



Analisis Pengujian Ketahanan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Hidrostatic Test di PT Rifariz Batam

Tugas Akhir

Oleh:
Arie Prananda Nasution (4232011025)

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2024**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Sebutkan Judul Tugas Akhir Anda” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 2 Juli 2024



ARIE PRANANDA NASUTION
NIM: 4232011025

Lembar Pengesahan

Proposal Tugas Akhir disusun untuk digunakan sebagai
rencana kerja pada pelaksanaan Tugas Akhir

Disusun oleh:
Arie Prananda Nasution (4232011025)

Tanggal Seminar: 10 juli 2024

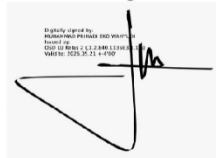
Disetujui oleh :

1. Nama Penguji I



Irwanto Zarna Putra, S.Pd., M.Eng.
NIK: 118200

1. Nama Pembimbing I



Digitally signed by
BUDIANA S.Si., M.Si.
DN: cn=BUDIANA S.Si., M.Si.,
o=UNIVERSITAS BINA SARANA
WIDIA, ou=UNIVERSITAS BINA SARANA
WIDIA, email=BUDIANA.S.Si., M.Si@UNIVERSITASBINA
SARANAWIDIA.AC.ID

2. Nama Penguji II



Budiana, S.Si., M.Si
NIK:117194

Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh:
Arie Prananda Nasution (4232011025)

Program Studi : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan : Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam

Judul Tugas Akhir :
"Analisis Pengujian Ketahanan Pipa Carbon Steel Menggunakan Metode Hidostatic Test di PT Rifariz Batam"

Perusahaan : PT Rifariz Batam

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing

Pembimbing Industri



M. Prihad Eko Wahyudi, S.T., MT
NIK: 113114



Erpandi
NIP: 0052014



Abdul Rahman
NIP: 9120214293802

Analisis Pengujian Ketahanan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Hidrostatic Test di PT Rifariz Batam

Abstrak

Pipa berperan penting dalam mengalirkan fluida, khususnya dalam sektor pertambangan energi yang terus berkembang. Penelitian ini secara spesifik menitikberatkan pada pipa carbon steel, material yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Pipa ini dikenal karena kekuatannya, daya tahannya, dan kemudahan penggunaannya dalam sistem perpipaan. Penelitian ini akan difokuskan pada analisis pengujian pipa carbon steel grade A106 dalam proses produksi gas alam di PT. Rifariz Batam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam pengukuran *hydrotest* tidak diperbolehkan adanya kebocoran pada pipa, sehingga dilakukan repair pada pipa dan melakukan kembali pengujian *hydrotest pressure*. Penurunan tekanan yang terjadi di pipa bertekanan dilakukan pada tiga area kerja yakni area welding, powerhouse, dan dishop. Ketiga wilayah kerja tersebut memiliki sistem perpipaan yang berbeda untuk memperlancar aliran udara bertekanan. Sistem perpipaan pada ketiga area tersebut dipengaruhi oleh penempatan kompresor dan pengering udara sesuai konsep sistem perpipaan terbuka. Berdasarkan hasil pengukuran *hydrotest* pipa berhasil memenuhi persyaratan pengujian tekanan diatas 4.13 Bar dan berdasarkan perhitungan desain pipa mampu menahan tekanan yang dibutuhkan, baik dari tegangan pipa, tegangan ijin, longitudinal dan sirkumferensial, dan hal ini juga dibuktikan melalui *hydrotest*. Berdasarkan perhitungan desain pipa sanggup menahan tekanan yang dibutuhkan, baik dari tegangan pipa, tegangan ijin, longitudinal dan sirkumferensial, dan hal ini juga dibuktikan melalui *hydrotest*. Dengan Hasil perbandingan dari perhitungan teoritis dan aktual yaitu ketebalan minimum teoritis 3.2mm dan aktual 3.05mm, tegangan ijin soccasial teoritis 183.39mPa dan aktual 137.89mPa, tegangan ijin sekpansi teoritis 206.83mPa dan aktual 137.89mPa, tegangan sirkum teoritis 3.57mPa dan aktual tidak ada.

Kata kunci: Carbon steel, Hidrostatic, Ketahanan Pipa.

Analysis of Carbon Steel Pipe Resistance Testing Using the Hydrostatic Test Method at PT Rifariz Batam

Abstrack

Pipes play an important role in flowing fluids, especially in the energy mining sector which continues to grow. This research specifically focuses on carbon steel pipes, commonly used in various industrial applications. These pipes are known for their strength, durability, and ease of use in plumbing systems. This research will focus on testing analysis of carbon steel pipe grade A106 in the natural gas production process at PT. Rifariz Batam. The research results show that in the hydrotest measurements, no leaks are allowed in the pipe, so the pipe is repaired and the hydrotest pressure test is carried out again. The pressure reduction that occurs in the pressure pipe is carried out in three work areas, namely the welding area, powerhouse, and factory. The three work areas have different piping systems to facilitate the flow of compressed air. The piping system in these three areas is influenced by the placement of the compressor and air dryer according to the open piping system concept. Based on the hydro test measurement results, the pipe succeeded in meeting the pressure testing requirements of above 4.13 Bar, and based on calculations the pipe design was able to withstand the required pressure, both from pipe tension, allowable stress, longitudinal and circumferential, and this was also proven through hydro test. Based on calculations, the pipe design can withstand the required pressure, both from pipe tension, allowable stress, longitudinal, and circumferential, and this is also proven through a hydro test. With the results of a comparison of theoretical and actual calculations, namely the theoretical minimum thickness is 3.2mm and the actual is 3.05mm, the theoretical permissible sectional stress is 183.39mPa and the actual is 137.89mPa, the theoretical permissible sectional stress is 206.83mPa and the actual is 137.89mPa, the theoretical circumstress is 3.57mPa and the actual is none.

Keywords: Carbon steel, Hydrostatic, Pipe Resistance.

Kata Pengantar

Rasa puji dan syukur kepada Allah SWT atas Rahmat dan Karunia-Nya yang luar biasa. Karena berkat-Nya, penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir berjudul "Analisis Pengujian Ketahanan Pipa Carbon Steel Dengan Menggunakan Metode Hidrostatic Test di PT Rifariz Batam". Penulisan tugas akhir ini merupakan bagian dari persyaratan untuk meraih gelar sarjana terapan teknik (S.Tr.T) atau Ahli Madya Teknik (AMd.T.) dalam program studi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.

Penulis mengakui bahwa perjalanan ini tidaklah mudah. Dan penulis merasa bersyukur atas dukungan, bimbingan serta bantuan yang diterima dari berbagai pihak. Mulai dari masa perkuliahan hingga penyusunan laporan tugas akhir. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua yang telah memberikan kontribusi. Tanpa kehadiran mereka, penulis tidak mungkin berhasil. Dengan penuh hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. ALLAH SWT yang selalu memberikan kekuatan, kesehatan, serta kelancaran bagi umatnya.
2. Linda Lestari selaku Ibu penulis yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis serta dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Almarhum Herman Syahputra selaku Ayah Penulis yang selalu mendukung dan mendorong penulis agar menjadi orang yang sukses, dan pria yang hebat.
4. Rechilya, Fayrell, dan Arsyla selaku adik- adik penulis yang menjadi penyemangat penulis.
5. Kcn selaku pasangan penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan agar tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
6. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs, selaku ketua program studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang secara konsisten memberikan motivasi dan panduan selama proses perkuliahan.
7. Bapak M. Prihadi Eko Wahyudi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesediaan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan arahan kepada penulis.
8. Segenap dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektro, terutama dalam Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis sepanjang masa perkuliahan.
9. Pak Abdul Rahman selaku Managing Director PT Rifariz Batam yang mau memberi kesempatan untuk melakukan penelitian di PT Rifariz Batam

10. Kepada seluruh teman-teman penulis, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Lembar Pengesahan Industri.....	iv
Abstrak.....	v
Abstrack	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan.....	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Pipa carbon steel / Baja Karbon.....	4
2.1.1 Pengertian Pipa carbon steel	4
2.1.2 Keuntungan Menggunakan Pipa Carbon steel	4
2.1.3 Jenis-jenis Pipa Carbon steel	5
2.2 ASME B31.3	7
2.2.1 Definisi ASME B31.3	7
2.3 Hydrotest.....	8
2.3.1 Pengertian Hydrotest	8
2.3.2 Peralatan yang dipergunakan pada Hydro Testing.....	8
2.4 Jenis-jenis Beban pada Sistem Perpipaan.....	9
2.4.1 Beban Internal.....	9
2.4.2 Beban eksternal.....	10
2.4.3 Beban Operasi (Operating Load)	10

