitam atau gosong (4,5%)	9,31%	
		145 gram	Hitam Pecah (4,84%)		
Rata-rata					11,50%

Sumber: Cipta Mahardika Gisia Panghestu, 2018 [14]

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa cacat yang terjadi adalah 11,50% selama tujuh hari observasi. Cacat yang terjadi antara lain hitam atau gosong, hitam pecah, dan gelondong. Biji kopi yang hitam, baik yang gosong atau hitam pecah memiliki persentase rata-rata sebesar 9,96%. [14].

5. *Food Grade Material*

Food grade atau *food safe* adalah kondisi atau upaya yang diperlukan untuk mencegah pangan dari pencemaran biologis, kimia, dan benda lain yang dapat membahayakan kesehatan manusia [15]. Sementara *food grade material* adalah material yang aman untuk dikonsumsi atau yang aman kontak dengan produk makanan. Menurut FDA (*Food & Drug Administration*) ada beberapa material yang aman untuk makanan, terutama untuk pengolahan makanan seperti *stainless steel*, *cast iron*, dan *ceramic* [16].

Untuk pengolahan makanan, ada beberapa kriteria yang harus dimiliki oleh sebuah material, yaitu [16]

- Aman
- Tahan lama
- Tahan korosi
- Tidak menyerap
- Memiliki ketebalan dan berat yang cukup
- Dilakukan *surface finish* yang halus dan mudah dibersihkan
- Tahan terhadap *pitting*, *chipping*, *crazing*, *scratching*, *scoring*, distorsi, dan dekomposisi.

Stainless steel merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam industri pengolahan pangan. *Stainless steel* adalah sebuah baja paduan yang mengandung 10,5% kromium dari beratnya. Baja paduan ini memiliki sifat tahan korosi karena kandungan kromium di dalamnya. Kandungan kromium ini membuat sebuah lapisan oksida kromium pasif yang terbentuk pada permukaannya. Lapisan ini melindungi permukaan yang tergores agar tidak berkarat atau teroksidasi karena terdapat lapisan kromium oksida pasif yang teroksidasi di udara [17].

Stainless steel dibagi menjadi tiga kelas, berdasarkan struktur mikronya, yaitu martensitik, feritik, dan austenitik. *Stainless steel* martensitik dapat diberi perlakuan panas sedemikian rupa, berbeda dengan *stainless steel* feritik dan austenitik yang hanya bisa dikeraskan dengan pengerjaan dingin. *Stainless steel* martensitik dan feritik bersifat magnetik sementara austenitik merupakan *stainless steel* dengan ketahanan korosi yang paling baik karena mengandung kromium yang lebih banyak dan juga penambahan nikel [18].

Selain tahan terhadap korosi, keunggulan *stainless steel* antara lain adalah tahan terhadap temperatur tinggi dan rendah, kemudahannya dalam proses fabrikasi atau manufaktur, nilai kekerasan dan kekuatan yang baik, mempunyai daya tarik estetika, higienis, dan mudah didaur ulang. Selain itu, penggunaan *stainless steel* tidak memberi rasa atau warna pada bahan makanan dan minuman dan dapat mempertahankan kualitas dari bahan pangan yang ditangani [19]. *Stainless steel* jenis ini

merupakan klasifikasi *stainless steel* austenitik dengan tipe 300. Salah satunya adalah tipe 304 di mana memiliki kandungan kromium dan nikel yang lebih banyak dibandingkan tipe 200 dan 300 lainnya sehingga memiliki sifat material ketahanan korosi yang lebih baik dari tipe *stainless steel* lainnya [17]. Secara keseluruhan, sifat *stainless steel* memiliki kriteria material *food grade* yang baik dan sesuai dengan standar FDA dan FSMA (*Food Safety Modernization Act*).

6. Perancangan Elemen Mesin

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan elemen mesin yang ada pada mesin penyangrai meliputi motor penggerak, diameter poros, *pulley* dan *belt*, pasak, dan bantalan.

Motor Penggerak

Motor penggerak adalah sebuah motor yang digunakan untuk menggerakkan poros yang memiliki beban. Jika terdapat daya P (kW) dan putaran (rpm) yang ditransmisikan, maka ada pemeriksaan daya P . Apabila daya P adalah daya rata-rata motor, maka pembagian dengan efisien mekanis dari sistem transmisi untuk mendapatkan daya penggerak mula yang diperlukan. Jika P adalah daya nominal output dari motor penggerak, maka faktor keamanan akan diterapkan pada perancangan. Jika faktor koreksi adalah f_c yang disajikan pada Tabel 5, maka daya rencana dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [20].

$$P_d = f_c \cdot P \quad (1)$$

di mana,

P_d = Daya rencana (kW)

f_c = Faktor koreksi

P = Daya nominal (kW)

Tabel 5. Faktor-Faktor Koreksi Daya

Daya yang ditransmisikan	Faktor daya (f_c)
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2-2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8-1,2
Daya normal	1,0-1,5

Sumber: Sularso., dan Suga, Kiyokatsu, 2004 [20]

Perhitungan Diameter Poros

Poros merupakan bagian stasioner yang berputar dan memiliki bentuk penampang bulat untuk tempat pemasangan elemen-elemen mesin lainnya, seperti *pulley*, *flywheel*, engkol, *sprocket*

dan lain-lain. Poros berfungsi sebagai elemen mesin yang meneruskan transmisi daya dari satu tempat ke tempat lainnya. [20].

Daya Rencana

Perhitungan daya rencana apabila daya P harus ditransmisikan dalam putaran poros n_1 (rpm) dengan persamaan 2.8.

Momen Puntir Rencana

Jika momen puntir adalah T (N.mm), maka

$$P_d = \frac{\left(\frac{T}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2\pi n_1}{60}\right)}{1102} \quad (2)$$

sehingga,

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1} \times 9,81 \quad (3)$$

di mana,

T = Momen rencana (N.mm)

P_d = Daya rencana (kW)

n_1 = Putaran poros (rpm)

Tegangan Geser

Jika momen rencana atau momen puntir T dibebankan pada suatu diameter poros, maka tegangan geser τ yang terjadi adalah

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{Sf_1 \cdot Sf_2} \times 9,81 \quad (4)$$

di mana,

τ_a = Tegangan geser yang diijinkan (N/mm²)

σ_b = Kekuatan tarik (N/mm)

Sf_1 = Faktor keamanan 1

Sf_2 = Faktor keamanan 2

Perancangan Poros

Umumnya, poros meneruskan daya dari satu tempat ke tempat lainnya melalui sabuk, roda gigi, atau rantai. Poros dengan kondisi ini mengalami pembebanan kombinasi, yaitu beban lentur dan beban puntir [20]. Momen bending menyebabkan tegangan normal arah aksial poros dan torsi menyebabkan tegangan geser pada poros. Untuk menghitung tegangan

geser maksimum pada poros dengan pembebanan statis dapat menggunakan persamaan berikut [21].

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2} \quad (5)$$

di mana,

d = Diameter poros (mm)

τ_{\max} = Tegangan geser yang maksimum (N/mm²)

M = Momen bending (N.mm)

T = Momen puntir (N.mm)

Namun, kebanyakan poros mengalami pembebanan yang tidak konstan sehingga dibutuhkan parameter pembebanan fluktuatif agar tidak terjadi kegagalan pada poros. Perhitungan dengan parameter pembebanan fluktuatif ini merupakan perhitungan ASME, dengan faktor pembebanan yang disebut *The ASME Code for Design of Transmission Shafting* [21].

Faktor pembebanan yang terjadi pada poros juga dibutuhkan untuk menghitung diameter poros dengan metode ASME ini. Faktor pembebanan yang dibutuhkan adalah K_t atau faktor tumbukan dan K_m atau faktor momen lentur yang terjadi. Nilai K_t dan K_m disajikan pada tabel sebagai berikut [20].

Tabel 6. Tabel Faktor Pembebanan pada Poros

Jenis Pembebanan	K_t	K_m
Poros Tetap		
a. Beban Perlahan	1,0	1,0
b. Beban tiba-tiba	1,5 - 2,0	1,5 - 2,0
Poros yang berputar		
a. Beban tumbukan secara halus	1,0	1,5
b. Beban tumbukan / kejutan ringan	1,5 - 2,0	1,5 - 2,0
c. Beban tumbukan / kejutan berat	1,5 - 3,0	2,0 - 3,0

Sumber: Sularso., dan Suga, Kiyokatsu, 2004 [20]

Dengan penyesuaian ini, maka persamaan 5 menjadi

$$\tau_{max} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{(K_m M)^2 + (K_t T)^2} \quad (6)$$

Nilai τ_{max} harus lebih kecil dibandingkan tegangan geser yang diijinkan τ_a sehingga persamaan diameter poros adalah sebagai berikut [20].

$$d = \left(\frac{5,1}{\tau_a} \sqrt{(K_m M)^2 + (K_t T)^2} \right)^{1/3} \quad (7)$$

Perancangan *Pulley*

Pulley berfungsi sebagai penerus daya dan putaran dari sebuah sistem penggerak melalui sabuk atau *belt*. Putaran *pulley* secara akan menyebabkan gaya sentrifugal sehingga akan terjadi pengencangan pada sisi kencang (F1) dan sisi kendur (F2) [22].

Persamaan di bawah ini digunakan untuk mengetahui putaran dan diameter *pulley* yang digunakan [23].

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (8)$$

di mana,

n_1 = Putaran poros 1 (rpm)

n_2 = Putaran Poros 2 (rpm)

d_1 = Diameter *pulley* 1 (mm)

d_2 = Diameter *pulley* 2 (mm)

Perancangan *V-belt*

V-belt atau sabuk-V adalah pasangan dari *pulley* untuk meneruskan daya dan putaran dari motor penggerak. *V-belt* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan rantai, yaitu harganya relatif lebih murah, sedikit sekali mengeluarkan bunyi, juga *V-belt* akan menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah [22].

Kecepatan *V-belt*

Kecepatan *V-belt* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [20].

$$v = \frac{d_p \cdot n_1}{60 \times 1000} \quad (9)$$

di mana,

v = Kecepatan *pulley* (m/s)

d_p = Diameter *pulley* kecil (mm)

n_1 = Putaran *pulley* kecil (rpm)

Panjang Keliling Sabuk

Panjang keliling sabuk (L) diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [23].

$$L = 2C + \frac{\pi}{2(D_p + d_p)} + \frac{1}{4}C(D_p - d_p)^2 \quad (10)$$

di mana,

L = Panjang keliling sabuk (mm)

C = Jarak sumbu poros (mm)

d_p = Diameter *pulley* kecil (mm)

D_p = Diameter *pulley* besar (mm)

Besar Sudut Kontak V-belt dengan Pulley

Besar sudut kontak sabuk dengan *pulley* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [20].

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(D_p - d_p)}{C} \quad (11)$$

di mana,

θ = Sudut kontak

C = Jarak sumbu poros (mm)

d_p = Diameter *pulley* kecil (mm)

D_p = Diameter *pulley* besar (mm)

Gaya Tarik V-belt pada Poros

Gaya tarik yang dihasilkan V-belt pada poros merupakan jumlah dari gaya yang dihasilkan dari sisi tegang (*tension*) dan sisi kendur (*slack*) sabuk [24].

$$P = \frac{(F_1 - F_2)v}{75} \quad (12)$$

di mana,

T = Torsi (N.mm)

F_1 = Tegangan sisi tarik (N)

F_2 = Tegangan sisi kendur (N)

r = jari-jari *pulley* (mm)

Rasio Tegangan Belt

Rasio tegangan belt merupakan rasio antara tegangan yang terjadi pada sisi kencang (*tension*) dan sisi kendur (*slack*) pada sebuah belt. Rasio ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [24].

$$2,3 \log \frac{F_1}{F_2} = \mu \times \theta \quad (13)$$

di mana,

F_1 = Tegangan sisi tarik (N)

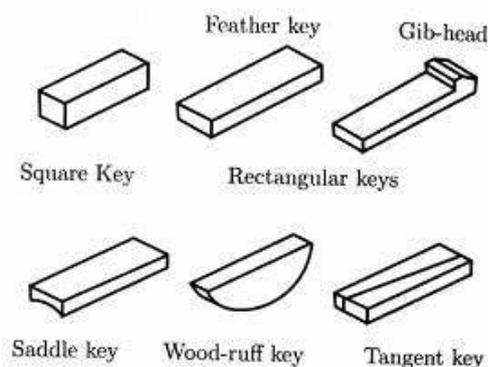
F_2 = Tegangan sisi kendur (N)

μ = Koefisien gesek *pulley* dan *belt*

θ = Sudut kontak (rad)

Perancangan Pasak

Pasak adalah sebuah elemen mesin yang fungsinya untuk menetapkan bagian mesin seperti roda gigi, *pulley*, kopling, dan lain-lain pada poros. Pasak akan mencegah gerakan relatif yang terjadi pada pasangan poros dan elemen mesin lainnya. Pasak dapat diklasifikasikan berdasarkan letaknya pada poros, yaitu pasak pelana, pasak rata, pasak benam, dan pasak singgung. Selain itu, ada juga pasak tembereng dan pasak jarum [25].



Gambar 32. Gambar Macam-Macam Pasak [19]

Penggunaan pasak dalam perancangan ini adalah pasak benam. Hal penting yang perlu diperhatikan dalam perancangan pasak benam adalah sebagai berikut [26].

Tegangan Geser yang Diijinkan

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{Sf_1 \cdot Sf_2} \times 9,81 \quad (14)$$

di mana,

τ_a = Tegangan geser yang diijinkan (N/mm²)

σ_b = Kekuatan tarik (N/mm²)

Sf_1 = Faktor keamanan 1

Sf_2 = Faktor keamanan 2

Gaya Tangensial Pasak

$$F_t = \frac{T}{d_a/2} \quad (15)$$

di mana,

F_t = Gaya tangensial pasak (N)

T = Momen rencana poros (N.mm)

d_a = Diameter poros (mm)

Tegangan Geser Pasak

$$\tau_k = \frac{F}{b \cdot l} \quad (16)$$

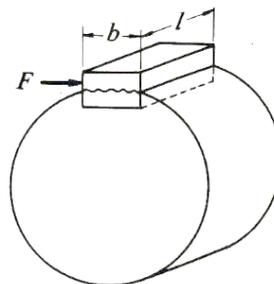
di mana,

τ_k = Tegangan geser pasak (N/mm²)

F = Gaya tangensial (N)

b = Lebar pasak (mm)

l = Panjang pasak (mm)



Gambar 33. Tegangan Geser pada Pasak [20]

7. Analisis Energi

Menghitung Kebutuhan Energi Penguapan Air Biji Kopi

Energi penguapan air biji kopi adalah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan atau mengeringkan biji kopi. Proses penguapan biji kopi dimulai dari pemanasan biji kopi, pemanasan kandungan air dalam biji kopi, dan penguapan kandungan air dalam biji kopi. Persamaan untuk menghitung energi selama proses penyangraian adalah sebagai berikut. [27]

$$q_r = q_{pd} \times q_{pk} \times q_{uk} \quad (17)$$

di mana,

q_r = Energi yang dibutuhkan untuk proses penyangraian (kJ)

q_{pd} = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan drum penyangrai (kJ)

q_{pk} = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan biji kopi (kJ)

q_{uk} = Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air biji kopi (kJ)

Energi pemanasan drum (q_{pd})

Energi pemanasan drum adalah energi yang dibutuhkan untuk memanaskan drum hingga temperatur *steady* atau temperatur *preheat*. Temperatur *preheat* ini bertujuan agar panas yang mempermudah drum untuk menguapkan kadar air dalam kopi. Energi pemanasan drum dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$q_{pd} = m_d \times C_{p\ SS304} \times (T_{d2} - T_{d1}) \quad (18)$$

di mana,

q_{pd} = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan drum penyangrai (kJ)

m_d = Massa total drum (kg)

$C_{p\ SS304}$ = Kalor jenis SS 304 (kJ/kg.K)

T_{d2} = Temperatur akhir drum (K)

T_{d1} = Temperatur awal drum (K)

Energi untuk memanaskan biji kopi (q_{pk})

Energi pemanasan biji kopi adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memanaskan permukaan biji kopi. Persamaan untuk menghitung jumlah energi untuk memanaskan biji kopi adalah sebagai berikut.

$$q_{pk} = m_{kb} \times C_{p\text{kopi}} \times (T_{k2} - T_{k1}) \quad (19)$$

di mana,

q_{pk} = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan biji kopi (kJ)

m_{kb} = Massa biji kopi basah (kg)

$C_{p\text{kopi}}$ = Kalor jenis biji kopi (kJ/kg.K)

T_{k2} = Temperatur akhir biji kopi (K)

T_{k1} = Temperatur awal biji kopi (K)

Energi untuk menguapkan kandungan air biji kopi (q_{uk})

Energi untuk menguapkan kandungan air adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air dalam biji kopi setelah kandungan air di dalam kopi telah dipanaskan. Persamaan untuk mencari nilai energi untuk menguapkan kandungan air biji kopi adalah sebagai berikut.

$$q_{uk} = m_r \times h_{fg} \quad (20)$$

di mana,

q_{uk} = Energi untuk menguapkan kandungan air biji kopi (kJ)

m_r = Massa air yang diuapkan (kg)

h_{fg} = Panas laten air (kJ/kg)

Persamaan mencari nilai massa air yang diuapkan (m_{au}) adalah sebagai berikut.

$$m_{au} = m_{ai} - m_{kk} \quad (21)$$

di mana,

m_{ai} = Massa awal biji kopi (kg)

m_{kk} = Massa akhir biji kopi kering (kg)

Untuk mesin penyangrai kopi dengan kapasitas satu kilogram *roasted bean*, memerlukan energi penguapan sekitar 1000-1500 kJ untuk mencapai *medium roast*. Jumlah energi ini adalah energi yang dibutuhkan untuk satu kali proses penyangraian atau satu *batch* biji kopi [4].

Menghitung Efisiensi Mesin Penyangrai

Efisiensi mesin penyangrai adalah nilai yang menunjukkan seberapa baik mesin penyangrai dapat menguapkan air secara optimal. Nilai efisiensi sebuah mesin penyangrai kopi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [28].

$$\eta = \frac{q_r}{q_b} \quad (22)$$

Bila nilai efisiensi sebuah mesin penyangrai dan energi penguapan air biji kopi telah diketahui, maka persamaan untuk mengetahui nilai kalor yang dikeluarkan oleh *burner* adalah

$$q_b = \frac{q_r}{\eta} \quad (23)$$

Kebutuhan Bahan Bakar

Sumber panas pada mesin penyangrai jenis *Classic drum roaster* adalah tungku kompor atau *jet burner* dengan bahan bakar gas LPG. Kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan dalam satu kali proses penyangraian dapat didapat dengan menggunakan persamaan berikut [28].

$$m_{LPG} = \frac{q_b}{LHV} \quad (24)$$

di mana,

m_{LPG} = kebutuhan bahan bakar (kg)

q_b = panas yang dihantarkan burner (kJ)

LHV = nilai kalor bawah atau *Low Heating Value* (kJ/kg)

8. Review Jurnal

Review jurnal di sini adalah beberapa jurnal penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penyusunan skripsi ini. Berikut adalah beberapa jurnal penelitian yang penulis gunakan sebagai bahan referensi penulisan skripsi ini.

Penelitian Irawan Rusnadi.dkk

Penelitian yang dilakukan oleh Irawan Rusnadi, Arizal Aswan, Ahmad Zikri, Sutini Pujiastuti Lestari, dan Agrivina Abel Novina mahasiswa dari Politeknik Negeri Sriwijaya tahun 2018 dengan judul “Prototif Alat Penyangrai Kopi Tipe Rotari Dilengkapi *Preheater*” memiliki identifikasi masalah tentang banyaknya udara panas yang terbuang saat proses penyangraian sehingga akan dibuat prototif mesin sangrai dengan pemanas awal dengan memanfaatkan udara panas radiasi sekitar sumber api. Silinder utama memiliki diameter 30 cm, panjang 37,5 cm dengan dilapisi silinder jacket 40 cm dan panjang 45 cm. Material silinder drum adalah *Stainless steel 304*. Jarak antara kompor dan dinding drum bagian luar adalah 5 cm. Drum diputar dengan motor listrik satu fasa dengan putaran 1400 rpm dan diturunkan menjadi 70 rpm dengan menggunakan *reducer*. Pengujian dilakukan dengan variabel tetap, yaitu lama penyangraian selama 14 menit dengan massa biji kopi satu kg. Pengujian pertama adalah pengaruh temperatur dengan kadar air kopi. Hasilnya adalah semakin tinggi temperatur maka, kadar air pada kopi akan semakin kecil, dengan

persen kadar air terbesar adalah 3,32% pada temperatur 170°C. Pengujian kedua adalah pengaruh putaran drum dengan kadar air kopi. Penelitian dilakukan dengan variasi putaran 45, 55, dan 65 dengan lama waktu penyangraian selama 14 menit. Hasilnya adalah putaran drum berpengaruh pada kadar air kopi pada setiap kenaikan putaran drum karena pada putaran 65 rpm proses penyangraian lebih merata sehingga temperatur pada biji kopi cepat merata juga. Selain itu, perubahan waktu penyangraian berpengaruh pada kadar air biji kopi karena semakin lama, waktunya maka proses pengeringan kadar air bisa lebih optimal. Pengaruh temperatur pada energi penguapan biji kopi mendapatkan hasil di mana penggunaan *preheater* meningkatkan temperatur dan juga meningkatkan energi penguapan kopi karena massa air yang diuapkan semakin besar. Pengaruh temperatur dengan kebutuhan energi penyangraian mendapatkan hasil semakin tinggi temperatur yang digunakan maka, akan semakin tinggi pula energi yang dihasilkan. Pengaruh temperatur penyangraian dengan efisiensi penyangraian mendapatkan hasil bahwa semakin tinggi temperatur penyangraian, maka semakin rendah efisiensi penyangraiannya. [29]

Penelitian Iqbal Maulana.dkk

Penelitian yang dilakukan oleh Iqbal Maulana, Nely Ana Mufarida, dan Andik Irawan mahasiswa dari Universitas Muhammadiyah Jember berjudul “Perancangan Alat Sangrai Kopi dengan Menggunakan Drum Tradisional”, memiliki identifikasi masalah tentang banyaknya perusahaan kopi kecil yang masih menggunakan cara tradisional dalam menyangrai kopinya. Peneliti melakukan penelitian berupa perancangan mesin penyangrai kopi untuk mempermudah dan menambah kapasitas produksi menjadi lebih besar. Jenis mesin penyangrai yang dirancang adalah *Classic Drum Roaster*, di mana mesin jenis ini adalah jenis mesin yang paling banyak dijual untuk toko kopi skala menengah. Peneliti melakukan dua klasifikasi perancangan, yaitu perancangan elektrik dan perancangan mekanik. Perancangan elektrik meliputi perhitungan daya yang dibutuhkan untuk proses penyangraian, sementara perancangan mekanik meliputi perhitungan elemen mesin pada mesin penyangrai, seperti poros, bantalan, *sprocket*, dan rantai. Peneliti menggunakan pasangan *sprocket* dan rantai sebagai media transmisi daya dari motor penggerak ke drum. Daya motor penggerak yang digunakan adalah 1,5 Hp dengan putaran 600 rpm. Perbandingan antara putaran motor dan putaran rencana drum adalah 1:5. Dengan perbandingan ini, peneliti menggunakan roda gigi besar berdiameter 7,2 inch dengan jumlah gigi 45 dan roda gigi kecil berdiameter 1,5 inch dengan jumlah gigi 9. Rantai yang digunakan adalah rantai keteng Honda Grand dengan panjang rantai 46 inch. Diameter poros perencanaan adalah 12 mm dengan bantalan seri 6300 dengan *basic dynamic load* sebesar 1.680 lb. Namun, mesin ini perlu diuji untuk melihat kemampuannya melalui uji fungsi, baik uji elektrik maupun uji mekanik. [30]

Penelitian Bahrul Amiq dan Agung Prijo Budiono

Penelitian yang dilakukan oleh Bahrul Amiq dan Agung Prijo Budijono mahasiswa dari Universitas Negeri Surabaya dengan judul “Rancang Bangun Mesin Penyangrai Kopi Semi Otomatis dengan Kapasitas 5 kg” memiliki identifikasi masalah yang sama dengan penelitian Iqbal Maulana, yaitu banyak perusahaan kopi menengah ke bawah masih menggunakan cara tradisional untuk menyangrai biji kopinya. Peneliti menyebutkan bahwa cara ini kurang efisien karena temperatur tidak terkontrol dan juga proses pengadukan biji kopi tidak merata sehingga memengaruhi kualitas dan produktivitas dari kopi tersebut. Desain yang dibuat oleh peneliti memiliki 4 bagian, yaitu unit penyangga, komponen penggerak, unit produksi, dan komponen kontrol. Komponen penyangga merupakan rangka yang digunakan untuk menyangga mesin penyangrai. Komponen penggerak berfungsi untuk memutar drum yang terdiri dari motor penggerak. Unit produksi merupakan tempat menyangrai kopi yang terdiri dari drum penyangrai dan pengaduk. Komponen kontrol berfungsi untuk mengontrol temperatur pada mesin penyangrai kopi yang terdiri dari katup manual, regulator gas, selang gas, termokopel, dan ECU atau *Electrical Control Unit*. Motor penggerak yang digunakan adalah motor *wiper* dengan daya putaran 180 rpm dan torsi nominal <4.0 Nm. Transmisi mesin menggunakan *reducer* 1:28 dan roda gigi 1:3. Diameter roda gigi kecil adalah 30 mm dan diameter roda gigi besar adalah 90 mm dengan jarak sumbu 60 mm. Meterial roda gigi kecil menggunakan S35C dengan kekuatan tarik 62 kg/mm sementara untuk roda gigi besar menggunakan FC30 dengan kekuatan tarik 30 kg/mm. Jumlah gigi kecil adalah 30 dan roda gigi besar 90. Temperatur penyangraian sebesar 200°C. Pengujian komponen mesin yang dirancang meliputi pengujian ukuran, pengujian fungsi, dan pengujian unit kerja. [31]

Penelitian Ahmad Thoriq.dkk

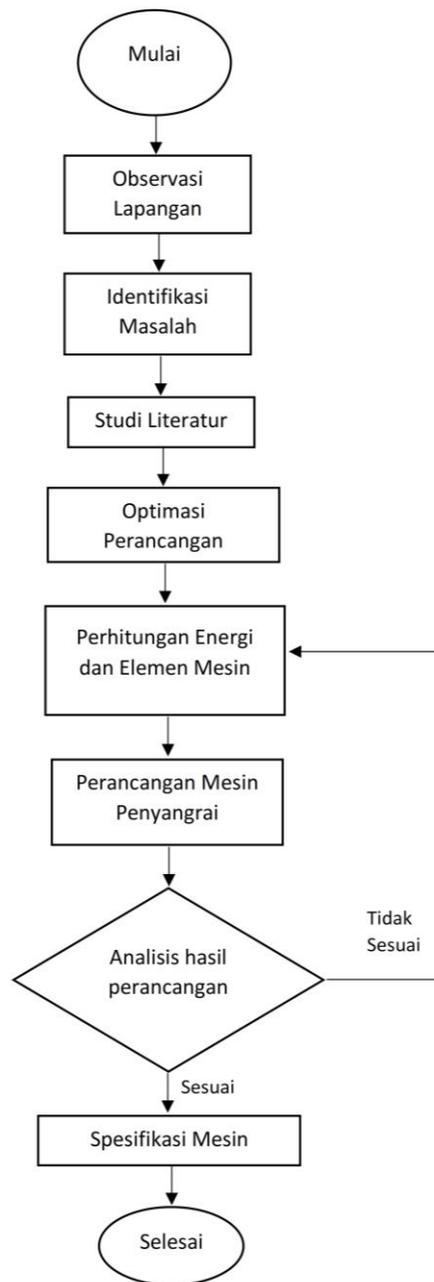
Penelitian yang dilakukan Ahmad Thoriq, Wahyu Kristian Sugandi, Asep Yusuf, dan Luthfie Hafidz Imaduddin dari Universitas Padjajaran Bandung dengan judul “Modifikasi Mesin *Roasting* Biji Kopi Merek William Edison Tipe W600I (Studi Kasus Pada *Java Sumedang Coffee*, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat” bertujuan untuk memodifikasi mesin penyangrai W600I. Peneliti menyebutkan bahwa keterbatasan dari mesin ini adalah kurangnya tekanan gas bahan bakar yang kurang terkontrol dan menyebabkan temperatur penyangraian tidak stabil. Selain itu, sistem pengeluaran asap atau *exhaust* tidak optimal untuk mengisap asap dan kulit sekam dari biji kopi. Posisi *exhaust fan* terlalu jauh dari *exhaust outlet* sehingga kecepatan aliran udara terlalu rendah. Akibatnya, kulit sekam yang harusnya dikeluarkan tidak terhisap dan ikut terbakar diruang sangrai sehingga biji kopi yang dihasilkan menjadi *smokey*. Kriteria modifikasi yang dilakukan adalah mengurangi jarak *blower* dengan *exhaust outlet*, mengurangi bau asap pada biji kopi, dan mengurangi kulit sekam akibat proses penyangraian. Modifikasi pada sistem *exhaust* dilakukan dengan menambahkan komponen *fan axial* 15 W dengan spesifikasi teoretis aliran udara sebesar

200 m³ dengan kecepatan udara 12,18 m/s. *Fan* ini dipasang pada pipa *exhaust* untuk langsung dibuang lewat cerobong keluaran. Untuk sistem kontrol gas, peneliti menggunakan indikator tekanan gas yang dipasang pada selang gas setelah melewati regulator. Profil temperatur setelah modifikasi mengalami penurunan, yaitu menjadi 212,11°C, di mana sebelumnya 217,11°C. Penurunan temperatur ini terjadi karena posisi *exhaust fan* terlalu dekat dengan *outlet* asap sisa penyangraian. Laju penyangraian juga mengalami penurunan yang penyebabnya adalah panas yang digunakan untuk menguapkan kandungan air biji kopi banyak terbuang oleh pemasangan *exhaust fan* dari awal penyangraian. Energi yang banyak terbuang ini juga membuat efisiensi mesin mengalami penurunan yang semula 18,55% menjadi 18,36%. Penghisapan sekam menjadi lebih baik setelah modifikasi, di mana hanya menghasilkan 3,4 gram sekam (sebelumnya 4,6 gram). Penghisapan asap juga menjadi lebih baik karena dapat membuang asap sepenuhnya lewat *exhaust outlet*. Nilai hasil uji hedonik atau karakteristik kopi menjadi sedikit lebih baik, di mana nilai sebelum modifikasi adalah 7,15 menjadi 7,32. [32]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1. Tahapan Penelitian

Proses penyelesaian skripsi yang dilakukan oleh mulai dari observasi masalah pada proses penyangraian kopi hingga membuat spesifikasi mesin yang meliputi data dimensi mesin, daya mesin, dan gambar mesin. Diagram alir dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 34. Diagram Alir

2. Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan adalah runtutan kegiatan yang dilakukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Jadwal kegiatan disajikan pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Rencana Kegiatan

No	Kegiatan	2022						2023				
		Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	April	Mei
1	Observasi dan studi literatur											
2	Penyusunan laporan dan Uji Proposal											
3	Perhitungan Energi dan Perancangan Elemen Mesin											
4	Perancangan Mesin Penyangrai											
5	Pembuatan Spesifikasi Mesin Penyangrai											
6	Seminar skripsi											
7	Perbaikan hasil seminar skripsi											
8	Sidang skripsi											

3. Perancangan Mesin Penyangrai

Perancangan mesin penyangrai ini merupakan rancangan bagian-bagian mesin penyangrai kopi, baik komponen utamanya dan juga elemen mesin yang digunakan.

Drum Penyangrai

Drum penyangrai yang digunakan terdiri dari dua buah drum di mana drum dalam berfungsi sebagai ruang penyangrai dan drum bagian luar berfungsi sebagai lapisan yang bersentuhan langsung dengan api. Volume drum bagian dalam dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_d = \frac{1}{4}\pi d^2 L \quad [28]$$

Nilai diameter dalam drum kecil (V_{dd}) adalah 200 mm dengan ketebalan 5 mm dan panjang drum adalah 300 mm sehingga nilai volume drum adalah

$$V_{dd-1} = \frac{1}{4}\pi \cdot 0,2^2 \cdot 0,3 = 9,43 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{dl-1} = \frac{1}{4}\pi \cdot 0,21^2 \cdot 0,3 = 1,04 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

Sementara untuk volume drum besar nilai diameter dalamnya adalah 240 mm dengan ketebalan 5 mm dan panjang drum adalah 300 mm sehingga nilai volume drum adalah

$$V_{dd-2} = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,24^2 \cdot 0,3 = 1,25 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$V_{dl-2} = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,24^2 \cdot 0,3 = 1,36 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

Massa Drum

Material drum yang digunakan adalah *stainless steel* 304 dengan massa jenis 8000 kg/m³ [28]. Massa drum penyangrai dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$m_d = (V_{dl} - V_{dd}) \times \rho_{ss304} \quad [33]$$

V_{dl} merupakan volume diameter luar drum, sementara V_{dd} adalah volume diameter dalam drum. Masing-masing drum dihitung massanya karena memiliki nilai volume yang berbeda.

$$m_{d1} = (1,04 \times 10^{-2} - 9,43 \times 10^{-3}) \times 8000 \text{ kg/m}^3 = 7,73 \text{ kg}$$

$$m_{d2} = (1,36 \times 10^{-2} - 1,25 \times 10^{-2}) \times 8000 \text{ kg/m}^3 = 8,88 \text{ kg}$$

Selain itu, di dalam ruang penyangrai juga dipasang sirip pengaduk sebanyak 4 buah dengan dimesin panjang 295 mm, lebar 20 mm, dan tebal 3 mm sehingga

$$m_s = \left((0,30 \times 0,02 \times 0,003) \times 8000 \text{ kg/m}^3 \right) \times 4 = 0,57 \text{ kg}$$

Karena drum akan diisi dengan biji kopi sebanyak satu kilogram, maka massa drum keseluruhan adalah

$$m_d = 7,73 \text{ kg} + 8,88 \text{ kg} + 0,57 \text{ kg} + 1 \text{ kg}$$

$$m_d = 18,18 \text{ kg}$$

Jadi massa drum keseluruhan adalah 18,18 kg.

