

KARAKTERISASI DAN ANALISA KOROSI PADA PIPA STEAM

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan Program Sarjana Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung

Disusun Oleh:
Ryanda Indra Abdu
(13.3030149)



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PASUNDAN

BANDUNG

2019

KARAKTERISASI DAN ANALISA KOROSI PADA PIPA STEAM

*Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi
Ketentuan kurikulum Jurusan Teknik Mesin Universitas Pasundan*

Disusun Oleh :

Ryanda Indra Abdu Siregar (133030.149)

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

IR. Bukti Tarigan, MT

IR. Rachmat Hartono , MT



ABSTRAK

Perkembangan Industri yang bergerak maju dengan pesat, akan menuntut penyediaan energi yang cukup besar pula, terlebih lagi pada negara-negara berkembang. Pembangkit tenaga listrik merupakan salah satu penyedia yang memiliki kontribusi yang sangat penting di antara penunjang-penunjang energi lain. Kebutuhan energi listrik sebagai penunjang pembangunan pada abad ke 20 meningkat dengan pesat, yaitu sekitar 15-17% per tahun. Oleh karena itu upaya diversifikasi energi untuk memanfaatkan seluruh sumber daya alam sudah merupakan hal yang mendesak terlebih dengan semakin terbatasnya cadangan minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi cukup besar di Indonesia, yaitu sekitar 16.000 MW, adalah energi panas bumi. Pipa steam merupakan salah satu instrument penting pada PLTP untuk mengalirkan fluida dari sumur uap menuju turbin, mengubah energi potensial menjadi energi mekanik yang mengakibatkan dorongan yang dapat menggerakkan sudu turbin dan langsung diubah menjadi energi listrik dengan generator. Akan tetapi seringkali terjadi masalah pada pipa steam (uap) menjadi kendala tersendiri bagi setiap unit pada PLTP, salah satu masalah yang terjadi adalah korosi yang timbul pada dinding pipa yang menyebabkan terjadinya kebocoran hingga ledakan, dikarenakan korosi tidak dapat dihindari. Maka daripada itu analisa korosi dilakukan pada pipa steam untuk mengetahui penyebab terjadinya korosi pada dinding pipa, menentukan jenis korosi serta penanggulangan yang tepat yang harus dilakukan untuk memperpanjang umur pipa. Hasil yang didapat dari penelitian, maka diperoleh kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro, jenis pipa steam adalah baja karbon rendah kandungan karbon 0,194 % dengan standart *ASTM A381* yang memiliki fasa ferrite dan pearlite yang memiliki kandungan Menurut grafik hasil pengujian pengujian kekerasan diidentifikasi terjadi penurunan kekuatan Tarik pada pipa steam akibat terjadinya korosi. menurut hasil pengujian metalografi mikroskopik bahwa pipa steam diproduksi dengan proses welding dan pengerolan dari material sebelumnya berbentuk plat.

Kata kunci pipa steam

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Kegiatan Tugas Akhir ini. merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Program Strata 1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan Bandung, sesuai dengan kurikulum yang telah ditetapkan oleh institusi.

Atas bimbingan dan bantuan yang telah diberikan baik secara langsung maupun tidak langsung selama tugas akhir sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik, penulis menyampaikan rasa syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. Yang selalu membimbing penulis dalam setiap pembelajaran yang dilakukan.
2. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan do'a dan dukungannya baik moril maupun materil.
3. Bapak Dr. Ir. H. Dedi Lazuardi, DEA., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG.
4. Bapak IR. Bukti Tarigan, MT., selaku pembimbing I Tugas Akhir dari UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG
5. Bapak IR. Rachmat Hartono, MT., pembimbing II Tugas Akhir dari UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG.
6. Seluruh dosen dan karyawan JURUSAN TEKNIK MESIN, UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG.
7. Teman-teman yang senantiasa memberikan dorongan semangat.

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis masih membutuhkan kritik dan saran yang membangun, untuk perbaikan penulisan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat, khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandung, Oktober 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KARAKTERISASI DAN ANALISA KOROSI PADA PIPA STEAM	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	
2.1 Pengertian Pipa	6
2.2 Fungsi Pipa	6
2.3 Material Pipa.....	7
2.3.1 Seamless Pipe	7
2.3.2 Butt-Welded Pipe Atau Straight Welded Pipe	8
2.3.3 Spiral Welded Pipe	9
2.4 Pipa Uap (<i>Steam Pipes</i>)	10
2.5 Korosi.....	11
2.5.1 Faktor yang Mempengaruhi Korosi.....	11
2.5.2 Mekanisme Korosi.....	14
2.5.3 Jenis - Jenis Korosi	15
2.5.4 Perlindungan Terhadap Korosi	20
2.6 Baja.....	23
2.6.1 Klasifikasi Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>).....	23
2.6.2 Baja Paduan (<i>Alloy Steel</i>)	24
2.6.3 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja	24
2.7 Diagram Fasa Besi Karbon (Fe_3C)	26
2.8 Karakterisasi bahan logam.....	28
2.8.1 Sifat Mekanis.....	28
2.8.2 Sifat Fisik.....	30
2.8.3 Sifat Pengerjaan Atau Teknologis	30
2.8.4 Sifat Kimia.....	31

