



TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISIS *FATIGUE* PADA *TEE CONNECTION* MENGGUNAKAN
SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD); STUDI
KASUS : *EASTERN JAVA GAS PIPELINE***

Disusun oleh :

Hadi Abdillah

NRP. 0421154000078

Dosen Pembimbing :

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT NIP. 195904101987011001

Irfan Syarif Arief, ST., MT. NIP. 196912251997021001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



THESIS – ME184834

Fatigue Analysis on Tee Connection by Using Simulation of Computational Fluid Dynamics (CFD); Study Case : Eastern Java Gas Pipeline

Author :

Hadi Abdillah

NRP. 0421154000078

Supervisor lecturers :

Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT NIP. 195904101987011001

Irfan Syarif Arief, ST., MT. NIP. 196912251997021001

**MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *FATIGUE* PADA *TEE CONNECTION* MENGGUNAKAN SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)* STUDI KASUS : *EASTERN JAVA GAS PIPELINE*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Manufature and Design (MMD)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HADI ABDILLAH
NRP. 0421154000078

Disetujui oleh Dosen Pembimbing :

1. **Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD, MMT**
NIP. 195904101987011001

()

2. **Irfan Syarif Arief, ST., MT.**
NIP. 196912251997021001

()

SURABAYA

JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS *FATIGUE* PADA *TEE CONNECTION* MENGGUNAKAN SIMULASI
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)
STUDI KASUS : *EASTERN JAVA GAS PIPELINE***

TUGAS AKHIR

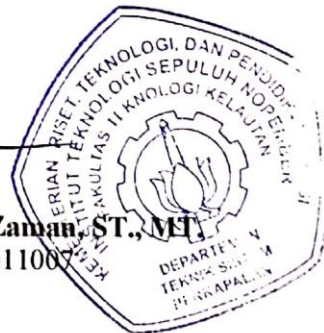
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design (MMD)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HADI ABDILLAH
NRP. 0421154000078

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :


Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, ST., MT
NIP. 197708022008011007



SURABAYA

JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS FATIGUE PADA *TEE CONNECTION*
MENGUNAKAN SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS (CFD)*; STUDI KASUS : *EAST JAVA GAS PIPELINE***

Penulis : Hadi Abdillah
NRP : 04211540000078
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT.
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT

ABSTRAK

Pipa gas bawah laut merupakan infrastruktur yang lebih efektif dan efisien digunakan untuk mentransportasikan gas alam di dunia ini dibandingkan dengan infrastruktur lainnya, sehingga lebih banyak digunakan. Dalam operasional pipa gas bawah laut mendapatkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerjanya, terdapat faktor eksternal seperti kondisi alam maupun aktivitas manusia. Selain itu terdapat faktor internal seperti internal yaitu kondisi pipa itu sendiri dan juga aliran di dalamnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap pengaruh aliran internal pipa *tee connection* terhadap tegangan struktur yang akhirnya akan mempengaruhi umur operasi pipa. Objek yang diteliti merupakan *tee connection* atau tie in berjenis *converging tee* pada *East java gas pipeline* yang dalam operasinya sering mengalami tekanan operasional tinggi sehingga diperlukan sebuah penelitian terhadap umur sisa operasi. Dalam penelitian ini menggunakan simulasi aliran menggunakan pernakat lunak CFD dan didapatkan tekanan maksimum yang bekerja pada dinding pipa mencapai 7.07 MPa, serta didapatkan pola aliran dan kecepatan aliran maksimum mencapai 235.2 m/s. analisis terhadap tekanan yang dihasilkan dikarenakan terjadinya tubrukan (momentum) antara 2 aliran pipa yang memiliki perbedaan tekanan dan kecepatan aliran. Kemudian dilakukan simulasi tegangan struktur statis dan menghasilkan tegangan mencapai 202.34 Mpa. Setelah itu, didapatkan umur operasi pipa hingga mengalami kelelahan menggunakan standar DNV-GL C203, DNV-GL OS C101 mencapai 3.5 tahun.

Keyword: *Fatigue, offshore, CFD, DNV-GL*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Fatigue Analysis on Tee Connection by Using Simulation of Computational Fluid Dynamics (CFD); Study Case : Eastern Java Gas Pipeline

Author : Hadi Abdillah
NRP : 04211540000078
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor lecturers : 1. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT.
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT

ABSTRACT

Underwater gas pipes are a more effective and efficient infrastructure used to transport natural gas in this world compared to other infrastructure, so that it is more widely used. In the operation of subsea gas pipelines get factors that can affect its performance, there are external factors such as environment and human activities. In addition there are internal factors such as internal conditions of the pipe itself and also the flow in it. In this study an analysis of the effect of tee connection pipe internal flow on structural stress will ultimately affect the life of pipe operation. The object under study is tee connection or tie in type converging tee on East Java gas pipelines which in operation often experience high operational pressure so that a study of the remaining life of the operation is needed. In this study using flow simulation using CFD software and obtained the maximum pressure acting on the pipe wall reached 7.07 MPa, and obtained the flow pattern and maximum flow velocity reaching 235.2 m / s. analysis of the pressure produced due to the occurrence of collisions (momentum) between 2 pipelines which have differences in pressure and flow velocity. Then the static structure stress simulation is carried out and produces a stress reaching 202.34 Mpa. After that, the age of pipe operation is obtained to experience fatigue using the DNV-GL C203, DNV-GL OS C101 standard reaching 3.5 years.