2.5	Material Pipa	10
2.6	Tegangan pada Sistem Pemipaan	13
2.6.1	Tegangan Longitudinal (<i>Longitudinal stress</i>)	13
2.6.2	Ketebalan Pipa (<i>wall thickness</i>)	14
2.7	Kode dan Standar Perpipaan	15
2.8	Permasalahan dan perbaikan pada pipa carbon steel	15
Bab 3.	Metodologi Penelitian.....	17
3.1	Perancangan.....	17
3.2	Tempat dan Jadwal Penelitian	18
3.3	Tahapan Penelitian	18
3.4	Tahapan Pengujian	18
3.5	Tahapan Perhitungan	19
3.6	Tahapan Penyusunan Laporan Tugas Akhir	19
Bab 4.	Hasil dan Pembahasan	20
4.1	Langkah melakukan pengujian hydrotest:.....	20
4.2	Pengujian	23
4.3	Inspeksi / permasalahan selama uji hydrotest	25
4.4.	Perhitungan.....	27
4.4.1	Ketebalan Minimum (<i>Minimum Wall Thickness</i>)	27
4.4.2	Tegangan Pipa	28
4.4.3	Tegangan ijin (<i>Allowable Stress</i>).....	28
4.4.4	Nilai Tegangan Longitudinal Load	29
4.4.5	Tegangan Sirkumferensial (<i>Hoop Stress</i>).....	30
Bab 5.	Kesimpulan dan Saran.....	32
5.1	Kesimpulan	32
5.2	Saran	32
	Daftar Pustaka	33
	Biodata	35

Daftar Tabel

Tabel 1. Maximum Allowable Operating Pressure (MPa).....	5
Tabel 2.1. Hasil Pengujian <i>Hydrotest Pressure</i>	11
Tabel 2.2. Material perpipaan yang Umum Digunakan.....	12
Tabel 4.1. Hasil Pengujian <i>Hydrotest Pressure</i>	25
Tabel 4.2. Ketebalan Minimum Pipa.....	28
Tabel 4.3. Data Material Pipa.....	28
Tabel 4.4. Nilai Tegangan Ijin Material untuk <i>Sustained Load</i>	29
Tabel 4.5. Perbandingan Perhitungan Teoritis Dan Actual.....	31

Daftar Gambar

Gambar 1. Peralatan yang digunakan pada <i>hydrotest</i>	9
Gambar 2. Diagram Alir	17
Gambar 4.1. Line pengujian <i>hydrotest</i> pada pipa pengujian.....	20
Gambar 4.2. Blank flange pada inlet pipa pengujian.....	20
Gambar 4.3. <i>Hydrotest</i> a. Test pump b. Pressure gauge	21
Gambar 4.4. Pengisian air pada <i>test pump</i>	21
Gambar 4.5. Ilustrasi proses pengisian air ke dalam pipa	22
Gambar 4.6. Tekanan sudah mencukupi (<i>Pressure gauge</i>)	22
Gambar 4.7. Contoh kebocoran yang keluar dari flange.....	23
Gambar 4.8. Contoh Kebocoran pipa	24

Bab 1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, Kota Batam telah menjadi pusat perdagangan perairan yang strategis, yang terletak dekat dengan Singapura dan Malaysia. Selain itu, kota ini juga terkenal sebagai pusat industri perkapalan yang besar. Dalam konteks perdagangan perairan, kapal menjadi unsur yang tidak bisa dikesampingkan. Selain itu, pembuatan kapal melibatkan berbagai aspek, termasuk *hull*, pipa, *outfitting*, dan lain-lain. Sistem perpipaan menjadi bagian penting dari sebuah kapal karena menghubungkan titik penyimpanan fluida hingga titik pengeluaran, serta susunan perpipaan yang baik sangat berpengaruh pada keamanan kapal.

Dalam penelitian ini, fokus utamanya adalah mempelajari sistem perpipaan, yang merupakan komponen integral dari suatu system yang menghubungkan titik penyimpanan fluida hingga titik pengeluaran di sebuah kapal. Susunan perpipaan ini memiliki peran krusial dalam memindahkan tenaga atau memompa fluida di kapal dan harus dipertimbangkan dengan cermat untuk menjamin keamanan kapal secara keseluruhan.

Pipa berperan penting dalam mengalirkan fluida, khususnya dalam sektor pertambangan energi yang terus berkembang. Penggunaan energi yang meningkat mendorong pemakaian pipa secara signifikan, terutama dalam transportasi dan distribusi energi.

Penelitian ini secara spesifik menitikberatkan pada pipa *carbon steel*, material yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Pipa ini dikenal karena kekuatannya, daya tahannya, dan kemudahan penggunaannya dalam sistem perpipaan. Pemanfaatan pipa dalam sektor industri dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan proses penyambungan.

Proses penyambungan pipa sering melibatkan teknik pengelasan [1], dan salah satu metode yang umum digunakan adalah Gas *Tungsten Arc Welding* (GTAW). GTAW terkenal karena menghasilkan lasan yang kuat dan tahan korosi [2], menjadikannya pilihan ideal untuk menyambungkan pipa baja seperti ASTM A106. Namun, untuk memanfaatkan pipa *carbon steel* secara optimal dan aman, diperlukan pemahaman mendalam mengenai karakteristiknya [3].

Pengujian tekanan hidrostatik menjadi salah satu metode kritis untuk memastikan keamanan struktural pipa *carbon steel*. Proses ini melibatkan pengisian pipa dengan air pada tekanan yang lebih tinggi dari tekanan kerja yang diharapkan. Hal ini bertujuan untuk memvalidasi keamanan operasional pipa dan memastikan kepatuhan struktural. Hasil pengujian menjadi acuan standarisasi untuk operasional pipa dan apabila terdapat kebocoran atau kelemahan pada

sambungan pengelasan, perbaikan dapat dilakukan untuk mencapai hasil uji optimal [4].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini akan difokuskan pada analisis pengujian pipa *carbon steel grade* A106 dalam proses produksi gas alam di PT. Rifariz Batam. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan pipa carbon steel dengan menggunakan metode uji hidrostatik di PT Rifariz Batam. Metode uji hidrostatik adalah teknik di mana pipa diuji dengan memasukkan cairan (biasanya air) di dalamnya pada tekanan yang tinggi untuk memastikan pipa mampu menahan tekanan tersebut tanpa kebocoran atau kerusakan. Tujuan dari tugas akhir ini termasuk Mengetahui kekuatan teoritis pada material oleh pipa carbon steel dengan metode hidrostatic test. Analisis ini penting untuk memastikan keamanan dan kehandalan sistem pipa di industri seperti PT Rifariz Batam.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kekuatan pada pipa material *carbon steel* ketika diberikan tekanan yang bervariasi apakah layak untuk dialiri *fluida* sesuai dengan *design pressure* yang telah ditentukan?
2. Membuktikan dengan perhitungan untuk memastikan bahwa pipa yang digunakan sudah sesuai secara teoritis ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang jelaskan di atas, adapun maksud dan tujuan dari Tugas akhir ini yaitu :

1. Mengetahui pengujian ketahanan pipa *carbon steel* dengan metode hidrostatic Test di PT Rifariz Batam
2. Mengetahui kekuatan teoritis pada material pipa *carbon steel* dengan metode hidrostatic test pada PT Rifariz Batam

1.4 Manfaat

Manfaat dari pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Dapat menambah pengetahuan dan pemahaman tentang kekuatan pipa material *carbon steel* ketika diberikan tekanan yang bervariasi menggunakan *hydrostatic test*
2. Dapat menambah pengetahuan dan pemahaman tentang ketahanan dari pipa material *carbon steel* dari kerusakan atau kebocoran ketika diberikan tekanan.

1.5 Batasan

Pada tugas akhir ini, penulis membatasi masalah agar mencapai yang telah ditentukan. Maka dapat di tentukan batasan masalah yang akan penulis bahas sebagai berikut:

1. Penulis melakukan pengambilan data *Hydrotest pipa* di PT Rifariz Batam
2. Penelitian dilakukan pada material carbon steel karena material jenis ini memiliki sifat (*workability*) yang baik, mudah diperoleh, dan harganya relatif lebih murah.
3. Metode *Hidrostatic Test* yang digunakan meliputi pengujian ketahanan dan pengujian kebocoran pipa material *carbon steel* dengan mengacu pada parameter ASME B31.3

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pipa carbon steel / Baja Karbon

2.1.1 Pengertian Pipa carbon steel

Pipa carbon steel / Baja Karbon terdiri dari besi (Fe), karbon (C), dan unsur-unsur lain untuk membentuk paduan. Tempering, rolling, dan casting adalah metode untuk membentuk baja. Baja dapat menjadi lebih kuat dan keras dengan penambahan karbon (C), menjadikannya salah satu komponen terpenting. Komponen logam dan non-logam juga membentuk baja karbon. Besi, mangan, nikel, kromium, molibdenum, vanadium, tembaga, silikon, aluminium, dan sebagainya merupakan contoh unsur logam campuran yang dapat ditemukan pada baja karbon. Fosfor dan belerang merupakan salah satu komponen paduan non-logam untuk sementara. Masing-masing elemen paduan ini mempengaruhi logam secara berbeda ketika ditambahkan dalam jumlah yang bervariasi, dan beberapa di antaranya secara signifikan meningkatkan karakteristik material. Tergantung pada berapa banyak karbon yang dikandungnya, baja karbon dibagi menjadi tiga tingkatan[5].

1. *Low carbon steel* memiliki keunggulan dalam kekuatan, keuletan, dan kemampuan las karena kandungan karbonnya yang relatif rendah (0,05% hingga 0,25%).
2. *Medium carbon steel*, yang mengandung antara 0,25 hingga 0,5% karbon, menghasilkan komponen dengan kekerasan dan kekuatan yang sangat baik namun keuletannya agak lebih rendah.
3. *High carbon steel*, bahan ini cukup tangguh dan kuat, namun memiliki keuletan yang relatif rendah dan lebih sulit untuk dilas. Mereka memiliki kandungan karbon yang tinggi sekitar 0,5% hingga 2,00%.