2.9 Pengujian Desruktif	31
2.9.1 Metalografi	31
2.9.2 Pengujian Kekerasan	33
2.9.3 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	34
BAB III	
3.1 Diagram Alir Penelitian	37
3.2 Pengujian Metalografi.....	38
3.3 Pengujian Kekerasan.....	46
3.4 Pengujian Komposisi Kimia	48
3.5 Pengujian SEM & EDX.....	49
3.5.1 Pengujian SEM	50
3.5.2 Data pengujian EDX.....	52
BAB IV	
4.1 Analisa Hasil Pengamatan Struktur Mikro	53
4.2 Analisa Pengujian Kekerasan	56
4.3 Analisa Uji Komposisi Kimia Pipa Steam.....	57
4.4 Identifikasi Kadar Karbon Pada Pipa Steam Bekas	57
4.5 Analisa Pengujian SEM	59
4.6 Analisis Pengujian EDX	59
BAB V	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	I

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.....	9
Gambar 1.2 Diffuser unit A2	10
Gambar 1.3 Bagian diffuser a1 dan a2 pada instalasi terkorosi.....	11
Gambar 2.1 Sistem Perpipaan Dalam Industri Migas.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Pipa	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3 Besi Pejal (Billet)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4 Pembuatan Tanpa Join	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.5 Butt-Welded Pipe	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.6 Straight Welded Pipe.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.7 Spiral Welded Pipe.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.8 Saluran Pipa Steam Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.9 Mekanisme Korosi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.10 Korosi Merata Pada Logam	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.11 Tabel Galvanik	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.12 Korosi Galvanik Pada Batu Batrai	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.13 Korosi Celah Pada Baut	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.14 Korosi Sumuran Pada Bak Mandi.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.15 Korosi Erosi Pada Pipa Air Laut.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.16 Korosi Retak Pada Pipa.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.17 Diagram Fasa Fe_3C	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.18 Pengujian Vickers	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.19 Pengujian SEM.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.20 Prinsip Kerja Uji SEM	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.21 Prinsip Kerja EDX	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Metalografi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.3 Skematis Pengambilan Sample Uji Pipa Steam..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.4 Skematis Pembungkaihan Spesimen Mounting	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.5 Mesin Poles	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.6 Proses Pengampelasan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.7 Pasta Al_2O_3	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.8 Proses Pemolesan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.9 Asam Nitric	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.10 Mikroskop Optik	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.11 Struktur Mikro Arah Longitudinal Bagian Dalam Pipa....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.12 Struktur Mikro Arah Transversal Bagian Dalam	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.13 Struktur Mikro Arah Longitudinal Bagian Tengah.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.14 Struktur Mikro Arah Transversal Bagian Tengah.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.15 Struktur Mikro Arah Longitudinal Bagian Luar	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.16 Struktur Mikro Arah Transversal Bagian Luar .	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.17 Mesin Uji Keras	Error! Bookmark not defined.

- Gambar 3.18** Skematis Titik Uji Kekerasan **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.19** ARL 3460 Optical Emission Spectrometer **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.20** Mesin Uji SEM SU3500 Scanning Electron Microscope **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.21** Hasil Pengujian Sem Bagian Pipa Steam Bagian Dalam Pipa **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.22** Hasil Pengujian Sem Bagian Pipa Steam Bagian Luar Pipa.. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.23** Grafik Hasil Pengujian Edx Bagian Dalam Pipa Steam .**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.24** Grafik Hasil Pengujian Edx Bagian Luar Pipa Steam**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.1** Struktur Mikro Pada Bagian Dalam Pipa Arah Longitudinal Dan Transversal **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.2** Skematis Dan Struktur Mikro Tengah Longitudinal Dan Transversal**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.3** Skematis Dan Struktur Mikro Luar Longitudinal Dan Transversal.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.4** Skematis Titik Uji Keras **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.5** Grafik Harga Kekerasan Dari Pipa Steam Yang Telah Terkorosi**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.6** Pengujian Kuantitatif Kadar Karbon Pipa Steam **Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Vickers Pada Sample Pipa Steam yang Telah Terkorosi **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Pipa Steam (Bekas)

Error! Bookmark not defined.