Keyword: *Fatigue, offshore, CFD, DNV-GL*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamiin. Segala puji bagi Allah SWT tuhan semesta alam atas barokah, rahmat dan hidayah-Nya serangkaian kegiatan penelitian dan penulisan laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis *fatigue* pada *tee connection* menggunakan simulasi *Computational fluid dynamic* (CFD), Studi kasus : *East Java Gas Pipeline*” dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini tidak hanya disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, akan tetapi juga diharapkan dapat dijadikan referensi dalam meningkatkan wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai dunia teknik pada umumnya serta dunia kemaritiman pada khususnya.

Tentunya dalam pelaksanaan kegiatan ini terdapat beberapa pihak yang senantiasa memberikan dukungan seperti doa, semangat dan motivasi, sehingga dalam kesempatan ini penulis berkenan untuk mengucapkan ungkapan syukur dan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis dan segenap keluarga yang selalu memberikan dukungan doa, moril, dan materil,
2. Bapak Dr. Eng., M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan,
3. Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., MT. dan Irfan Syarif Arief, ST. MT.. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan bimbingan, masukan dan ilmu bagi penulis,
4. Teman-teman seperjuangan ITS-120 di lab MMD yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini,
5. Teman-teman SALVAGE '15 yang selalu memberikan semangat serta doa,
6. Saudara-saudara satu atap Wisma Permai 141 yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan, dan doa,
7. Serta semua teman, sahabat dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan kemajuan dalam skripsi ini. Semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua dan semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dikemudian hari. Aamiin.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Perpipaan.....	3
2.1.1 Perlengkapan pipa (Pipe Outfittings).....	3
2.1.2 <i>Tee connection</i>	4
2.2 Fluida	6
2.2.1 Sifat – sifat dasar fluida	6
2.2.2 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen	9
2.3 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	11
2.3.1 Pengertian Umum CFD.....	12
2.3.2 Proses Simulasi CFD	12
2.3.3 Metode Diskritisasi CFD	13
2.4 Perhitungan Fatigue Life.....	13
2.4.1 Jumlah siklus yang dialami material (ni)	14
2.4.2 Jumlah siklus hingga mengalami kelelahan (Ni)	14

2.5	Estimasi sisa waktu operasi.....	15
BAB III		17
METODOLOGI PENELITIAN.....		17
3.1	Perumusan Masalah	17
3.2	Metode Penelitian	17
3.3	Tahapan Penelitian.....	18
3.3.1	Studi Literatur	19
3.3.2	Pengumpulan Data	19
3.3.3	Pemodelan geometri pipa.....	20
3.3.4	Simulasi Aliran Fluida	20
3.3.5	Simulasi Tegangan.....	20
3.3.6	Validasi	20
3.3.7	Analisa Hasil Simulasi	20
3.3.8	Perhitungan dan Analisa umur kelelahan.....	20
3.3.9	Kesimpulan dan Saran	20
3.4	Pengumpulan Data	21
3.4.1	Spesifikasi Pipa.....	21
3.4.2	Spesifikasi fluida.....	22
3.5	Pemodelan Tee Connnection.....	22
3.6	Simulasi Aliran Fluida (CFD).....	24
3.6.1	<i>Import Geometri</i>	24
3.6.2	Meshing.....	24
3.6.3	Setup	25
3.7	Simulasi Tegangan Struktur.....	26
3.8	Validasi	29
3.8.1	Validasi simulasi aliran fluida.....	29
3.8.2	Validasi simulasi tegangan struktur	29
BAB IV		31
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Hasil Simulasi Aliran fluida (CFD)	31
4.1.1	Hasil simulasi tekanan fluida	31

4.1.2	Hasil simulasi kecepatan aliran.....	32
4.1.3	Hasil simulasi pola aliran.....	32
4.2	Hasil Simulasi Tegangan Struktur	33
4.3	Hasil Simulasi <i>Fatigue Life</i>	34
4.4	Analisis pengaruh aliran terhadap tekanan pada dinding pipa <i>tee connection</i>	34
4.5	Analisis pengaruh tekanan fluida terhadap tegangan struktur	36
4.6	Perhitungan kelelahan umur (<i>Fatigue life</i>)	36
4.6.1	Perhitungan jumlah siklus yang dialami pipa (ni).....	36
4.6.2	Perhitungan jumlah siklus hingga pipa mengalami kelelahan (Ni)..	37
4.6.3	Kelelahan akumulatif (Dfat)	38
4.6.4	Perhitungan life time (Tlife)	39
BAB V		41
PENUTUP		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		43