2.1.2 Keuntungan Menggunakan Pipa Carbon steel

Pipa *carbon steel* telah menjadi komponen yang banyak digunakan dalam industri karena ketahanannya terhadap berbagai tekanan, termasuk suhu, panas, bahan kimia berbahaya, dan cuaca buruk. Kekuatan, daya tahan, dan ketangguhan material baja karbon yang luar biasa memungkinkannya tetap memberikan keamanan dan masa pakai yang lama dalam sistem pipa dengan aktivitas tinggi. memproduksi pipa baja karbon dengan harga terjangkau untuk digunakan dalam struktur struktural. Zat cair yang sering diangkut melalui pipa dapat dengan mudah merusak material. Namun tidak dengan pipa berbahan baja karbon. Alasannya karena pipa baja karbon memiliki titik leleh yang lebih rendah karena kandungan besi dan karbonnya sehingga mengurangi bahaya gerinda. Baja karbon tahan lama karena kedua komponen ini. *Carbon steel* adalah material yang mudah dikerjakan

dan memiliki banyak keserbagunaan. Sejumlah besar masih dapat diangkat oleh pipa baja karbon, meskipun pipa tersebut dibuat lebih tipis dengan bahan yang lebih sedikit. Oleh karena itu, Pipa *carbon steel* terkenal dengan harganya yang terjangkau. Selain itu, pipa yang terbuat dari baja karbon dapat didaur ulang sehingga lebih hemat biaya dan bermanfaat secara ekologis[6].

2.1.3 Jenis-jenis Pipa Carbon steel

Pipa *carbon steel* diklasifikasikan menjadi dua kategori: *seamless* dan *welded*, tergantung pada prosedur produksi [6].

1. Pipa Carbon steel Seamless

Seamless carbon steel pipe dibuat dari *billet* yang dipanaskan dan *piercing* terlebih dahulu. Dengan kata lain, rongga dibuat dengan melubangi *billet* yang dipanaskan. Setelah ukuran, panjang, diameter, dan ketebalan *billet* telah disesuaikan, *billet* diregangkan lebih jauh untuk menghasilkan badan pipa halus yang bebas dari jahitan

2. Pipa Carbon steel Welded

Welded carbon steel pipe dihasilkan melalui pengelasan. Pipa *welded* terbuat dari lembaran plate yang disambung menggunakan teknik pengelasan tertentu, bukan pipa *seamless* yang awalnya berbentuk *billet*. Setelah itu, buatlah pipa dengan sambungan las di sekeliling pipa.

Tabel 1. Maximum Allowable Operating Pressure (MPa)

Maximum Allowable Operating Pressure (MPa)												
Nominal Size		Outside Diameter (mm)	Schedule			Wall Thickness (mm)	Temperature (°C)					
							-29 to +38	204	260	343	371	399
(DN)	(NPS)						Maximum Allowable Stress (MPa)					
						137.9	137.9	130.3	117.2	113.8	89.6	74.5
15	½	21.3	STD	40	2.77	34.5	34.5	32.6	29.3	28.5	22.4	18.6
20	¾	26.7	STD	40	2.87	28.1	28.1	26.5	23.8	23.1	18.2	15.1
			XS	80	3.91	39.4	39.4	37.2	33.5	32.5	25.6	21.3
25	1	33.4	STD	40	3.38	26.3	26.3	24.8	22.3	21.7	17.1	14.2
			XS	80	4.55	36.3	36.3	34.3	30.9	30.0	23.6	19.6

Maximum Allowable Operating Pressure (MPa)												
Nominal Size		Outside Diameter (mm)	Schedule		Wall Thickness (mm)	Temperature (°C)						
						-29 to +38	204	260	343	371	399	427
(DN)	(NPS)					Maximum Allowable Stress (MPa)						
						137.9	137.9	130.3	117.2	113.8	89.6	74.5
32	1 ½	42.2	STD	40	3.56	21.6	21.6	20.4	18.4	17.8	14.1	11.7
			XS	80	4.85	30.2	30.2	28.5	25.6	24.9	19.6	16.3
				160	6.35	40.6	40.6	38.4	34.5	33.5	26.4	21.9
40	1 ½	48.3	STD	40	3.68	19.4	19.4	18.4	16.5	16.0	12.6	10.5
			XS	80	5.08	27.4	27.4	25.9	23.3	22.6	17.8	14.8
				160	7.14	39.8	39.8	37.6	33.8	32.8	25.9	21.5
50	2	60.3	STD	40	3.91	16.4	16.4	15.5	13.9	13.5	10.7	8.9
			XS	80	5.54	23.7	23.7	22.4	20.1	19.5	15.4	12.8
				160	8.74	38.9	38.9	36.8	33.1	32.1	25.3	21.0
65	2 ½	73.0	STD	40	5.16	17.9	17.9	17.0	15.3	14.8	11.7	9.7
			XS	80	7.01	24.8	24.8	23.5	21.1	20.5	16.1	13.4
				160	9.53	34.7	34.7	32.8	29.5	28.6	22.5	18.7
80	3	88.9	STD	40	5.49	15.6	15.6	14.7	13.2	12.8	10.1	8.4
			XS	80	7.62	22.0	22.0	20.8	18.7	18.2	14.3	11.9
				160	11.13	33.1	33.1	31.3	28.1	27.3	21.5	17.9
100	4	114.3	STD	40	6.02	13.2	13.2	12.5	11.2	10.9	8.6	7.1
			XS	80	8.56	19.1	19.1	18.0	16.2	15.7	12.4	10.3
				120	11.13	25.2	25.2	23.8	21.4	20.8	16.4	13.6
				160	13.49	31.0	31.0	29.3	26.4	25.6	20.2	16.8
			XXS		17.12	40.4	40.4	38.2	34.3	33.3	26.2	21.8
125	5	141.3	STD	40	6.55	11.6	11.6	10.9	9.8	9.5	7.5	6.2
			XS	80	9.53	17.1	17.1	16.1	14.5	14.1	11.1	9.2
				120	12.7	23.1	23.1	21.9	19.7	19.1	15.0	12.5

Maximum Allowable Operating Pressure (MPa)												
Nominal Size		Outside Diameter (mm)	Schedule	Wall Thickness (mm)	Temperature (°C)							
					-29 to +38	204	260	343	371	399	427	
(DN)	(NPS)	Maximum Allowable Stress (MPa)										
		137.9	137.9	130.3	117.2	113.8	89.6	74.5				
			160	15.88	29.4	29.4	27.8	25.0	24.3	19.1	15.9	
			XXS	19.05	35.9	35.9	33.9	30.5	29.6	23.4	19.4	
150	6	168.3	STD	40	7.11	10.5	10.5	9.9	8.9	8.7	6.8	5.7
			XS	80	10.97	16.5	16.5	15.6	14.0	13.6	10.7	8.9
				120	14.27	21.8	21.8	20.6	18.5	17.9	14.1	11.7
			XXS	160	18.26	28.3	28.3	26.8	24.1	23.4	18.4	15.3

Sumber: AS [7]

2.2 ASME B31.3

2.2.1 Definisi ASME B31.3

Sejak tahun 1922, *ASME* telah menetapkan keamanan pipa. Spesifikasi *ASME B31.3* mencakup pipa yang sering ditemukan di kilang minyak bumi, serta fasilitas pemrosesan dan terminal terkait, di industri kimia, farmasi, hidrogen, tekstil, kertas dan *pulp*, pembangkit listrik, semikonduktor, dan manufaktur kriogenik. Ini mencakup suku cadang dan bahan serta desain, manufaktur, perakitan, pemasangan, pengujian, dan inspeksi pipa. Mengenai jaringan pipa, peraturan ini berlaku untuk semua cairan kimia mentah, produk setengah jadi dan produk minyak bumi, gas, uap, udara, dan air, padatan terfluidisasi, cairan pendingin, dan cairan kriogenik. Termasuk juga pipa yang menghubungkan komponen-komponen atau fase-fase dari peralatan yang dikemas dan dirakit[8].

B31.3 adalah salah satu kode *ASME* yang paling banyak diminta. Ini berfungsi sebagai pendamping Kode B31.1 *ASME* tentang Perpipaan Listrik serta kode lain dalam seri B31 *ASME*. Secara keseluruhan, siapa pun yang bekerja di industri perpipaan, keduanya masih merupakan sumber daya yang berharga. [9].

Jika kode B31 digunakan dengan hati-hati, pengguna dapat memperoleh keuntungan finansial, keselamatan, dan operasional yang terkait dengan praktik terbaik industri yang diuraikan dalam buku ini, serta kepatuhan terhadap

persyaratan terkini di yurisdiksi mereka. Dirancang untuk badan pengawas serta produsen, pengguna, pembangun, perancang, dan pihak lain yang terlibat dalam perencanaan, konstruksi, perakitan, pemasangan, pengujian, dan inspeksi pipa[10].