Torsi Drum

Torsi drum adalah torsi yang dibutuhkan untuk memutar drum penyangrai. Nilai torsi yang dibutuhkan untuk memutar drum penyangrai adalah sebagai berikut.

$$T = m_d \times r \text{ [34]}$$

$$T = (18,18 \text{ kg} \times 120 \text{ mm}) \times 9,81 = 21395 \text{ N.mm}$$

Jadi torsi yang dibutuhkan untuk memutar drum adalah 21395 N.mm.

Menghitung Daya Motor yang Dibutuhkan (P_d)

Motor penggerak yang digunakan adalah Motor AC *single phase* dengan spesifikasi yang dijabarkan pada tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. Tabel Spesifikasi Motor Listrik

Spesifikasi Motor AC	
<i>Voltage</i>	220 V/50 Hz
<i>Current</i>	1,8 A
<i>Output Power</i>	350 W atau 0,35 kW
<i>Speed Motor</i>	2800 rpm
<i>Dimension</i>	155 x 155 x 130 mm
<i>Shaft</i>	D: 12 mm, L: 4 mm

Sumber: Mesindo Teknik, Diakses pada 21-11-2022

Dari tabel di atas, didapatkan nilai $P = 350 \text{ W}$ sehingga nilai daya rencana (P_d) adalah

$$P_d = f_c \cdot P$$

$$= 1,0 \times 350 \text{ W}$$

$$= 350 \text{ Watt} = 0,35 \text{ kW}$$

Jadi nilai daya rencana adalah sebesar 0,35 kW.

Gear Reducer

Putaran dari motor listrik yang digunakan adalah 2800 rpm. Putaran ini akan diturunkan menggunakan *gear reducer* dengan rasio putaran 1:20 sehingga putaran motor yang ditransmisikan (n_1) adalah 140 rpm.

Momen Puntir Rencana (T)

Momen puntir rencana adalah momen puntir yang ditransmisikan dari motor listrik ke batang poros. Nilai momen puntir rencana adalah

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,35 \text{ kW}}{140} \times 9,81 = 23879,20 \text{ N.mm}$$

Jadi nilai momen puntir rencana adalah 23879,20 N.mm.

Perhitungan Diameter Poros (d_s)

Poros yang digunakan memiliki beban torsi akibat puntiran dan beban lentur akibat gaya tarikan *belt* dan beban dari drum. Beban pada drum penyangrai merupakan beban terdistribusi, di mana massa total drum terdistribusi sepanjang drum dan dilambangkan dengan w (N/mm). Sementara nilai F_c merupakan gaya yang dihasilkan oleh putaran *pulley* dan *belt*. Nilai F_c merupakan akumulasi dari tegangan sisi kancang F_1 dan tegangan sisi kendur F_2 .

Massa drum total adalah 178,29 N dan panjang drum adalah sebesar 300 mm, jadi untuk nilai beban terdistribusi (w) adalah

$$w = \frac{178,29 \text{ N}}{300 \text{ mm}} = 0,60 \text{ N/mm}$$

Daya motor yang digunakan memiliki daya sebesar 0,35 kW atau 0,47 Hp. Gaya tarik *belt* yang terjadi dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut.

$$P = \frac{(F_1 - F_2) \times v}{75} \quad [24]$$

$$0,47 = \frac{(F_1 - F_2) \times 0,48}{75}$$

$$(F_1 - F_2) = 73,44 \text{ N}$$

Tabel 9. Tabel Koefisien Gesek antara *Pulley* dan *Belt* [24]

Belt material	Pulley material						
	Cast iron, steel			Wood	Compressed paper	Leather face	Rubber face
	Dry	Wet	Greasy				
1. Leather oak tanned	0.25	0.2	0.15	0.3	0.33	0.38	0.40
2. Leather chrome tanned	0.35	0.32	0.22	0.4	0.45	0.48	0.50
3. Convass-stitched	0.20	0.15	0.12	0.23	0.25	0.27	0.30
4. Cotton woven	0.22	0.15	0.12	0.25	0.28	0.27	0.30
5. Rubber	0.30	0.18	—	0.32	0.35	0.40	0.42
6. Balata	0.32	0.20	—	0.35	0.38	0.40	0.42

Sumber: Khurmi, *Machine Design*, 2005

Material *belt* yang digunakan adalah karet (*rubber*) sementara material *pulley* yang digunakan adalah besi cor (*cast iron*) dengan kondisi kerja kering sehingga nilai koefisien geseknya adalah 0,30.

$$2,3 \log \frac{F_1}{F_2} = 0,3 \times 3,0$$

$$\log \frac{F_1}{F_2} = \frac{0,89}{2,3}$$

$$\log \frac{F_1}{F_2} = 0,39$$

$$\frac{F_1}{F_2} = 2,45$$

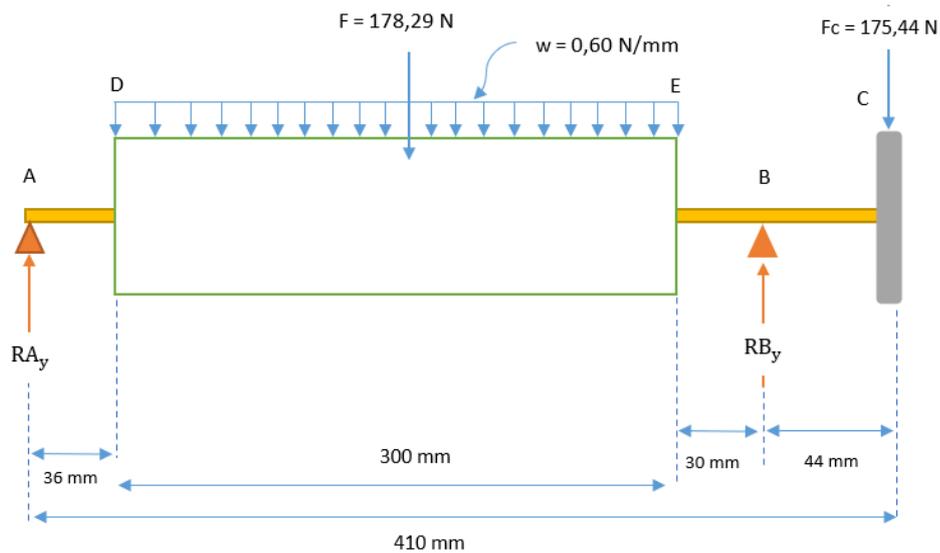
sehingga nilai F_2 adalah

$$2,45 \cdot F_2 = 73,44 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{73,44 \text{ N}}{2,45} = 30 \text{ N}$$

$$F_1 = 2,45 \times 50,75 \text{ N} = 124,44 \text{ N}$$

$$F_c = 124,95 \text{ N} + 51 \text{ N} = 175,44 \text{ N}$$



Gambar 35. Diagram Benda Bebas Poros Penyangrai

Gaya reaksi pada bantalan poros RA_y dan RB_y dapat diketahui dengan langkah sebagai berikut.

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$RA_y + RB_y = F + F_c$$

$$RA_y + RB_y = 178,29 \text{ N} + 175,44 \text{ N}$$

$$RA_y + RB_y = 353,73 \text{ N} \dots \text{ (Persamaan 3.1)}$$

$$\sum M_A = 0, +CCW$$

$$-F_c (410 \text{ mm}) + RB_y (366 \text{ mm}) - F (186 \text{ mm}) = 0$$

$$-71930,4 \text{ N.mm} + RB_y (366 \text{ mm}) - 33161,39 \text{ N.mm} = 0$$

$$-105091,79 \text{ N.mm} + RB_y (366 \text{ mm}) = 0$$

$$RB_y = \frac{105091,79 \text{ Nmm}}{366 \text{ mm}} = 287,14 \text{ N}$$

Substitusikan persamaan 3.1 untuk mencari nilai RA_y .

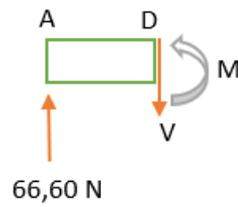
$$R_{Ay} + 287,14 \text{ N} = 178,29 \text{ N} + 175,44 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 353,73 \text{ N} - 287,14 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 66,60 \text{ N}$$

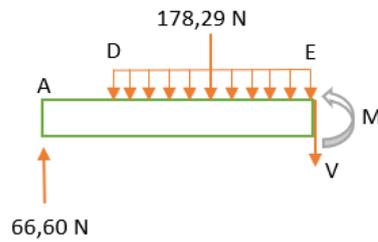
Jadi nilai gaya reaksi bantalan R_{Ay} adalah 66,60 N dan R_{By} adalah 287,14 N.

Gaya lintang pada poros dapat diketahui dengan menggunakan metode potongan poros dari kiri atau titik A sebagai berikut.



Gambar 36. DBB Segmen Batang A-D (0 mm – 36 mm)

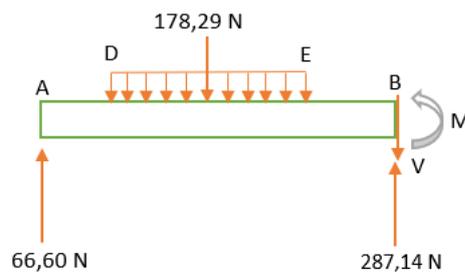
$$V_D = V_A = 66,60 \text{ N}$$



Gambar 37. DBB Segmen Batang A-E (0 mm – 336 mm)

$$V_E = 66,60 \text{ N} - 178,29 \text{ N}$$

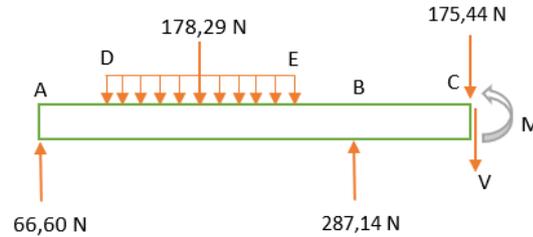
$$V_E = -111,69 \text{ N}$$



Gambar 38. DBB Segmen Batang A-B (0 mm – 366 mm)

$$V_B = 66,60 \text{ N} - 178,29 \text{ N} + 287,14 \text{ N}$$

$$V_B = 175,44 \text{ N}$$



Gambar 39. DBB Segmen Batang A-C (0 mm – 410 mm)

$$V_C = 66,60 \text{ N} - 178,29 \text{ N} + 287,14 \text{ N} - 175,44 \text{ N}$$

$$V_C = 0 \text{ N}$$

Beban terdistribusi merupakan suatu beban yang tersebar disepanjang atau pada sebagian poros. Beban ini menghasilkan garis diagonal pada diagram gaya lintang dengan titik x yang merupakan titik di mana $V=0$. Nilai x didapat dengan mengitung gaya-gaya yang terjadi pada poros dari titik C hingga ke titik x sehingga

$$V_x = 0$$

$$-175,44 \text{ N} + 287,14 \text{ N} - (0,60 \text{ N/mm} (x)) = 0$$

$$111,7 \text{ N} - (0,60 \text{ N/mm} (x)) = 0$$

$$x = 186,2 \text{ mm}$$

Momen dapat dihitung dengan perkalian dari gaya yang terjadi dikalikan dengan jaraknya, maka nilai momen yang terjadi pada poros dari titik C adalah sebagai berikut, dengan asumsi arah melawan jarum jam adalah positif (*sogging*).

$$M_C = -175,44 \text{ N} (0 \text{ mm})$$

$$= 0 \text{ N.mm}$$

$$M_B = -175,44 \text{ N (44 mm)}$$

$$= -7719,36 \text{ N.mm}$$

$$M_E = -175,44 \text{ N (74 mm)} + 287,14 \text{ N (30 mm)}$$

$$= -4368,36 \text{ N.mm}$$

$$M_x = -175,44 \text{ N (260,2 mm)} + 287,14 \text{ N (230,2 mm)} - (0,60 \text{ N/mm} \times 186,2 \text{ mm}) \times \frac{186,2 \text{ mm}}{2}$$

$$= 10049 \text{ N.mm}$$

$$M_D = -175,44 \text{ N (374 mm)} + 287,14 \text{ N (330 mm)} - 178,29 \text{ N (150 mm)}$$

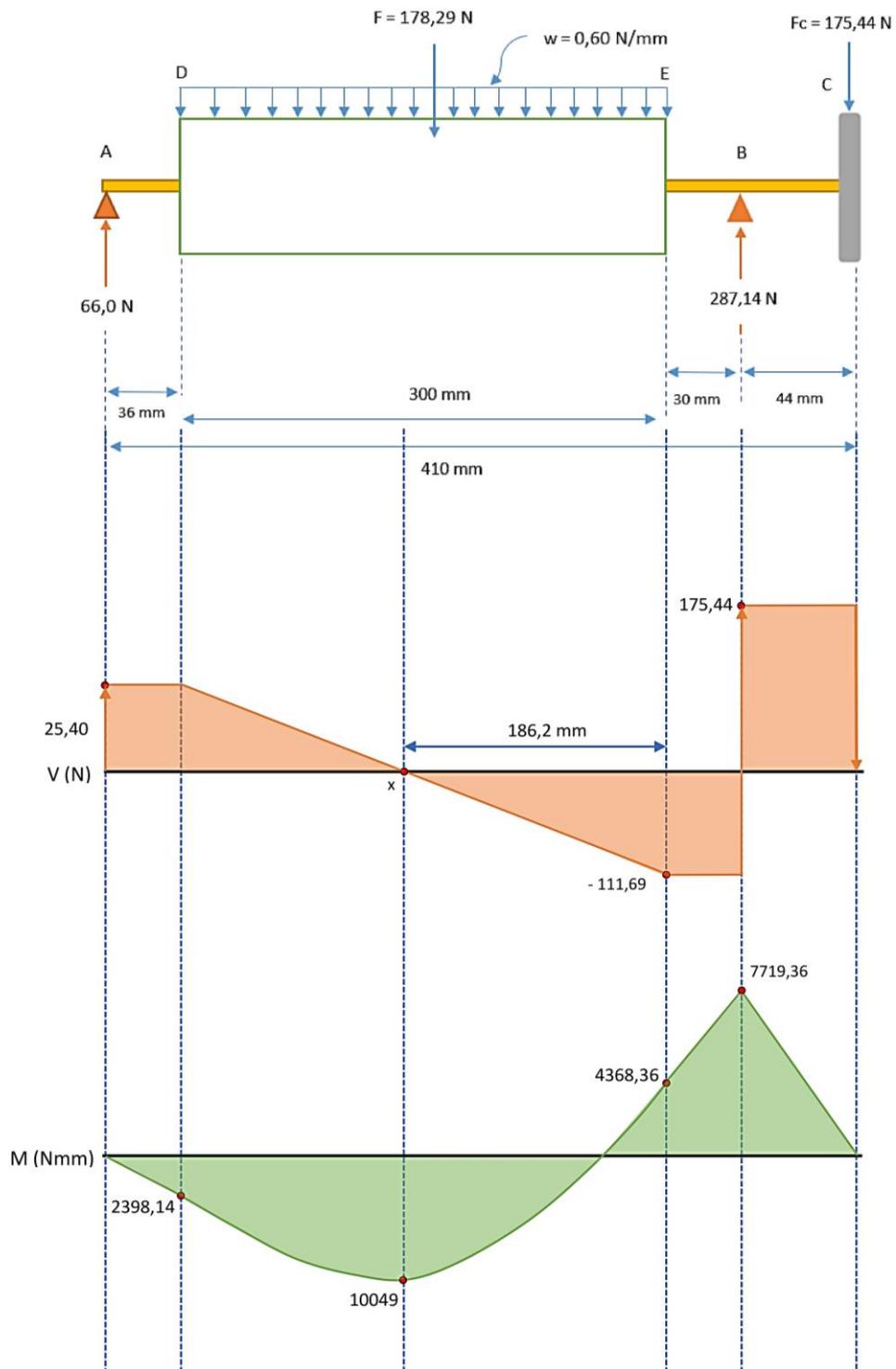
$$= 2398,14 \text{ N.mm}$$

$$M_A = -175,44 \text{ N (410 mm)} + 287,14 \text{ N (366 mm)} - 178,29 \text{ N (186 mm)}$$

$$= 0 \text{ N.mm}$$

Momen terbesar yang terjadi pada poros adalah sebesar 10049 N.mm pada titik x.

Hasil dari nilai gaya lintang dan momen di atas disajikan dalam diagram gaya lintang dan momen di bawah ini.



Gambar 40. Diagram Gaya Lintang dan Momen

Untuk menentukan diameter poros, perlu diketahui nilai kekuatan tarik maksimum atau *ultimate tensile strength* dari material poros yang akan digunakan. Kekuatan tarik maksimum ini perlu

diketahui untuk meninjau berapa tegangan tarik maksimum pada poros yang diijinkan. Berikut merupakan nilai kekuatan tarik dari beberapa material yang disajikan pada tabel 3.3.

Tabel 10. Kekuatan Tarik Material

Number	Material	Condition	Strength (Tensile)					
			Yield S_{yy} MPa (kpsi)	Ultimate S_{ur} MPa (kpsi)	Fracture, σ_{fr} MPa (kpsi)	Coefficient σ_0 MPa (kpsi)	Strain Strength, Exponent m	Fracture Strain ϵ_f
1018	Steel	Annealed	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) [†]	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Steel	Annealed	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) [†]	992 (144)	0.14	0.49
1212	Steel	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) [†]	758 (110)	0.24	0.85
1045	Steel	Q&T 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) [†]	0.041	0.81
4142	Steel	Q&T 600°F	1720 (250)	1930 (280)	2340 (340)	1760 (255) [†]	0.048	0.43
303	Stainless steel	Annealed	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) [†]	1410 (205)	0.51	1.16
304	Stainless steel	Annealed	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) [†]	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Aluminum alloy	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) [†]	620 (90)	0.28	0.10
2024	Aluminum alloy	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) [†]	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aluminum alloy	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) [†]	882 (128)	0.13	0.18

Sumber: Shigley's Mechanical Engineering Design 10th edition, 2015 [35]

Faktor keamanan diambil sebesar 5,6 untuk material SF dengan kekuatan yang dijamin, dan 6,0 untuk material S-C dengan pengaruh massa dan baja paduan. Faktor keamanan ini dinyatakan sebagai S_{f1} . Selain itu, diperlukan peninjauan apakah poros diberi alur pasak atau bertangga. Untuk itu perlu diambil faktor keamaan S_{f2} dengan nilai antara 1,3-3,0 [20].

Berdasarkan pemaparan di atas, maka diambil material poros *stainless steel* 304 dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 568 MPa. Nilai S_{f1} adalah 6.0 karena baja paduan dan nilai S_{f2} adalah 3,0 karena akan diberi alur pasak dan poros bertangga.

568 MPa = 568 N/mm², sehingga nilai tegangan geser yang diijinkan pada poros adalah

$$\tau_a = \frac{S_{ut}}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

$$\tau_a = \frac{568 \text{ N/mm}^2}{6,0 \times 3,0}$$

$$\tau_a = 31,56 \text{ N/mm}^2$$

Jadi tegangan geser yang diijinkan pada poros adalah 31,56 N/mm².

Nilai K_t dan K_m diambil dari jenis pembebanan poros yang berputar dengan faktor pembebanan tumbukan (K_t) yang ditentukan adalah 2,0 dan faktor momen (K_m) adalah 2,0 karena pada poros penyangraian diasumsikan menerima tumbukan atau kejutan ringan saat biji kopi dimasukkan ke dalam drum penyangrai sehingga diameter minimal poros adalah

$$d_s^3 = \left(\frac{5,1}{\tau_a}\right) \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2}$$

$$d_s^3 = \left(\frac{5,1}{31,56}\right) \sqrt{(2,0 \times 10049)^2 + (2,0 \times 23879,19)^2}$$

$$d_s = 20,30 \text{ mm}$$

Jadi, diameter poros minimal hasil perencanaan adalah 20,30 mm.

Diameter poros kecil yang dipilih adalah 25 mm karena menyesuaikan dengan ukuran diameter dalam bantalan gelinding yang akan digunakan.

Perencanaan Pasak

Dari perhitungan di atas, diameter poros kecil drum adalah sebesar 25 mm. Diameter poros kecil ini akan dibuat alur pasak juga dipasangkan bantalan pada kedua sisinya. Berikut adalah ukuran pasak yang umum digunakan.

Tabel 11. Ukuran-Ukuran Utama Pasak

Ukuran-ukuran Utama (Satuan: mm)

Ukuran nominal pasak $b \times h$	Ukuran standar $b, b_1,$ dan b_2	Ukuran standar h		c	l	Ukuran Standar l_1	Ukuran Standar l_2			r_1 dan r_2	Referensi Diameter poros yang dapat dipakai d^{**}
		Pasak prismatis Pasak lurus	Pasak Tirus				Pasak Prismatis	Pasak Lurus	Pasak Tirus		
2 x 2	2	2		0,16	6-20	1,2	1,0		0,5	0,08-	Lebih dari 6-8 " 8-10 " 10-12 " 12-17 " 17-22
3 x 3	3	3		0,25	6-36	1,8	1,4		0,9	0,16	
4 x 4	4	4			8-45	2,5	1,8		1,2		
5 x 5	5	5			10-56	3,0	2,3		1,7		
6 x 6	6	6			14-70	3,5	2,8		2,2		
				0,25-						0,16-	
(7 x 7)	7	7	7,2	0,40	16-80	4,0	3,01	3,5	3,0	0,25	" 20-25
8 x 7	8	7			18-90	4,0	3,3		2,4		" 22-30
											" 30-38
10 x 8	9	8			22-110	5,0	3,3		2,4		" 38-44
12 x 8	10	8			28-140	5,0	3,3		2,4		" 44-50
14 x 9	12	9			36-160	5,5	3,8		2,9		
(15 x 10)	15	10	10,2	0,40-	40-180	5,0	5,0	5,5	5,0	0,25-	" 50-55 " 50-58 " 58-65 " 65-75 " 75-85
				0,60						0,40	
16 x 10	16	10			45-180	6,0	4,3		3,4		
18 x 11	18	11			50-200	7,0	4,4		3,4		
20 x 12	20	12			56-220	7,5	4,9		3,9		
22 x 14	22	14			63-250	9,0	5,4		4,4		
(24 x 16)	24	16	16,2	0,60-	70-280	8,0	8,0	8,5	8,0	0,40-	" 80-90 " 85-95 " 95-110 " 110-130
				0,80						0,60	
25 x 14	25	14			70-280	9,0	5,4		4,4		
28 x 16	28	16			80-320	10,0	6,4		5,4		
32 x 18	32	18			90-360	11,0	7,4		6,4		

* / harus dipilih dari angka-angka berikut sesuai dengan daerah yang bersangkutan dalam tabel. 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 53, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400.

Sumber: Sularso., dan Suga, Kiyokatsu, 2004 [20]

Berdasarkan tabel 3.6, ukuran pasak untuk diameter poros 25 mm memiliki ukuran lebar pasak 8 mm dan tinggi pasak adalah 7 mm dengan $t_1 = 3,5$ mm dan $t_2 = 3,5$ mm. Untuk panjang pasak yang digunakan adalah 18 mm, sesuai dengan panjang yang direkomendasikan pada tabel. Untuk *fillet* pasak diambil angka yang terbesar, yaitu 0,40 mm.

Material yang digunakan biasanya dipilih material yang memiliki kekuatan tarik lebih dari 60 kg/mm² atau material yang lebih kuat dari porosnya. [20]. Berikut adalah beberapa material yang biasa digunakan untuk poros dan pasak.

Tabel 12. Sifat Mekanis Baja Karbon Casting

Lambang	Perlakuan Panas			Sifat Mekanis			
	Penormalan (N)	Celup Dingin (H)	Temper (H)	Perlakuan Panas	Batas Mulur (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Kekerasan Hb
S45C	820-870 (Pendinginan Udara)	820-870 (Pendinginan Air)	550-650 (Pendinginan Cepat)	N	35	58	167-229
				H	50	70	201-269
S50C	810-860 (Pendinginan Udara)	810-860 (Pendinginan Air)	550-650 (Pendinginan Cepat)	N	37	62	179-235
				H	55	75	212-277
S55C	800-850 (Pendinginan Udara)	800-850 (Pendinginan Air)	550-650 (Pendinginan Cepat)	N	40	66	185-255
				H	60	80	229-285
S15CK	890-930 (Pendinginan Udara)	-	150-200 (Pendinginan Cepat)	H	35	50	143-235

Sumber: Sularso., dan Suga, Kiyokatsu, 2004 [20]

Untuk itu dipilih material S45C yang dicelup dan dilunakkan dengan S_{ut} sebesar 70 kg/mm². Untuk faktor keamanan $S_{f_{k1}}$ umumnya diambil 6,0 sementara untuk nilai $S_{f_{k2}}$ diambil nilai 3,0 jika dikenakan dengan tumbukan ringan [20]. Nilai tegangan geser yang diijinkan pada pasak adalah

$$\tau_{ka} = \frac{S_{ut}}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

$$\tau_{ka} = \frac{70 \text{ kg/mm}^2}{6,0 \times 3,0} \times 9,81$$

$$\tau_{ka} = 38,15 \text{ N/mm}^2$$

Jadi nilai tegangan geser yang diijinkan pada pasak adalah 38,15 N/mm².

Gaya Tangensial pada Permukaan Poros

$$F = \frac{T}{d/2}$$

$$F = \frac{23879,20 \text{ N.mm}}{25 \text{ mm}/2}$$

$$F = 1910,34 \text{ N}$$

Jadi gaya tangensial pada permukaan poros adalah 1910,34 N.

Nilai lebar pasak sebaiknya antara 25-35% dari diameter poros dan panjang pasak antara 0,75-1,5 dari d_s [20]. Oleh karena itu, nilai lebar dan panjang pasak yang telah ditentukan harus dievaluasi keamanannya dengan metode sebagai berikut.

Evaluasi Lebar Pasak

$$\frac{b}{d_s} \longrightarrow \frac{8 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,32$$

$$0,25 < 0,32 < 0,35 \quad = \text{Aman}$$

Evaluasi Panjang Pasak

$$\frac{l_k}{d_s} \longrightarrow \frac{18 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,9$$

$$0,75 < 0,9 < 1,5 \quad = \text{Aman}$$

Tegangan Geser yang Terjadi pada Pasak

$$\tau_k = \frac{F}{b \cdot l_k}$$

$$\tau_k = \frac{1910,34 \text{ N}}{8 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}}$$

$$\tau_k = 11,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_k < \tau_{ka} \text{ maka,}$$

$$11,94 \text{ N/mm}^2 < 38,15 \text{ N/mm}^2 = \text{Aman}$$

Faktor Konsentrasi Tegangan Poros

Poros yang digunakan akan dibuat bertangga untuk tempat bantalan gelinding dan alur pasak sehingga perlu analisis konsentrasi tegangan pada alur pasak dan poros bertangga. Nilai faktor

konsentrasi tegangan alur pasak α dan poros bertangga β dapat diperoleh dari diagram R.E Peterson [20].

$d_s = 25$ mm tempat bantalan pada poros

$D = 27$ mm

Alur pasak 6 x 3,5 x 0,4 mm *fillet*

$$\text{Jari-jari} = \frac{(27 \text{ mm} - 25 \text{ mm})}{2} = 1 \text{ mm}$$

Konsentrasi Tegangan pada Poros Bertangga

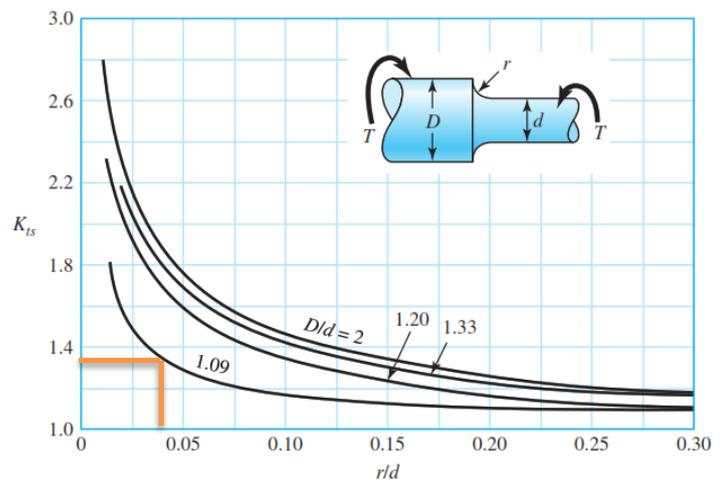
$\frac{r}{d_s}$ Perbandingan jari-jari *fillet* dan diameter minimal poros.

$$\frac{1 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,04$$

$\frac{D}{d_s}$ Perbandingan diameter poros besar dan diameter poros minimal.

$$\frac{27 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 1,08$$

Nilai di atas diplot ke dalam grafik faktor konsentrasi tegangan poros bertangga (β) R.E. Peterson dan didapat nilai $\beta = 1,28$.



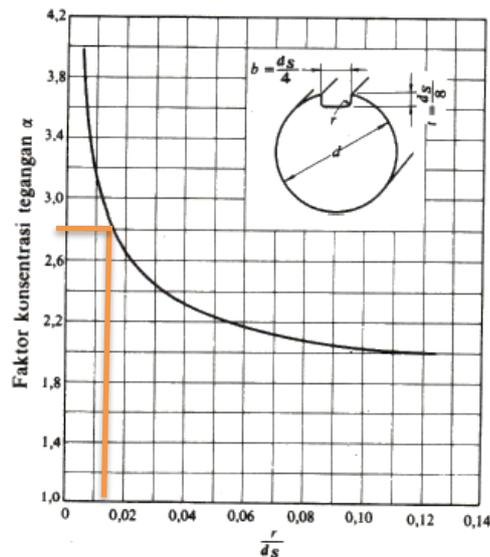
Gambar 41. Diagram Konsentrasi Tegangan Poros Bertangga [35]

Konsentrasi Tegangan Poros dengan Alur Pasak

$\frac{r}{d_s}$ Perbandingan jari-jari *fillet* pada alur pasak dan diameter minimal poros.

$$\frac{0,4 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,016 \text{ mm}$$

Nilai di atas diplot ke dalam grafik faktor konsentrasi tegangan poros dengan alur pasak (α) R.E. Peterson dan didapat $\alpha = 2,8$.