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses pemasangan pipa gas.....	3
Gambar 2. 2 Macam-macam fitting pipa.....	4
Gambar 2. 3 Straight tee	4
Gambar 2. 4 Unequal tee.....	5
Gambar 2. 5 barred tee	5
Gambar 2. 6 Lateral tee.....	6
Gambar 2. 7 Eksperimen ilustrasi jenis aliran.....	9
Gambar 2. 8 Kurva jenis aliran.....	11
Gambar 2. 9 SN Curve for seawater with cathodic protection.....	14
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	19
Gambar 3. 2 Gambar pemodelan part fluida.....	23
Gambar 3. 3 Gambar pemodelan part solid pipa	23
Gambar 3. 4 Gambar pemodelan body.....	23
Gambar 4. 1 Hasil simulasi tekanan fluida.....	31
Gambar 4. 2 Hasil simulasi kecepatan aliran.....	32
Gambar 4. 3 Hasil simulasi pola aliran.....	32
Gambar 4. 4 Hasil simulasi tegangan struktur	33
Gambar 4. 5 Hasil simulasi fatigue life	34
Gambar 4. 6 skema converging tee flow through run	35
Gambar 4. 7 skema converging tee flow through branch	35
Gambar 4. 8 SN curve for tubular joint with cathodic protection	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Damage Fatigue Factor	13
Tabel 2. 2 SN Curve for tubular joint	14
Tabel 3. 1 Data material pipa EJGP	21
Tabel 3. 2 Data material coating pipa EJGP	21
Tabel 3. 3 Data material pipa TSB.....	21
Tabel 3. 4 Data material coating pipa TSB	22
Tabel 3. 5 Tabel spesifikasi fluida	22
Tabel 3. 6 Data kondisi operasional maksimum	22
Tabel 3. 7 Meshing elements dan nodes	25
Tabel 3. 8 jenis material, densitas, dan viskositas	25
Tabel 3. 9 data kondisi inlet 1	26
Tabel 3. 10 data kondisi inlet 2	26
Tabel 3. 11 data kondisi outlet.....	26
Tabel 3. 12 Meshing elements dan nodes	27
Tabel 4. 1 SN curve for tubular joint with cathodic protection	38
Tabel 4. 2 Design fatigue factor.....	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era moderen ini, populasi manusia kian meningkat. Dengan semakin banyaknya jumlah manusia dan segala aktivitasnya maka berbanding lurus dengan jumlah kebutuhannya akan energi. Salah satu sumber energi yang dibutuhkan adalah Gas. Gas berada dalam peringkat tiga energi primer yang paling banyak dimanfaatkan setelah minyak dan batu bara (Pratama, et al., 2018). Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan sumber daya mineral bahwa Produk domestik bruto memiliki peningkatan disetiap tahunnya dimulai sejak tahun 2014 (5.01), 2015 (4.88), 2016 (5.03), dan yang terakhir 2017 (5.07) (Pratama, et al., 2018). Hal itu menunjukkan peningkatan yang berarti suatu pencapaian yang baik untuk kesejahteraan bangsa Indonesia.

Tercatat pada *BP statistical review of energy 2018*, bahwa di tahun 2017 akhir Indonesia menempati posisi ke tiga negara yang memiliki cadangan gas terbanyak se-Asia pasifik setelah China dan Australia sebesar 2,9 Triliun meter kubik. Dan juga di tahun yang sama Indonesia mampu memproduksi dan mengkonsumsi gas sebanyak 68 dan 39,2 Juta meter kubik (BP, 2018). Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa Indonesia sebagai salah satu lumbung gas dunia belum dapat memaksimalkan perannya sebagai produsen gas dan sekaligus pemanfaatannya untuk kesejahteraan bangsanya. Padahal dilain sisi salah satu pemanfaatan gas sebagai pembangkit listrik seharusnya dapat memenuhi seluruh kebutuhan listrik di negeri ini.

Salah satu permasalahan yang cukup penting dalam industri gas di Indonesia adalah infrastruktur. Hal tersebut dikemukakan oleh Direktur Jenderal Basis Industri Manufaktur Kemenperin dalam seminar mengenai keterbukaan akses energi untuk industri nasional, di Jakarta (3/3) bahwa infrastruktur berupa pipa gas mutlak diperlukan untuk menunjang kebutuhan energi untuk industri dan pembangkit. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlu perhatian lebih terhadap pipa gas.

Pipa gas bawah laut atau *offshore gas pipeline* merupakan salah satu infrastruktur yang digunakan untuk menyalurkan gas yang diproduksi dari sumur (*gas field*) menuju pengguna gas atau konsumen. Pipa gas bawah laut dinilai memiliki efektifitas dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan kapal, terlebih gas memiliki sifat tidak dapat disimpan dalam jangka waktu tertentu, apabila ingin disimpan diperlukan waktu, proses, dan infrastruktur yang cukup rumit.

Dalam operasionalnya, pipa gas bawah laut memiliki potensi risiko yang menyebabkan kegagalan operasional. Lingkungan disekitar pipa seperti besarnya arus bawah laut, pergesaran tanah, gempa, dan juga dari dalam pipa itu sendiri yaitu tekanan aksial dan radial dari dalam, kecepatan arus fluida faktor -faktor kegagalan pipa bawah laut. apabila terjadi kegagalan berupa kelelahan pipa yang menyebabkan retak kemudia kebocoran dan juga ledakan maka dampak dari terjadi tersebut tentu akan mengakibatkan kerugian-kerugian yang sangat besar. Oleh karena itu, pipa gas bawah laut perlu mendapat perhatian lebih dengan pencegahan. Salah satu pencegahan yaitu dengan memperhitungkan setiap komponen seperti *tee connection* yang berpotensi terjadi kelelahan akibat tekanan dari dalam pipa yaitu fluida.