2.3 Hydrotest

2.3.1 Pengertian Hydrotest

Definisi *Hydro test* atau *Hydro static* mengacu pada metode untuk menemukan kebocoran pada sambungan saluran pipa. Prosedur pengujiannya menggunakan air sebagai medianya, bahkan terkadang diberi warna untuk memudahkan pemeriksaan dan meningkatkan visibilitas. Jika keadaan tidak normal, tekanan uji yang diperlukan untuk saluran pipa adalah 1,5 kali desain, untuk memastikan tidak ada kerusakan atau kebocoran pada sistem perpipaan. [11].

Dalam pengujian hidrostatik, yang merupakan bagian dari pengujian non-destruktif (NDT), potensi kebocoran dan kekuatan dinilai pada sistem pipa, silinder gas, *boiler*, dan bejana tekan. Menemukan karakteristik mekanik komponen juga dapat dilakukan melalui pengujian hidrostatik. Untuk memastikan bahwa peralatan akan berfungsi sebagaimana mestinya ketika digunakan kembali, pengujian ini sering dilakukan setelah prosedur pematian dan perbaikan. Pengujian ini tidak dapat dijalankan saat peralatan sedang digunakan, juga tidak dapat digunakan untuk melacak kebocoran peralatan setelah selesai [12].

Kedalaman 10 meter menyebabkan kenaikan tekanan hidrostatik air sebesar 1 atm. Keamanan pipa dapat dijamin dengan berbagai teknik, salah satunya adalah pengujian tekanan hidrostatik. Untuk mengujinya, Anda perlu memasukkan air ke dalam pipa hingga tekanan di dalam pipa lebih besar dari tekanan operasi. Hal ini memungkinkan seseorang untuk memastikan bahwa tekanan pengoperasian pipa yang aman dan kepatuhan struktural telah terpenuhi. Setelah itu, sebuah pipa akan distandarisasi agar dapat berfungsi dengan menggunakan temuan pengujian sebagai pedoman. Perbaikan dilakukan terhadap suatu komponen agar diperoleh pengujian yang ideal apabila masih terjadi deformasi atau kebocoran yang menetap akibat kekuatan pengelasan. [9]

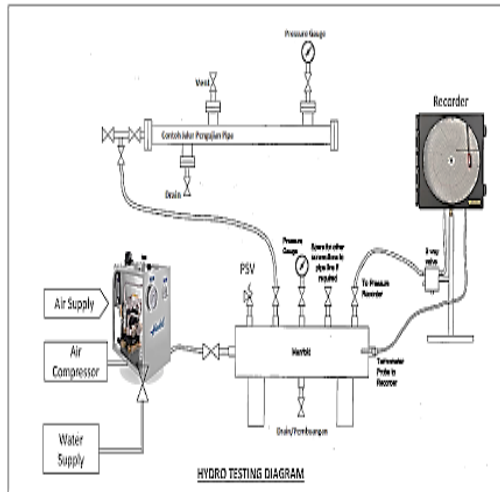
2.3.2 Peralatan yang dipergunakan pada Hydro Testing

Departemen QC dan *vendor* telah memastikan bahwa peralatan tersebut memenuhi persyaratan dan telah diperiksa oleh petugas yang berwenang.

Alat yang diperlukan untuk pengujian *hydro static* antara lain

- *Blind flange*
- *Manifold*

- Gasket
- Pressure indicator
- Alat Recorder
- Haskle Pump
- Stud bolts
- Hoses dan kelengkapan konektornya
- Valve pengatur
- Media air



Gambar 1. Peralatan yang digunakan pada *hydrotest*

2.4 Jenis-jenis Beban pada Sistem Perpipaan

Secara umum system pemipaan mengalami 2 jenis pembebanan yaitu beban *Internal* dan beban *Eksternal* [13].

2.4.1 Beban Internal

Beban Internal merupakan beban yang timbul pada pipa tersebut Karena efek berat pipa, tekanan, dan temperatur fluida pipa tersebut, beban internal yang bekerja pada system perpipaan antara lain, beban sustain, beban ekspansi dan operasi.

2.4.2 Beban eksternal

Beban eksternal disebut juga dengan beban *occasional*, merupakan beban yang terjadi sekali-sekali dan muncul karena pergerakan angin, air laut, gempa bumi dan lain-lain [13].

Berikut Penggolongan pembebanan pada system pemipaan berdasarkan pada jenis beban yang terjadi sebagai berikut:

1) Beban Sustain (*Sustain Loads*)

Beban *sustain* adalah beban yang bekerja selalu tanpa berhenti selama operasi. Beban yang merupakan gabungan beban yang disebabkan oleh tekanan internal dari fluida yang dialirkan dan beban berat. Pada beban sustain terjadi tegangan akibat *internal pressure* dan tegangan akibat gaya beban dalam system perpipaan tersebut [14].

2) Beban Ekspansi termal (ekspansion load)

Beban *ekspansi* adalah beban yang timbul karena adanya perpindahan pada struktur bagian-bagian pipa (*ekspansi thermal*), pada sistem perpipaan beban *ekspansithermal* ini dibagi menjadi beberapa hal yaitu: [14]

Beban *ekspansi* termal akibat pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipamengalami *ekspansi*.

- a. Beban *termal* akibat perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga mampu menimbulkan tegangan.
- b. Beban akibat perbedaan koefisien *ekspansi* pipa yang tersusun dari dua atau lebih material logam yang berbeda.

2.4.3 Beban Operasi (Operating Load)

Beban operasi yaitu beban gabungan dari beban sustain dan beban termal yang di kombinasikan. Beban tersebut diterima oleh pipa selama operasi dijalankan. Dengan kata lain beban tersebut bisa kita tuliskan sebagai berikut:
Beban Operasi = Beban *Sustain* + Beban Ekspansi.[14]

2.5 Material Pipa

Material yang sering digunakan pada pipa antara lain *Carbon moly*, *Carbon steel*, *Galvanis*, *ferro nikel*, *stainless steel*, *PVC*, *Crome moly*, *fiber glass*, *Aluminium*, *red Brass*, *nikel Chrom iron*, dan lain-lain.

Semua material tersebut didefinisikan sesuai dari standar ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan ASME (*American Society of Mechanical Engineering*), semua material yang dipakai pada standart ASTM dan ASME sama. Tetapi pada material ASME lebih ketat karna pada ASME terdapat pemakaian kritis dan biasanya diperlukan ASME stemp beberapa material terdapat tabel 2.1:

Tabel 2.1. Jenis Grade Material Pipa dan Aplikasi Penggunaannya

NO	Spesifikasi	Produk	Range NPS	Aplikasi
1	ASTM A- 53	Seamless/ welded	1/8" – 26"	Ordinary use in gas, air, oil, water, steam
2	ASTM A- 106	Seamless	1/8" – 48"	High - temperature service (steam, water, gas, etc.)
3	ASTM A- 369	Forget & Bored	Custom	High – temperature service
4	ASTM A- 335	Seamless	Custom	High temperature service
5	ASTM A- 333	Seamless/ welded	1/8" & larger	Service equiring excellent fracture toughness at low temperature
6	ASTM A- 671	EFW (Electric Fussion Welded)	16" and larger	Low – temperature service
7	ASTM A- 672	EFW (Electric Fussion Welded)	16" and larger	High – temperature service
8	ASTM A- 691	EFW (Electric Fussion Welded)	16" and larger	High – temperature service
9	ASTM A- 312	Seamless/ welded	1/8" & larger	Low to high – temperature and corrosive service
10	API 5L	Seamless/ welded		Line pipe, refinery, and transmission service

Beberapa material pipa dan komponen-komponen pipa yang umum digunakan sesuai standar kode ASME B31.1, B31.3, dan B31.4 dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.2. Material perpipaan yang Umum Digunakan

No	Commodity	B31.1 (Power piping)	B31.3 (Process piping)	B31.4 (Liquid Fuel Transp. Piping)
1	Pipe	ASTM A 106	ASTM A,53 API 5L	ASTM A 53 API 5L API 5L X
2	Pipe (Low temp)	ASTM A 333 Gr.6	ASTM A 333 Gr.6	ASTM A 33 Gr.6
3	Pipe (High Temp)	ASTM A 106	Astm a 106	ASTM A 106
4	Bolting	ASTM A 193 B7	ASTM A 193 B7 ASTM A 320	ASTM A 193 B7 ASTM A 320
5	Nut	ASTM A 194 2H	ASTM A 194 2H	ASTM A 194 2H
6	Fittings	ASTM A 234 WPB	ASTM A 234 WPB	
7	Fitting (Low temp)	ASTM A 420 WPL6	ASTM A 420 WPL6	ASTM A 420 WPL6
8	Fittings (High temp)	ASTM A 234 WPB ASTM A 216 WCB	ASTM A 234 WPB ASTM A 216 WCB	ASTM A 234 WPB
9	Flanges	ASTM A 105 ASTM A 181 ASTM B16.5	ASTM A 105 ASTM A 181 ASME B16.5	ASTM A 105 ASTM A 181 ASME B16.5
10	Flanges (Low temp)	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	ASTM A 350 LF2
11	Flanges (High temp)	ASTM A 105 ASTM A 181 ASTM A 216 WCB	ASTM A 105 ASTM A 181 ASTM A 216 WCB	ASTM A 105 ASTM A 216 WCB
12	Valves	ASTM A 105 ASME B16,34	ASTM A 105 API 600	API 6D API 600
13	Valves (Low temp)	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	ASTM A 350 LF2 ASTM A 352 LCB	
14	Valves (High temp)	ASTM A 216 WCB	ASTM A 216 WCB	

2.6 Tegangan pada Sistem Pemipaan

Tegangan adalah besaran vector yang selain memiliki nilai juga memerlukan arah. Nilai dari tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) persatuan luas (A). pada suatu system pemipaan, teori tegangan secara umum merupakan pengembangan dari teori tegangan yang sudah ada. Tegangan yang terjadi pada pemipaan disebabkan oleh tekanan yang terjadi pada internal, eksternal, beban berat dan beban ekspansi akibat terjadinya temperature. Dalam analisa tegangan pada system pemipaan kita menyesuaikan pada diagram tegangan-regangan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini: [15]

2.6.1 Tegangan Longitudinal (*Longitudinal stress*)

Tegangan longitudinal merupakan tegangan yang bekerja yang searah dengan sumbu pipa. Tegangan longitudinal terdiri dari beberapa tegangan yaitu aksial (*axial stress*), tekuk (*bending stress*) dan longitudinal tekanan (*pressure stress*). Berikut adalah uraian dari tegangan yang ada pada tegangan longitudinal [16].