Gambar 42. Diagram Konsentrasi Tegangan Poros dengan Alur Pasak [20]

Nilai $\alpha > \beta$, diambil nilai konsentrasi tegangan paling besar, yaitu nilai $\alpha = 2,8$ sehingga nilai tegangan geser yang diijinkan dikoreksi menjadi

$$\tau_a \times \frac{S_{f2}}{\alpha}$$

$$31,56 \text{ N/mm}^2 \times \frac{3,0}{2,8} = 33,81 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan geser pada pasak adalah

$$\tau = \frac{5,1 \times T}{d_s^3}$$

$$\tau = \frac{5,1 \times 23879,20 \text{ N.mm}}{(25 \text{ mm})^3} = 7,80 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan geser pada pasak dikalikan dengan nilai K_m dan K_t yang telah ditentukan sebelumnya sehingga

$$\tau \times K_m \times K_t$$

$$7,80 \text{ N/mm}^2 \times 2,0 \times 2,0 = 31,18 \text{ N/mm}^2$$

Nilai $\tau_a \times \frac{S_{fz}}{\alpha}$ harus lebih besar dari nilai $\tau \times K_m \times K_t$ untuk bisa dikatakan aman. Berdasarkan perhitungan di atas didapat:

$$\tau_a \times \frac{S_{fz}}{\alpha} > \tau \times K_m \times K_t$$

$$33,81 \text{ N/mm}^2 > 31,18 \text{ N/mm}^2 = \text{Aman}$$

sehingga, dimensi pasak yang digunakan adalah

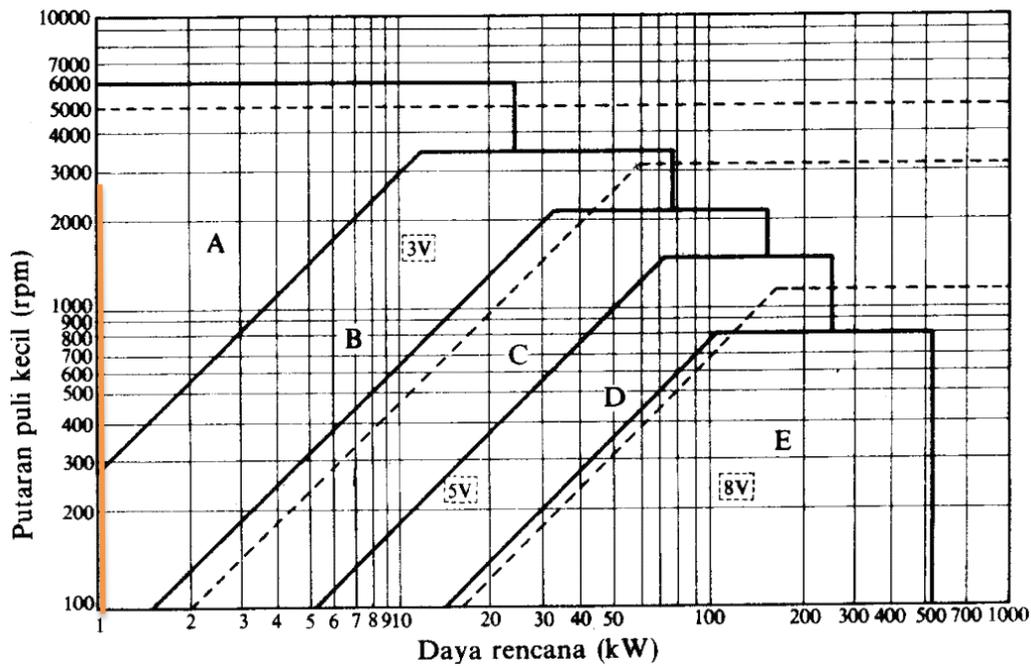
$$b = 8 \text{ mm} \quad \text{Jari-jari } \textit{fillet} \text{ poros bertangga} = 1 \text{ mm}$$

$$h = 7 \text{ mm} \quad \text{Jari-jari } \textit{fillet} \text{ pasak} = 0,4 \text{ mm}$$

$$l_k = 20 \text{ mm}$$

Perencanaan *Belt*

Sistem transmisi pada mesin penyangrai ini adalah dengan menggunakan *pulley* dan *belt* yang meneruskan putaran dari motor penggerak. Dari data spesifikasi motor listrik, didapat nilai P_d adalah 0,35 kW dan putaran motor 2800 rpm. Data ini diplot ke dalam grafik pemilihan tipe *belt* di bawah ini.



Gambar 43. Grafik Pemilihan Tipe Belt [20]

Dalam perancangan ini *belt* yang digunakan adalah *belt* berbahan karet dengan tipe *V-belt* karena penanganan dan harganya lebih murah. Tipe *V-belt* yang digunakan adalah *V-belt* tipe A dengan diameter minimal yang dianjurkan sebesar 65 mm.

Tabel 13. Tabel Diameter Pulley Berdasarkan Tipe Belt

Tipe Belt	A	B	C	D	E	3V	5V	8V
Diameter minimum yg diijinkan(mm)	65	115	175	300	450	67	180	315
Diameter minimum yg dianjurkan(mm)	95	145	225	350	550	100	224	360

Sumber: Sularso., dan Suga, Kiyokatsu, 2004 [20]

Putaran motor listrik akan diturunkan dengan menggunakan gear *reducer* dengan perbandingan rasio 1:20 sehingga putaran yang *pulley* kecil adalah 140 rpm. Nilai diameter *pulley* kecil yang diambil adalah 65 mm. Dengan demikian, didapatkan data perencanaan sebagai berikut.

$$n_1 = 140 \text{ rpm}$$

$$d_p = 65 \text{ mm}$$

$$n_2 = 70 \text{ rpm}$$

Mencari diameter luar *pulley* drum (D_p)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_p}{D_p}$$

$$D_p = \frac{d_p \times n_1}{n_2}$$

$$D_p = \frac{65 \text{ mm} \times 140 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$D_p = 130 \text{ mm}$$

Jadi diameter *pulley* drum atau *pulley* besar adalah 130 mm.

Mencari kecepatan linier sabuk *pulley* (V)

$$V = \frac{\pi \times d_p \times n_1}{60 \times 1000}$$

$$V = \frac{\pi \times 65 \text{ mm} \times 140 \text{ rpm}}{60 \times 1000}$$

$$V = 0,48 \text{ m/s}$$

Jarak poros motor dengan poros drum

$$C = 2 \times D_p$$

$$C = 2 \times 130 \text{ mm}$$

$$C = 260 \text{ mm}$$

Panjang keliling sabuk (L)

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{1}{4C}(D_p - d_p)^2$$

$$L = 2 \times 260 \text{ mm} + \frac{\pi}{2}(130 \text{ mm} + 65 \text{ mm}) + \frac{1}{4 \times 260 \text{ mm}}(130 \text{ mm} - 65 \text{ mm})^2$$

$$L = 830,37 \text{ mm, dibulatkan menjadi } 830 \text{ mm.}$$

Menghitung Jarak Poros Sebenarnya (C)

$$b = 2L - \pi(D_p - d_p)$$

$$b = 2 \times 838 \text{ mm} - \pi(130 \text{ mm} - 65 \text{ mm})$$

$$b = 1456,09 \text{ mm}$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(D_p - d_p)^2}}{8}$$

$$C = \frac{1456,088 \text{ mm} + \sqrt{(1456,088 \text{ mm})^2 - 8(130 \text{ mm} - 65 \text{ mm})^2}}{8}$$

$$C = 362,57 \text{ mm}$$

Sudut kontak (θ)

$$\theta = 180 - \frac{57(D_p - d_p)}{C}$$

$$\theta = 180 - \frac{57(130 \text{ mm} - 65 \text{ mm})}{362,57 \text{ mm}}$$

$$\theta = 169,781^\circ = 3,0 \text{ rad}$$

4. Energi Penyangraian

Analisis energi meliputi kebutuhan energi penyangraian di mana mencakup energi untuk memanaskan drum, energi untuk memanaskan biji kopi, dan energi untuk menguapkan kadar air biji kopi. Selain itu, dihitung pula jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk penguapan kadar air biji kopi.

Kebutuhan Energi Penyangraian

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar energi yang dibutuhkan untuk proses penyangraian. Perhitungan ini menggunakan beberapa data penunjang sebagai berikut.

- Massa kopi basah (m_{kb}) = 1 kg
- Massa kopi sangrai (m_{kk}) = 0,80 kg pada 1 kg *batch*, *dark roast* [5]
- Kalor laten air (h_{fg}) = 1956 kJ/kg pada 196°C [36]
- Massa air yang diuapkan (m_{au}) = $m_{ai} - m_{kk}$ [27]

- = 1 kg – 0,80 kg
- = 0,2 kg
- C_p kopi = 3,70 kJ/kg.K [28]
- C_p air = 4,45 kJ/kg.K [37]
- C_p *Stainless Steel* 304 = 0,5 kJ/kg.K [28]

Kebutuhan energi penyangraian yang dimaksud adalah kebutuhan energi yang diperlukan untuk memanaskan drum penyangrai, memanaskan biji kopi dan untuk menguapkan kandungan air dalam biji kopi. Persamaan untuk menghitung energi penyangraian adalah sebagai berikut.

$$q_r = q_{pd} + q_{pk} + q_{uk}$$

di mana,

q_r = Energi yang dibutuhkan untuk proses penyangraian (kJ)

q_{pd} = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan drum penyangrai (kJ)

q_{pk} = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan biji kopi (kJ)

q_{uk} = Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air biji kopi (kJ)

Energi pemanasan drum (kJ)

Energi pemanasan drum didapat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$q_{pd} = m_d \times C_p_{SS304} \times (T_{d2} - T_{d1})$$

Temperatur maksimum drum untuk mencapai keadaan *steady* adalah 180°C atau 453 K sementara temperatur awal drum sebelum dipanaskan adalah 27°C atau 300 K sehingga

$$\begin{aligned} q_{pd} &= 17,17 \text{ kg} \times 0,5 \text{ kJ/kg.K} \times (453 \text{ K} - 300 \text{ K}) \\ &= 1313,81 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Energi pemanasan biji kopi (kJ)

Energi pemanasan biji kopi didapat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$q_{pk} = m_{kb} \times C_p_{kopi} \times (T_{k2} - T_{k1})$$

Biji kopi dipanaskan dari awal masuk hingga biji kopi keluar dari ruangan sangrai. Temperatur maksimal biji kopi yang diambil adalah 196°C atau 469 K dan temperatur biji kopi awal adalah 25°C atau 298 K sehingga

$$\begin{aligned} q_{pk} &= 1 \text{ kg} \times 3,70 \text{ kJ/kg.K} \times (469 \text{ K} - 298 \text{ K}) \\ &= 632,87 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Energi penguapan air kopi (kJ)

Energi penguapan air kopi didapat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} q_{uk} &= m_{au} \times h_{fg} \\ &= 0,2 \text{ kg} \times 1956 \text{ kJ/kg} \\ &= 401 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka kebutuhan energi penyangraian adalah

$$\begin{aligned} q_r &= 1313,81 \text{ kJ} + 632,87 \text{ kJ} + 401 \text{ kJ} \\ &= 2347,68 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Proses penyangraian dilakukan selama 12 menit, di mana merupakan salah satu teknik *medium roasting* [5]. Laju kebutuhan energi penyangraian adalah

$$\begin{aligned} \dot{q}_r &= \frac{q_r}{t} \\ &= \frac{2347,68 \text{ kJ}}{720} \\ &= 3,26 \text{ kJ/s} \quad = 3,26 \text{ kW} \end{aligned}$$

Kebutuhan energi penyangraian untuk satu kilogram biji kopi adalah sebesar 1000-1500 kJ [4]. Nilai kebutuhan energi penguapan yang didapat adalah 2347,68 kJ di mana lebih tinggi dibandingkan rentang kebutuhan energi dari literatur. Hal ini dikarenakan penggunaan *double walled drum* membutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan *single walled drum*, terutama pada saat memanaskan drum sampai mencapai keadaan *steady*.

Kebutuhan Energi *Burner* dan Bahan Bakar

Mesin penyangrai yang menggunakan *double walled drum* diasumsikan memiliki rentang efisiensi yang sama dengan mesin penyangrai yang menggunakan *single walled drum*, yaitu sekitar 50%-75% pada tipikal mesin *single pass* atau mesin tanpa sistem resirkulasi udara yang keluar melalui ventilasi [4]. Dalam perancangan ini, nilai efisiensi mesin yang dipilih adalah 50%. Hal ini dikarenakan penggunaan *double walled drum* membutuhkan energi panas yang lebih besar dari *single walled drum*.

Penyangraian merupakan proses untuk menurunkan kadar air pada bahan makanan dengan waktu yang relatif cepat [38]. Dari definisi ini, keluaran dari proses penyangraian adalah penguapan kadar air. Oleh karena itu, energi yang dihasilkan *burner* untuk menguapkan air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{q_{uk}}{q_b}$$

$$q_{b \text{ uap}} = \frac{q_{uk}}{\eta}$$

$$q_{b \text{ uap}} = \frac{401 \text{ kJ}}{0,50} = 802 \text{ kJ}$$

Bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG tabung tiga kilogram. Nilai LHV (*Low Heating Value*) dari gas LPG rumahan adalah 46607 kJ/kg [39] sehingga kebutuhan bahan bakar untuk menguapkan kadar air kopi adalah

$$m_{\text{LPG}} = \frac{q_{b \text{ uap}}}{\text{LHV}_{\text{LPG}}}$$

$$m_{\text{LPG}} = \frac{802 \text{ kJ}}{46607 \text{ kJ/kg}} = 0,02 \text{ kg}$$

Ada dua metode dalam melakukan penyangraian, yaitu *batch* dan kontinu. Pada metode *batch*, penyangraian dilakukan dari pemanasan drum hingga penguapan kadar air biji kopi, walaupun dalam satu hari dilakukan beberapa kali penyangraian. Metode ini biasanya digunakan untuk menyangrai dua biji kopi yang berbeda dalam satu hari. Berdasarkan pemaparan diatas, maka energi penyangraian dan kebutuhan bahan bakar dengan metode *batch* adalah

$$\eta = \frac{q_r}{q_{b \text{ awal}}}$$

$$q_{b \text{ awal}} = \frac{q_r}{\eta}$$

$$Q_{b \text{ awal}} = \frac{2347,68 \text{ kJ}}{0,50} = 4695,36 \text{ kJ}$$

Kebutuhan bahan bakarnya adalah

$$m_{\text{LPG}} = \frac{Q_{b \text{ awal}}}{\text{LHV}_{\text{LPG}}}$$

$$m_{\text{LPG}} = \frac{4695,36 \text{ kJ}}{46607 \text{ kJ/kg}} = 0,1 \text{ kg per-batch}$$

Metode yang kedua adalah metode kontinu, di mana dengan metode ini penyangraian biasanya dilakukan apabila menyangrai jenis atau varietas biji kopi yang sama. Pada saat penyangraian pertama selesai dan akan menyangrai *batch* kedua, mesin penyangrai tidak dimatikan. Drum dibiarkan berputar dan *airflow* dibuka untuk mengeluarkan kulit ari yang masih berada di dalam ruangan sangrai, untuk menghindari munculnya rasa gosong pada biji kopi pada *batch* selanjutnya. Temperatur ruangan sangrai akan diturunkan dan dipertahankan pada temperatur *preheat* sebelumnya, sehingga untuk penyangraian kedua energi *burner* yang dibutuhkan adalah energi untuk memanaskan biji kopi dan menguapkan kadar air biji kopi.

$$\eta = \frac{q_{pk} + q_{uk}}{Q_{b \text{ kedua}}}$$

$$Q_{b \text{ kedua}} = \frac{q_{pk} + q_{uk}}{\eta}$$

$$Q_{b \text{ kedua}} = \frac{632,87 \text{ kJ} + 401 \text{ kJ}}{0,50} = 2067,74 \text{ kJ}$$

Kebutuhan bahan bakarnya adalah

$$m_{\text{LPG}} = \frac{Q_{b \text{ kedua}}}{\text{LHV}_{\text{LPG}}}$$

$$m_{\text{LPG}} = \frac{2067,74 \text{ kJ}}{46607 \text{ kJ/kg}} = 0,04 \text{ kg}$$

Dalam satu hari kedai kopi atau *roastery* skala kecil hingga menengah dapat menyangrai kopi sebanyak tiga kali dalam sehari baik dengan metode *batch* atau kontinu. Untuk metode *batch* bahan bakar yang dibutuhkan adalah

$$m_{\text{LPG}}/\text{hari} = \frac{4695,36 \text{ kJ} + 4695,36 \text{ kJ} + 4695,36 \text{ kJ}}{46607 \text{ kJ/kg}} = 0,3 \text{ kg/hari}$$

Dengan metode kontinu, bahan bakar yang dibutuhkan adalah

$$m_{\text{LPG/hari}} = \frac{4695,36 \text{ kJ} + 2067,74 \text{ kJ} + 2067,74 \text{ kJ}}{46607 \text{ kJ/kg}} = 0,2 \text{ kg/hari}$$

Estimasi atau prediksi bahan bakar gas LPG 3 kg akan habis dengan metode batch adalah

$$\frac{3 \text{ kg}}{0,3 \text{ kg/hari}} = 10 \text{ hari}$$

Sementara dengan metode kontinu estimasi gas LPG 3 kg akan habis dalam

$$\frac{3 \text{ kg}}{0,2 \text{ kg/hari}} = 15 \text{ hari}$$

5. Tahapan Pengoperasian Mesin Penyangrai

Berikut merupakan prosedur pengoperasian mesin penyangrai yang telah dirancang. Prosedur ini mencakup pengoperasian mesin dari awal hingga akhir penyangraian.

1. Pastikan mesin berada diruangan yang memiliki ventilasi udara yang baik jika penyangraian dilakukan pada ruangan.
2. Pastikan mesin penyangrai telah tersambung dengan listrik.
3. Pastikan tombol *emergency* dalam keadaan mati (*off*).
4. Pastikan regulator gas sudah terpasang dengan baik, tidak terdengar suara gas bocor.
5. Nyalakan motor drum dengan menekan tombol hijau drum pada *control panel*.
6. Nyalakan *burner* dan panaskan drum hingga temperatur yang diinginkan. *Exhaust fan* harus dalam keadaan mati agar panas dalam drum penyangrai tidak keluar saat proses *preheat*.
7. Buka separator *inlet chamber* dan masukkan biji kopi yang akan disangrai melalui corong (*hooper*).
8. Tutup kembali separator. Penyangraian dimulai. Temperatur dilihat pada *display* yang ada pada *control panel*.
9. Nyalakan *exhaust fan* untuk mengeluarkan kulit ari yang terlepas dengan menekan tombol hijau *exhaust fan* pada *control panel*. Pastikan separator dalam keadaan tertutup.
10. Diakhir penyangraian, nyalakan motor *cooling bin* untuk menggerakkan agitator dengan menekan tombol hijau *cooling bin* pada *control panel*.
11. Selesai penyangraian, matikan *burner* dan buka pintu keluaran mesin. Biarkan drum berputar untuk mengeluarkan sisa panas dan membantu kopi keluar. Pastikan separator keluaran *cooling bin* tertutup.

12. Apabila biji kopi telah keluar seluruhnya, matikan motor drum dan *exhaust fan* dengan menekan tombol merah pada *control panel*.
13. Setelah proses pendinginan selesai buka separator keluaran *cooling bin* hingga biji kopi keluar dari *cooling bin* sepenuhnya. Matikan motor agitator dengan menekan tombol merah pada *control panel*.

6. Spesifikasi Mesin Penyangrai

Dari beberapa data di atas, dibuat spesifikasi mesin penyangrai dengan menggunakan *double walled drum* yang telah dirancang yang dapat dilihat pada tabel 14 di bawah ini.

Tabel 14. Spesifikasi Mesin Penyangrai

Kapasitas <i>Batch</i>	1 kg <i>green bean</i>
Kapasitas Produksi	5 kg/jam
Dimensi	1238 x 598 x 921 mm
<i>Voltage</i>	220 V, 1 <i>phase</i> , 50 Hz
Bahan Bakar	LPG
Perpindahan Panas	Konduksi
Kebutuhan Energi	2347,68 kJ / <i>batch</i>
Drum	<i>Double Walled Drum</i> dimensi Ø200 mm <i>inner drum</i> , Ø240 mm <i>outer drum</i> , Panjang 300 mm
Ketebalan Drum	5 mm
Material Drum	<i>Stainless Steel</i> 304
Putaran Motor Drum	70 rpm
Drum Motor	220 V, 50 Hz, 1,8 A, <i>output power</i> 350 W, <i>input power</i> 532 W
Agitator Motor	220 V, 50-60 Hz, 30 rpm <i>output power</i> 73,6 W, <i>input power</i> 150 W
<i>Exhaust Fan</i>	220 V, 50-60 Hz, <i>input power</i> 90 W, <i>max. Airflow</i> 0,55 m ³ /min

7. Estimasi Biaya Pembuatan Alat

Berikut merupakan estimasi biaya atau anggaran yang dibutuhkan untuk membuat mesin penyangrai hasil perancangan. Anggaran yang dimaksud adalah harga material, harga alat yang dibeli, dan juga harga pembuatan atau proses manufaktur mesin. Estimasi biaya ini disajikan dalam tabel 15 sebagai berikut.

Tabel 15 Estimasi Biaya Pembuatan Alat

No	Item	QTY	Estimasi Biaya	Jumlah
1	Motor Listrik AC 350 W, 2800 rpm	1	Rp 855.000	Rp 855.000
2	<i>Gear Reducer</i> 1:20 Motovario	1	Rp 750.000	Rp 750.000
3	<i>Exhaust Fan</i>	1	Rp 966.000	Rp 966.000
4	Motor Listrik Agitator	1	Rp 1.521.000	Rp 1.521.000
5	Plat <i>Stainless Steel</i> 304 Tebal 2 mm	1	Rp 400.000	Rp 400.000
6	Plat <i>Stainless Steel</i> 304 Tebal 3 mm	1	Rp 600.000	Rp 600.000
7	Plat <i>Stainless Steel</i> 304 Tebal 5 mm	1	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000
8	Plat <i>Stainless Steel</i> 304 Tebal 8 mm	1	Rp 1.200.000	Rp 1.200.000
9	Plat Besi Tebal 5 mm	1	Rp 496.000	Rp 496.000
10	Plat Besi Tebal 3 mm	1	Rp 900.000	Rp 900.000
11	Plat Aluminium Tebal 7 mm	1	Rp 450.000	Rp 450.000
12	Plat Besi Tebal 8 mm	1	Rp 621.000	Rp 621.000
13	Plat Aluminium Tebal 10 mm	1	Rp 1.155.000	Rp 1.155.000
14	Besi Profil L (30x30x5 mm)	3	Rp 85.000	Rp 255.000
15	Rumah <i>Bearing Inner</i> Dia. 47 mm	2	Rp 65.000	Rp 130.000
16	Rumah <i>Bearing Inner</i> Dia. 32 mm	1	Rp 65.000	Rp 65.000
17	<i>Stainless Steel</i> 304 <i>Round Bar</i> Dia. 30mm	1	Rp 530.000	Rp 530.000
18	<i>Stainless Steel</i> 304 <i>Round Bar</i> Dia. 20mm	1	Rp 170.000	Rp 170.000
19	Aluminium <i>Round Bar</i> Dia. 40 mm	2	Rp 85.000	Rp 170.000
20	Aluminium <i>Round Bar</i> Dia. 5 mm	1	Rp 80.000	Rp 80.000
21	<i>Stainless Hollow Pipe</i> Dia. 40 mm	1	Rp 380.000	Rp 380.000
22	Kayu	1	Rp 50.000	Rp 50.000
23	<i>High Temperature Glass</i> Tebal 5 mm	1	Rp 160.000	Rp 160.000
24	<i>Flange</i>	2	Rp 57.000	Rp 114.000
25	Biaya Manufaktur			Rp 3.000.000
Total Biaya				Rp 16.018.000

Total biaya di atas lebih mahal di atas mesin-mesin buatan lokal lainnya. Mesin-mesin buatan lokal dijual dengan harga sekitar Rp. 9.000.000 hingga Rp. 14.000.000 untuk mesin dengan kapasitas satu kilogram dan drum jenis *single walled drum*. Harga mesin penyangrai yang dirancang lebih mahal karena material drum dibutuhkan lebih banyak dibandingkan *single walled drum*.

8. Estimasi Waktu Pembuatan dan Perakitan Alat

Berikut merupakan estimasi waktu pembuatan komponen atau bagian hingga perakitan mesin yang telah dirancang. Estimasi waktu ini meliputi waktu pembuatan komponen yang dibuat dan juga proses perakitan mesin. Estimasi waktu pembuatan dan perakitan alat disajikan pada tabel 16 sebagai berikut.

Tabel 16 Estimasi Waktu Pembuatan dan Perakitan Alat

No	Komponen	Jumlah Pekerja	Durasi (Hari)
1	<i>Frame Body Drum</i>	1	2
2	<i>Frame Mesin Penyangrai</i>	1	2
3	<i>Drum Penyangrai</i>	1	2
4	<i>Poros Penyangrai</i>	1	1
5	<i>Penutup Depan</i>	1	2
6	<i>Agitator</i>	1	2
7	<i>Keranjang</i>	1	1
8	<i>Output Chamber</i>	1	1
9	<i>Input Chamber</i>	1	1
10	<i>Penutup Bagian Atas</i>	1	1
11	<i>Cyclone</i>	1	2
12	<i>Penutup Bagian Belakang</i>	1	1
13	<i>Body Control Panel</i>	1	2
14	<i>Layout Control Panel</i>	1	1
15	<i>Rumah Sampler</i>	1	1
16	<i>Plat Separator</i>	1	1
17	<i>Hooper</i>	1	1
18	<i>Plat Kiri dan Kanan</i>	1	1
19	<i>Tuas Pintu Output</i>	1	1
20	<i>Pintu Output</i>	1	1
21	<i>Sampler</i>	1	1
22	<i>Separator Output</i>	1	1
23	<i>Penutup Depan Cooling Bin</i>	1	1
24	<i>Penutup Atas Cooling Bin</i>	1	1
25	<i>Proses Perakitan Mesin</i>	2	3
Total Waktu Pembuatan Alat			34

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu

- a. Mesin penyangrai yang telah dirancang adalah mesin penyangrai dengan jenis *Classic Drum Roaster* dengan menggunakan *double walled drum* dengan kapasitas satu kilogram biji kopi basah.
- b. Mesin penyangrai memiliki spesifikasi mesin dengan panjang 1238 mm, lebar 598 mm, dan tinggi 921 mm. Motor penggerak drum dengan daya 532 W, motor agitator dengan daya 150 W, dan *exhaust fan* dengan daya 90 W. *Double walled drum* terdiri dari drum luar berdiameter 240 mm dan drum dalam berdiameter 200 mm dengan panjang 300 mm dan ketebalan 5 mm. Poros drum dengan diameter 25 mm, ukuran pasak 8x7 mm, diameter *pulley* motor 65 mm dan *pulley* drum 130 mm, serta *V-belt* dengan panjang keliling sabuk 830 mm.
- c. Energi *burner* yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air satu kilogram biji kopi adalah 802 kJ dengan kebutuhan bahan bakar gas 0,02 kg Energi *burner* pada saat pertama kali mesin dinyalakan adalah 4695,36 kJ dengan konsumsi bahan bakar 0,1 kg. Penyangraian selanjutnya membutuhkan energi *burner* sebesar 2067,74 kJ dengan konsumsi bahan bakar 0,04 kg pada temperatur kerja 196°C selama 12 menit.

2. Saran

Sebaiknya dilakukan perhitungan yang mendetail pada bagian *blade* pengaduk agar hasil penyangraian lebih optimal dan melakukan proses pembuatan mesin untuk mengetahui kinerja mesin tersebut.

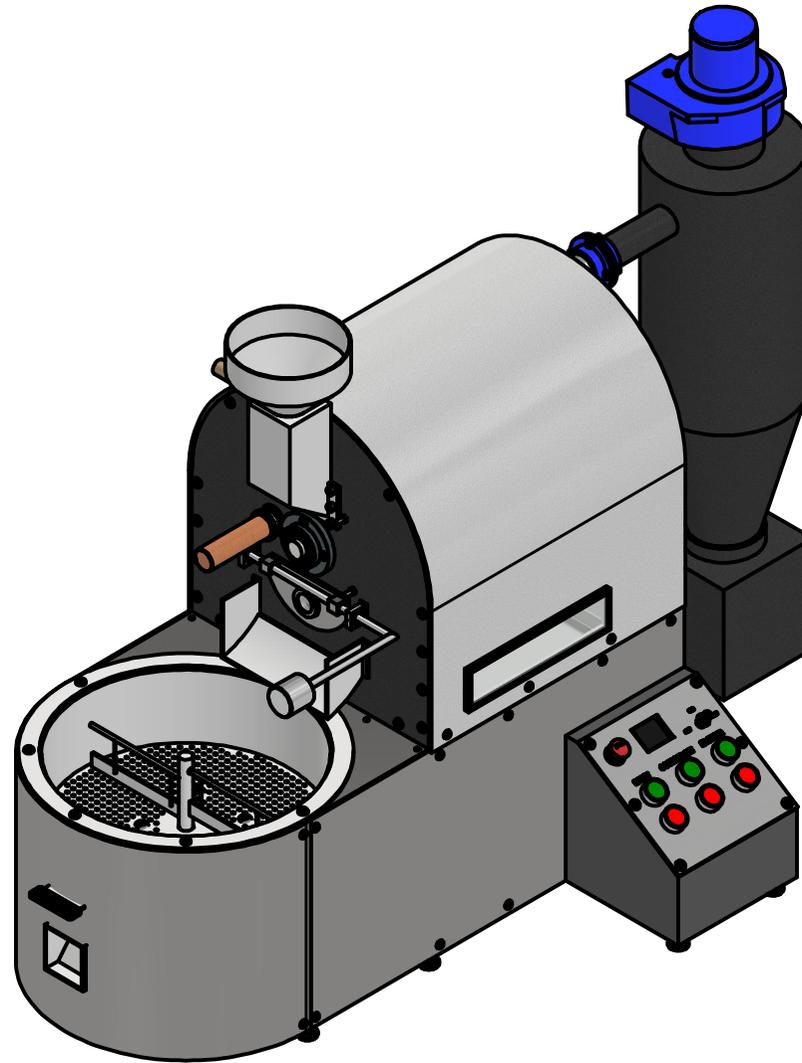
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Menteri Pertanian, *Pedoman Teknis Budidaya Kopi yang Baik*. Jakarta, Indonesia: Direktorat Jendral Perkebunan, 2014, pp. 2–14.
- [2] B. Prastowo, K. Elna, Rubijo, Siswanto, I. Chandra, and M. S. Joni, *Budidaya dan Pasca Panen Kopi*. Bogor: Eska Media, 2010.
- [3] L. Brault, *Coffee Roaster's Handbook*. California: Rockridge Press, 2020.
- [4] S. Rao, *The Coffee Roaster's Companion*. Canada: scottrao.com, 2014.
- [5] E. Susandi, *Coffee Roasting*, First Edit. Jakarta Selatan: PT AgroMedia Pustaka, 2019.
- [6] Ngobrol Kopi, “Roasting Level: The Basics,” 2018. <https://medium.com/@ngobrolkopi/roasting-level-the-basics-e5c71ab2fcfb> (accessed Jul. 20, 2022).
- [7] M. Gomez, “Quality Material for The Finest Roast,” *The San Franciscan Roaster Co.*, 2019. <https://www.sanfranroaster.com/blog/the-makeup-of-a-san-fran-roaster-quality-materials-for-the-finest-roast> (accessed Apr. 28, 2022).
- [8] Kuban Coffee Roaster, “Single and Double Wall Drum,” *LinkedIn*, 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/single-double-wall-drums-kuban-coffee-processing-master> (accessed Apr. 21, 2022).
- [9] Williamstone Roaster, “Understanding Coffee Roasting Curve,” *Williamstone Roaster*, 2018. <https://www.williamstownroasters.com/blog/2018/8/31/understanding-coffee-roasting-curves> (accessed May 03, 2022).
- [10] Nicole, “Flavour Development,” *Coffee T@i Magazine*, Sep. 2018. [Online]. Available: <http://www.coffeeteaimagazine.com/flavour-development>
- [11] Compound Coffee Co., “Are They Actually Nasty Defects in Your Roasted Coffee Bean,” *Compound Coffee Co.*, 2021. <https://compoundcoffee.com/blog/post/are-there-actually-nasty-defects-in-your-roasted-coffee-beans> (accessed Apr. 22, 2022).
- [12] Perfect Daily Grind, “Common Roast Defect How To Recognise Them,” *Perfect Daily Grind*, 2017. <https://perfectdailygrind.com/2017/03/6-common-roast-defects-how-to-recognise-them> (accessed Apr. 25, 2022).

- [13] Coffeeland Indonesia, “Mengidentifikasi Defect Pada Kopi.” <https://coffeeland.co.id/mengidentifikasi-defect-pada-kopi/> (accessed Jul. 22, 2022).
- [14] C. M. G. Panghestu, “Evaluasi Penerapan Pengendalian Kualitas Proses Penyangraian Biji Kopi di Panna Coffee Semarang,” Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, 2018.
- [15] Undang-Undang Dasar Republik Indonesia, *Undang-Undang Dasar Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan*. 2012. Accessed: Jan. 27, 2023. [Online]. Available: http://codexindonesia.bsn.go.id/uploads/download/UU_Pangan_NO.18_pdf
- [16] Food & Drug Administration (FDA), *Food Code U.S Public Health Service*. Maryland: U.S. Department of Health and Human Services, 2013.
- [17] T. G. T. Nindha, *Material dan Proses Stainless Steel*. Bali: Universitas Udayana, 2017.
- [18] D. W. Callister and D. G. Rethwisch, *Material Science and Engineering*, 10th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [19] S. Cvetkovski, “Stainless Steel in Contact with Food and Beverage,” Macedonia, 669.14.018.8:641.54, 2012.
- [20] Sularso and S. Kiyokatsu, *Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2002.
- [21] M. . Spotts, *Design of Machine Elements*, 3rd ed. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, 1981.
- [22] A. Idara and D. S. Widodo, “Rancang Bangun Mesin Roasting Biji Kopi Otomatis dengan Sistem Pemutar Tabung Otomatis Dilengkapi Termometer,” Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, 2021.
- [23] G. Sandhy Raja, A. Sentana, and D. Lazuardi, “Perancangan Mesin Peras Santan Kelapa Kapasitas 5 kg,” Universitas Pasundan, Bandung, 2011.
- [24] R. . Khurmi and J. . Gupta, *Machine Design*, First Mult. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT). Ltd, 2005.
- [25] S. T. Kristianto, “Perancangan dan Pembuatan Poros pada Mesin Pemecah Cangkang Biji Kemiri,” Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2017.
- [26] A. Supriyandi, “Perancangan Alat Pencacah Plastik Polipropilen (PP) Kapasitas 30 Kg/Jam,” Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Ponorogo, 2018.