Faktor yang mempengaruhi pipa gas bawah laut dari dalam adalah fluida gas itu sendiri. Gas memiliki sifat memenuhi ruangan dan menekan ke segala arah, dalam hal ini gas menekan ke seluruh dinding pipa. Semakin banyak volume gas (*flow rate*) yang mengalir di dalam pipa maka tekanan yang didapatkan oleh pipa akan semakin besar. Dampak dari tingginya tekanan akan menyebabkan pipa mengalami vibrasi atau getaran. Getaran tersebut lama kelamaan dalam jangka waktu tertentu akan menyebabkan kelelahan pada pipa, kondisi tersebut dimana pipa mengalami penurunan fungsi elastisitas dan dapat terjadi keretakan sehingga menyebabkan kebocoran pipa.

Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian analisis kelelahan (*fatigue*) pada sambungan pipa gas bawah laut berbentuk T. Dimana pipa tersebut mengalami beban tegangan yang dihasilkan dari dua sumber sumur gas bertekanan maksimal mencapai 1000 psi dengan tekanan normal operasional 450 psi. Tentu fluida gas yang bertekanan tersebut akan mempengaruhi pipa yang dilaluinya khususnya percabangan berbentuk T. Penelitian ini dilakukan dengan cara memodelkan *tee connection* dengan spesifikasi yang sesuai dengan yang ada di lapangan dan mendapat pengaruh aliran fluida dengan yang terjadi juga sesuai dengan spesifikasi yang ada di lapangan, setelah itu dilakukan pemodelan tegangan yang diterima oleh pipa dan yang terakhir adalah mendapatkan umur kelelahan yang dialami oleh *tee connection* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh aliran fluida terhadap pipa *tee connection*?
2. Bagaimana tegangan struktur pada pipa *tee connection* mempengaruhi umur operasi pipa?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini diperlukan Batasan masalah diantaranya :

1. Objek yang digunakan sebagai penelitian adalah Pipa gas *East Java gas Pipeline* yang memiliki diameter 28 inch.
2. Penelitian ini tidak memperhitungkan faktor eksternal atau lingkungan pipa.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis aliran fluida yang mempengaruhi pipa *Tee connection*
2. Menganalisis tegangan pada struktur *Tee connection* dalam mempengaruhi umur kelelahan (*fatigue life*)

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Referensi untuk perusahaan operator dalam mengoperasikan dan merencanakan perawatan pipa gas bawah laut
2. Sebagai bahan penelitian lanjutan terhadap faktor pengaruh eksternal, seperti gempa
3. Mengembangkan pengetahuan tentang perhitungan kelelahan pada *tee connection* pipa gas bawah laut

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpipaan

Pipa adalah suatu saluran tertutup yang digunakan untuk memindahkan fluida dalam bentuk cair maupun gas dari satu tempat ke tempat lainnya. Fluida dalam bentuk gas seringkali menggunakan pipa sebagai sarana untuk penyalurannya. Hal ini dilakukan dikarenakan pipa mampu menyalurkan gas dalam jarak yang jauh dan secara kontinu atau berkelanjutan. Terlebih pipa sebagai penyalur gas dapat diletakkan di segala kondisi diantaranya, diletakkan diatas tanah, dikubur didalam tanah, dan juga dapat diletakkan di bawah laut.



Gambar 2. 1 Proses pemasangan pipa gas

(sumber: venturesonsite.com)

Pipa gas bawah laut atau *offshore gas pipeline* adalah jaringan pipa yang digunakan untuk menyalurkan pipa dari sumur ke unit produksi, dari unit produksi ke unit pengguna hal itu menyesuaikan kebutuhan dari laut ke darat ataupun sebaliknya. Dalam proses desain pipa gas bawah laut terdapat beberapa parameter yang digunakan diantaranya gelombang, arus, tanah (*seabed*), angin, ice, aktivitas seismic, pergerakan *platform*, aktivitas memancing ikan, kedalaman air (ASME B31.8). Selain itu juga terdapat faktor yang mempengaruhi dari sisi dalam pipa yaitu fluida itu sendiri yaitu, pola aliran, tekanan, dan kecepatan. Faktor internal tersebut akan memberikan dampak berupa vibrasi dan tegangan dan akan terjadi kelelahan pada struktur pipa.

2.1.1 Perlengkapan pipa (Pipe Outfittings)

Perlengkapan pipa atau *pipe fittings* adalah sebuah komponen yang digunakan untuk mengubah arah aliran seperti *elbow*, *tees*. Mengubah ukuran pipa seperti *reduces*, *reducing tees* dll.. menyambung komponen yang berbeda seperti *couplings* dan memberhentikan aliran seperti *caps* (<https://hardhatengineer.com/pipe-fittings/>)



Gambar 2. 2 Macam-macam fitting pipa
(sumber : <http://www.rloffshore.com/Pipes.html>)

Dikarenakan penelitian ini akan membahas tentang sambungan pipa gas bawah laut maka pada sub bab selanjutnya akan membahas tentang sambungan berbentuk T atau *tee connections*.