Tabel 4.1 Pengujian Metode Kuantitatif

Error! Bookmark not defined.



BAB I

PENDAHULUAN

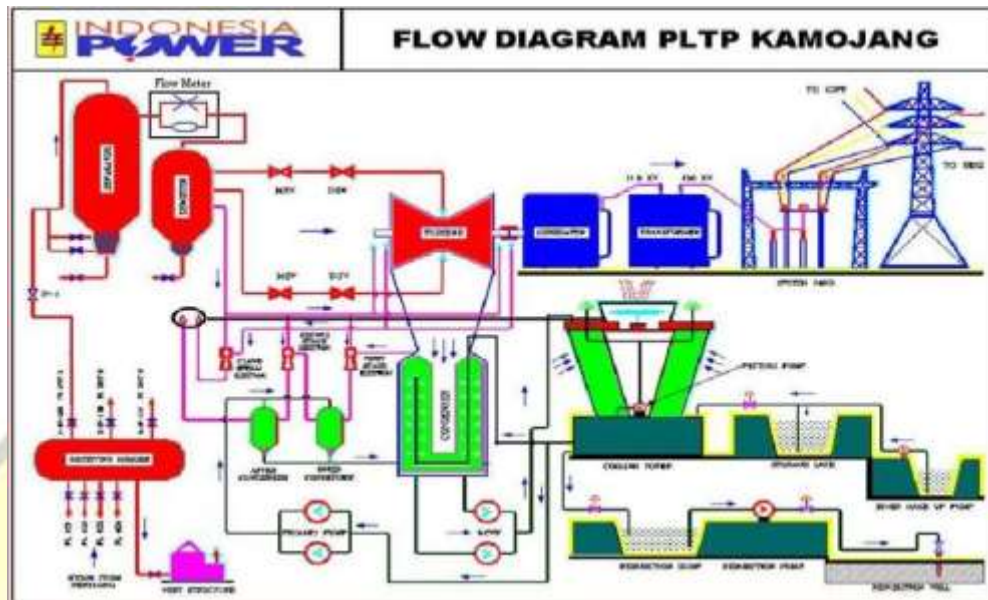
1.1 Latar Belakang

Perkembangan Industri yang bergerak maju dengan pesat, akan menuntut penyediaan energi yang cukup besar pula, terlebih lagi pada negara-negara berkembang. Pembangkit tenaga listrik merupakan salah satu penyedia yang memiliki kontribusi yang sangat penting di antara penunjang-penunjang energi lain. Kebutuhan energi listrik sebagai penunjang pembangunan pada abad ke 20 meningkat dengan pesat, yaitu sekitar 15-17% pertahun. Maka dari itu upaya diversifikasi energi untuk memanfaatkan seluruh sumber daya alam sudah merupakan hal yang mendesak terlebih dengan semakin terbatasnya cadangan minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi cukup besar di Indonesia, yaitu sekitar 16.000 MW, adalah energi panas bumi. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (*Geothermal*) yang kita sebut dengan PLTP adalah sebuah instalasi yang merubah energi panas menjadi energi listrik. PLTP memanfaatkan uap hasil dari panas bumi yang kemudian ditampung didalam *Steam Receiving Header*, dibuang kotorannya dan dikeringkan sebelum digunakan untuk memutarakan turbin dan generator lalu merubahnya menjadi energi listrik. Secara keseluruhan sistemnya sangat mirip dengan pembangkit listrik tenaga uap atau PLTU yang menggunakan bahan bakar batu bara ataupun diesel, hanya saja pada PLTP ini uap yang dihasilkan terbentuk secara alami oleh panas yang dihasilkan bumi. PLTP adalah salah satu pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar yang terbaharukan. Dari segi pengoperasian, unit PLTP juga lebih mudah dan cepat daripada PLTU konvensional. Indonesia yang kaya dengan wilayah gunung berapi, memiliki potensi panas bumi yang dapat dimanfaatkan sebesar 16.035 MW.

Pemanfaatan energi panas bumi yang ideal adalah jika panas bumi yang keluar dari perut bumi berupa uap kering, sehingga dapat digunakan langsung untuk menggerakkan turbin generator listrik. Namun uap kering yang demikian ini jarang ditemukan termasuk di Indonesia dan pada umumnya uap yang keluar berupa uap basah yang mengandung sejumlah air yang harus dipisahkan terlebih dulu sebelum digunakan untuk menggerakkan turbin.