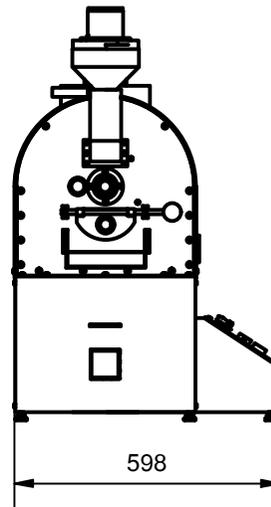
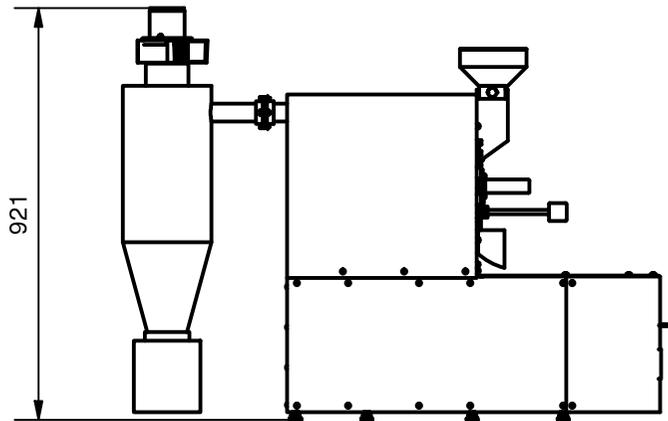
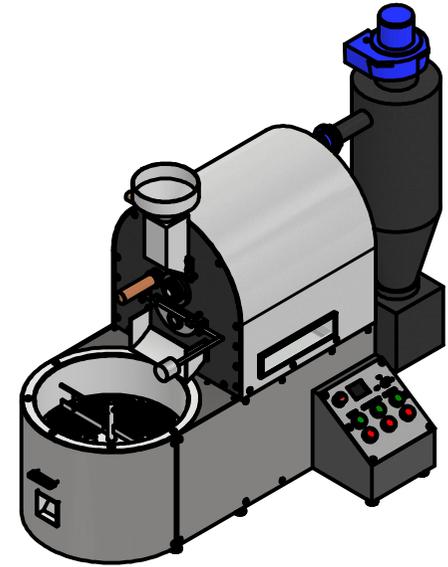
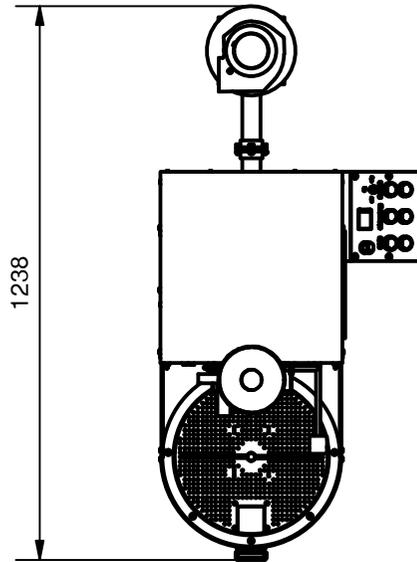
- [27] M. Efendi, "Perancangan Alat Pengering Biji Kakao dengan Sistem Rotari Sederhana pada Usaha Mandiri di Desa Wiyono, Kabupaten Pesawaran," Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2017.
- [28] G. G. Gufron, D. Lazuardi, and E. Ahdi, "Perancangan Mesin Roasting Kopi dengan Menggunakan Metode Airflow," Universitas Pasundan, Bandung, 2019.
- [29] I. Rusnadi, A. Arizal, Z. Ahmad, P. L. Sutini, and A. N. Agrivina, "Prototif Alat Penyangrai Kopi Tipe Rotari Dilengkapi Pre-Heater," Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2018.
- [30] I. Maulana, A. M. Nely, and I. Andik, "Perancangan Alat Sangrai Kopi Menggunakan Drum Tradisional," Jember, 2017.
- [31] B. Amiq and A. P. Budijono, "Rancang Bangun Mesin Penyangrai Kopi Semi Otomatis dengan Kapasitas 5 Kg," Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 2015.
- [32] A. Thoriq, K. S. Wahyu, Y. Asep, and H. I. Luthfie, "Modifikasi Mesin Roasting Biji Kopi Merek William Edison Tipe W600I (Studi Kasus Pada Jawa Sumedang Coffee, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat)," Bandung, 2020.
- [33] M. Al-fatih, "Cara Menghitung Berat Besi, Kuningan, Tembaga, dan Alumunium," Bandung.
- [34] M. Bondaris Palungan, A. Y. Biring, and S. Salu, "Rancang Bangun Alat Sangrai Biji Kopi dengan Kontrol Temperatur Otomatis untuk Peningkatan Kuantitas dan Kualitas Produksi Kopi Bubuk," UKI Paulus Makasar, Makasar, 2017. doi: 978-602-60766-3-2.
- [35] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Tenth. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [36] J. M. Moran, S. Howard N, D. D. Boettner, and M. B. Bailey, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 8th ed. London: John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [37] The Engineering Toolbox, "Water - Specific Heat vs Temperature," 2004. https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html
- [38] J. P., *Perpindahan Panas dan Massa Pada Penyangraian dan Penggorengan Bahan Pangan*, 1st ed. Makassar: Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar, 2018.
- [39] L. Andriani and D. M. E. Soedjono, "Kaji Numerik Steamer Berbahan Bakar LPG pada Industri Kecil Tahu Menggunakan Program Ansys 14.0," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 2015.

LAMPIRAN



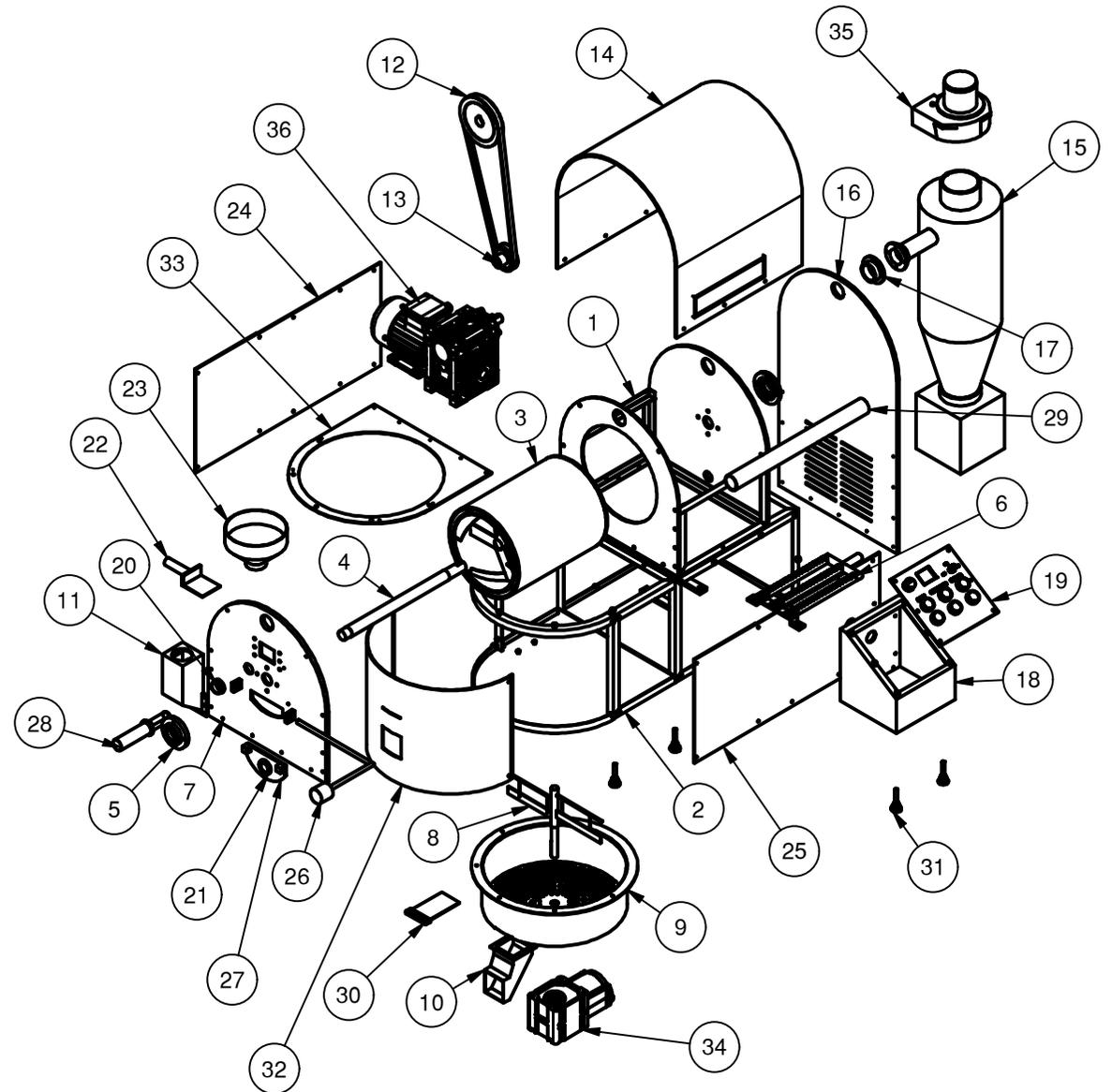
	SKALA : 1 : 9	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	MESIN PENYANGRAI KOPI		-	A4

ISOMETRIC VIEW (1 : 17)



	SKALA : 1 : 17	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	MESIN PENYANGRAI KOPI		-	A4

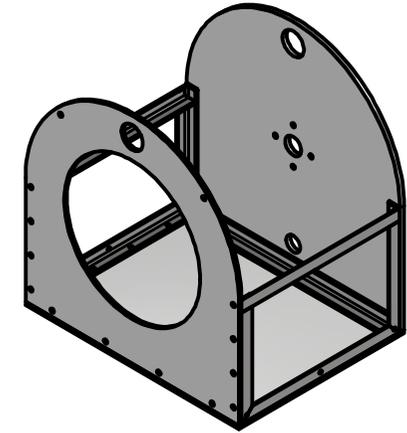
PART NO	QTY	NAMA BAGIAN	KET
1	1	Frame Body Drum	
2	1	Frame Mesin Penyangrai	
3	1	Drum Penyangrai	
4	1	Poros Drum Penyangrai	
5	2	Rumah Bearing	
6	1	Burner	
7	1	Penutup Bagian Depan	
8	1	Agitator	
9	1	Keranjang	
10	1	Output Chamber	
11	1	Input Chamber	
12	1	Pulley Drum	
13	1	Pulley Motor	
14	1	Penutup Bagian Atas	
15	1	Cyclone	
16	1	Penutup Bagian Belakang	
17	2	Flange	
18	1	Body Control Panel	
19	1	Layout Control Panel	
20	1	Rumah Sampler	
21	1	Sight Glass	
22	1	Separator Input	
23	1	Hooper	
24	1	Penutup Bagian Kiri	
25	1	Penutup Bagian Kanan	
26	1	Tuas Pintu Output Mesin	
27	1	Pintu Output Mesin	
28	1	Sampler	
29	1	Pipa Exhaust	
30	1	Separator Output Cooling Bin	
31	8	Kaki Mesin	
32	1	Penutup Depan Cooling Bin	
33	1	Penutup Atas Cooling Bin	
34	1	Motor Agitator	
35	1	Exhaust Fan	
36	1	Motor Drum	



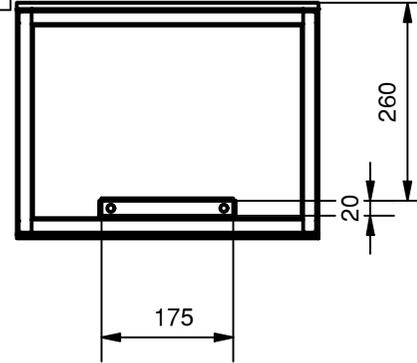
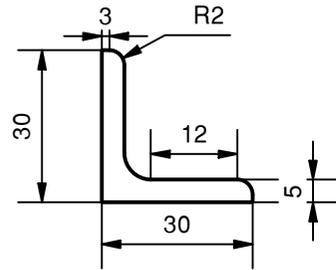
	SKALA : 1 : 17	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN
	UKURAN : mm	NRP : 183030113	
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -	
FT- UNPAS	ASSEMBLY MESIN PENYANGRAI	-	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Frame Badan Mesin	Carbon Steel	
2	1	Penutup Depan	Stainless Steel 304	
3	1	Penutup Belakang	Stainless Steel 304	
4	1	Alas	Stainless Steel 304	

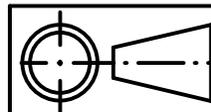
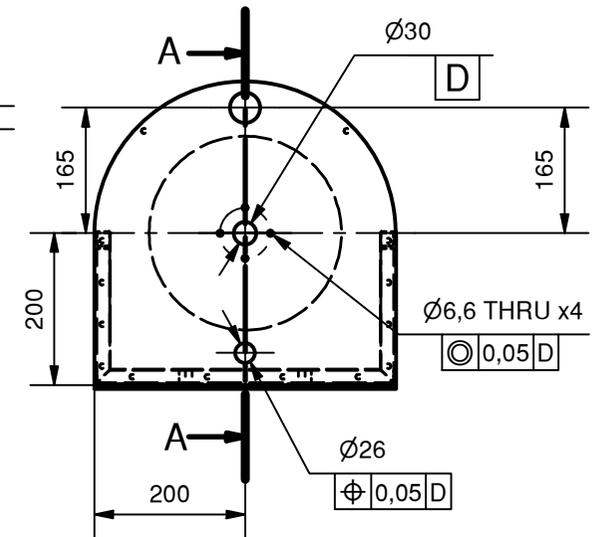
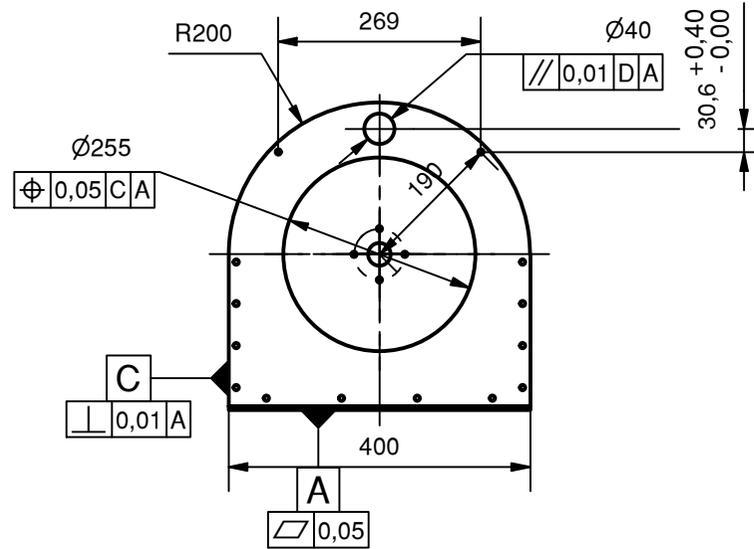
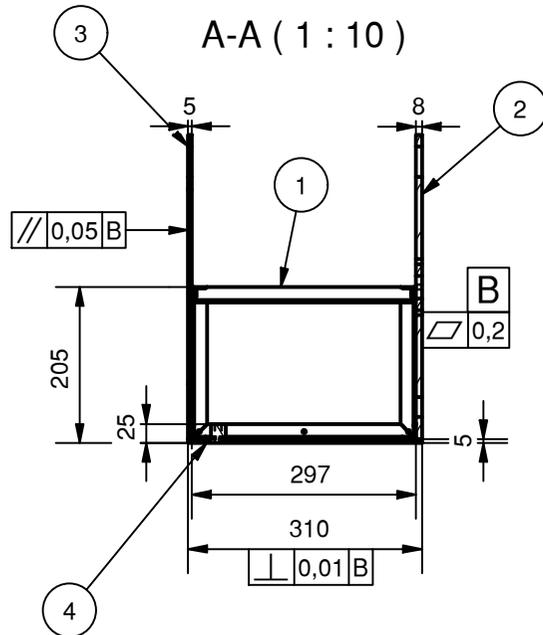
ISOMETRIC VIEW (1 : 10)



ANGLE BAR (1 : 1)



A-A (1 : 10)



SKALA : 1 : 8
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

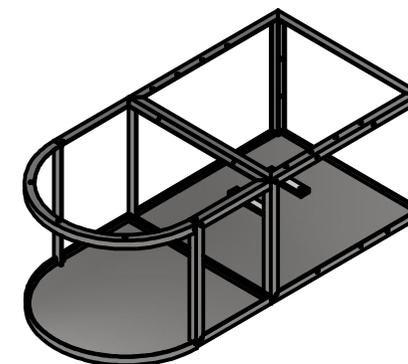
FRAME BODY DRUM

NO: 1

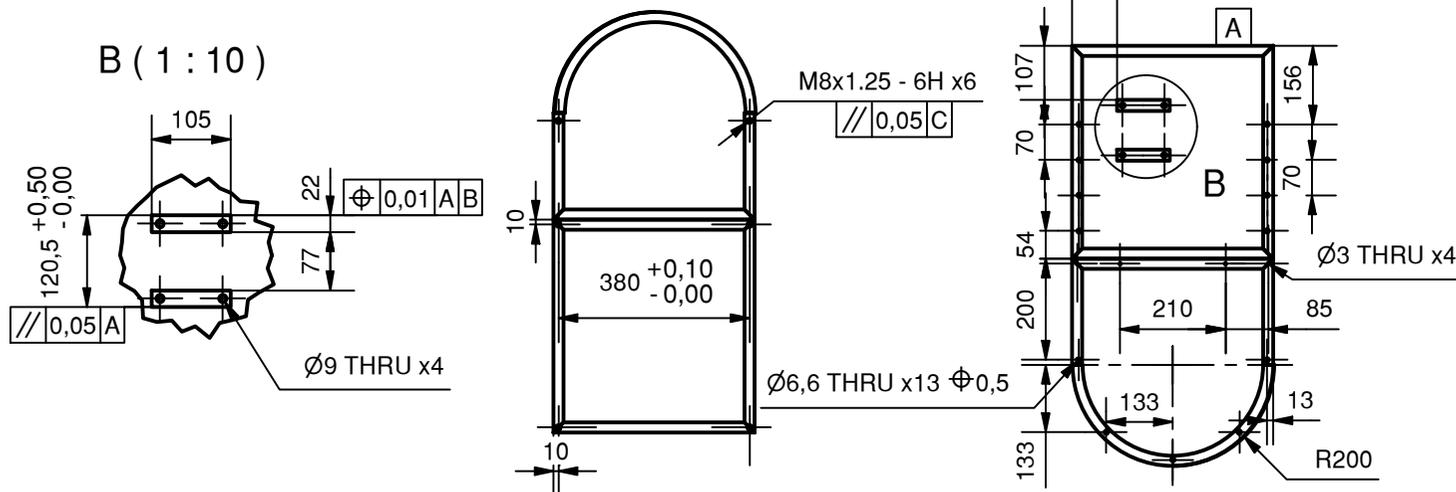
A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Frame Mesin Penyangrai	Carbon Steel	
2	2	Plat Alas Mesin	Plat Besi	

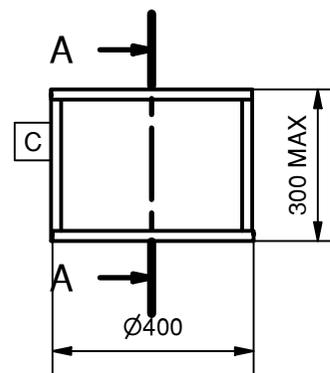
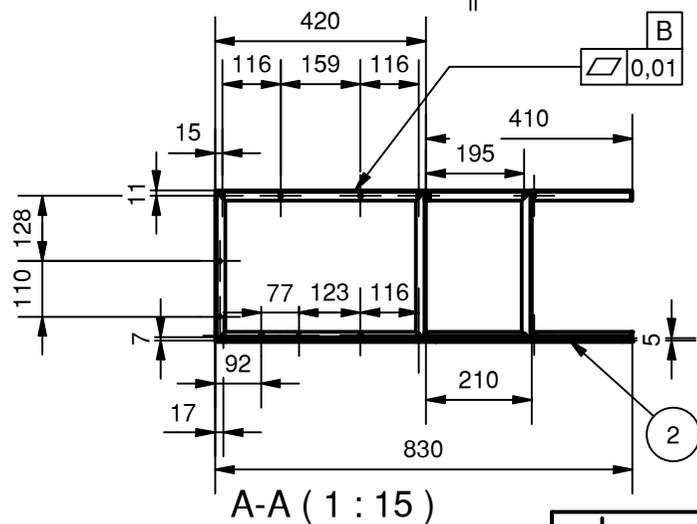
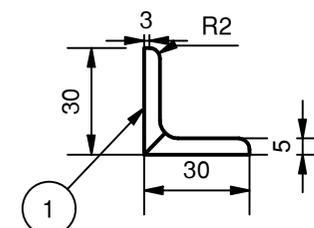
ISOMETRIC VIEW (1 : 15)



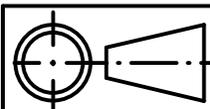
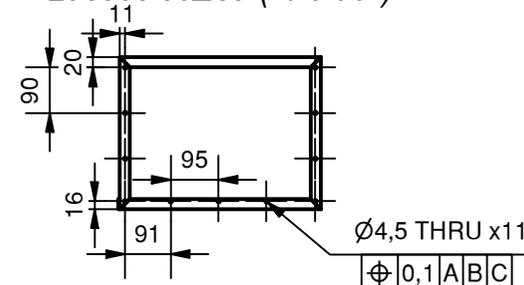
BOTTOM VIEW (1 : 15)



ANGLE BAR (0,7 : 1)



BACK VIEW (1 : 15)



SKALA : 1 : 13

UKURAN : mm

TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N

NRP : 183030113

DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

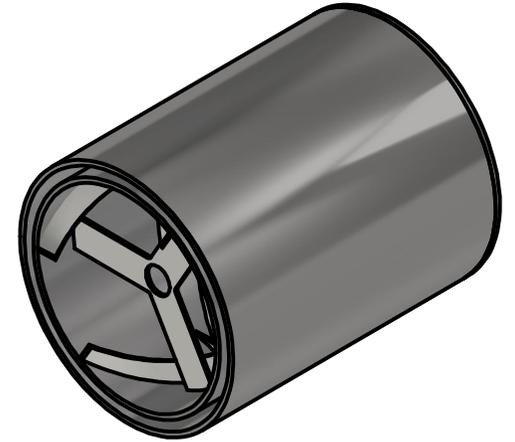
FRAME MESIN PENYANGRAI

NO: 2

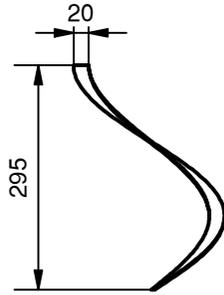
A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Drum Dalam	Stainless Steel 304	
2	1	Drum Luar	Stainless Steel 304	
3	4	Blade Pengaduk	Stainless Steel 304	
4	1	Penyangga Poros	Stainless Steel 304	

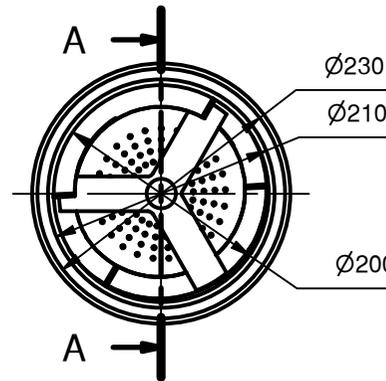
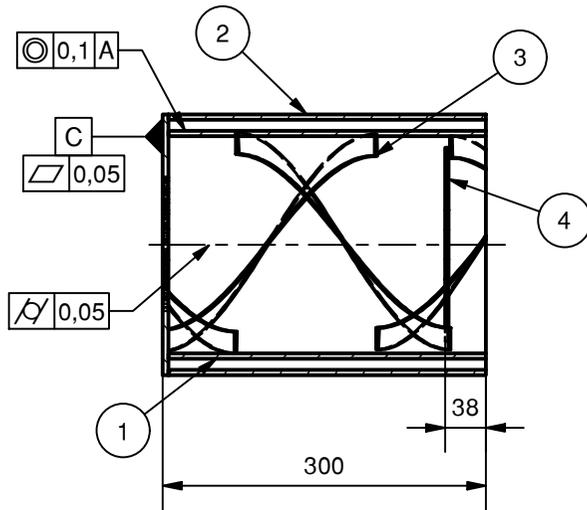
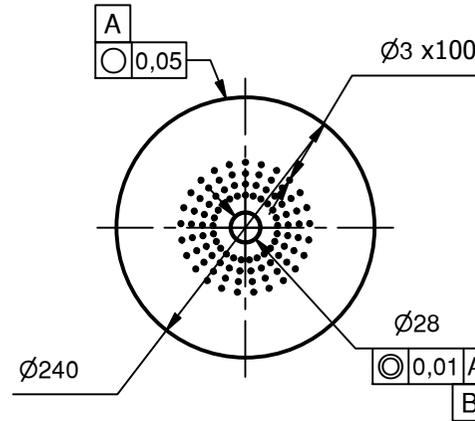
ISOMETRIC VIEW (1 : 6)



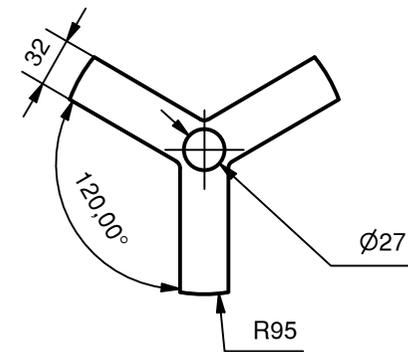
Blade (1 : 10)



A-A (1 : 7)



Shaft Support (1 : 5)

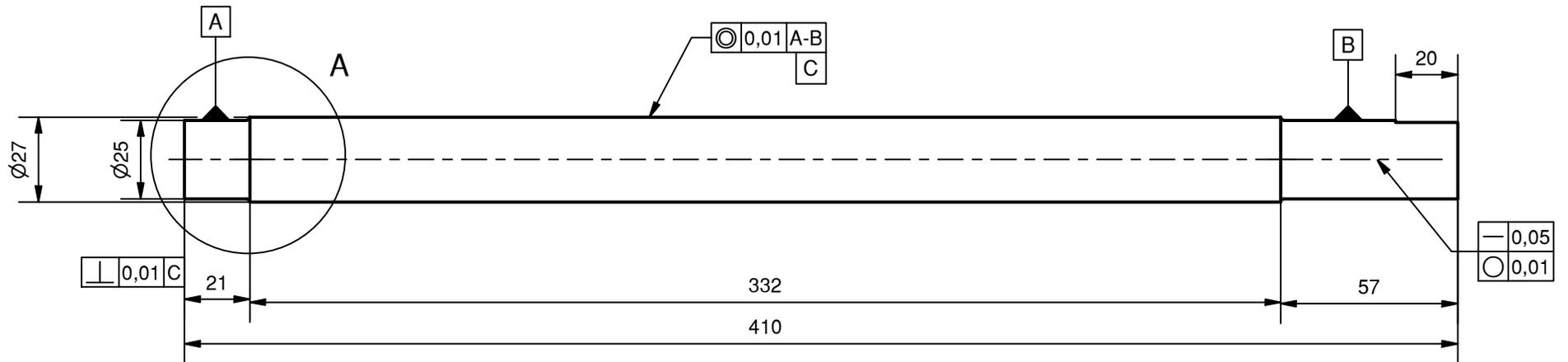
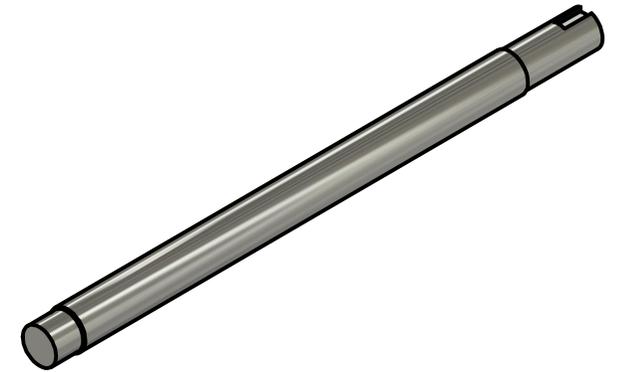
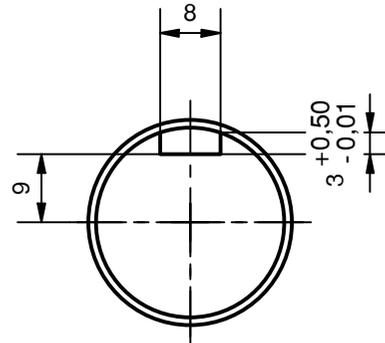
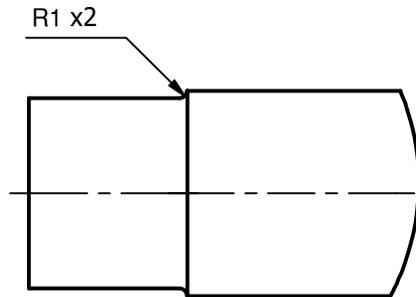


	SKALA : 1 : 7	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	DRUM PENYANGRAI	NO: 3	A4	

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Poros Drum	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 4)

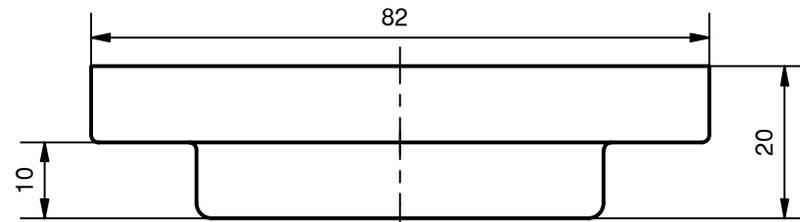
A (1 : 1)



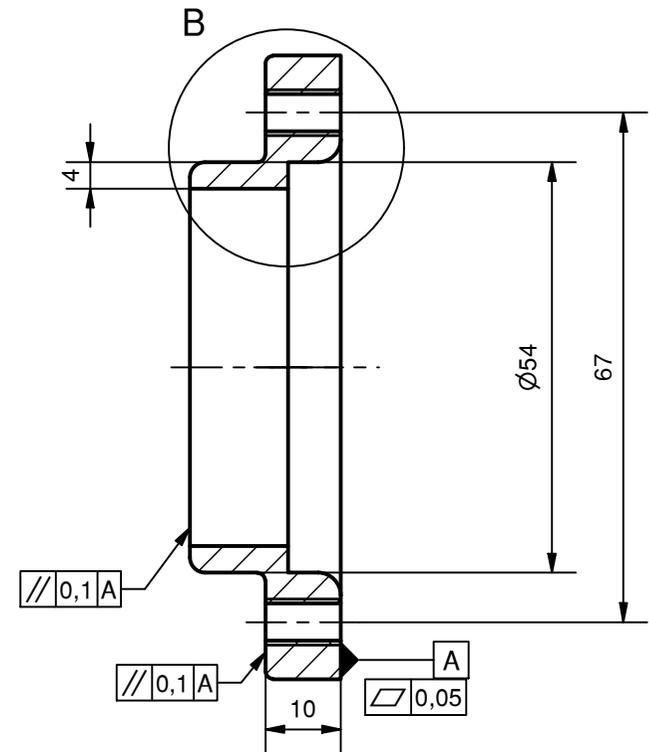
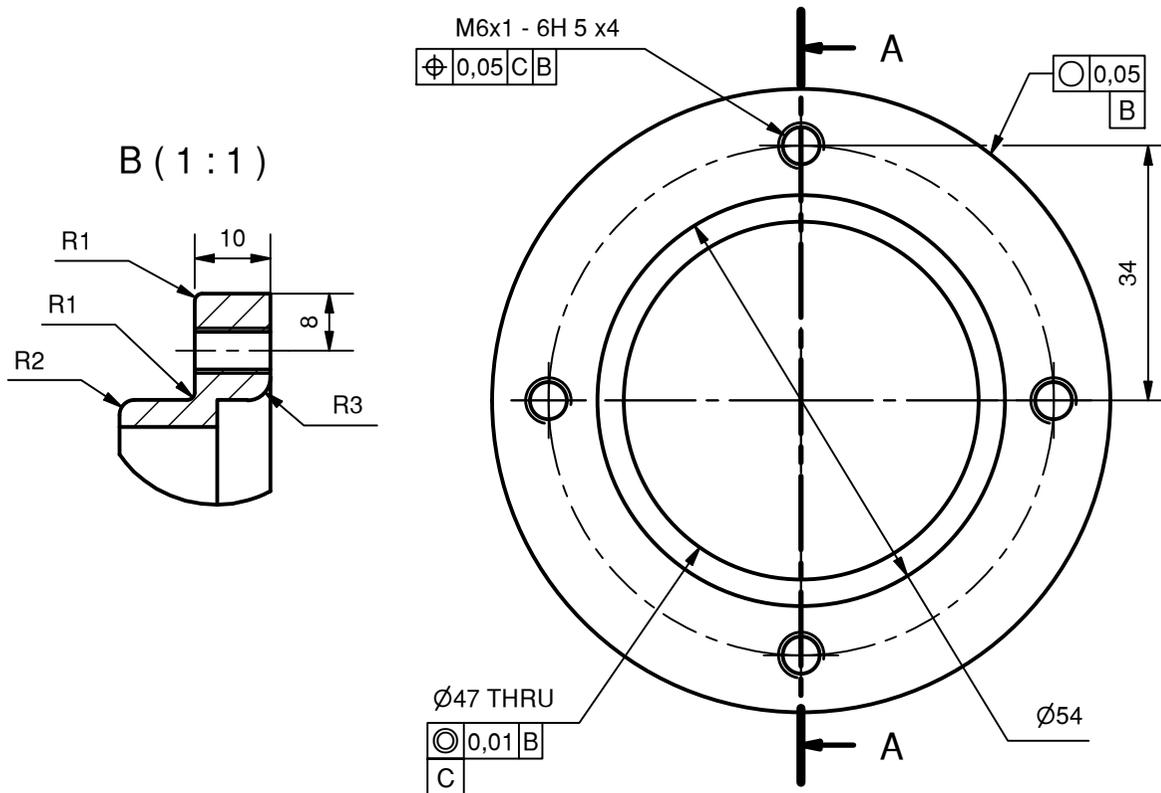
	SKALA : 1 : 2	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	POROS DRUM		NO: 4	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	2	Rumah Bearing	Besi Cor	