2.1.2 Tee connection

Tee connection atau sambungan pipa berbentuk T adalah aksesoris perpipaan yang digunakan untuk mengumpulkan dan mendistribusikan pipa dari satu pipa yang menyalurkan fluida ke pipa lain dimana fluida di salurkan (<https://hardhatengineer.com/pipe-fittings/>). *Tee connection* berbentuk pipa pendek dengan percabangan 90° di tengahnya. Secara umum terdapat dua macam dari pipa ini yaitu *equal/straight Tee* dan *Reducing/unequal Tee*.

1. Straight Tee

Straight Tee merupakan macam dari *tee connection* yang memiliki cabang dengan diameter sama seperti diameter pipa utama (*run pipe*).



Gambar 2. 3 Straight tee
(sumber : kalikund-steel.com)

2. *Unequal Tee*

Unequal Tee memiliki diameter percabangan yang kecil dibandingkan dengan pipa utama (*run pipe*).



Gambar 2. 4 *Unequal tee*
(sumber : ebay.com)

3. *Barred Tee*

Barred Tee atau yang juga diketahui sebagai *scraper tee* digunakan pada perpipaan yang diinspeksi menggunakan PIG (*Pipelines Inspection Gauge*). Hal tersebut dimaksudkan agar pipa yang menggunakan PIG, PIG tersebut tidak masuk ke pipa percabangan.



Gambar 2. 5 *barred tee*
(sumber : everychina.com)

4. *Wye Tee/Lateral*

Wye Tee adalah tipe *tee* yang memiliki sudut percabangan 45° , atau sudutnya lebih dari 90° . *Wye tee* memperbolehkan satu pipa untuk menyatu dengan lainnya pada sudut 45° . tipe *tee* ini lebih mengurangi friksi atau gesekan dan aliran turbulen yang dapat menghambat aliran.



Gambar 2. 6 Lateral tee
(sumber : indiamart.com)

2.2 Fluida

Fluida adalah suatu zat yang berubah bentuk ketika mengalami gaya. Fluida tidak dapat memberikan resistensi permanen untuk kekuatan apa pun yang menyebabkan perubahan bentuk. Fluida mengalir dengan beratnya sendiri dan akan membentuk sesuai dengan wadah atau benda padat yang berkontak langsung. Fluida dapat dibagi menjadi cairan dan gas. Cairan menempati volume yang pasti. Fluida gas akan menempati seluruh ruangan. (Al-shemmeri)

2.2.1 Sifat – sifat dasar fluida

Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu: kerapatan (density) ρ , (specific gravity) (s.g), tekanan (pressure) P, kekentalan (viscosity) μ .

1. Densitas fluida (ρ) atau kerapatan fluida adalah perbandingan antara satuan massa dan volume. Atau densitas adalah besarnya massa per satu satuan volume. Satuan standar internasional dari densitas adalah kg/m^3 . densitas akan berubah-ubah bergantung pada temperature dan juga akan mempengaruhi tekanan. (al-shemmeri)

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dimana: v = volume fluida (m^3)
 m = massa fluida (kg)
 ρ = rapat massa (kg/m^3)

Volume jenis (v) adalah volume yang ditempati oleh sebuah satuan massa zat dan karena itu merupakan kebalikan dari kerapatan:

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Berat jenis γ adalah gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat, maka:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Dimana: ρ = rapat massa (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Spesific grafity (s.g) adalah sifat yang digunakan untuk memperbandingkan kerapatan suatu zat dengan kerapatan air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air yang dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi jenis yang tepat

$$\text{s.g} = \frac{\rho}{\rho_w}$$

Dimana: s.g = spesifik *grafity*

ρ = rapat massa (kg/m^3)

ρ_w = kerapatan air (kg/m^3)

2. Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah ukuran resistansi fluida untuk mengalir. Viskositas fluida liquid berhubungan dengan molekul-molekul yang dapat berpindah satu sama lain. Demikian viskositas fluida liquid bergantung pada kekuatan gaya Tarik-menarik antara molekul dan energi kinetik dari molekul yang bergantung pada temperatur (alshemmeri)

- Viskositas Dinamik

Viskositas dinamik atau viskositas mutlak atau *absolute viscosity*.

Viskositas dinamik adalah sifat fluida yang menghubungkan tegangan geser dengan gerakan fluida. Viskositas dinamik tampaknya sama dengan *ratio* tegangan geser terhadap gradien kecepatan.

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy}$$

Dimana: μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

τ = tegangan geser (N/m^2)

du/dy = gradien kecepatan ($(\text{m/s})/\text{m}$)

- Viskositas Kinematik
Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan kerapatan fluida

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dimana: ν = viskositas kinematik (m^2/s)
 μ = viskositas dinamik ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
 ρ = kerapatan fluida (kg/m^3)

3. Laju Aliran Massa

Laju alir massa adalah banyaknya fluida yang mengalir dalam satuan massa per satuan waktu. Satuan internasional laju alir massa adalah kg/s .