Tegangan longitudinal akibat gaya aksial (σ_{ax}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya aksial (F_{ax}), yang bekerja searah dengan sumbu pipa.

Berikut rumus tegangan aksial:

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} \dots\dots\dots$$

$$F_{ax} = P \cdot A \dots\dots\dots$$

$$A = \left(\frac{\pi(d_0^2 - d_1^2)}{4} \right) \dots\dots\dots$$

Dimana:

A = luas penampang dalam pipa (m²)

A_m = Luas Permukaan Pipa (m²)

d₀ = diameter luar pipa (m)

d₁ = diameter dalam pipa (m)

F_{ax} = gaya aksial yang terjadi sepanjang pipa (N)

σ_{ax} = tegangan aksial

Tegangan internal dalam pipa dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{ip} = \frac{P \cdot d_o}{4t} \dots\dots\dots$$

Dimana:

P = tekanan fluida dalam pipa (N/mm²)

d_o = luas permukaan dalam pipa (m²)

t = ketebalan dinding pipa (m)

Tegangan longitudinal tekan (σ_{lp}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan *internal* (*p*) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa

$$S_b = \frac{m}{ip} \cdot Y = \frac{M}{ip/Y} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots$$

Dimana:

S_b = tegangan tekuk (kN/m²)

M = bending momen (Nm)

I_p = momen inersia penampang pipa (m⁴)

R = radius lengkungan pusat bending pipa (m)

E = modulus elastisitas (N/m²)

Y = radius pipa dari pusat netral ke titik yang diperhatikan (m)

Z = modulus cross section pipa (i/y)

2.6.2 Ketebalan Pipa (*wall thickness*)

Dalam dunia pemipaan terdapat berbagai macam ketebalan yang berbeda yang di produksi, setiap dari masing-masing pipa memiliki ketebalan pipa yang tertentu. Pada pipa di beri penamaan dalam bentuk schedule number bukan lah dalam bentuk ketebalan pipa yang sebenarnya [15].

Ketebalan pipa itu sangatlah menentukan tegangan-tegangannya yang terjadi pada system perpipaan, dan disamakan dengan rumus yang ada pada standard code pipa yang di schedule number. Selain itu penentuan pipa pada standard code.

Untuk menghitung ketebalan dinding pipa pada sistem perpipaan digunakan kode standar ASME B31.3 yaitu:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 (SEW + PY)} \dots\dots\dots$$

$$tm = t + c \dots\dots\dots$$

Dimana:

c = jumlah batas perlakuan mekanikal (Mechanical Allowances)

D = diameter luar pipa (mm)

d = diameter dalam pipa (mm)

E = faktor kualitas

S = nilai tegangan yang diizinkan pada ASME B31.3

tm = ketebalan minimum yang diperlukan

t = ketebalan dinding pipa dari hasil perhitungan tekanan operasi

W = faktor reduksi kekuatan sambungan pengelasan

Y = Koefisien dari tabel 1 pada ASME B31.3.

2.7 Kode dan Standar Perpipaan

Dalam sistem perpipaan yang dilakukan, untuk merekayasa analisis tegangan memerlukan kode dan standar perpipaan yang dulu disebut dengan analisis flexibilitas [16]. Kode dan standar sangatlah dibutuhkan, karena satu persyaratan minimum yang harus digunakan pada setiap sistem perpipaan agar mendapatkan hasil yang aman. Standar mencantumkan spesifikasi material yang diizinkan rancang fabrikasi yang bisa diterima pada sistem perpipaan dan prosedur inspeksi [17].

Pada saat ini ada beberapa buah kode standar yang dipakai untuk acuan di Indonesia sebagai kebutuhan dibidang industry, yaitu: [18].

- ASME/ANSI B31.1 untuk sistem perpipaan yang digunakan di industry pembangkit listrik;
- ASME/ANSI B31.3 digunakan pada sistem perpipaan untuk industry proses dan petrokimia
- ASME/ANSI B31.4 digunakan pada sistem perpipaan untuk industry transportasi pipa minyak dan zat cair lain.
- ASME/ANSI B31.5 digunakan pada sistem perpipaan pendingin
- ASME/ANSI B31.8 digunakan untuk pipa transportasi gas
- API 570 digunakan pada industry migas selain ASME
- API 5LX65 digunakan pada perminyakan

2.8 Permasalahan dan perbaikan pada pipa carbon steel

1. Permasalahan Penurunan aliran udara pada pipa bertekanan

Turunnya tekanan aliran udara pada sistem perpipaan tekanan disebabkan oleh kerugian-kerugian dari kurang maksimalnya tekanan udara, penataan unit operasi kompresor dan pengering udara di area pembangkit listrik pada saat menyuplai udara ke area kerja pengelasan atau bengkel mempunyai dampak besar pada ini sedang dimanfaatkan. Desain sistem perpipaan bertekanan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi distribusi aliran fluida bertekanan dan

mengurangi proporsi kehilangan tekanan yang signifikan dalam aliran fluida [19]. Namun sistem pipa bertekanan sering kali mengalami penurunan tekanan yang disebabkan oleh gesekan aliran cairan di sepanjang permukaan pipa. Hal ini dipengaruhi oleh parameter kekasaran permukaan, dimensi pipa, penggunaan sambungan pipa, dan viskositas cairan [20].

Parameter viskositas zat cair menciptakan gaya geser di dalam zat cair, yang bersifat menahan. Mengurangi gaya hambat dalam aliran fluida dapat dicapai dengan menambahkan energi, tetapi dengan penggunaan energi ini, sebagian energi dalam aliran fluida hilang, dan hilangnya energi dalam aliran fluida mengurangi tekanan aliran juga disebut kerugian tekanan (*head loss*) [21].

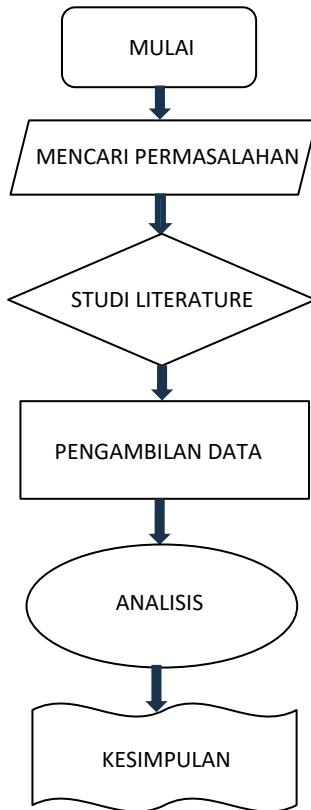
Kerugian tekanan tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu kerugian minor (*minor losses*), dan kerugian mayor (*major losses*) [22]. Kerugian kecil adalah kerugian tekanan aliran fluida yang disebabkan oleh sambungan pada sistem pipa (*fitting*) atau katup (*elbow*), strainer, cabang (*T-piece*), sistem pipa inlet dan outlet toilet, serta perpanjangan pipa. Kerugian terbesar adalah akibat gesekan antara aliran fluida dan dinding permukaan tabung, yang mempunyai koefisien kekasaran konstan tergantung pada jenis bahan tabung yang digunakan.

Kajian para peneliti terdahulu mengenai penurunan tekanan laju aliran fluida masih jarang dilakukan. Penelitian terbaru mengenai analisis penurunan tekanan berkaitan dengan pengaruh parametrik dimensi sistem pipa, dan diketahui bahwa penurunan tekanan yang disebabkan oleh dimensi pipa mencapai persentase $\pm 20\%$ [23]. Terkait tekanan udara pada saat turun disambung sebesar 90° sudut, laju aliran menurun, mencapai laju 11 % sampai dengan 13% [24]. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sejauh mana penurunan tekanan aliran udara yang disebabkan oleh penurunan tekanan kecil (sambungan pipa) dan besar (ukuran dimensi pipa) mempengaruhi kualitas sistem perpipaan tekanan yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis situasi kehilangan tekanan aliran udara sebagai bahan analisis data untuk mengurangi kehilangan tekanan secara signifikan dan memperbaiki sistem perpipaan tekanan.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1 Perancangan

Tahapan diagram alir (*flow chart*) berikut ini diikuti dalam pelaksanaan metodologi penelitian ini:



Gambar 2. Diagram Alir

3.2 Tempat dan Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan di bagian Testing pada PT. Rifariz Batam yang beralamatkan di Executive Industrial Park Blok D3 No.12A, Baloi Permai, Kec. Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau 29444, Indonesia. Penelitian ini dilakukan pada dari bulan Juli 2023 sampai dengan Desember 2023.