Salah satunya PLTP kamojang yang dalam pengoperasiannya memiliki beberapa instalasi tertentu dari memisahkan uap dan air sehingga menghasilkan uap kering sampai menjadi energi listrik, dari instalasi tersebut melewati beberapa komponen utama terdiri dari *Steam Receiving Header, Vent Structure, Separator, Demister, Turbin, Generator, Kondensor, Main Cooling Water Pump (MCWP), Cooling Tower*. Dari keseluruhan komponen itu dihubungkan menggunakan

berbagai macam jenis pipa salah satu jenisnya ialah pipa steam yang berfungsi mengalir fluida uap dari panas bumi menuju turbin agar dapat di konversikan menjadi daya penggerak sehingga turbin dapat menghasilkan energi listrik.



Gambar 1.1 Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Pada gambar diatas dapat dilihat uap dialirkan dari sumur uap dengan pipa steam menuju steam receiving header sebagai penampung uap yang dilengkapi dengan *vent structure* berguna untuk membuang tekanan yang dihasilkan uap agar tidak melebihi kapasitas steam *receiving header*. Kemudian uap yang dialirkan dari sumur produksi masih mengandung partikel silika, zat padat, serta bintik-bintik air yang masih tercampur di dalamnya. Untuk itu, separator berfungsi memisahkan uap dari zat-zat tersebut. Setelah melewati *separator*, ternyata uap harus di-treatment di dalam *demister*. Agar uap tersebut dipisahkan dari butir-butir air, sehingga uap yang masuk turbin adalah uap kering. Uap yang telah melalui separator dan *demister*, tersebut kemudian akan memutar poros turbin yang dikopel dengan generator sehingga menghasilkan listrik. Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. *Turbin* merupakan penggerak mula (*prime mover*), melalui proses induksi elektro magnet di dalam *generator*, putaran turbin dapat diubah menjadi energi listrik. Tenaga listrik yang dibangkitkan generator sebenarnya dapat langsung digunakan, akan tetapi untuk penggunaan jarak jauh, hal ini tidaklah menguntungkan. Maka digunakan *trafo/transformator* yang berfungsi untuk menaikkan (*step up*) tegangan. Fluida yang keluar dari *turbin* masuk ke kondensor merupakan uap yang sebagian besar bercampur dengan air dan ada pula *non condensable gas* (NCG). NCG ini merupakan gas yang terbawa dari dalam bumi dan tidak dapat terkondensasi yang nantinya akan

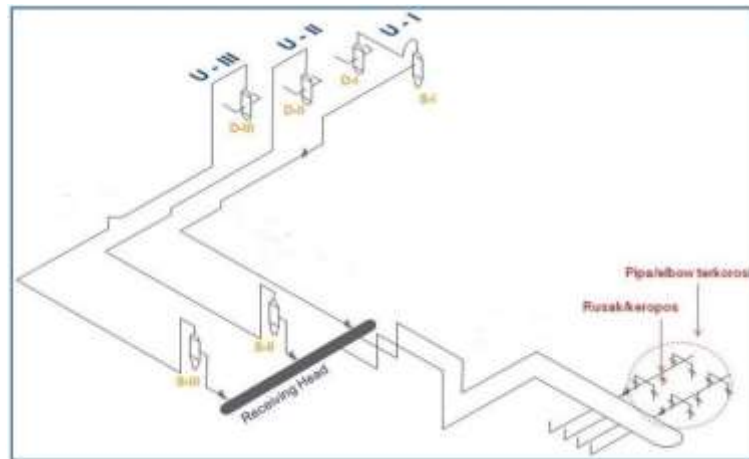
melewati serangkaian sistem ekstraksi gas dan keluar melalui *cooling tower*. *Main Cooling Water Pump* (MCWP) merupakan pompa pendingin utama yang berfungsi untuk memompakan air kondensat dari kondensor ke *cooling tower* untuk didinginkan. Temperatur air keluaran kondensor sebesar 50°C kemudian didinginkan di *cooling tower* sehingga temperturnya turun menjadi 26-27 °C.

Dalam pengoperasiannya terdapat beberapa komponen utama pembangkit yaitu : *Steam Receiving Header, Vent Structure, Separator, Demister, Turbin, Generator, Kondensor, Main Cooling Water Pump (MCWP), Cooling Tower*. Dari keseluruhan komponen itu dihubungkan menggunakan berbagai macam jenis pipa salah satu jenisnya ialah pipa *steam* yang berfungsi mengalir fluida uap dari panas bumi menuju turbin agar dapat di konversikan menjadi daya penggerak sehingga turbin dapat menghasilkan energi listrik. Salah satu bagian dari rangkaian *steam pipeline* pada PLTP Indonesia power kamojang yang menjadi penelitian tugas ini adalah pada bagian *diffuser*. Diffuser merupakan rangkaian pipa steam salah satu komponen vent structure yang berfungsi meredam getaran dan kebisingan yang dihasilkan. Yang mana *diffuser* terdiri dari rangkaian pipa steam.