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m} = \frac{V \cdot A}{\nu}$$

Dimana: \dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

ν = volume jenis (m^3/kg)

A = luas penampang pipa (m^2)

4. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia (ν vs ρ) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasi hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842-1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883.

Bilangan Reynolds,

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{4q}{\pi \mu D}$$

Dimana: V = kecepatan aliran fluida (m/s)

d = diameter dalam pipa (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas dinamik ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

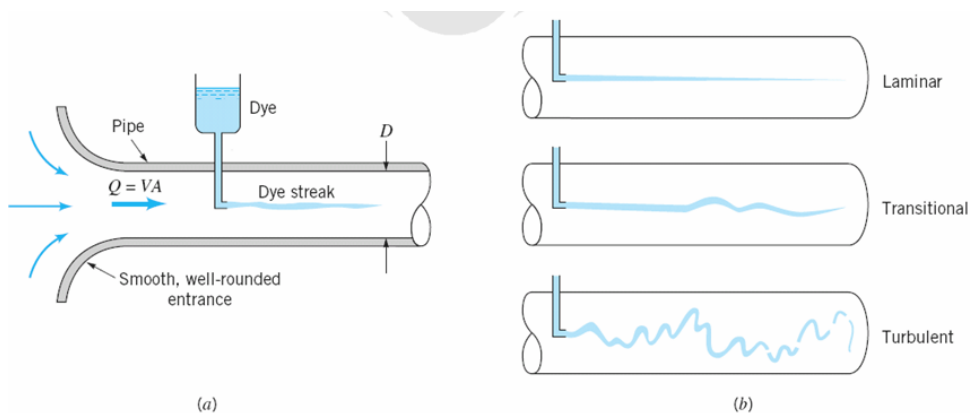
ν = volume jenis (m^3/kg)

q = Debit (m^3/s)

Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang berfungsi untuk menentukan bentuk aliran apakah aliran suatu fluida itu laminar atau turbulen serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi lamina bila kecepatannya diturunkan sedemikian sehingga Re lebih kecil dari 2000. Untuk instalasi pipa biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Re dari 2000 hingga 4000. Bilangan Re yang besar menunjukkan aliran yang sangat turbulen dengan kerugian yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Dalam aliran laminar kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan, meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan yang saling tukar menukar momentum secara molecular.

2.2.2 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen

Aliran fluida di dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau aliran turbulen. Osborne Reynolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dan mengklasifikasikan dua aliran ini dengan menggunakan peralatan sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Aliran laminar terjadi pada partikel-partikel (massa molar yang kecil) fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, yang mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian ke bagian lainnya. Turbulensi membangkitkan tegangan geser yang lebih besar di seluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketakmampubalikan (irreversibilitas) atau kerugian.



Gambar 2. 7 Eksperimen ilustrasi jenis aliran
(Sumber: Munson, et al., 2002)

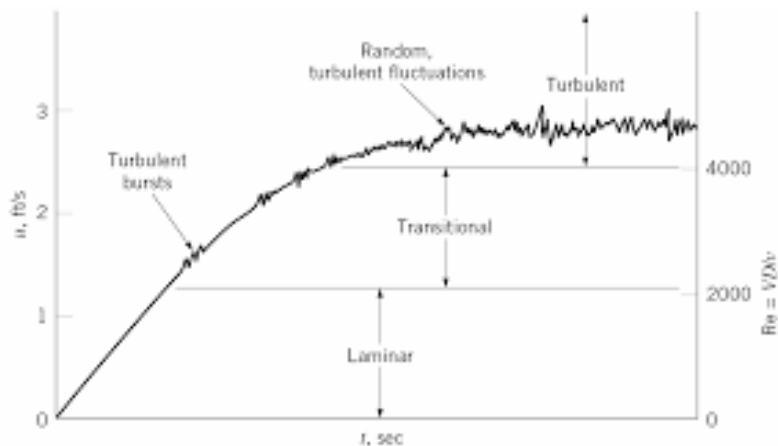
- (a) Eksperimen untuk mengillustrasikan jenis aliran (b) Guratan zat pewarna yang khas.

Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan- lapisan fluida yang bersebelahan. Aliran laminar mengikuti hukum Newton tentang tegangan viskositas, yang menghubungkan tegangan geser dengan laju perubahan bentuk sudut. Aliran laminar tidak stabil dalam situasi yang menyangkut gabungan viskositas yang rendah, kecepatan yang tinggi, atau laluan aliran yang besar, serta berubah menjadi aliran turbulen. Sifat pokok aliran, yaitu laminar atau turbulen serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar ditunjukkan oleh bilangan Reynolds.

Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan- lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian lainnya. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti vorteks- vorteks dan pusaran-pusaran yang besar di sungai atau hampasan udara. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya bilangan Reynolds.