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah :

1. Melakukan *hydrotest* sesuai dengan tahapan proses pengecekan.
2. Melakukan pengujian
3. Melakukan perekaman hasil pengujian dan memastikan masuk dalam spesifikasi
4. Melakukan perhitungan untuk memastikan bahwa pipa yang digunakan secara teoritis mampu untuk memenuhi kebutuhan atau persyaratan tekanan yang diperlukan.
5. Melakukan perbandingan hasil perhitungan dengan persyaratan

3.4 Tahapan Pengujian

Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah:

1. *Briefing* teknis dan *safety*
2. Pemeriksaan Peralatan
 - a. *Flange*
 - b. *Water pump*
 - c. *Valve*
 - d. Penyangga Pipa
3. Pemeriksaan sumber air dan pembuangan
4. Barikade area kerja
5. Pemasangan *safety barrier* di ujung pipa dengan menggunakan karung pasir
6. APD sesuai dengan pekerjaan
 - a. Kacamata *safety*
 - b. Helm
 - c. Sarung tangan
 - d. *Safety shoes*
7. Lakukan pengujian untuk tahapan detail pengujian akan dijelaskan pada bab selanjutnya.
8. Pencatatan hasil pengujian

3.5 Tahapan Perhitungan

Tahapan berikutnya dalam proyek akhir ini adalah melakukan perhitungan dan perbandingan hasil pengujian, adapun perhitungan yang dimaksud adalah:

1. Perhitungan ketebalan pipa
2. Perhitungan tekanan pipa
3. Perhitungan tekanan yang diizinkan
4. Perhitungan tekanan longitudinal

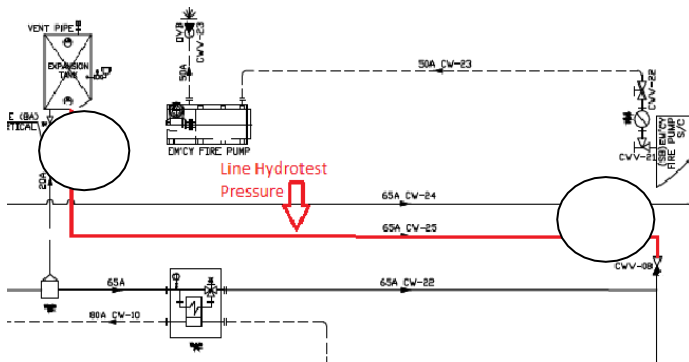
3.6 Tahapan Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahap ini merupakan tahap terakhir dalam pembuatan proyek akhir yang bertujuan untuk merangkum keseluruhan detail mengenai pengujian ketahanan pipa carbon steel menggunakan metode *Hidrostatic Test* dan perbandingan dengan perhitungan teoritis, yang meliputi latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, landasan teori, metode pelaksanaan, pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

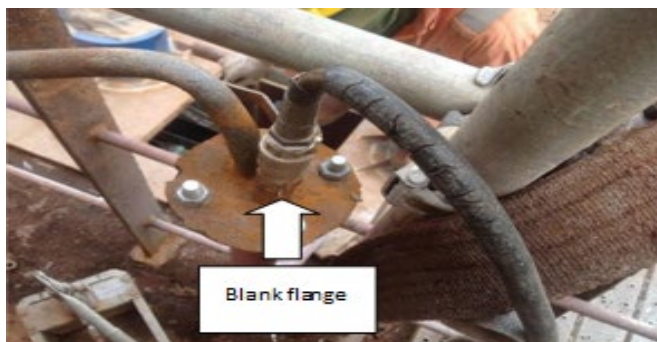
4.1 Langkah melakukan pengujian hydrotest:

1. Tentukan instalasi pipa yang mana yang akan diuji, batasi daerah pengujian dengan memberikan tanda pada pipa agar mudah dalam pengecekan kebocoran nantinya.



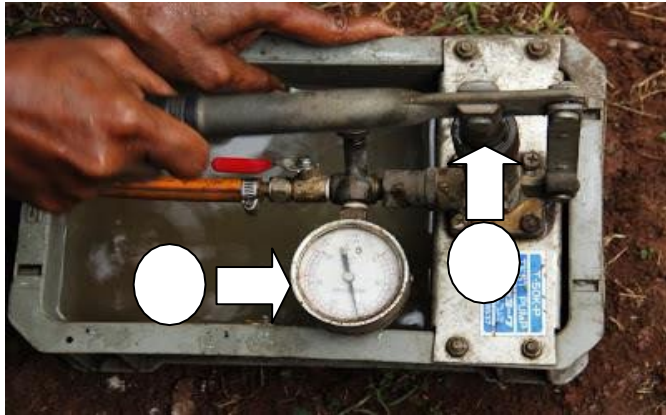
**Gambar 4. 1. Line pengujian hydrotest pada pipa pengujian
(a) jalur masuk tekanan (b) pipa yang di batasi**

2. Isi air kedalam pipa uji sampai penuh (ditandai dengan keluarnya atau tumpahya air dari bagian inlet pipa) dan pipa instalasi di *test flange*.



Gambar 4.2. Blank flange pada inlet pipa pengujian.

3. Sambungkan test pump dan *pressure gauge*



Gambar 4.3. Hydrotest a. Test pump b. Pressure gauge

4. Isi bak pada alat *Test Pump* dengan air. isi air sebanyak-banyaknya agar mempercepat proses.



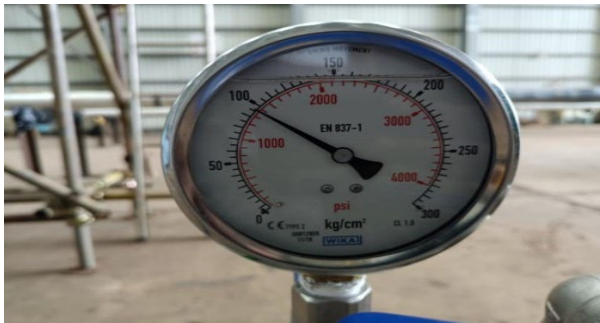
Gambar 4. 4. Pengisian air pada test pump

5. Lakukan pemompaan air kedalam pipa uji agar air didalam pipa uji memiliki tekanan yang cukup dengan cara menggerakkan tuas yang ada pada alat *Test Pump* agar air didalam bak alat *Test Pump* terpompaan kedalam pipa uji.



Gambar 4.5. Ilustrasi proses pengisian air ke dalam pipa

6. Perhatikan *Pressure Gauge*, apabila tekanan sudah cukup maka hentikan pemompaan, bila tekanan belum cukup dan air pada bak alat *Test Pump* sudah habis maka lakukan penambahan air dan lakukan lagi pemompaan air sampai didapat tekanan yang cukup dan dapat di lihat tekanannya pada pressure gauge.



Gambar 4.6. Tekanan sudah mencukupi (*Pressure gauge*)

7. Periksa dengan seksama seluruh sambungan pengelasan pada pipa dan juga sambungan - sambungan yang memakai Flange atau Ulir. Bila terjadi kebocoran pada sambungan maka air akan terlihat tersembur keluar dari bagian pipa yang bocor tersebut.



Gambar 4.7. Contoh kebocoran yang keluar dari flange

4.2 Pengujian

Dari hasil pengujian *hydrotest pressure* dan function test yang di lakukan di lapangan didapatkan beberapa data seperti tekanan pipa dan temperature pipa.

1. Pengambilan data pada *hydrotest Pressure*. Sebelum melakukan pengujian *hydrotest pressure* harus diketahui dulu desain tekanan pada pipa tersebut yaitu 4,13 bar / 60 psi setelah dikali dengan 1,5 dari desain tekanan maka tekanan uji yang akan diberikan pada pipa tersebut adalah 6,20 bar / 90 psi sesuai dengan standard *ASME B31.3*.
Setelah menentukan nilai tekanan pada pipa, Anda dapat melakukan pengujian ini. Jika saat pengujian, terlihat ada kebocoran pada pipa. Biasanya kebocoran ini disebabkan oleh kurangnya kedap udara pada *flange* antar pipa, kurangnya kebersihan lasan pada saat pemasangan pipa. Berikut gambar kebocoran yang di ambil saat pengujian metode ini:



(a)



(b)

**Gambar 4. 8. Contoh Kebocoran pipa
(a) Kebocoran pada flange (b) Kebocoran dari lasan**

Jika mengetahui terjadi pipa bocor, perbaiki pipa dan jalankan kembali uji tekanan *Hydrotest* yang dijelaskan di bagian Metode untuk memastikan tidak ada kebocoran. Setelah tidak ada kebocoran, dilanjutkan tahapan mengumpulkan data. Pengujian ini dilakukan pengumpulan data untuk mengetahui nilai penurunan tekanan pada pipa. Pengujian ini memerlukan waktu pengumpulan data selama 1 jam 30 menit.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian *Hydrotest Pressure*