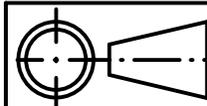
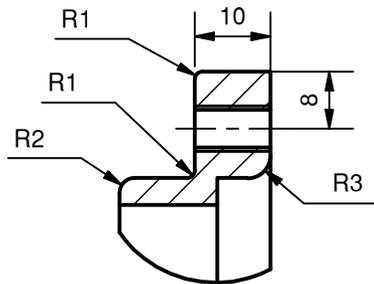
ISOMETRIC VIEW (1 : 2)



A-A (1 : 1)



B (1 : 1)



SKALA : 1 : 1

UKURAN : mm

TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N

NRP : 183030113

DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

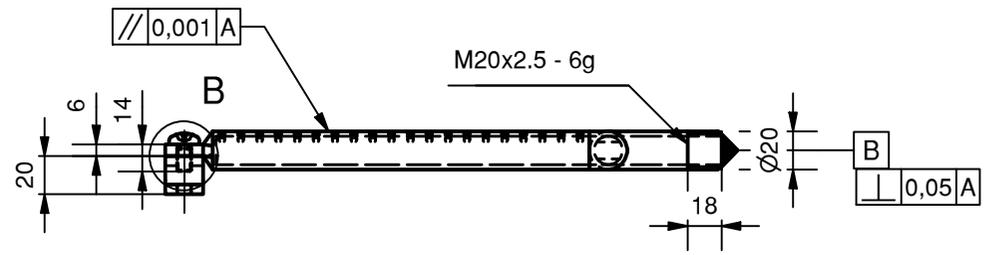
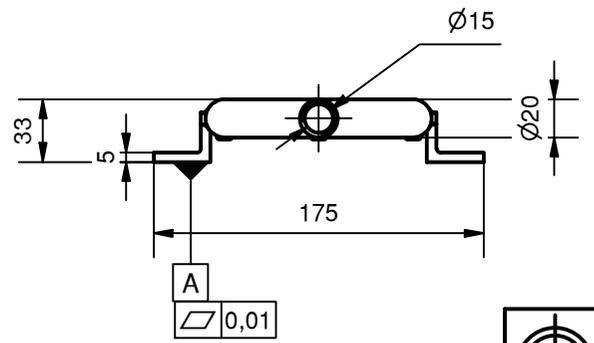
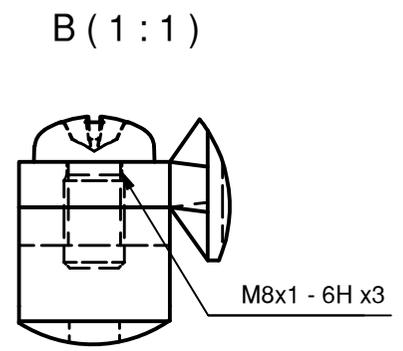
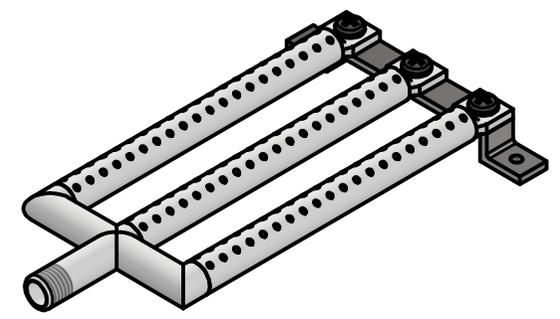
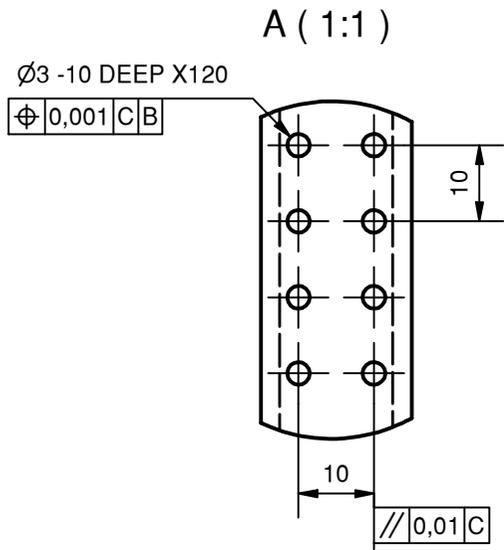
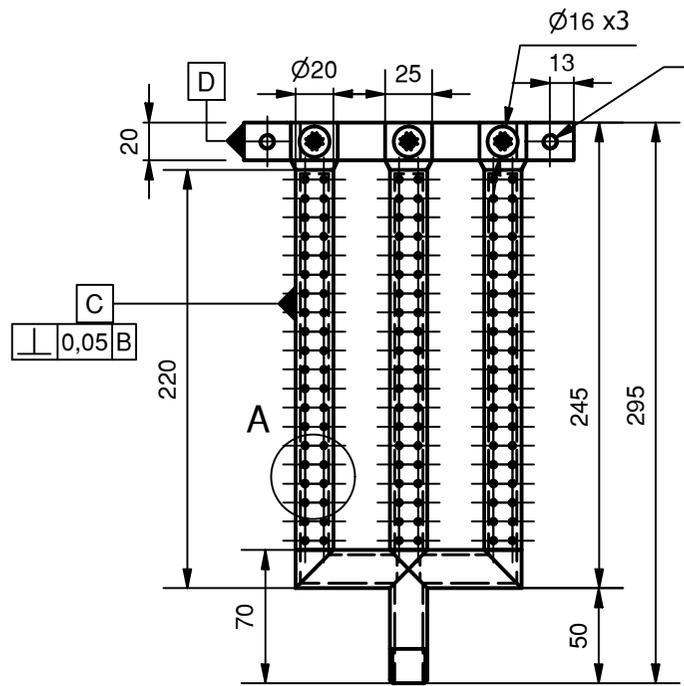
RUMAH BEARING

NO: 5

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Burner	Besi Cor	

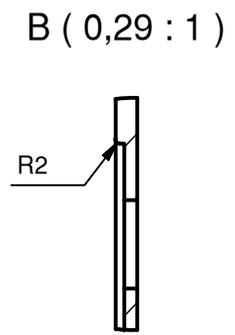
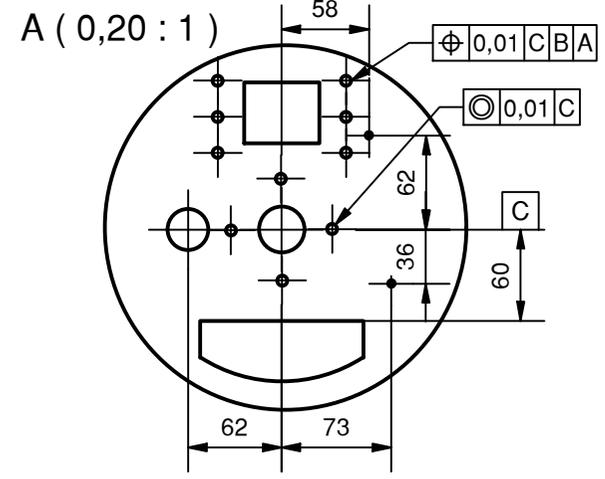
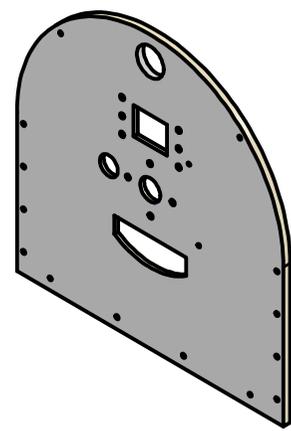
ISOMETRIC VIEW (1 : 4)



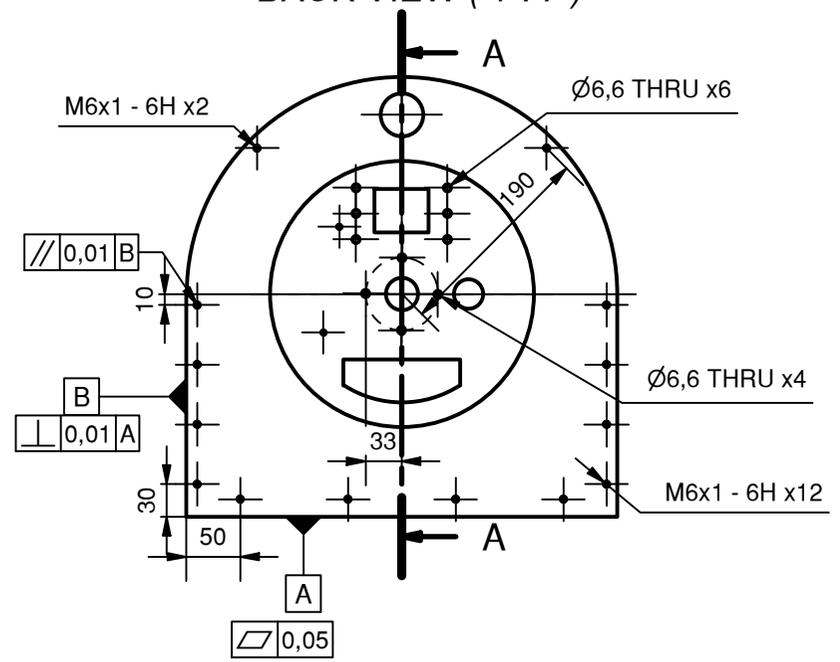
	SKALA : 1 : 4	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	BURNER		NO: 6	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Pemutup Depan	Stainless Steel 304	

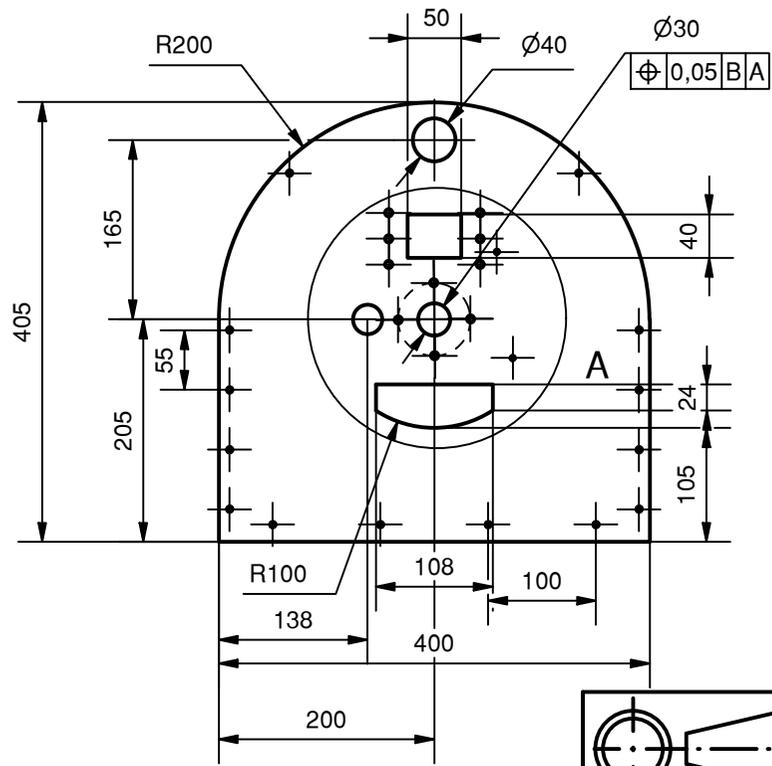
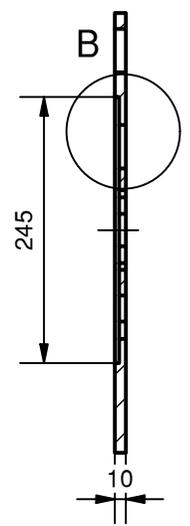
ISOMETRIC VIEW (1 : 8)



BACK VIEW (1 : 7)



A-A (1 : 7)

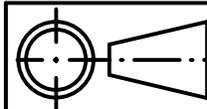
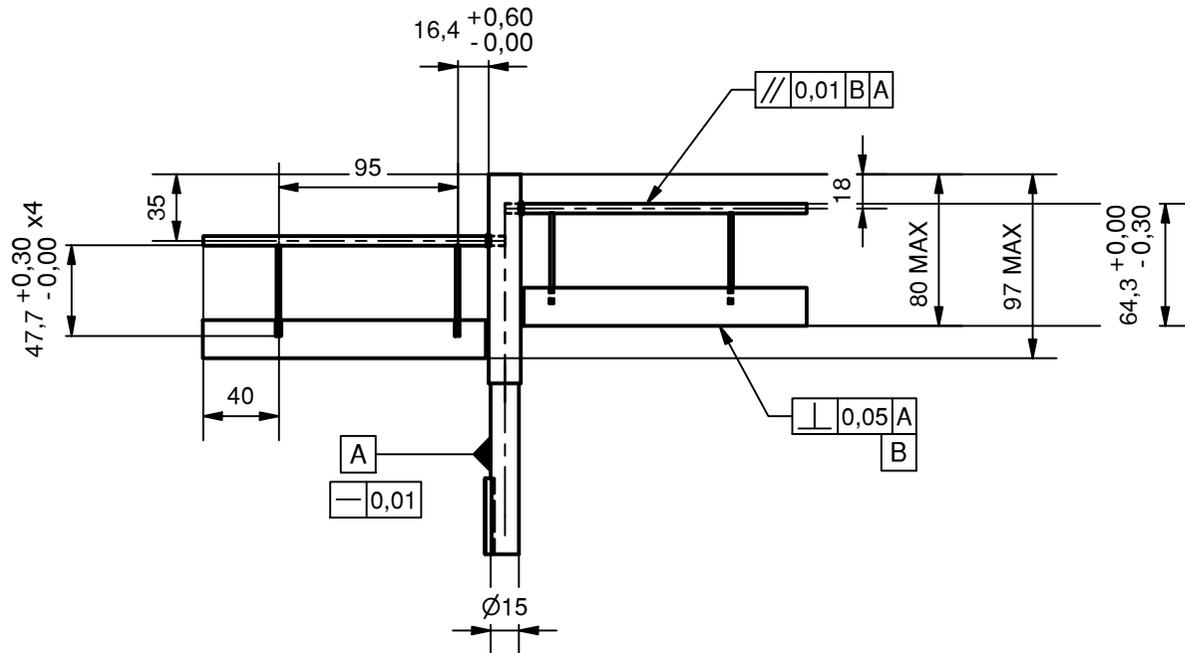
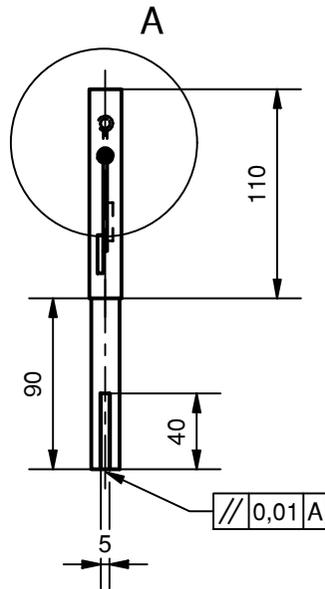
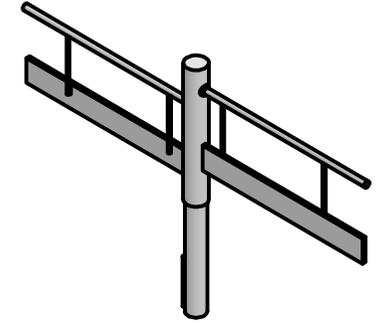
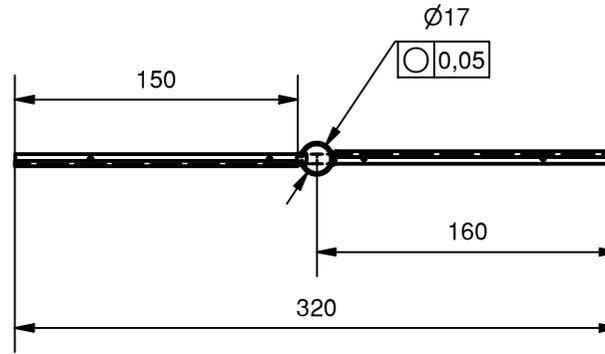


	SKALA : 1 : 7	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	PENUTUP BAGIAN DEPAN		NO: 7	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Agitator	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 5)

A (0.40 : 1)



SKALA : 1 : 4

UKURAN : mm

TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N

NRP : 183030113

DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

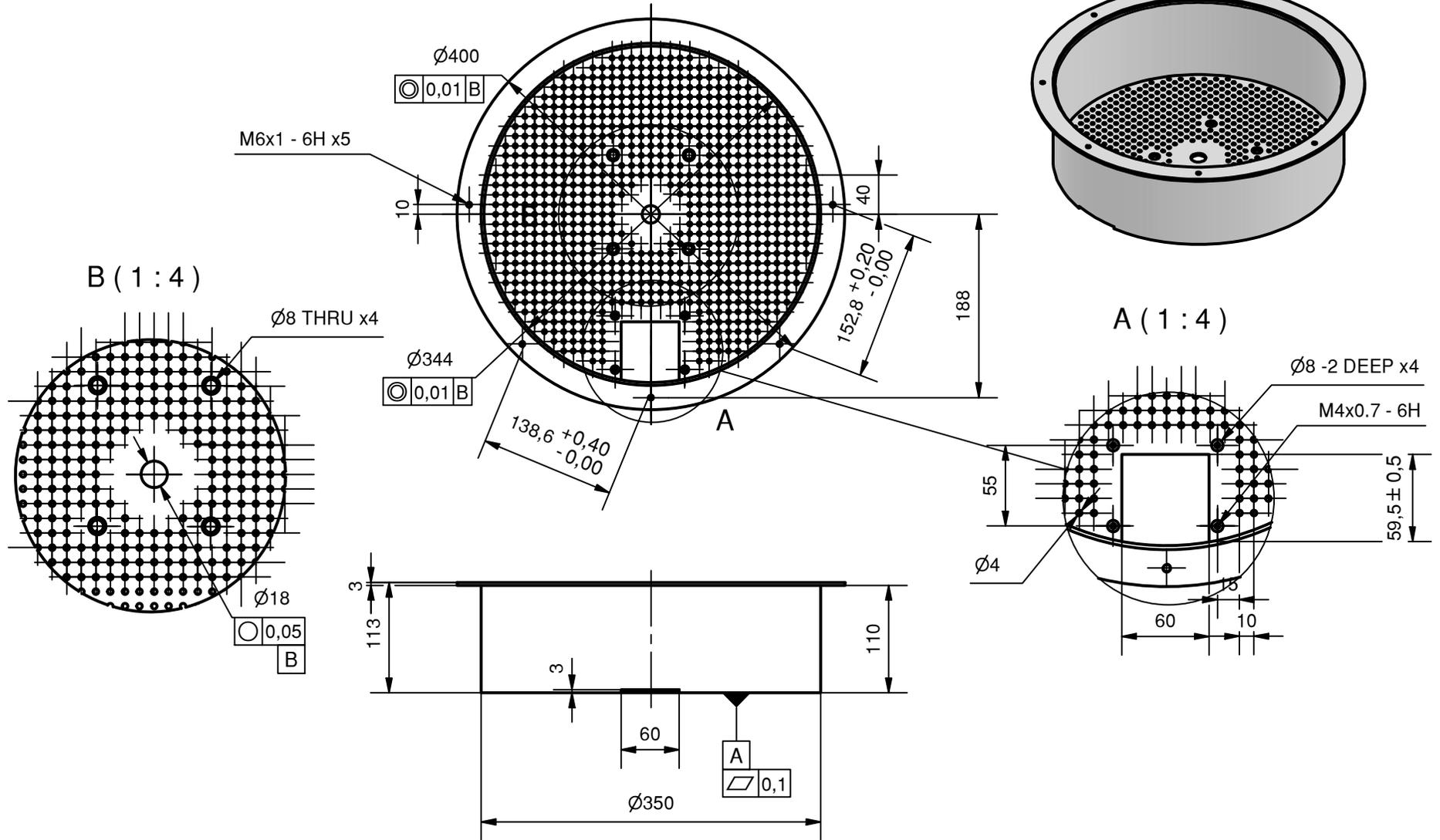
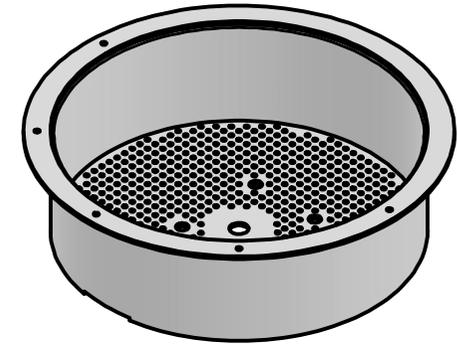
AGITATOR

NO: 8

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Keranjang	Stainless Steel 304	

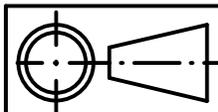
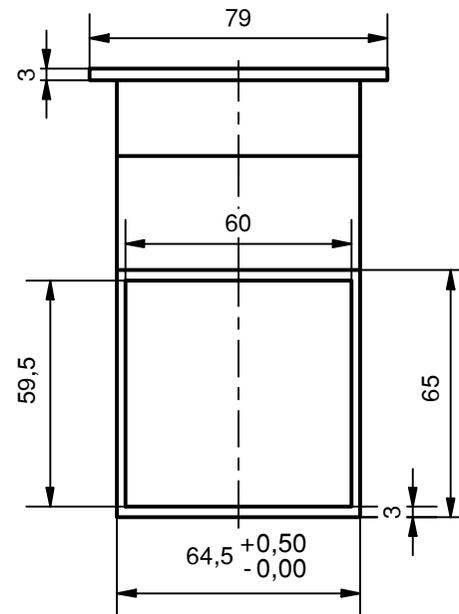
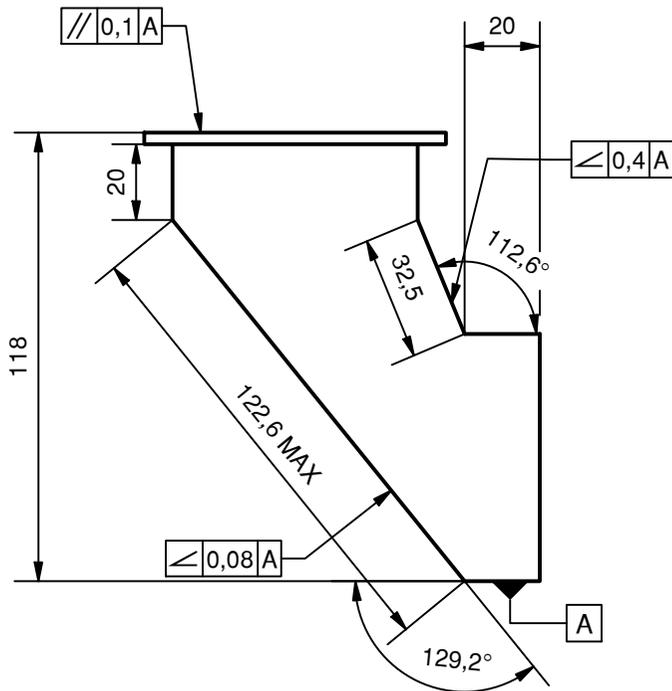
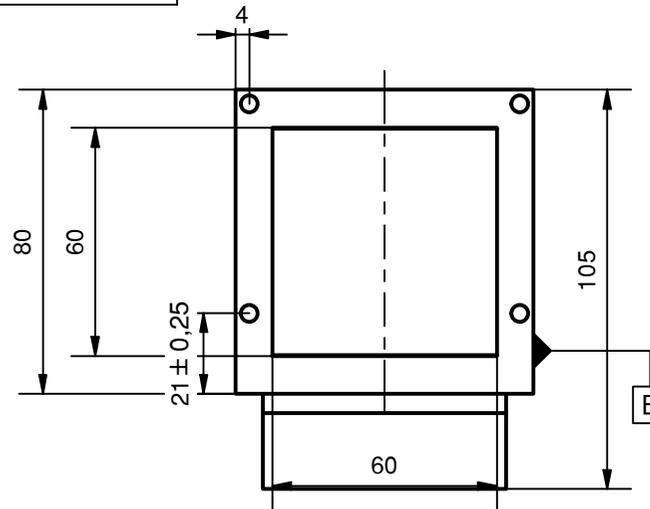
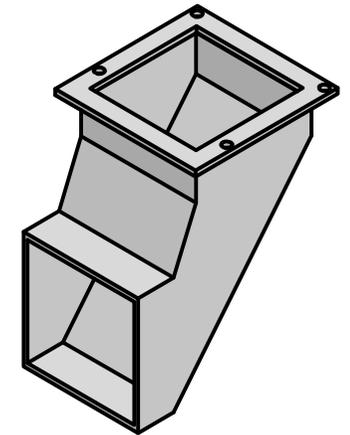
ISOMETRIC VIEW (1 : 7)



	SKALA : 1 : 6	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN		
	UKURAN : mm	NRP : 183030113			
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -			
FT- UNPAS		KERANJANG		NO: 9	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Output Chamber	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



SKALA : 1 : 2
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

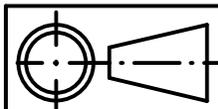
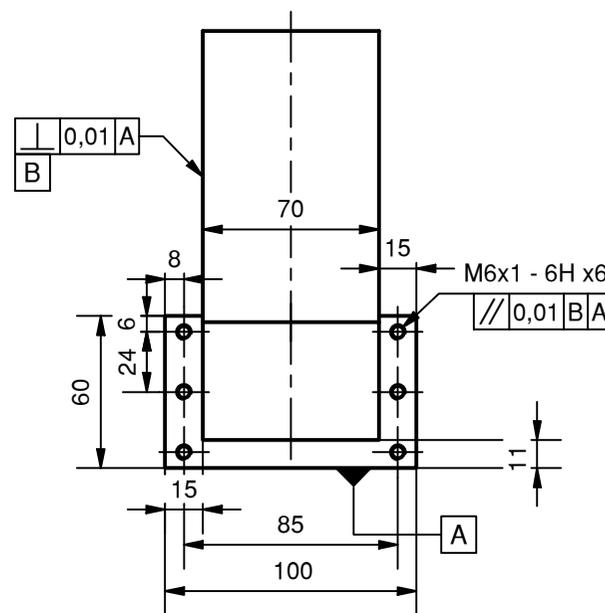
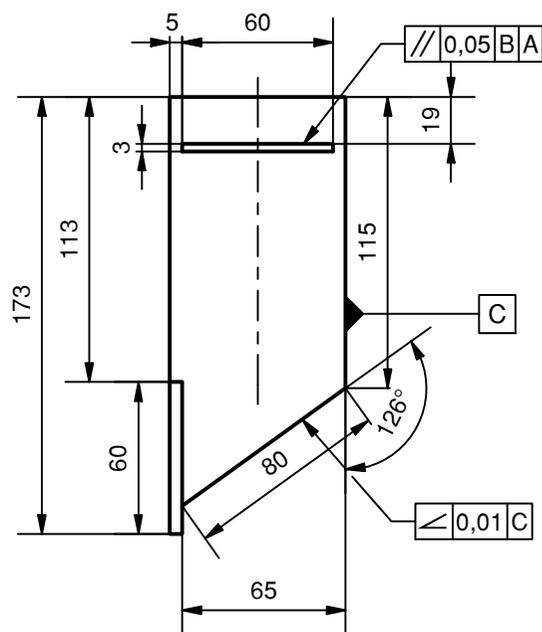
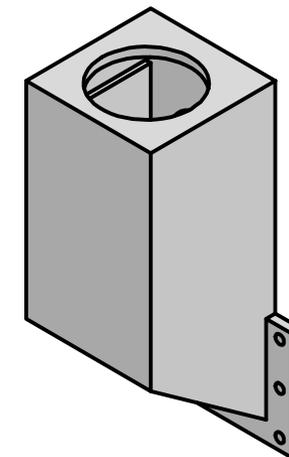
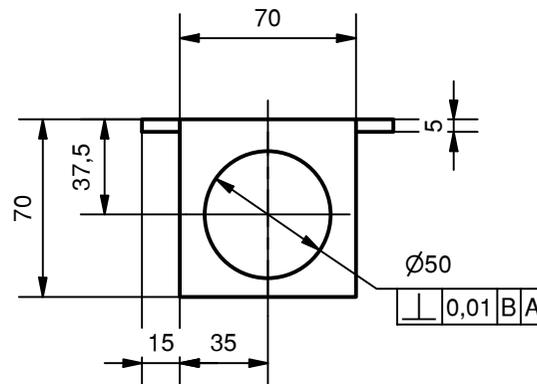
OUTPUT CHAMBER

NO: 10

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Input Chamber	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



SKALA : 1 : 3
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

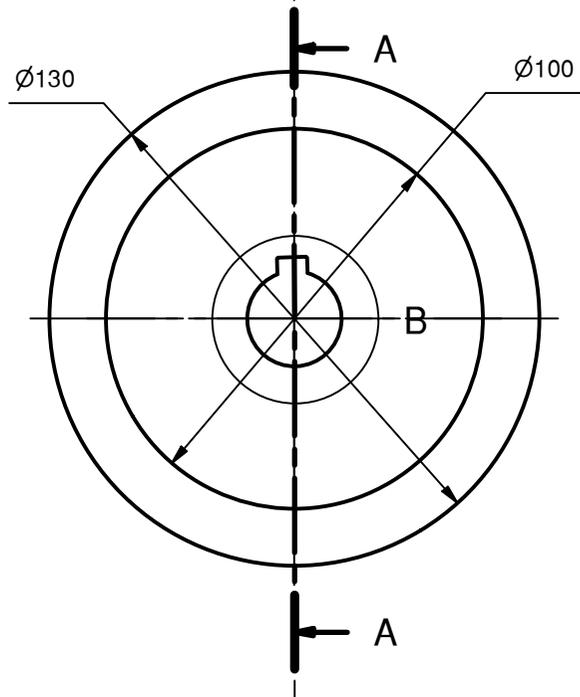
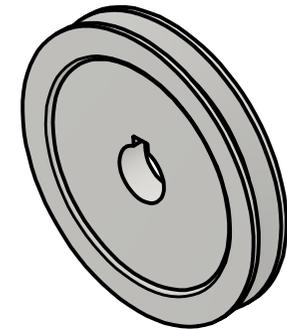
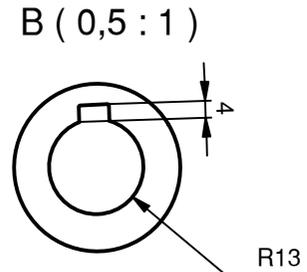
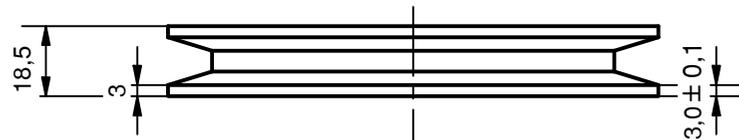
INPUT CHAMBER