1. Transisi dari Aliran Laminar menuju Aliran Turbulen

Aliran diklasifikasikan menjadi aliran laminar atau turbulen. Parameter bilangan Reynolds atau bilangan Mach tergantung pada situasi aliran spesifik. Misalnya, aliran di dalam sebuah pipa dan aliran sepanjang pelat datar dapat laminar atau turbulen, tergantung pada nilai bilangan Reynolds yang terlibat. Untuk aliran laminar bilangan Reynolds harus kurang dari kira-kira 2100 sedangkan untuk aliran turbulen yaitu lebih besar dari kira-kira 4000. Aliran sepanjang pelat datar transisi antara laminar dan turbulen terjadi pada bilangan Reynolds kira-kira 500.000, di mana suku panjang dalam bilangan Reynolds adalah jarak yang diukur dari ujung muka (leading edge) pelat tersebut.



Gambar 2. 8 Kurva jenis aliran
(Sumber : lib.ui.ac.id)

Aliran sepanjang pipa mula-mula terisi fluida dalam keadaan diam, ketika katup dibuka untuk memulai aliran, kecepatan aliran, dan tentunya bilangan Reynolds meningkat dari nol (tidak ada aliran) sampai nilai maksimum alirannya tunak seperti pada gambar 2.7. Diasumsikan bahwa proses transien ini cukup lambat sehingga efek tak tunak dapat diabaikan (aliran kuasitunak). Selama periode awal, bilangan Reynolds cukup kecil untuk terjadinya aliran laminar. Setelah beberapa saat, bilangan Reynolds mencapai 2100 dan aliran memulai transisi-nya menuju kondisi turbulen. Letupan terputus-putus turbulensi (burst of turbulence) muncul. Dengan meningkatnya bilangan Reynolds seluruh aliran menjadi turbulen. Aliran tetap turbulen selama bilangan Reynolds melampaui kira-kira 4000.

Sifat alamiah yang tidak beraturan dan acak adalah ciri khas dari aliran turbulen. Karakter dari banyak sifat penting aliran tersebut (penurunan tekanan, perpindahan kalor, dan lain-lain) sangat tergantung pada keberadaan dari sifat alamiah dari fluktuasi atau keacakan turbulen yang ditunjukkan.

2.3 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Dalam aplikasinya, aliran fluida baik cair maupun gas adalah suatu zat yang sangat kentara dengan kehidupan sehari – hari. Misalnya pengondisian udara bagi bangunan dan mobil, pembakaran di motor bakar dan sistem propulsi, interaksi berbagai objek dengan udara atau air, aliran kompleks pada penukar panas dan reactor kimia, dan lain sebagainya, yang mana cukup menarik untuk diteliti, diselidiki dan dianalisis. Untuk kebutuhan penelitian tersebut bahkan sampai dengan tingkat desain, perlu dibutuhkan suatu alat yang mampu menganalisis atau memprediksi dengan cepat dan akurat. Maka berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dalam bahasa Indonesia dikenal dengan Komputasi Aliran Fluida Dinamik.

2.3.1 Pengertian Umum CFD

Secara umum CFD terdiri dari dua kata yaitu sebagai berikut :

- Computational : segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode numerik atau komputasi
- Fluid Dynamics : dinamika dari segala sesuatu yang mengalir.

Ditinjau dari istilah di atas, maka CFD bisa berarti suatu teknologi komputasi yang memungkinkan untuk mempelajari dinamika dari benda – benda atau zat yang mengalir.

Maka secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan – persamaan matematika (model matematika). Pada dasarnya, persamaan – persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan – persamaan diferensial parsial atau dikenal dengan istilah PDE (Partial Differential Equation) yang mempresentasikan hukum – hukum kekekalan massa (kontinuitas), momentum dan energi yang diubah kedalam bentuk numerik (persamaan linear) dengan teknik diskritisasi.

Pengembangan sebuah perangkat lunak (software) CFD mampu memberikan kekuatan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda – benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dan struktur, dan sistem akustik hanya dengan permodelan di komputer. Dengan menggunakan software ini dapat dibuat virtual prototype dari sebuah system atau alat yang ingin dianalisa dengan menerapkan kondisi nyata di lapangan. Dengan menggunakan software CFD akan didapatkan data – data, gambar – gambar, atau kurva – kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang akan didesain.

2.3.2 Proses Simulasi CFD

Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi CFD, yaitu sebagai berikut :

1) Preprocessing

Hal ini merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat membuat model dalam paket CAD (Computer Aided Design), membuat mesh yang sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat – sifat fluidanya.

2) Solving

Solvers (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat preprocessing.

3) Postprocessing

Hal ini adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bias berupa gambar, kurva , dan animasi.

2.3.3 Metode Diskritisasi CFD

Secara matematis CFD mengganti persamaan – persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum dan energy dengan persamaan – persamaan aljabar linear. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga).

Perhitungan/komputasi aljabar untuk memecahkan persamaan – persamaan diferensial parsial ini ada beberapa metode (metode diskritisasi), diantaranya adalah :

- Metode beda hingga (finite difference method)
- Metode elemen hingga (finite elements method)
- Metode volume hingga (finite volume method)
- Metode elemen batas (boundary element method)
- Metode skema resolusi tinggi (high resolution scheme method)
- Metode diskritisasi yang dipilih umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program software yang ada. Oleh karenanya diperlukan kehati – hatian dalam cara mendiskritkan model khususnya cara mengatasi bagian yang kosong atau diskontinyu.