Hasil Pengujian				
No	Waktu Pengujian	Tekanan Pengujian (Bar/psi)	Persentase tekanan	Waktu Penahanan
1	09.00 - 09.10	1,7bar / 26Psi	25%	10 menit
2	09.10 - 09.20	3,1bar / 45Psi	50%	10 menit
3	09.20 - 10.20	6,2bar / 90Psi	100%	60 menit
4	10.20 - 10.30	3,1bar / 45Psi	50%	10 menit
5	10.30	0 bar / 0 psi	0%	-

- a) Tahap Pertama yaitu memberikan tekanan 25% dari tekanan uji yang telah ditetapkan dan ditahan selama 10 menit.
- b) Tahap Kedua yaitu memberikan tekanan 50% dari tekanan uji yang telah ditetapkan dan ditahan selama 10 menit.
- c) Tahap Ketiga yaitu memberikan tekanan 100% dari tekanan uji yang telah ditetapkan dan ditahan selama 60 menit. Karena pada tekanan uji maksimum yang diberikan merupakan waktu yang tepat untuk mengidentifikasi adanya kebocoran atau tidak sehingga memerlukan waktu penahanan yang lebih lama.
- d) Tahap Keempat yaitu menurunkan tekanan 50% dari tekanan uji yang telah ditetapkan dan ditahan selama 10 menit.
- e) Tahap Kelima yaitu menurunkan tekanan menjadi 0 dan pengujian dianggap selesai.

Pada tahapan pengujian *hydrotest* dalam memberikan tekanan harus dilakukan secara berkala. Hal ini dilakukan karena demi keamanan pada saat pengujian berlangsung, serta dapat memudahkan untuk mengidentifikasi adanya kebocoran.

Untuk penurunan *pressure drop* ini di tentukan oleh permintaan surveyor dalam hal ini surveyor menargetkan turunnya tekanan sebanyak 2 bar, dan hasil pengujian penurunan hanya terjadi 0,2 bar.

4.3 Inspeksi / permasalahan selama uji *hydrotest*

Setelah mencapai waktu penahanan yang diinginkan, tekanan uji harus dikurangi hingga tekanan tidak kurang dari tekanan uji dibagi 1,5 untuk ASME

B31.3. Pemeriksaan kebocoran harus dilakukan oleh Inspektur QC pada waktu tunggu pada:

- Semua sambungan dan sambungan las (Semua sambungan las harus bebas dari serpihan, kerak, dll).
- Semua wilayah dengan tekanan tinggi (seperti *nozzle*, wilayah di sekitar bukaan, transisi ketebalan).

Kebocoran tidak diperbolehkan selama hidrotest. Pipa harus diperiksa apakah ada perubahan bentuk, retak, dan cacat lainnya. Berikan perhatian khusus pada sambungan fillet. Ventilasi harus dibuka terlebih dahulu, diikuti dengan pembuangan untuk menghindari kondisi vakum di dalam. Tidak ada personel yang diperbolehkan memasuki area pengujian selama pengujian ketika tekanan meningkat. Selama periode penahanan, jika kebocoran terlihat pada pengukur tekanan atau jika terlihat, maka sistem harus dikurangi tekanannya dan kebocoran harus diperbaiki dengan perbaikan pengelasan, mengencangkan sambungan flensa, dan jika perlu mengganti paking.

Perbaikan

Penurunan tekanan yang terjadi pada pipa tekanan dilakukan di tiga wilayah kerja yaitu area welding, powerhouse, dan dished. Di sana acuan utamanya adalah mengidentifikasi parameter-parameter penyebab masalah penurunan tekanan aliran udara pada pipa-pipa tekanan dalam penyelidikan lapangan penelitian ini. Suatu proses perhitungan analisis data yang menggambarkan besarnya kehilangan tekanan dan tekanan aliran udara yang bekerja pada sistem perpipaan, dengan tujuan untuk menentukan kondisi pemasangan yang ideal dan sesuai untuk perbaikan perpipaan bertekanan, berdasarkan hasil penyelidikan lapangan. Ketiga wilayah kerja tersebut memiliki sistem perpipaan yang berbeda untuk memperlancar aliran udara bertekanan. Sistem perpipaan pada ketiga area tersebut dipengaruhi oleh penempatan kompresor dan penering udara sesuai konsep sistem perpipaan terbuka. Kondisi sistem perpipaan pada area pengelasan, pembangkit listrik dan bengkel, serta dimensi dan jumlah sambungan sistem perpipaan pada ketiga area tersebut. Sistem sambungan yang digunakan pada pipa bertekanan sesuai dengan menggunakan 6 tipe sambungan yang terdiri dari sambungan elbow 90°, *tee line*, *tee branch*, aliran cabang, *reducer*, dan *ball valve*.

4.4. Perhitungan

4.4.1 Ketebalan Minimum (Minimum Wall Thickness)

Ketebalan minimum dinding pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.2

$$\begin{aligned} P &= 0,413 \text{ Mpa} \\ D &= 114,3 \text{ mm} \\ E &= 137,89 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= 0,9 \\ Y &= 0,4 \\ C &= 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{P \cdot D}{2 (SEW + PY)} \\ &= \frac{0,413 \text{ MPa} \cdot 114,3 \text{ mm}}{2 (137,89 \text{ MPa} \cdot 1,09 + 0,413 \text{ MPa} \cdot 0,4)} \\ &= \frac{47,21}{2 (124,27)} \text{ mm} \\ &= \frac{47,21}{248,53} \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 0,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_m &= t + c \\ &= 0,2 \text{ mm} + 3 \text{ mm} \\ &= 3,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4. 2. Ketebalan Minimum Pipa

Parameter	Besaran	Satuan
P (<i>Pressure</i>)	0,413	MPa
D (<i>Diameter</i>)	114,3	Mm
S (<i>Allowable Stress</i>)	137,89	MPa
E (<i>Quality Factor</i>)	1	
Y (<i>Coefisien Y</i>)	0,4	
c (<i>Allowance Corosion</i>)	6	Mm
t	0,2	Mm
Tm	3,2	Mm

Perbandingan antara hasil perhitungan ketebalan pipa manual dengan ketebalan pipa rancangan awal mempunyai kemiripan. sehingga pipa dinyatakan aman karena nilai "t" perhitungan manual = "t" actual.

4.4.2 Tegangan Pipa

Perhitungan Tegangan pipa terdiri dari tegangan ijin, tegangan *sustained load*, dan tegangan *expansion load*. Berikut data material pipa pada tabel 4.3

Tabel 4.3. Data Material Pipa

Parameter	Besaran	Satuan
NPS (4 inchi)	114,3	Mm
<i>Schedule</i>	10	-
<i>Inside Diameter</i>	108,2	Mm
<i>Outside Diameter</i>	114,3	Mm
<i>Wall Thickness</i>	3,05	Mm
<i>Corrosion Allowance</i>	3	Mm
<i>Pipe Density</i>	7850	Kg/m ³

4.4.3 Tegangan ijin (Allowable Stress)

Nilai tegangan ijin yang digunakan sebagai acuan adalah nilai tegangan ijin berdasarkan desain temperatur. Nilai tegangan ijin dari setiap kondisi berbeda. Untuk kondisi *sustained load* nilai tegangan ijinnya bisa dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai Tegangan Ijin Material untuk *Sustained Load*

Temperatur (°F)	S (MPa)
100	137,89
200	137,89
347	137,89

Untuk kondisi *occasional load* nilai tegangan ijin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{\text{occasional}} &= 1,33 \times S_h \\ &= 1,33 \times 137,89 \text{ MPa} \\ &= 183,3937 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dari persamaan 2.14 kondisi *ekspansi thermal* nilai tegangan ijin material dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{\text{ekspansi}} &= f (1.25 S_c + 0.25 S_h) \\ &= 1 (1.25 \times 137,89 \text{ MPa} + 0.25 \times 137,89 \text{ MPa}) \\ &= 1 (172,36 + 34,47) \text{ MPa} \\ &= 206,83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.4.4 Nilai Tegangan Longitudinal Load

Longitudinal load adalah total dari *longitudinal stress* yang disebabkan oleh tegangan longitudinal tekan, tegangan axial dan tegangan tekuk. Nilai dari tegangan longitudinal tekan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.1

$$\begin{aligned} \sigma_{ip} &= \frac{P \cdot A_b}{4t} \\ &= \frac{0,413 \text{ MPa} \times 114,3 \text{ mm}}{4 \times 6,8 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$= \frac{47,21}{27,2} \text{ MPa}$$

$$= 1,74 \text{ MPa}$$

$$= 1740 \text{ KPa}$$

Nilai dari tegangan akibat gaya aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z}$$

$$M_b = W \times L^2 \frac{W \times L^2}{10}$$

$$= \frac{168,84 \text{ N} \times (4\text{m})^2}{10}$$

$$= 270,144 \text{ Nm}$$

$$Z = \frac{1}{R_o}$$

$$= \frac{3,25 \times 10^{-6} \text{ m}^4}{0,05715 \text{ m}}$$

$$= 5,69 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_b = \frac{m_b}{z}$$

$$= \frac{270,144 \text{ Nm}}{5,69 \times 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$= 4747697,7 \text{ Pa} = 4.75 \text{ MPa}$$