NO: 11

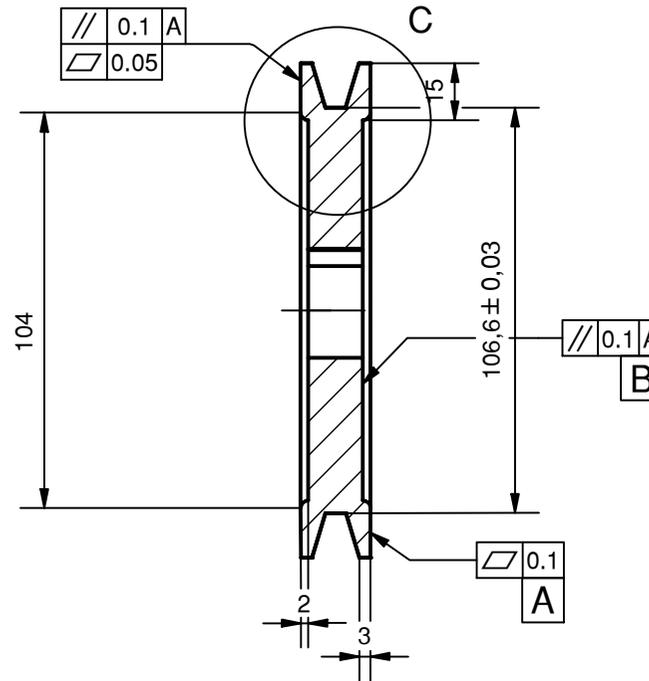
A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Pulley Drum	Besi Cor	

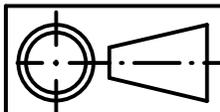
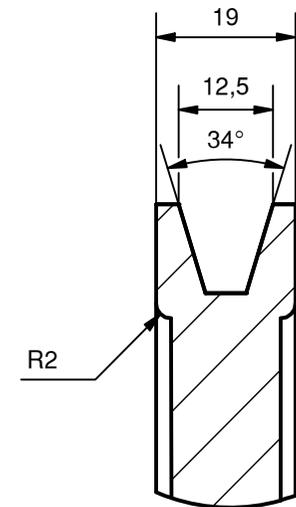
ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



A-A (1 : 2)



C (1 : 1)



SKALA : 1 : 2	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN
UKURAN : mm	NRP : 183030113	
TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -	

FT- UNPAS

PULLEY DRUM

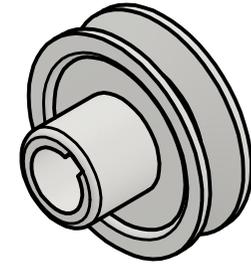
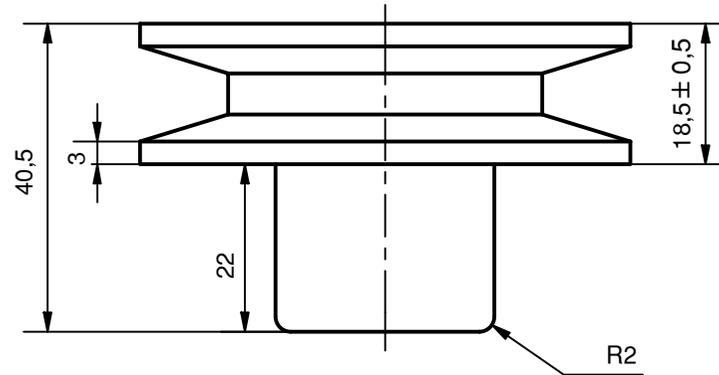
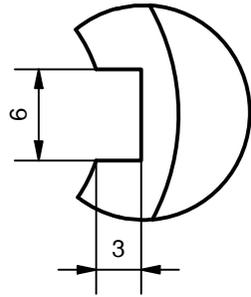
NO: 12

A4

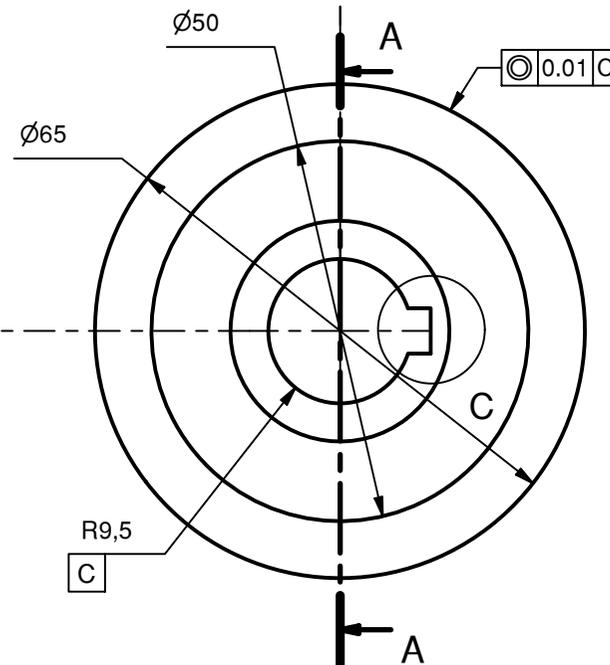
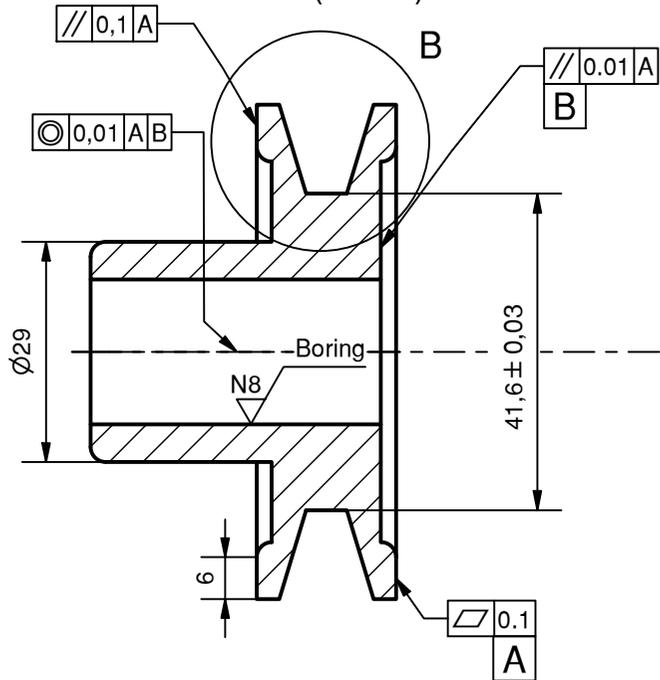
No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Pulley Motor	Besi Cor	

ISOMETRIC VIEW (1 : 2)

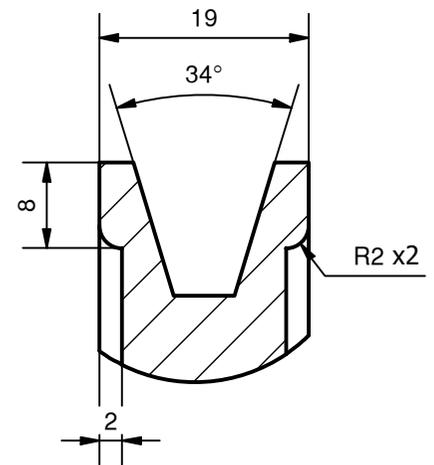
C (2 : 1)



A-A (1 : 1)



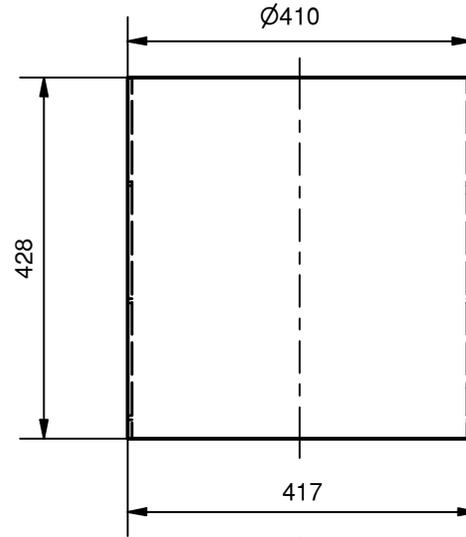
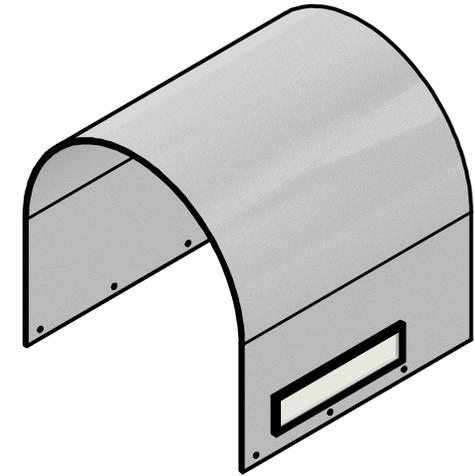
B (1,5 : 1)



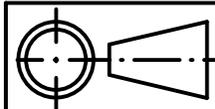
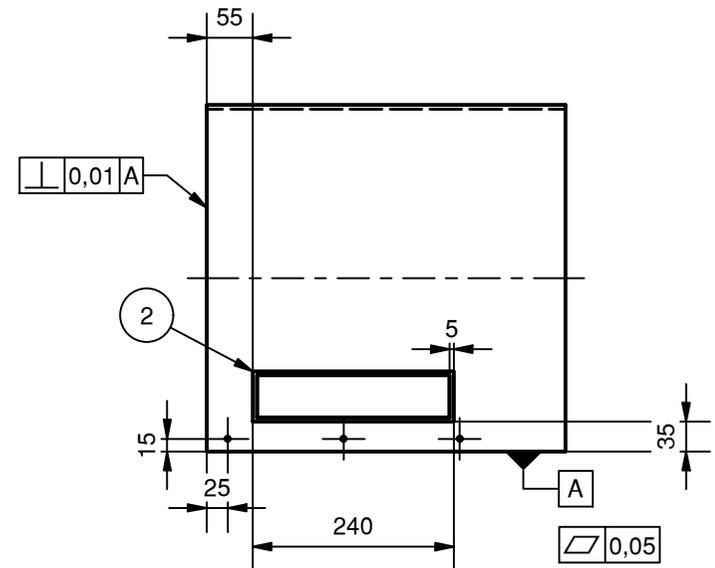
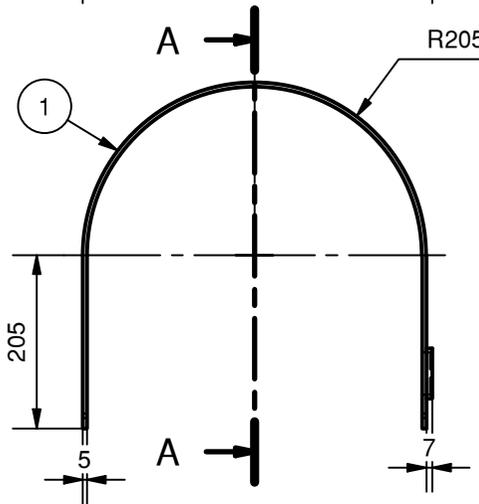
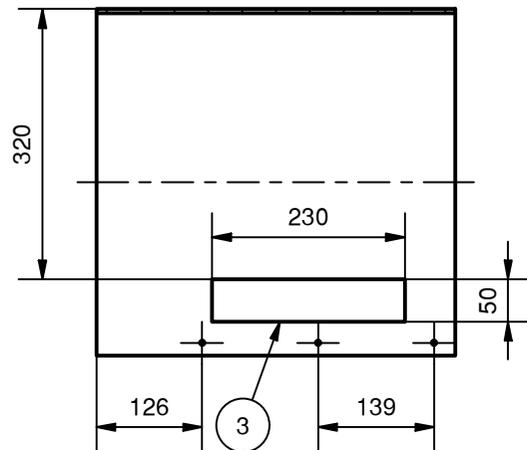
	SKALA : 1 : 1	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	PULLEY MOTOR		NO: 13	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Penutup Atas Mesin	Stainless Steel	
2	1	Frame Sight Glass	Aluminium	
3	1	Sight Glass	High Temperature Glass	

ISOMETRIC VIEW (1 : 10)



A-A (1 : 9)



SKALA : 1 : 9

UKURAN : mm

TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N

NRP : 183030113

DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

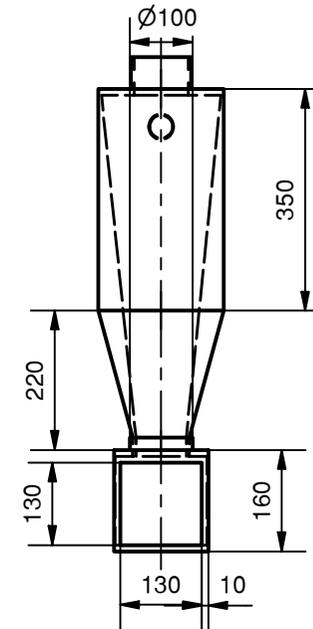
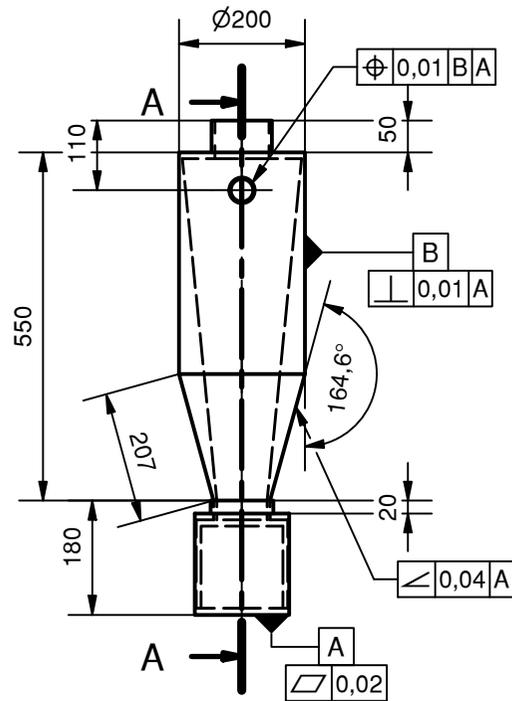
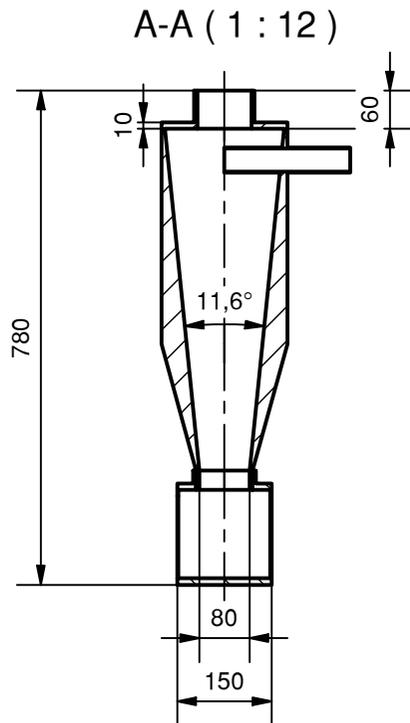
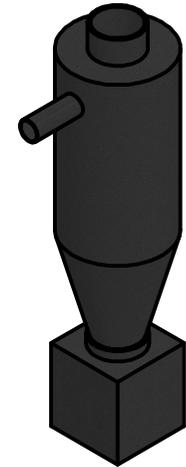
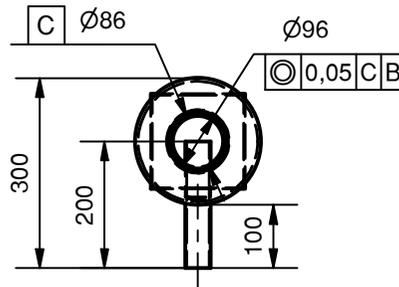
PENUTUP BAGIAN ATAS

NO: 14

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Cyclone	Alumunium	

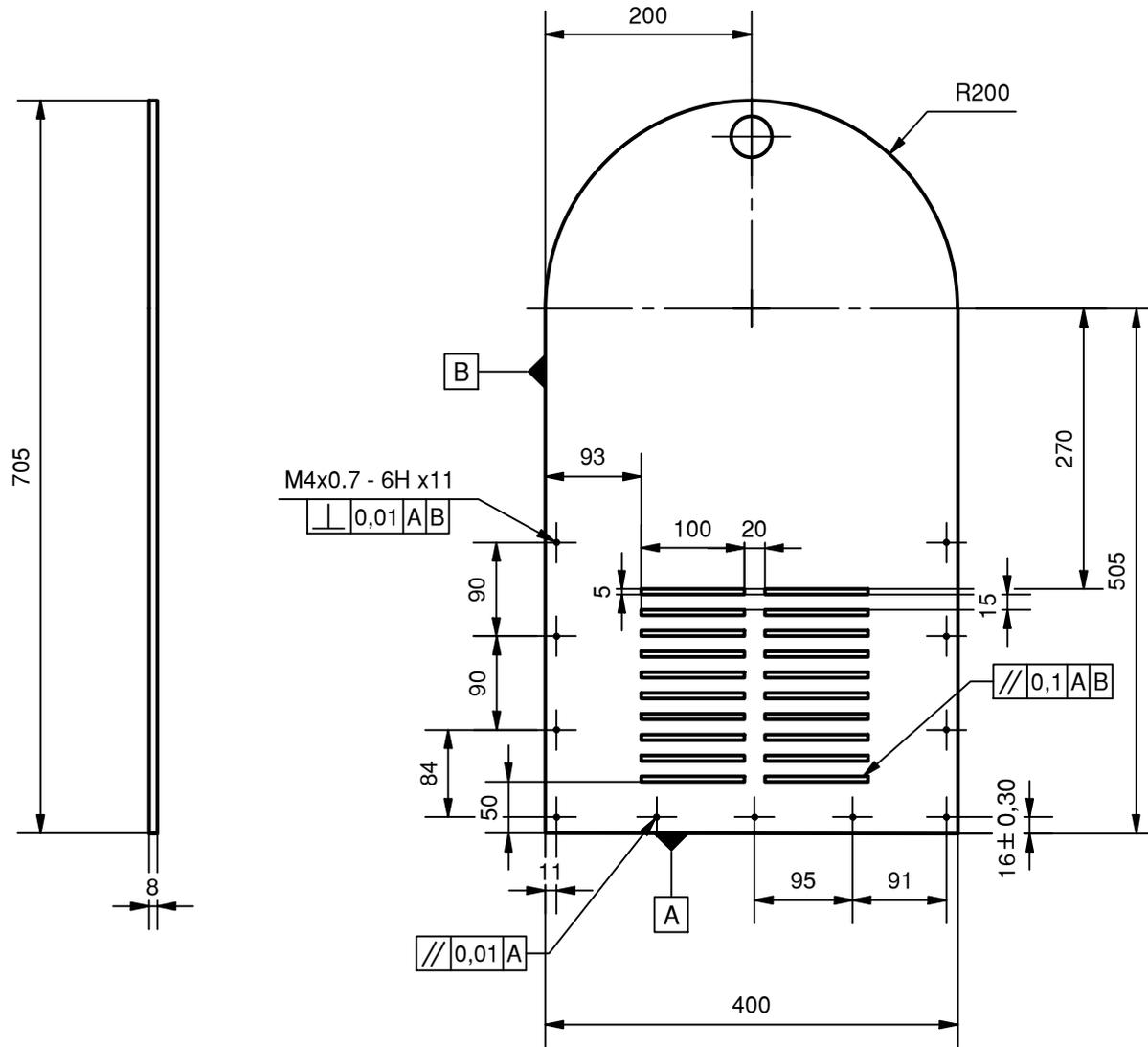
ISOMETRIC VIEW (1 : 12)



	SKALA : 1 : 12	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN		
	UKURAN : mm	NRP : 183030113			
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -			
FT- UNPAS		CYCLONE		NO: 15	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Penutup Bagian Belakang	Plat Besi	

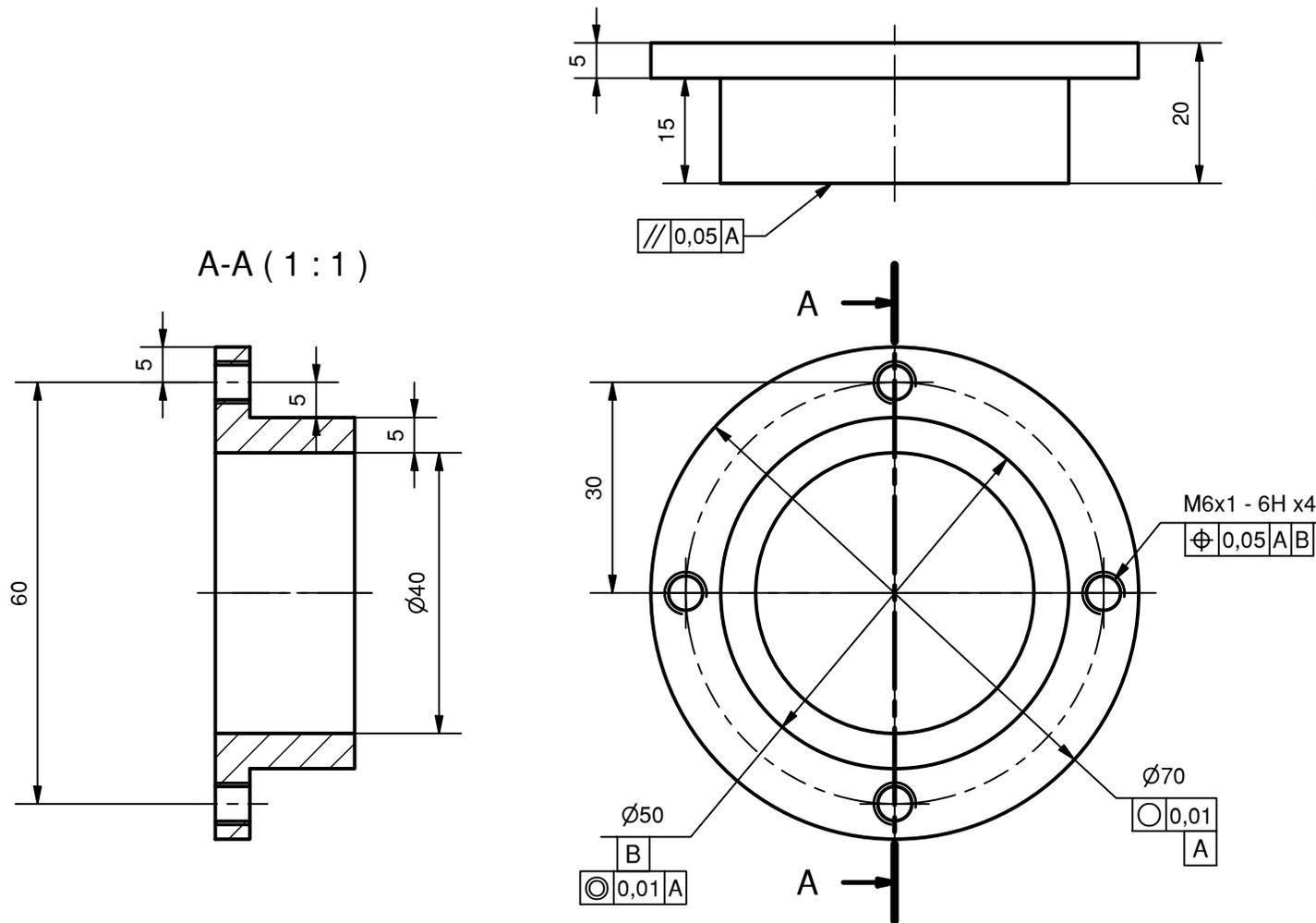
ISOMETRIC VIEW (1 : 8)



	SKALA : 1 : 7	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	PENUTUP BAGIAN BELAKANG		NO: 16	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	2	Flange	Aluminium	

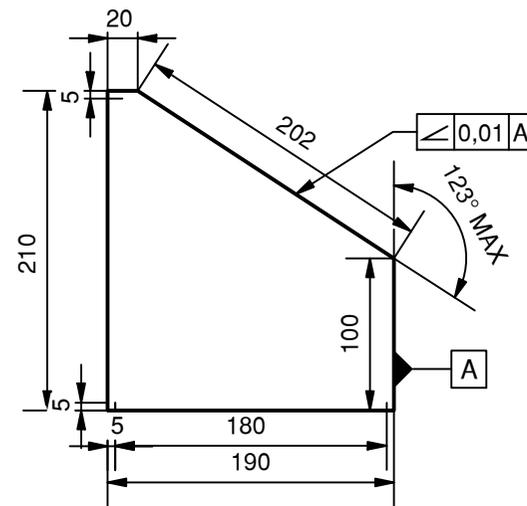
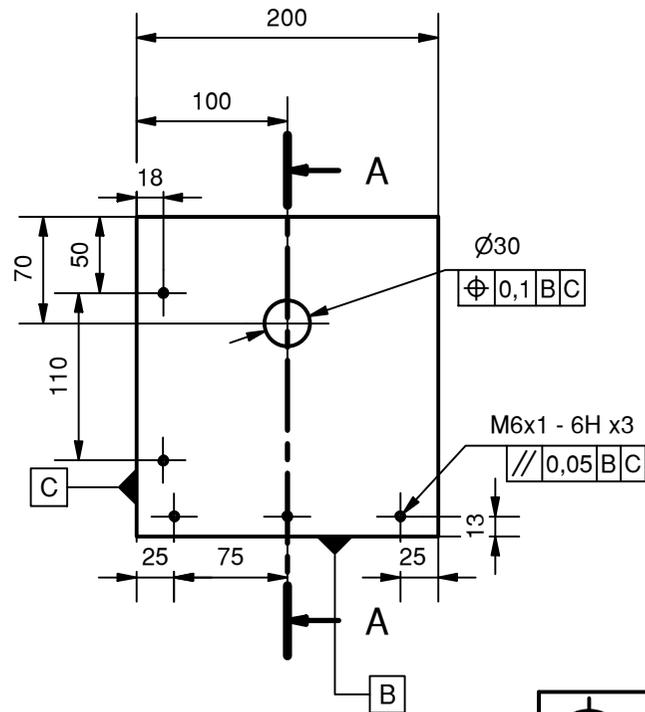
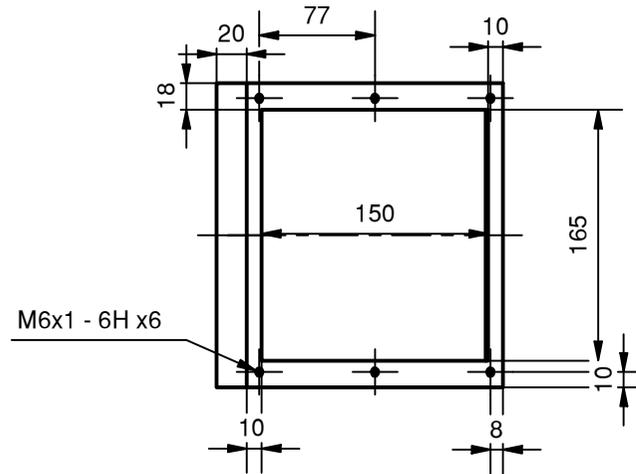
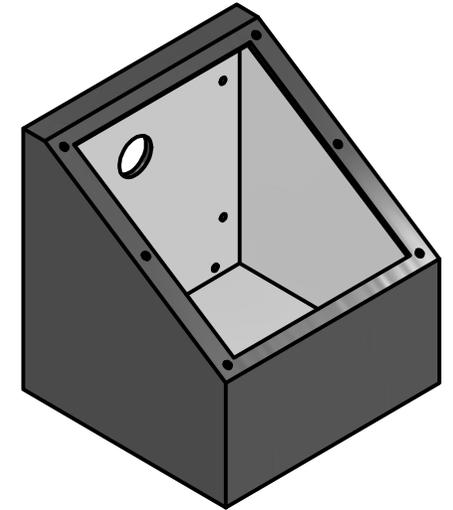
ISOMETRIC VIEW (1 : 1)



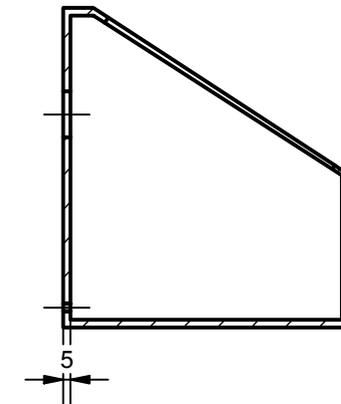
	SKALA : 1 : 1	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	FLANGE	NO: 17	A4	

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Body Control Panel	Plat Besi	

ISOMETRIC VIEW (1 : 5)



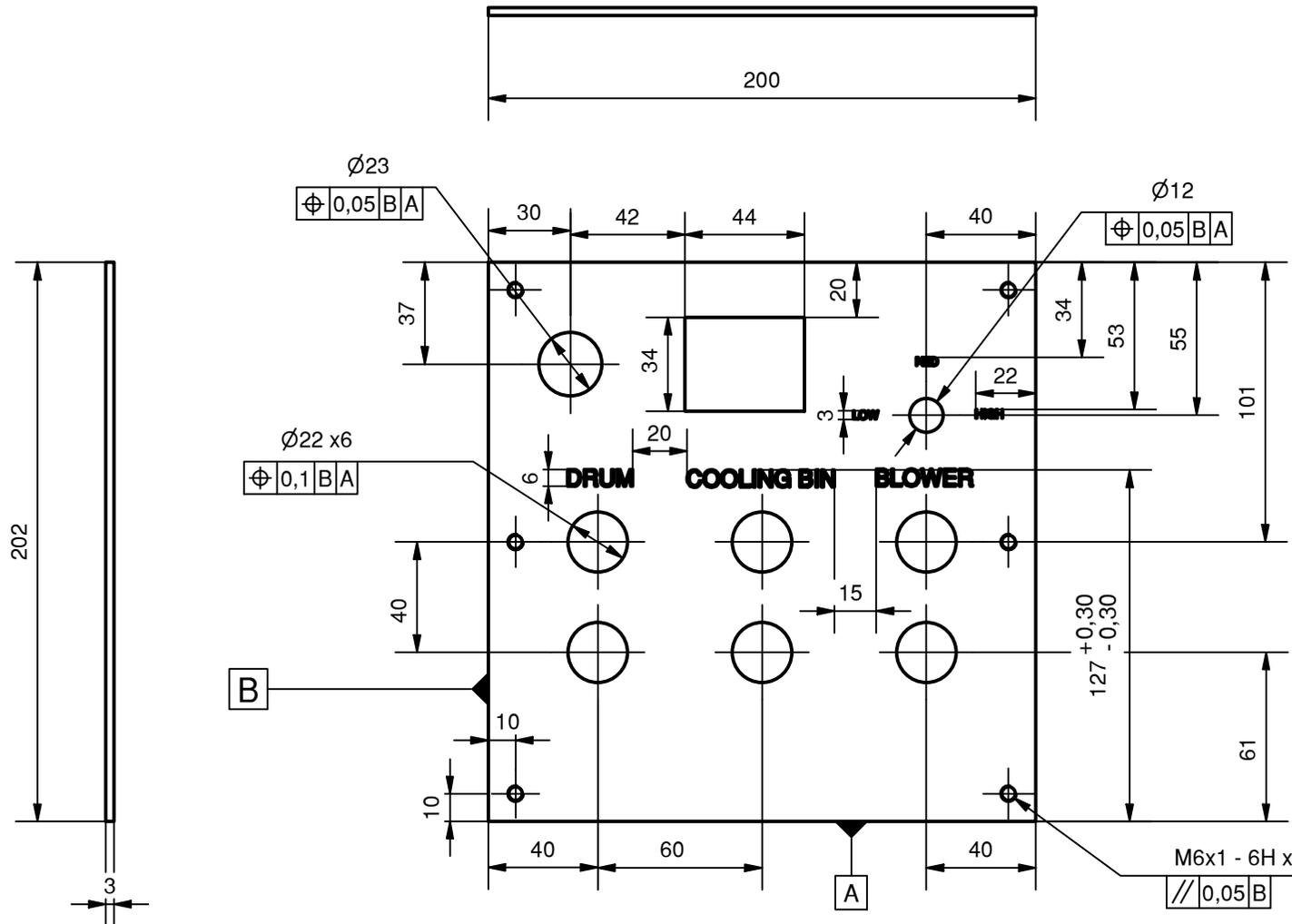
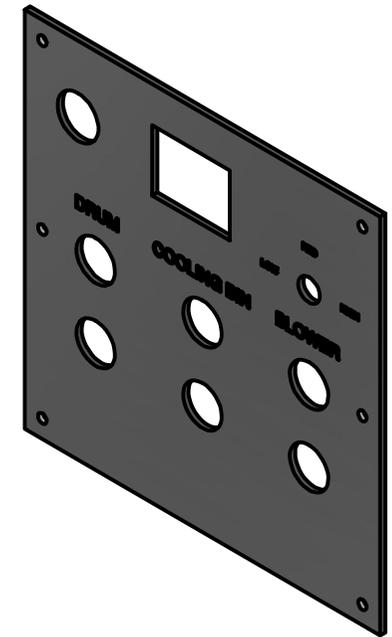
A-A (1 : 5)



	SKALA : 1 : 5	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	BODY CONTROL PANEL		NO: 18	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Layout Control Panel	Plat Besi	

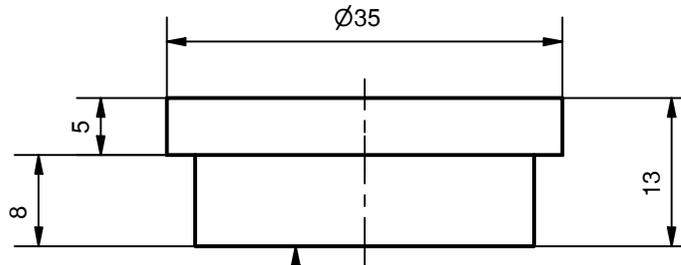
ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