Gambar 1.2 Diffuser unit A2

Seringnya terjadi masalah pada pipa steam (uap) menjadi kendala tersendiri bagi setiap unit pada PLTP, salah satu masalah yang terjadi adalah korosi yang timbul pada dinding pipa yang menyebabkan terjadinya kebocoran hingga ledakan, dikarenakan korosi tidak dapat dihindari. berukuran 10 inch dan 20 inch.



Gambar 1.3 Bagian diffuser a1 dan a2 pada instalasi terkorosi

Maka daripada itu analisa korosi dilakukan pada pipa steam untuk mengetahui penyebab terjadinya korosi pada dinding pipa, menentukan jenis korosi serta penyebab terjadinya korosi.

1.2 Identifikasi Masalah

- Melakukan pengujian metalografi untuk mengetahui struktur mikroskopik.
- Melakukan uji kekerasan untuk mengetahui harga kekerasan pipa steam.
- Melakukan pengujian komposisi kimia pada pipa steam yang telah terkorosi.
- Melakukan pengujian SEM & EDX untuk mengetahui korosi dan penyebabnya
- Melakukan analisa terhadap data hasil pengujian.

1.3 Tujuan

Tujuan dari pengujian kali ini adalah mengetahui mengetahui sifat material yang terdapat pada pipa steam yang telah terkorosi:

- Mengetahui jenis material pipa steam.
- Mengidentifikasi pipa steam untuk mendapatkan sifat mekanis harga kekerasan.
- Mengidentifikasi penyebab, dan jenis korosi pada pipa steam.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dilakukan pada penelitian pipa steam adalah:

- Sampel yang digunakan adalah pipa yang telah terkorosi.
- Pengamatan struktur mikro pada pipa steam.
- Pengujian mekanik yaitu uji kekerasan pada pipa steam.
- Analisa komposisi kimia material pipa steam.

1.5 Metodologi Penelitian

Secara garis besar pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Studi literature

Metoda ini merupakan teknik pengumpulan data dengan cara mencari dan membaca buku-buku referensi yang berhubungan dengan material yang digunakan pada pipa steam untuk dijadikan acuan dalam menganalisa suatu masalah tersebut, serta referensi yang berhubungan dengan pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan komposisi kimia.

Metode observasi

Metoda ini dilakukan dengan cara langsung melakukan pemotongan material, melakukan pengujian dan kemudian menganalisa. Metoda ini merupakan suatu upaya untuk melihat suatu permasalahan secara ilmiah.

Pengujian

Metoda ini merupakan suatu jenis upaya untuk mengetahui jenis material dan sifat-sifat dari material yang digunakan pada pipa steam.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan ini disusun bab demi bab dan terdiri dari empat bab. Isi masing-masing bab adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar tentang karakterisasi & analisa korosi pada pipa steam (uap).

BAB III PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi tentang proses pengerjaan yang dilakukan untuk mengetahui karakterisasi pada pipa steam serta menganalisis korosi yang terjadi pada pipa steam.

BAB IV ANALISA

Bab ini berisi tentang jadwal dan rencana kegiatan yang akan dilakukan berdasarkan metodologi penelitian yang telah ditentukan.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi seluruh kesimpulan berdasarkan metodologi penelitian dan pengujian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR PUSTAKA

Tata Surdia, Shinkoru Saito “Pengetahuan Bahan Teknik” ,1999 – Cet 4 – Jakarta:

Pradnya Paramita.

KR. Trethewey, J. Chamberlain “Korosi Untuk Mahasiswa Dan Reksayawan.” 1991-Jakarta PT Gramedia Pustaka Utama.

Putra Satria “Mengenal Fungsi,Jenis-jenis Pipa dan Komponennya”
<https://www.coursehero.com/profile/PutraSatria11/>

“Fachrezakbar” Jenis Pipa untuk Industri
<https://fachrezakbar.wordpress.com/author/fachrezakbar/>

STUDY KEGAGALAN AKIBAT KOROSI PADA PIPA ECONOMIZER Acep Wagiman,
Gugun Gundara

Atlas Of Microstructure Of Industrial Alloys” ASM Handbook vol 7,