4.4.5 Tegangan Sirkumferensial (Hoop Stress)

Tegangan ini disebabkan oleh tekanan dalam pipa dimana tekanan ini bersumber dari fluida dan nilainya selalu positif jika tegangan cenderung membelah pipa menjadi dua. Untuk menghitung nilai tegangan sirkumferensial dapat menggunakan persamaan

$$\begin{aligned}
 S_H &= \frac{PD_0}{2t} \\
 &= \frac{0,413 \text{ MPa} \times 114,3 \text{ mm}}{2 \times 6,02 \text{ mm}} \\
 &= \frac{47,21}{12,04} \text{ MPa} \\
 &= 3,92 \text{ MPa} \\
 &= 3920 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5. Perbandingan Perhitungan Teoritis Dan Actual

NO	Parameter	Teoritis	Actual
1	Ketebalan Minimum	3.2 mm	3.05 mm
2	Tegangan Izin Soccasional	183.39 MPa	137.89 MPa
3	Tegangan Izin Sekspansi	206.83 MPa	137.89 MPa
4	Tegangan Sirkumferensial	3.92 MPa	-

Perhitungan teoritis membantu memastikan validitas hasil dari uji hidrostatis dengan cara membandingkan hasil uji langsung dengan hasil perhitungan teoritis. Hal ini memungkinkan evaluasi mendalam terhadap seberapa dapat diandalkan dan akuratnya metode uji hidrostatis dalam menilai kekuatan pipa dalam kondisi operasional yang sesungguhnya.

Perbedaan signifikan antara hasil aktual dan teoritis dapat menimbulkan pertanyaan tentang validitas metode uji hidrostatis yang digunakan. Metode uji hidrostatis mungkin perlu dievaluasi ulang atau diperbarui agar lebih akurat sesuai dengan kondisi operasional yang sebenarnya. Jika hasil aktual menunjukkan kekuatan pipa lebih rendah dari yang diprediksi secara teoritis, hal ini dapat mengindikasikan potensi resiko kegagalan pipa dalam operasi sehari-hari. Dalam hal ini, perlu dipertimbangkan langkah-langkah untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem pipa.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tugas akhir dengan judul Analisis Pengujian Ketahanan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Hidrostatic Test di PT Rifariz Batam, maka sesuai dengan tujuan penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam pengukuran *hydrotest* tidak diperbolehkan adanya kebocoran pada pipa, sehingga dilakukan repair pada pipa dan melakukan kembali pengujian *hydrotest pressure*. Penurunan tekanan yang terjadi di pipa bertekanan dilakukan pada tiga area kerja yakni area *welding*, *powerhouse*, dan *dieshop*. Ketiga wilayah kerja tersebut memiliki sistem perpipaan yang berbeda untuk memperlancar aliran udara bertekanan. Sistem perpipaan pada ketiga area tersebut dipengaruhi oleh penempatan kompresor dan pengering udara sesuai konsep sistem perpipaan terbuka. Berdasarkan hasil pengukuran *hydrotest* pipa berhasil memenuhi persyaratan pengujian tekanan diatas 4.13 Bar.
2. Berdasarkan perhitungan desain pipa sanggup menahan tekanan yang dibutuhkan, baik dari tegangan pipa, tegangan ijin, longitudinal dan sirkumferensial, dan hal ini juga dibuktikan melalui *hydrotest*. Berdasarkan perhitungan desain pipa sanggup menahan tekanan yang dibutuhkan, baik dari tegangan pipa, tegangan ijin, longitudinal dan sirkumferensial, dan hal ini juga dibuktikan melalui *hydrotest*. Dengan Hasil perbandingan dari perhitungan teoritis dan aktual yaitu ketebalan minimum teoritis 3.2mm dan aktual 3.05 mm, tegangan ijin soccasial teoritis 183.39mPa dan aktual 137.89 MPa, tegangan izin sekpansi teoritis 206.83 MPa dan aktual 137.89 MPa, tegangan sirkum teoritis 3.92 Mpa.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang penulis lakukan adapun beberapa saran yang dapat penulis berikan adalah:

1. Kepada PT Rifariz agar lebih memperhatikan penyimpanan alat alat yang akan digunakan dan melakukan dokumentasi peralatan agar mudah didapatkan.
2. Disarankan juga kepada PT Rifariz agar dapat melakukan perhitungan secara teoritis sebelum melakukan pengujian agar dapat memberikan masukan kepada owner project untuk memastikan desain pressure yang telah ditetapkan sesuai dengan perhitungan teoritis agar lebih meningkatkan keamanan pipa pada saat beroperasi.

Daftar Pustaka

- [1] N. Charis, "Laporan praktek kerja nyata di PT.PAL Indonesia," 2015.
- [2] Boiler AS. American Society of Mechanical Engineers, *American Society of Mechanical Engineers, ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, Subcommittee on Pressure Vessels. Rules for Construction of Pressure Vessels; An international code VIII, Division 1 VIII, Division 1*. New York, NY, USA.: American Society of Mechanical Engineers, 2013.
- [3] A. B31.9-2014, *Process Piping" (ASME B31.3-2012) ASME B31.9-2014, "Building Services Piping*. 2012.
- [4] A. Yogantoro, "Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium, Tempering dan High Tempering Pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010.
- [5] "Handbook American Standard Testing and Material. ASTM A106 Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for HighTemperature Service," 2012
- [6] Alvindo Catur Sentosa (ACS), "JENIS PIPA CARBON STEEL DAN KEUNGGULANNYA," *Alvindo Catur Sentosa (ACS)*, 2023.
- [7] AS, "Pressure Rating Tables for Stainless Steel Pipe Notes to the tables of allowable working pressures.," no. July, pp. 5–9, 2010.
- [8] "SLAC Enviroment, Safety, and healt manual (SLAC-1-720-0A29Z-007) Chapter 14, "Pressure System."
- [9] M. Nofri and A. Fardiansyah, "Analisis Sifat Mekanik Pipa Carbon Steel Grade a a106 Dan Grade B a53 Untuk Proses Produksi Pada Kilang Lng," *Bina Tek.*, vol. 14, no. 2, p. 119, 2018, doi: 10.54378/bt.v14i2.335.
- [10] BKI rules, "Rules for Classification and Surveys," vol. 1, 2014.
- [11] PT.Gusti Sakti Mandiri, "Mengenal tentang pengujian hydrotest," 2016.
- [12] Aditya, "HYDROSTATIC TESTING," *sinergi nanotech indonesia*, 2021.
- [13] Romy, A. (2020). *Analisa tegangan ekspansi pada seamless carbon steel*

- (ASTM SA 106). Malang: Institut Teknologi Malang.
- [14] Aththar, M. R., Santoso, M., & Indartono, A. (2017, September). ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN PADA JALUR METERING SAMPAI TANKI TB-T 01, TB-T 02, TB-T 03. In *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application* (Vol. 2, No. 1, pp. 95-100).
- [15] Abdillah, Arno. 2014. Analisa Tegangan Pipa Pada Jalur Pemipaan Gas Dengan Pendekatan Perangkat Lunak. Universitas Bengkulu.
- [16] Husen Ahmad. 2018. Analisa Tegangan Pipa Sistem Instalasi Pipipaan Geothermal Di Proyek X. Institut Sains Dan Teknologi Nasional. Jakarta Selatan.
- [17] Husen, A., Setiyadi, A., & Cholis, N. (2018). Analisis Tegangan Pipa O43-GN-31004 pada Scrub Coloumn Vessel Menuju Vessel Coloumn Proyek Tangguh Expansion Train 3 Papua. *Bina Teknika*, 14, 139-152.
- [18] (McGraw-Hill handbooks) Mohinder Nayyar. 2020 Piping Handbook-McGraw-Hill.
- [19] Miguel A.F., 2018. Constructal branching design for fluid flow and heat transfer. *International Journal Heat and Mass Transfer* Vol.122, pp.204-211.
- [20] Kong R., Kim S., Bajorek S., Tien K., Hoxie K., 2018. Effects of pipe size on horizontal two-phase-flow: flow regimes, pressure drop, twophase flow parameters and drift-flux analysis. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 96, pp. 75-89.
- [21] Luo J., Rohn J., Bayer M., Priess A., 2013. Modeling and experiments on energy loss in horizontal connecting pipe of vertical ground source heat pump system. *Applied Thermal Engineering* Vol.61, No.2-3, pp. 55-64.
- [22] Stewart M. 2016. *Surface Production Operations*. Gulf Professional Publishing, Amerika Serikat.
- [23] Hamad F.A., Faraji F., Santim C.G.S., Basha N., Ali Z., 2017. Investigation of pressure drop in horizontal pipes with different diameters. *Int. J. Multiphase Flow* Vol. 91, pp. 120-129.
- [24] Dang Z., Yang Z., Yang X., Ishii M., 2018. Experimental study of vertical and horizontal two-phase pipe flow through double 90 degree elbows. *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol.120, pp.861-869.

Biodata



Nama : Arie Prananda Nasution
TTL : Jakarta, 27 Juni 2000
Agama : Islam
Alamat : Papa Mama Residence Blok F2/22b
Batam Center
Email : arieprananda0@gmail.com
Riwayat Pendidikan SD : SDN 007 Batam Kota
SMA/SMK : SMA Negeri 8 Batam
SMP : SMP Negeri 31 Batam