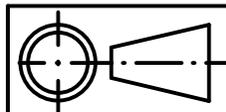
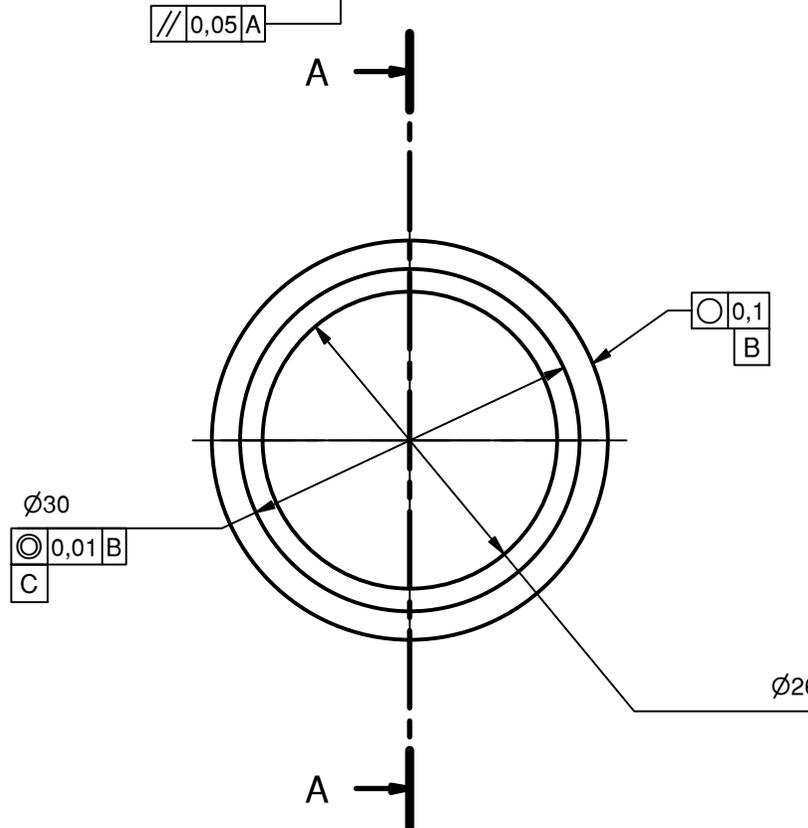
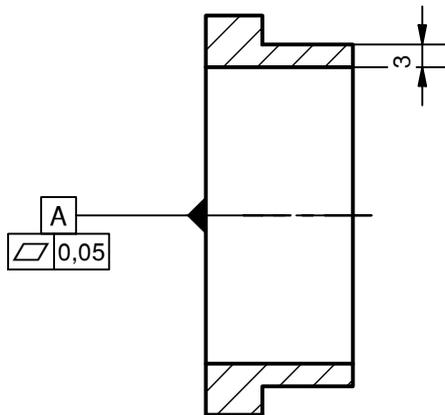
	SKALA : 1 : 3	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	LAYOUT CONTROL PANEL	NO: 19	A4	

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Rumah Sampler	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 1)



A-A (1.5 : 1)



SKALA : 1,2 : 1

UKURAN : mm

TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N

NRP : 183030113

DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

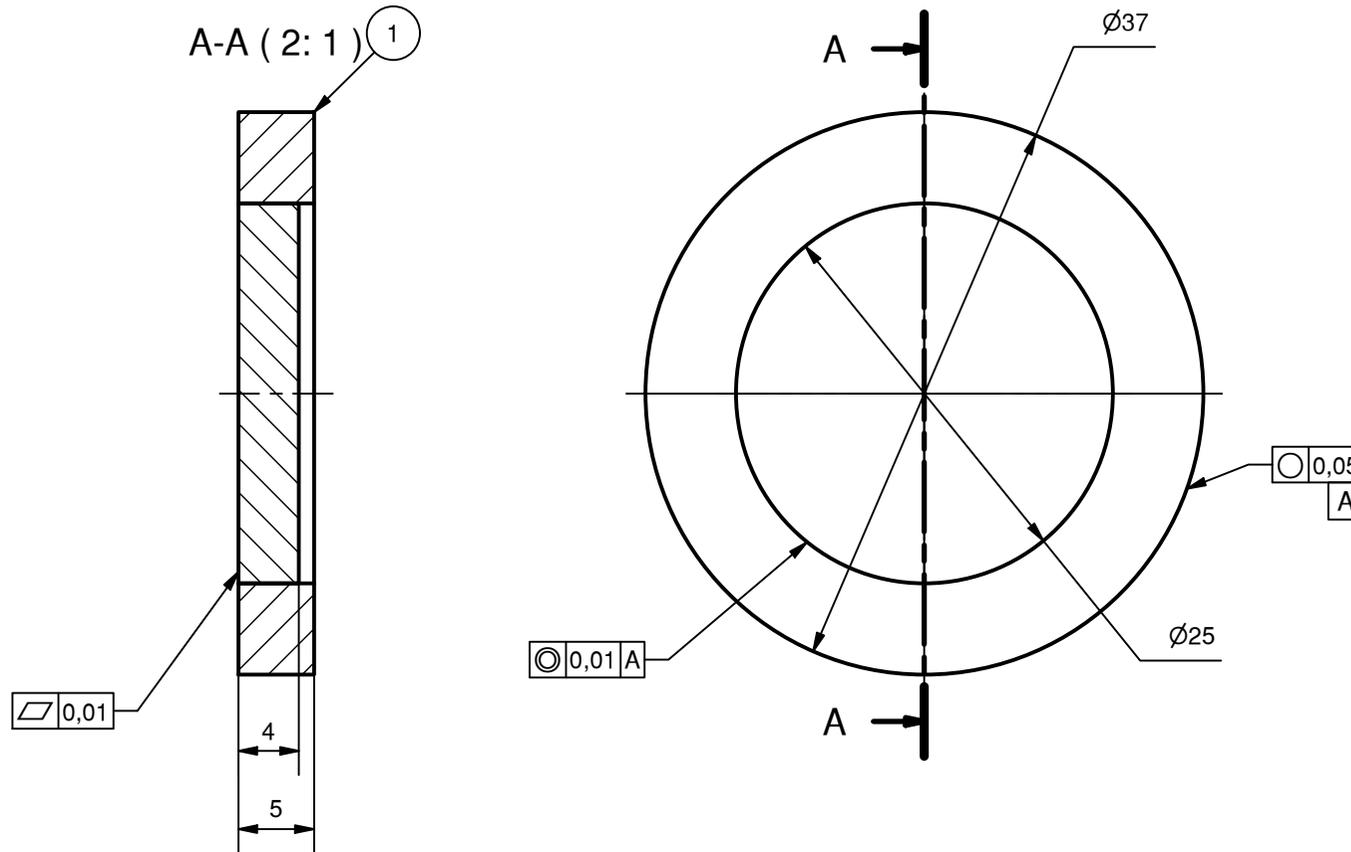
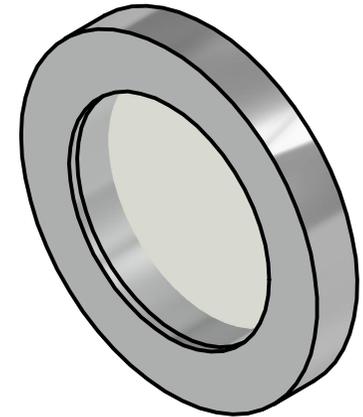
RUMAH SAMPLER

NO: 20

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Casing Sight Glass	Aluminium	
2	1	Sight Glass	High Temperature Glass	

ISOMETRIC VIEW (1,5 : 1)

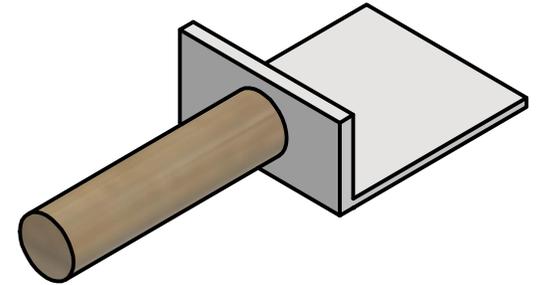
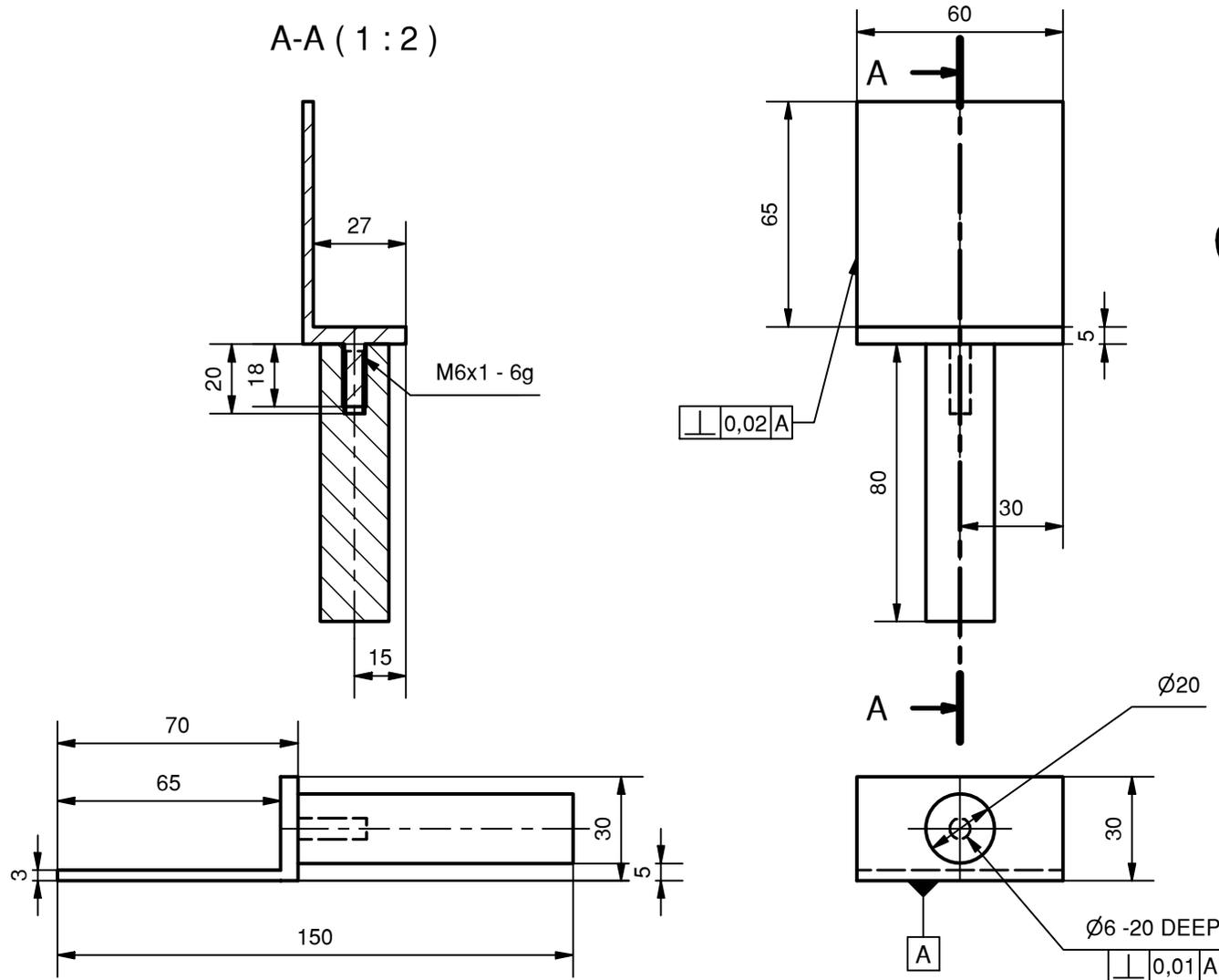


	SKALA : 2 : 1	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	SIGHT GLASS		NO: 21	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Plat Separator	Stainless Steel 304	
1	1	Handle Separator	Wood	

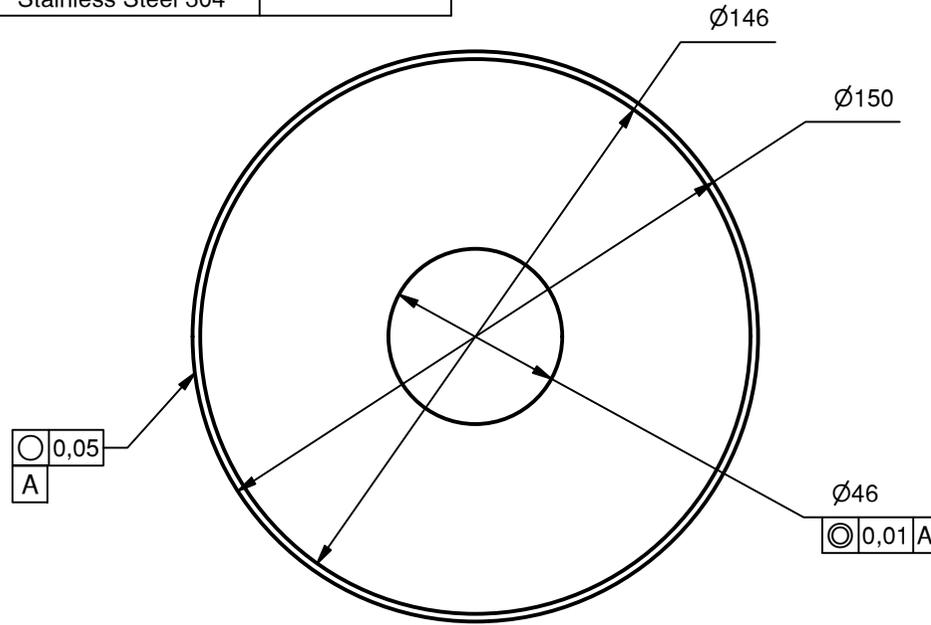
ISOMETRIC VIEW (1 : 2)

A-A (1 : 2)

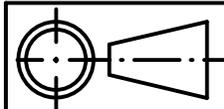
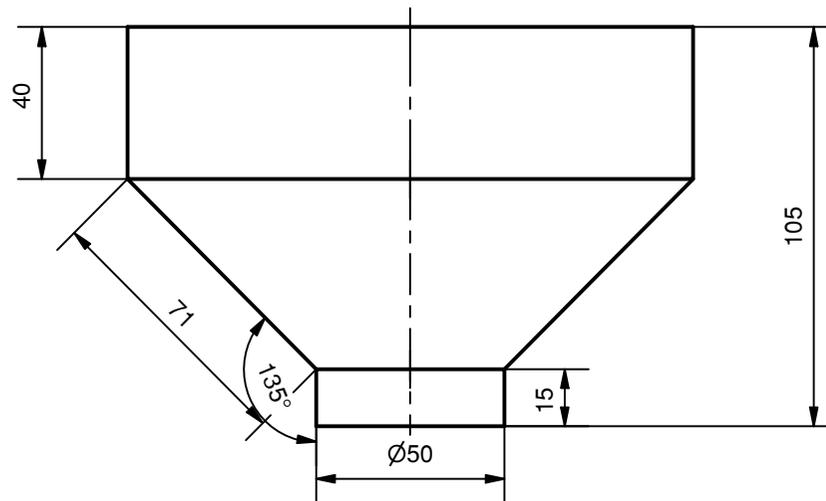
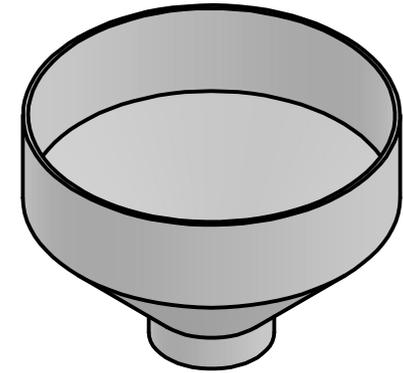


	SKALA : 1 : 2	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN		
	UKURAN : mm	NRP : 183030113			
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -			
FT- UNPAS		SEPARATOR INPUT		NO: 22	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Hooper	Stainless Steel 304	



ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



SKALA : 1 : 2
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

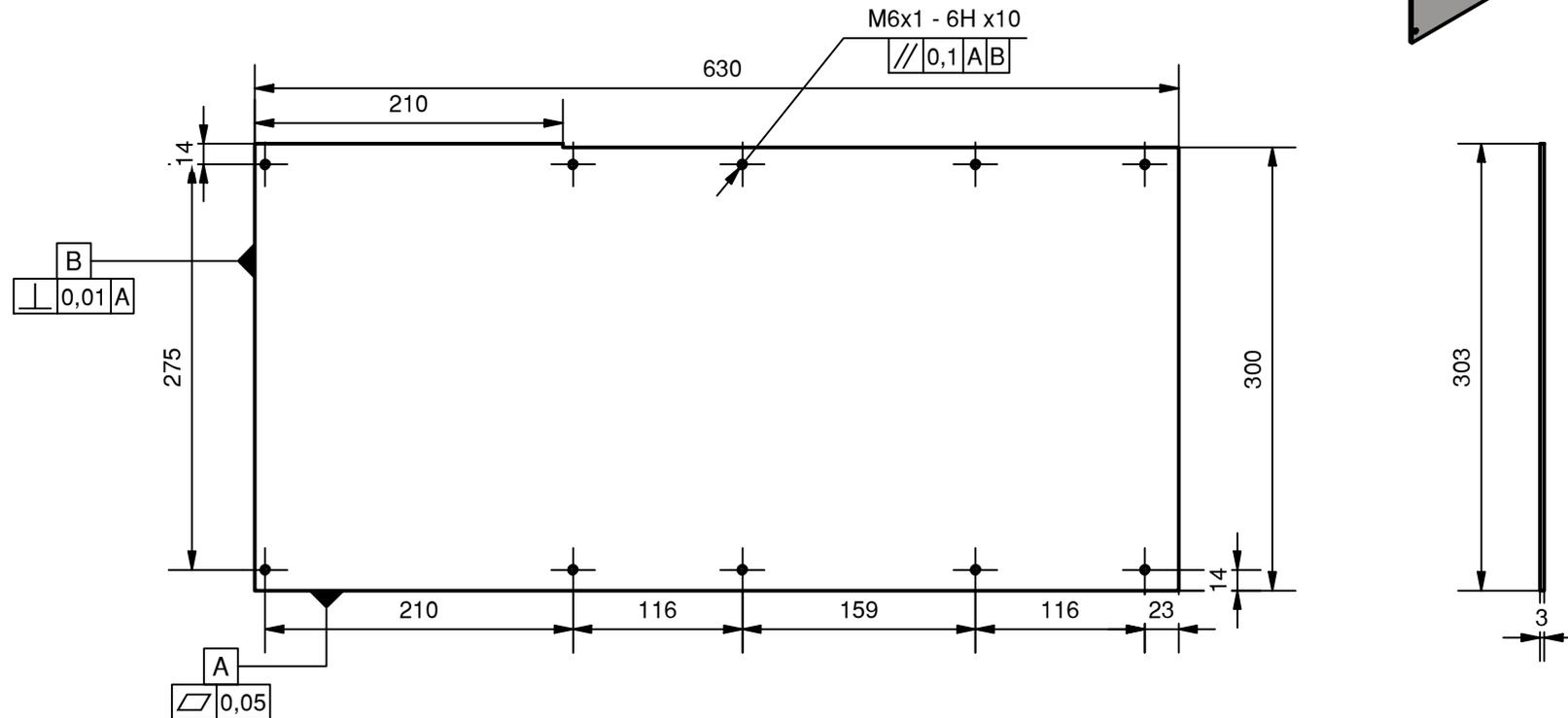
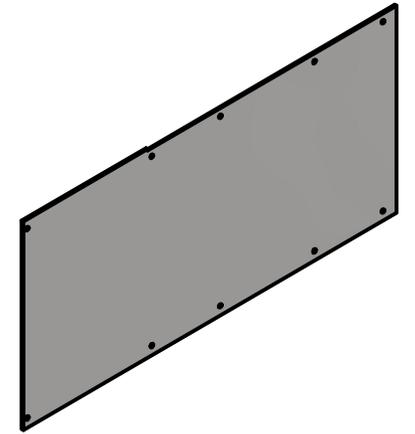
HOOPER

NO: 23

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Penutup Bagian Kiri	Plat Besi	

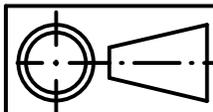
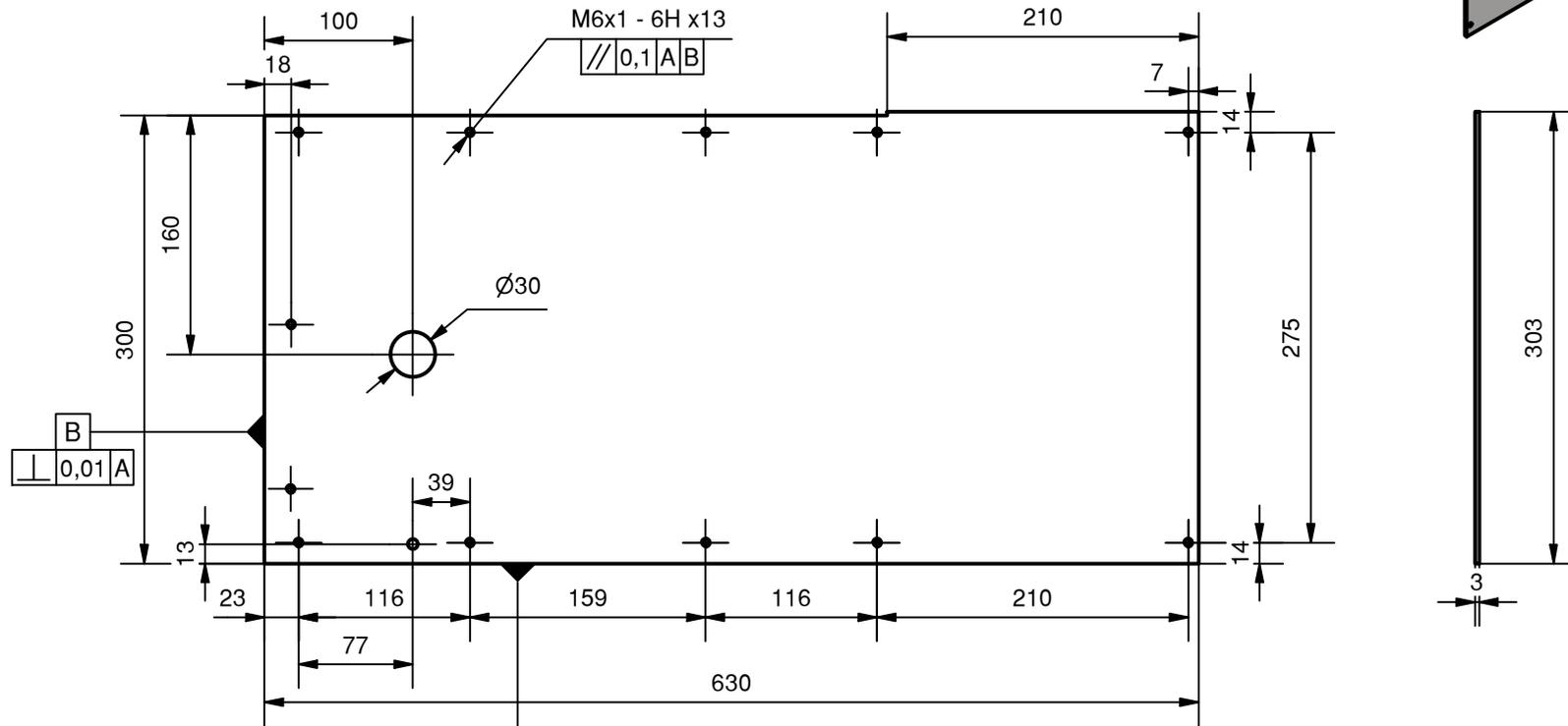
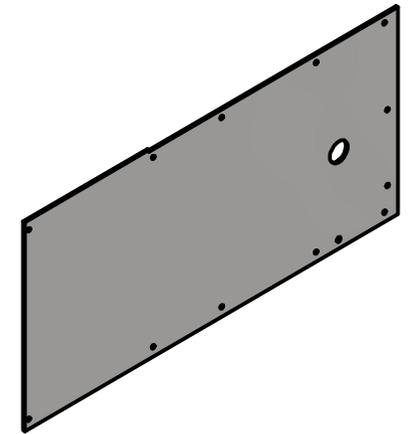
ISOMETRIC VIEW (1 : 9)



	SKALA : 1 : 5	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	PENUTUP BAGIAN KIRI		NO: 24	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Penutup Bagian Kanan	Plat Besi	

ISOMETRIC VIEW (1 : 9)



SKALA : 1 : 5	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN
UKURAN : mm	NRP : 183030113	
TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -	

FT- UNPAS

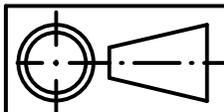
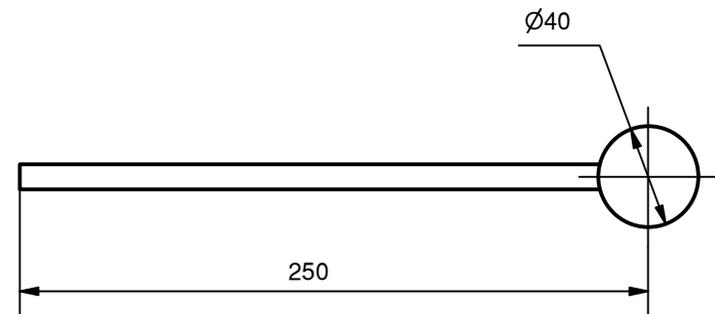
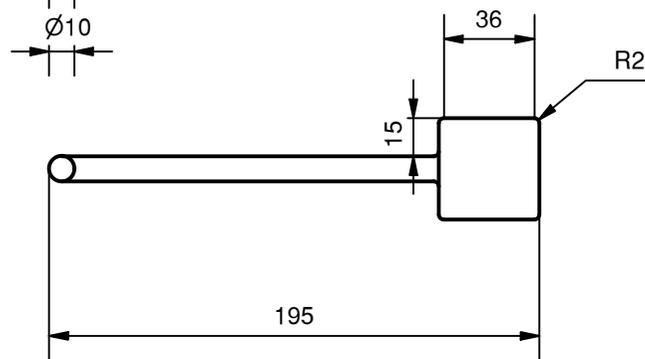
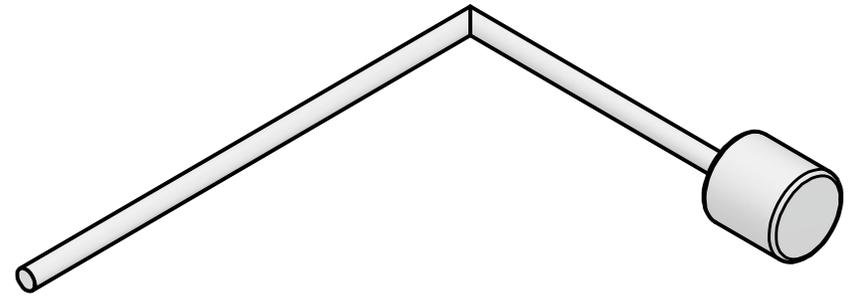
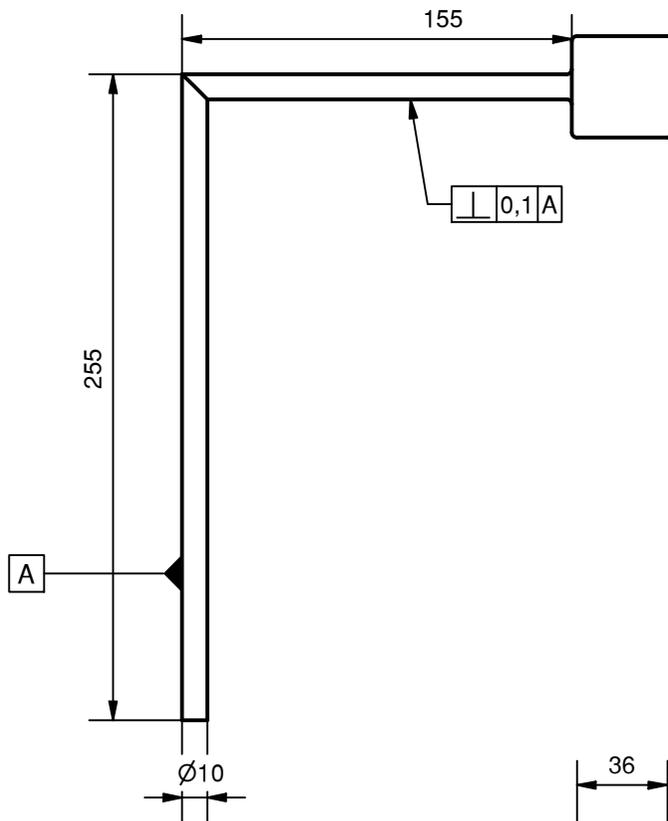
PENUTUP BAGIAN KANAN

NO: 25

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Tuas Pintu Keluaran	Aluminium	

ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



SKALA : 1 : 3
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

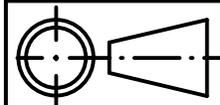
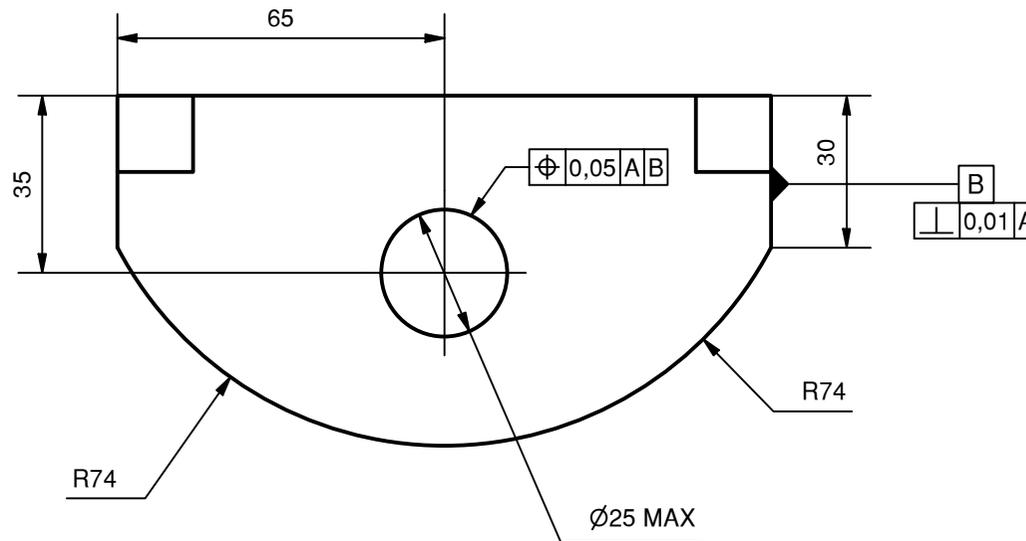
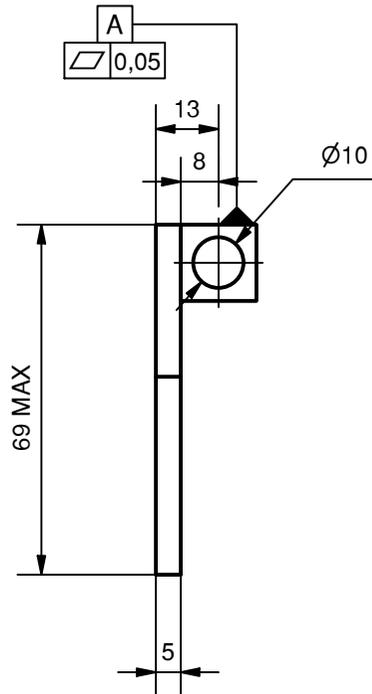
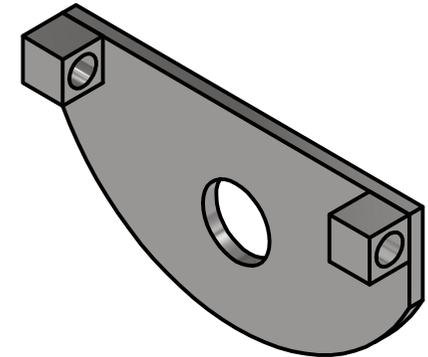
TUAS PINTU OUTPUT MESIN

NO: 26

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Pintu Output Mesin	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 2)



SKALA : 1 : 2	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
UKURAN : mm	NRP : 183030113		
TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		

FT- UNPAS

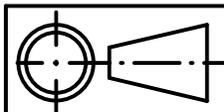
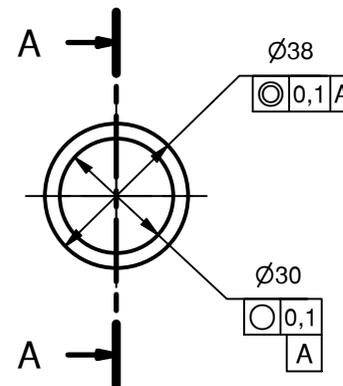
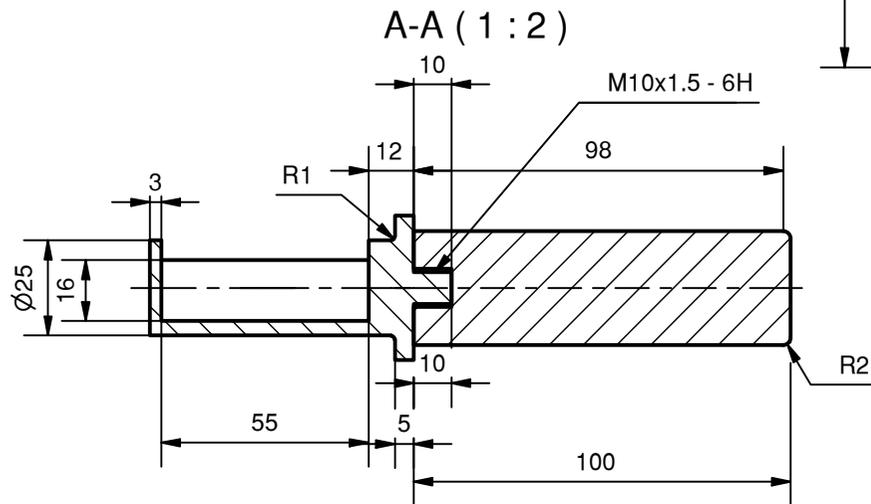
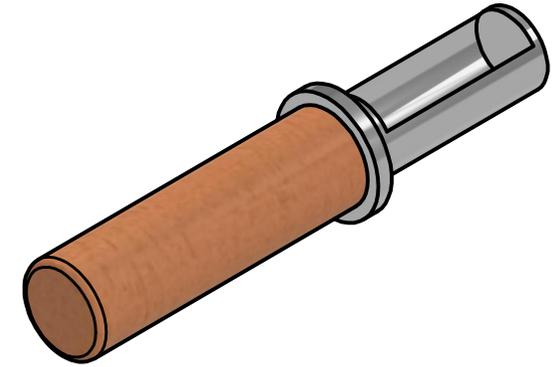
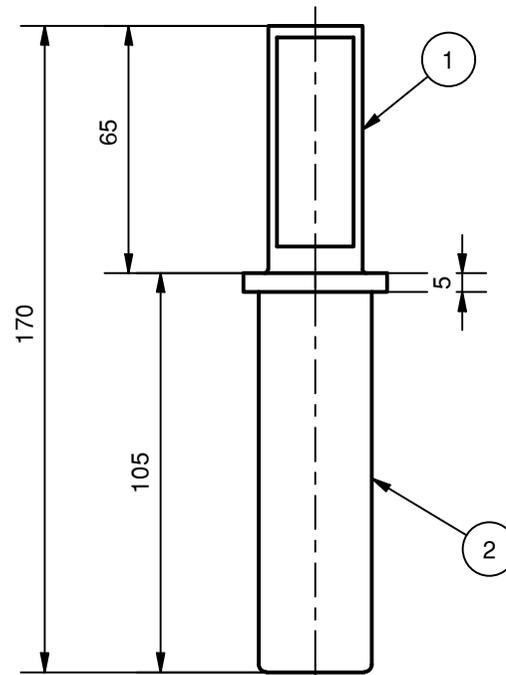
PINTU OUTPUT MESIN

NO: 27

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Sampler	Stainless Steel 304	
2	1	Handle	Wood	

ISOMETRIC VIEW (1 : 2)



SKALA : 1 : 2
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

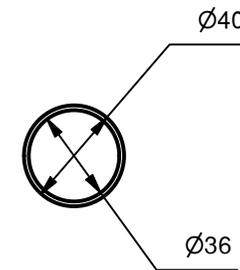
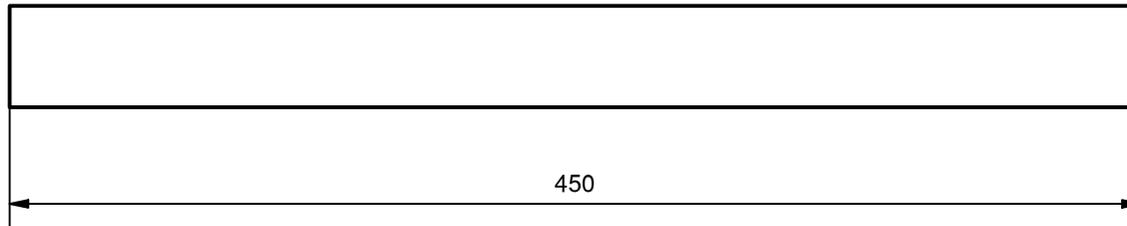
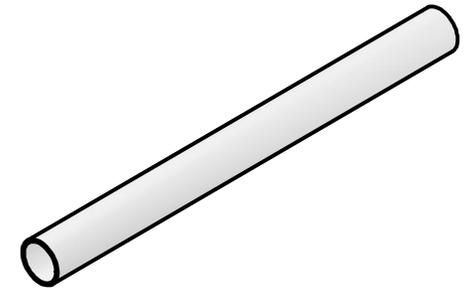
SAMPLER

NO: 28

A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Pipa Exhaust	Stainless Hollow Pipe	

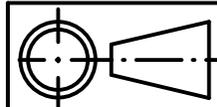
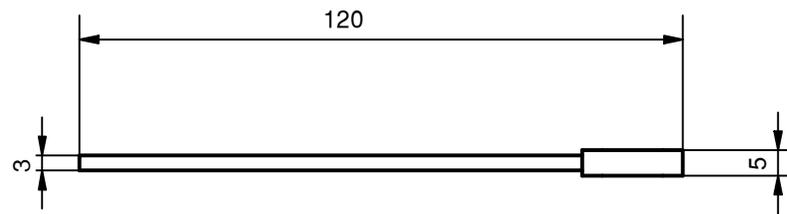
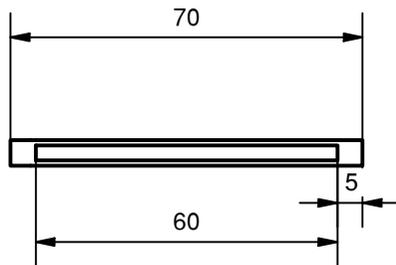
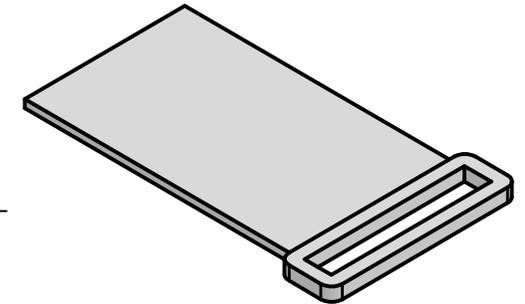
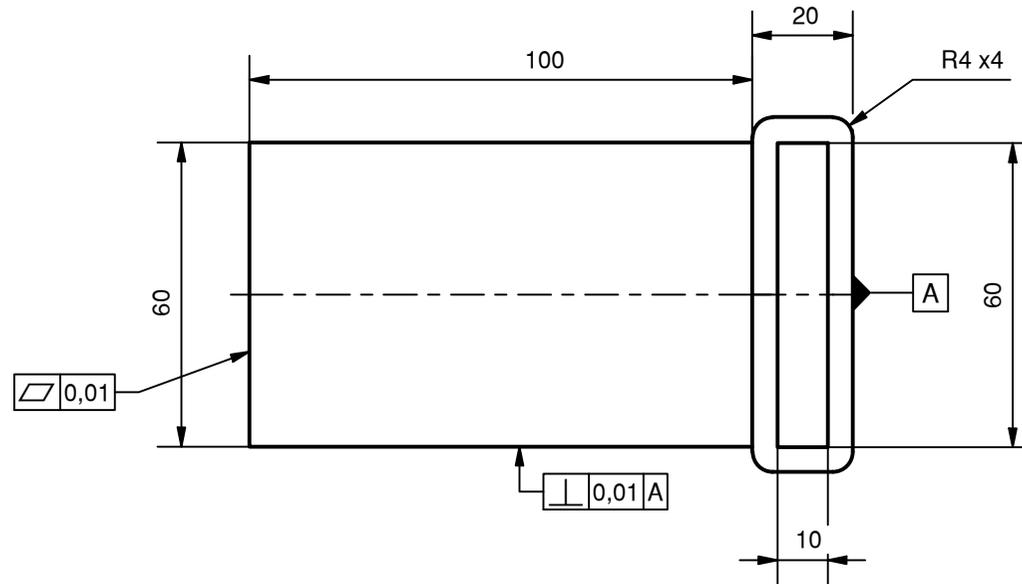
ISOMETRIC VIEW (1 : 6)



	SKALA : 1 : 3	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	PIPA EXHAUST		NO: 29	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Separator Cooling Bin	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 2)



SKALA : 1 : 2

UKURAN : mm

TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N

NRP : 183030113

DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

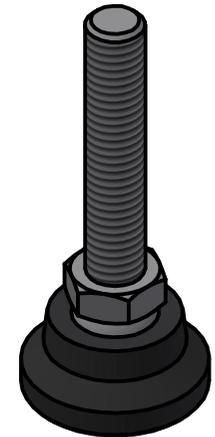
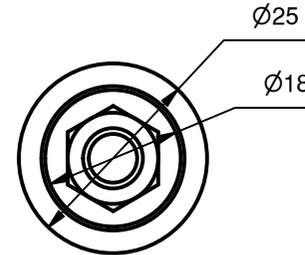
SEPARATOR COOLING BIN

NO: 30

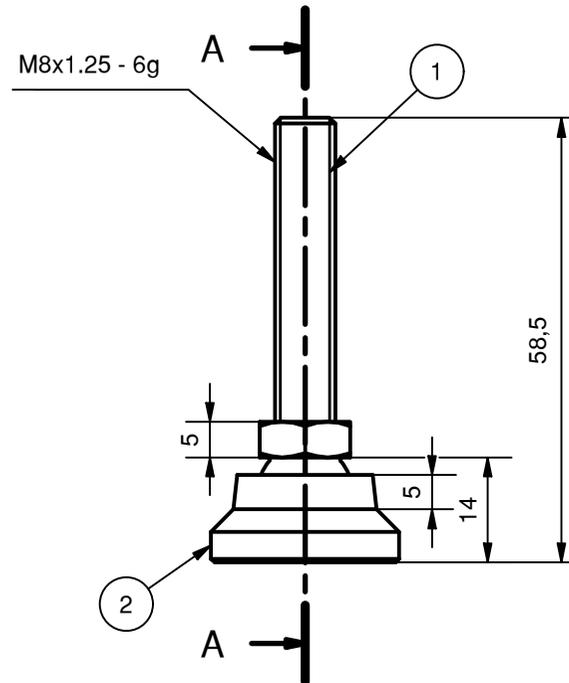
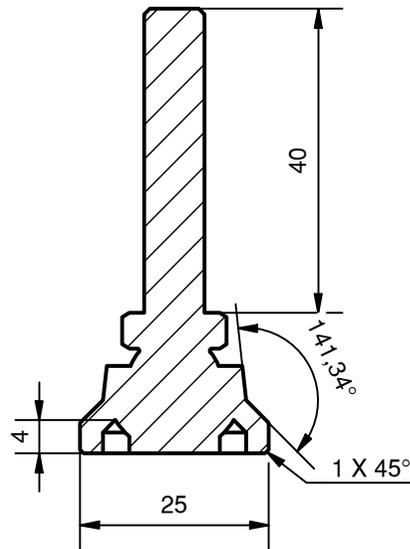
A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	8	Baut	Alloy Steel	
2	8	Alas Karet	Karet	

ISOMETRIC VIEW (1 : 1)



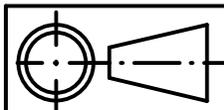
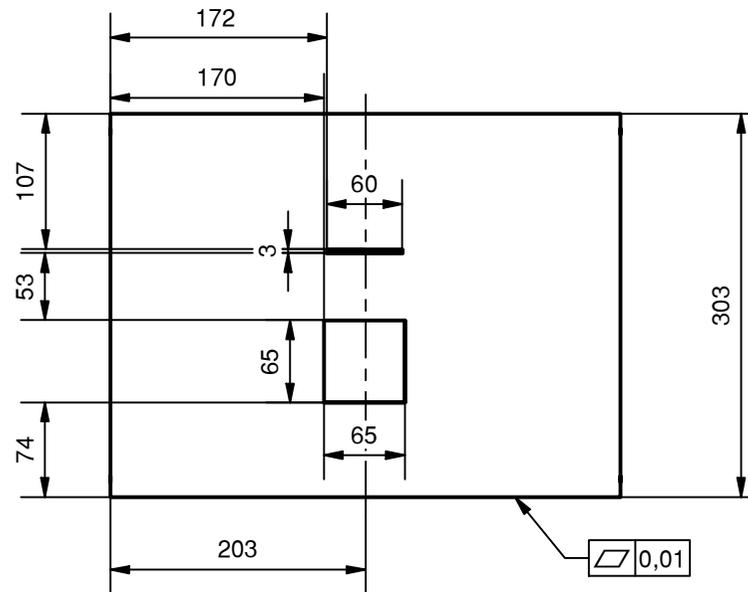
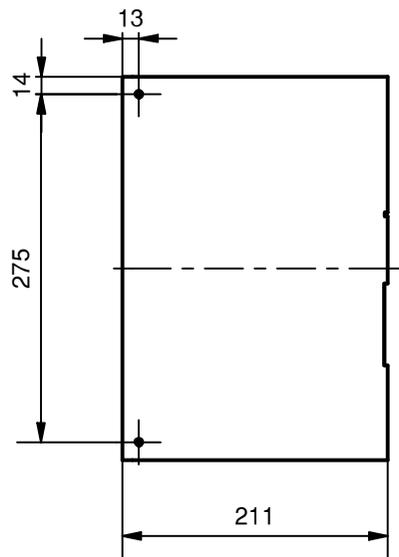
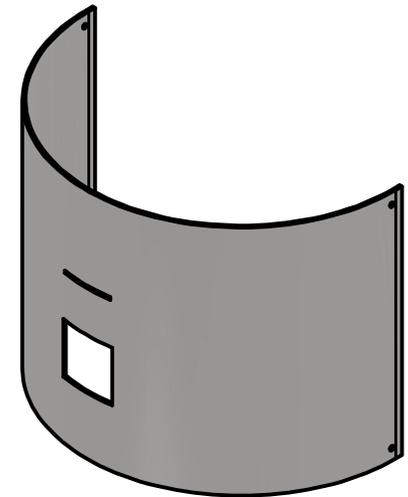
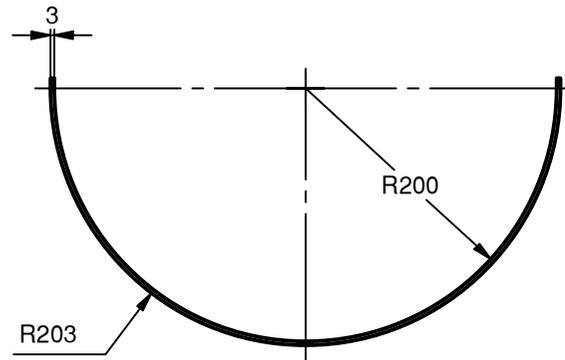
A-A (1 : 1)



	SKALA : 1 : 1,5	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	KAKI MESIN		NO: 31	A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Penutup Depan Cooling Bin	Stainless Steel 304	

ISOMETRIC VIEW (1 : 7)



SKALA : 1 : 6
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

FT- UNPAS

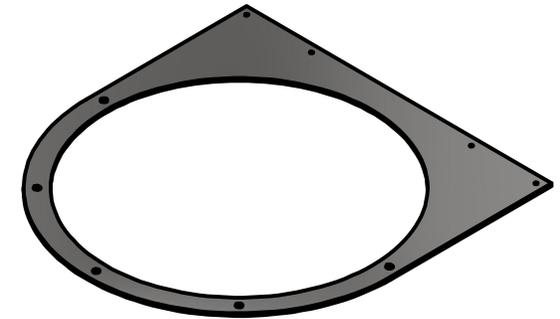
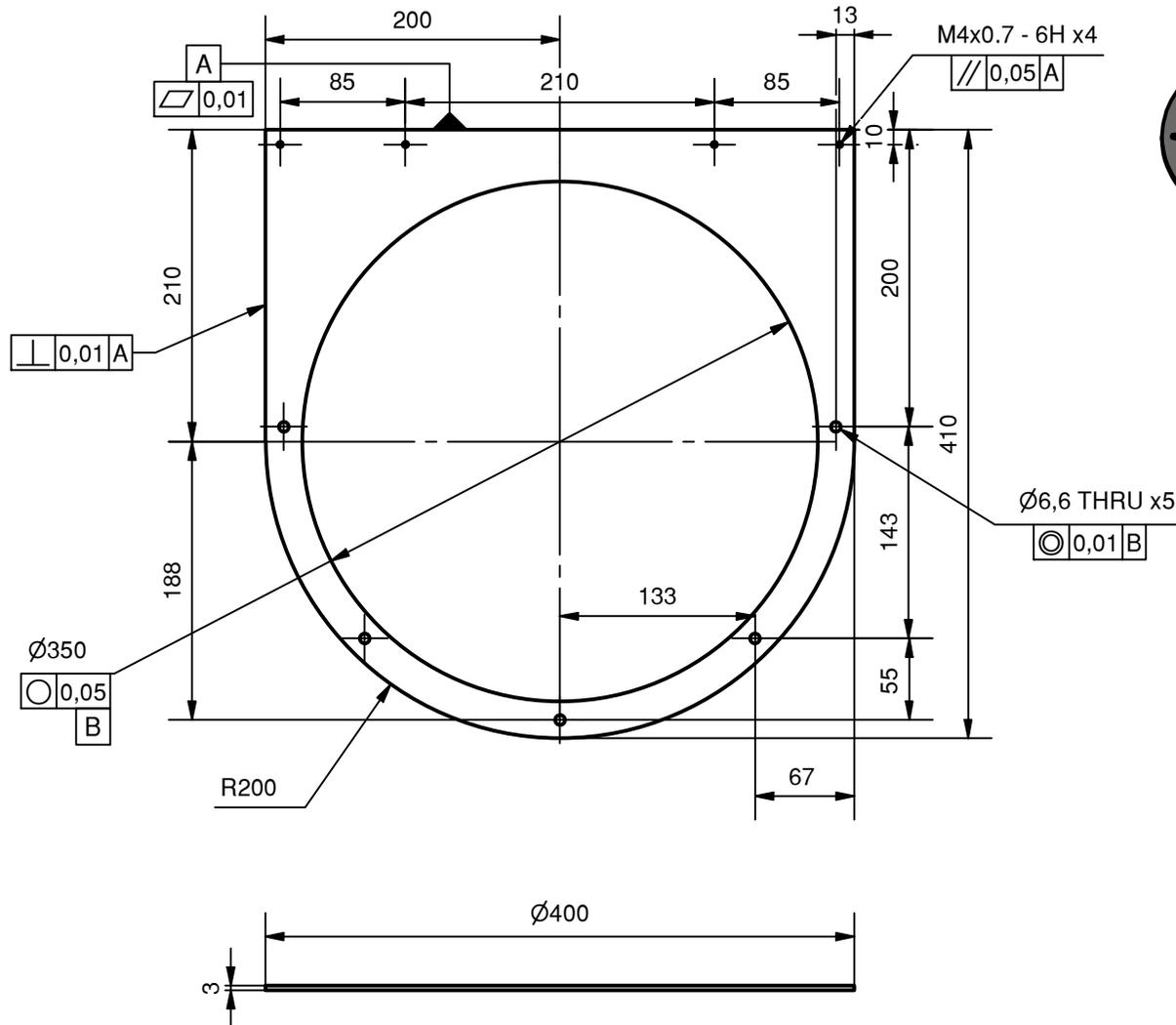
PENUTUP DEPAN COOLING BIN

NO: 32

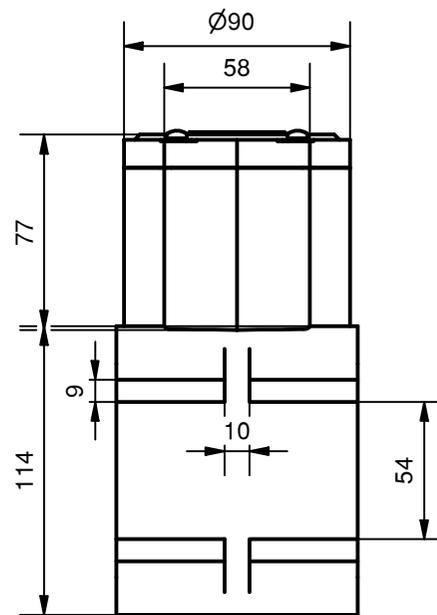
A4

No	QTY	Nama Bagian	Material	Keterangan
1	1	Penutup Atas Cooling Bin	Stainless Steel 304	

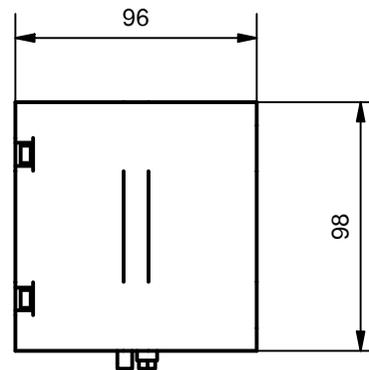
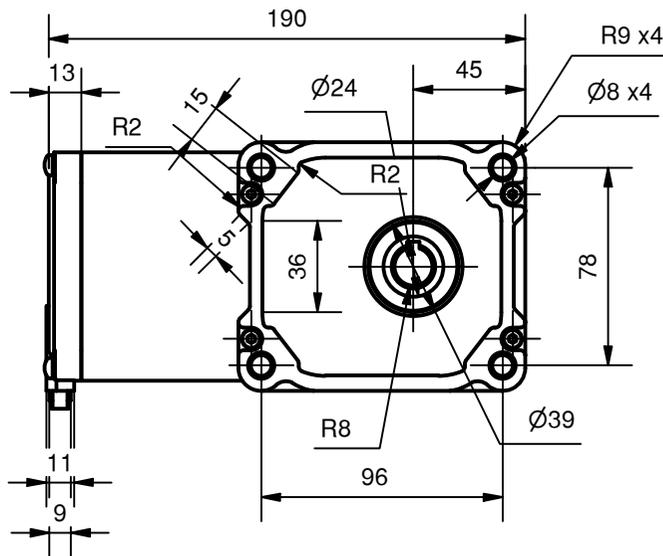
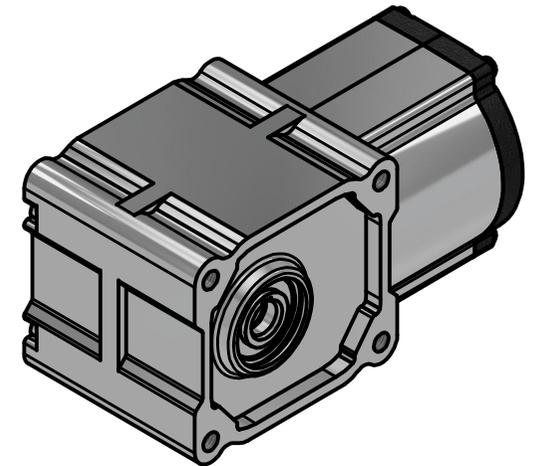
ISOMETRIC VIEW (1 : 7)



	SKALA : 1 : 5	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	PENUTUP ATAS COOLING BIN		NO: 33	A4

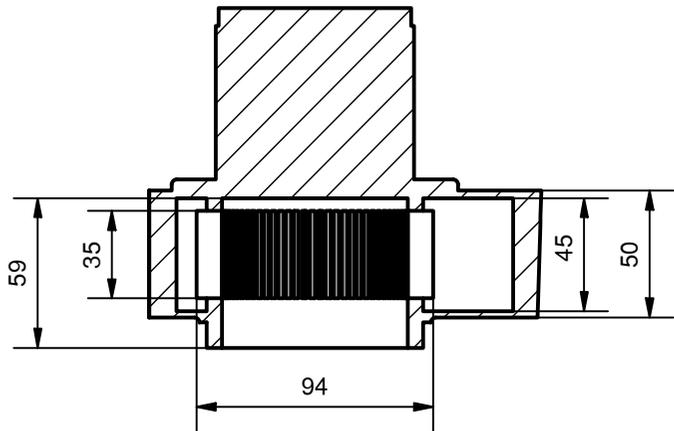


ISOMETRIC VIEW (1 : 3)

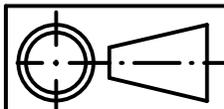
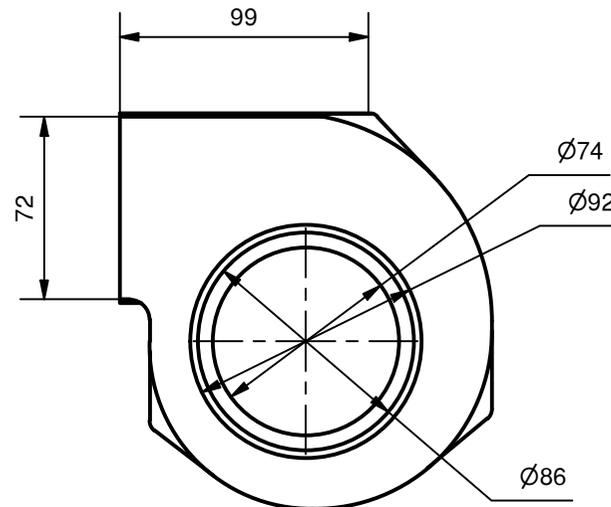
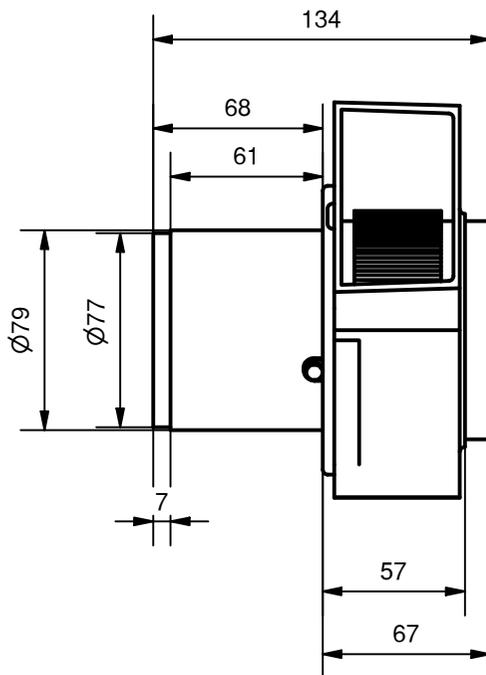
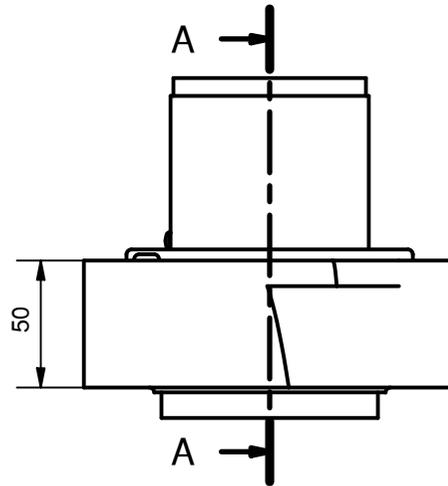
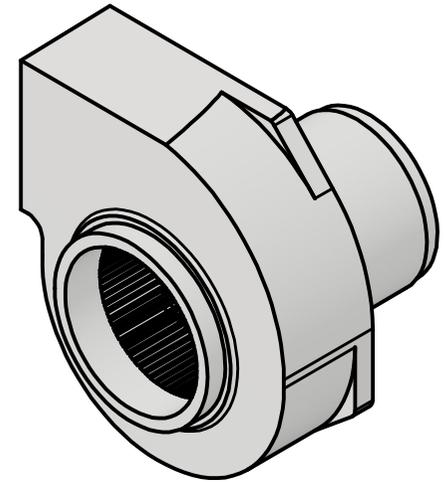


	SKALA : 1 : 3	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN		
	UKURAN : mm	NRP : 183030113			
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -			
FT- UNPAS		MOTOR AGITATOR		NO: 34	A4

A-A (1 : 3)



ISOMETRIC VIEW (1 : 3)



SKALA : 1 : 3
 UKURAN : mm
 TANGGAL : 08-01-2023

DIGAMBAR : M. SHADDAM. N
 NRP : 183030113
 DIPERIKSA : -

KETERANGAN

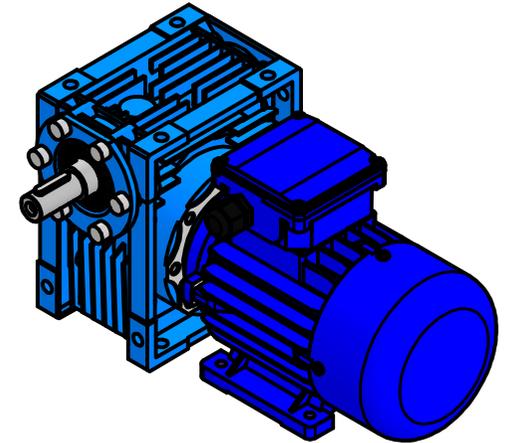
FT- UNPAS

EXHAUST FAN

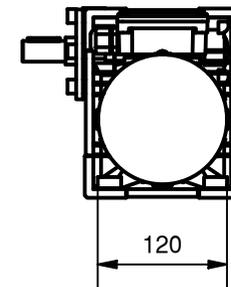
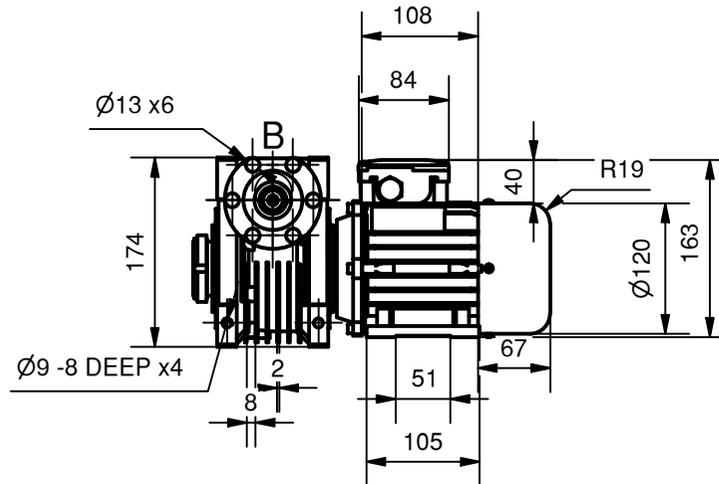
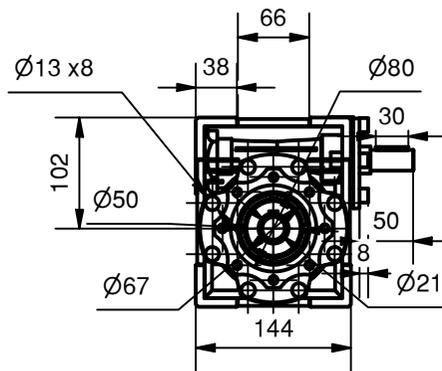
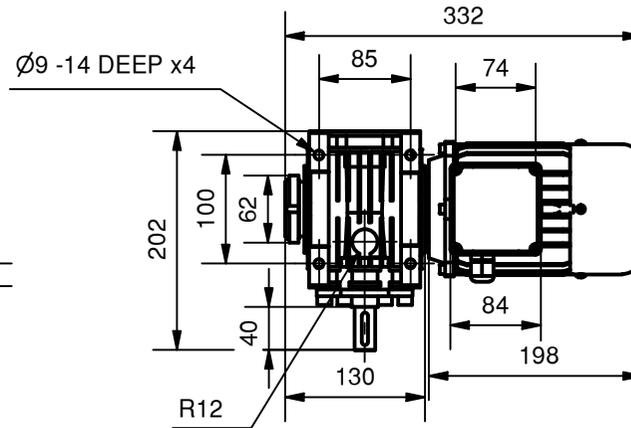
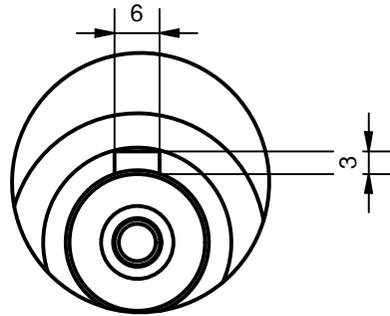
NO: 35

A4

ISOMETRIC VIEW (1 : 5)



B (1 : 1)



	SKALA : 1 : 7	DIGAMBAR : M. SHADDAM. N	KETERANGAN	
	UKURAN : mm	NRP : 183030113		
	TANGGAL : 08-01-2023	DIPERIKSA : -		
FT- UNPAS	MOTOR DRUM		NO: 36	A4