2.4 Perhitungan Fatigue Life

Fatigue life atau sisa waktu operasi adalah jumlah dari siklus kelelahan yang terjadi pada suatu struktur hingga mengalami kegagalan. Perhitungan *fatigue life* menggunakan pendekatan kurva SN yang didasarkan pada hukum kegagalan kumulatif Palmgreen Miner. Penilaian kelelahan dengan pendekatan Palmgreen Miner. Berdasarkan DNV-GL RP C203, untuk menentukan sisa waktu operasi harus dicari nilai D fat.

$$D_{fat} = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq \eta$$

Dimana :

Dfat = Akumulasi kelelahan pada struktur pipa

n_i = Jumlah siklus tegangan yang dialami struktur dengan tegangan yang bekerja

N_i = Jumlah siklus menjadi gagal pada stress range

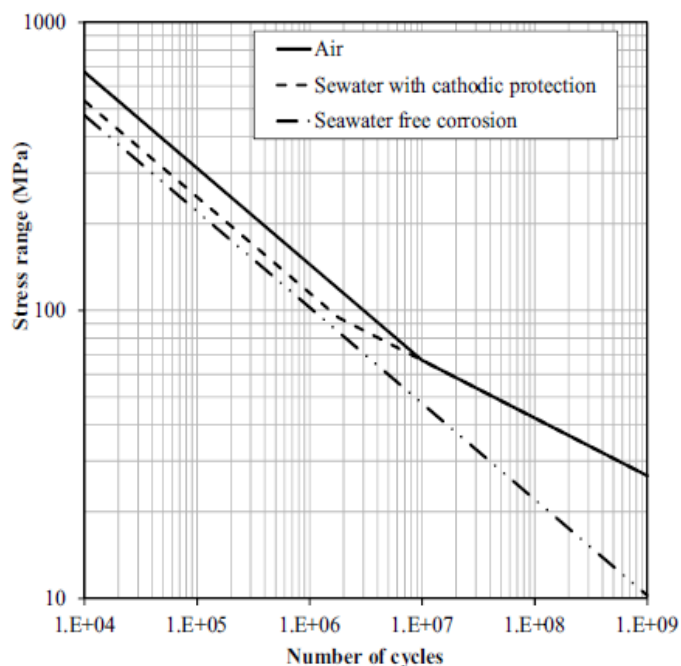
η = 1/*design fatigue factor* (DFF terdapat di DNV-GL OS C101 sec. 6)

DFD	Structural element
1	Internal structure, accessible and not welded directly to the submerged part
1	External structure, accessible for regular inspection and repair in dry and clean conditions
2	Internal structure, accessible and welded directly to the submerged part
2	External structure not accessible for inspection and repair in dry and clean conditions
3	Non-accessible areas, areas not planned to be planned to be accessible for inspection and repair during operation

Tabel 2. 1 Damage Fatigue Factor

(Sumber: DNV-GL OS C101 sec. 6)

2.4.1 Jumlah siklus yang dialami material (n_i)
 n_i adalah jumlah siklus yang dialami material dengan jumlah tegangan yang dialami. Untuk mendapatkan nilai n_i dengan membaca kurva S-N.



Gambar 2. 9 SN Curve for seawater with cathodic protection

(Sumber : DNV-GL RP C203)

2.4.2 Jumlah siklus hingga mengalami kelelahan (N_i)
 Yaitu banyaknya siklus yang akan dialami material dengan jumlah tegangan hingga mengalami kelelahan. Nilai N_i didapatkan dengan perhitungan Kurva SN dan juga formulasi pada tabel 2.2.

Environment	m_1	$\log \bar{a}_1$	m_2	$\log \bar{a}_2$	Fatigue limit at 10^7 cycles (MPa) ^{*)}	Thickness exponent k
Air	$N \leq 10^7$ cycles		$N > 10^7$ cycles		67.09	0.25
	3.0	12.48	5.0	16.13		
Seawater with cathodic protection	$N \leq 1.8 \cdot 10^6$ cycles		$N > 1.8 \cdot 10^6$ cycles		67.09	0.25
	3.0	12.18	5.0	16.13		
Seawater free corrosion	3.0	12.03	3.0	12.03	0	0.25

^{*)} see also [2.11]

Tabel 2. 2 SN Curve for tubular joint

(Sumber : DNV-GL RP C203)

2.5 Estimasi sisa waktu operasi

Dalam melakukan perhitungan estimasi sisa waktu operasi menggunakan persamaan Tlife yang merupakan fungsi dari fatigue damage dan estimasi waktu pada saat mendesain.

$$T \text{ Life} = \frac{T \text{ exp}}{D \text{ fat}} \times \eta$$

Dimana :

T life = Sisa waktu operasi hingga mencapai kelelahan

T exp = Estimasi waktu operasi pipa

D fat = Akumulasi kelelahan pada struktur pipa

η = safety factor

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perumusan Masalah

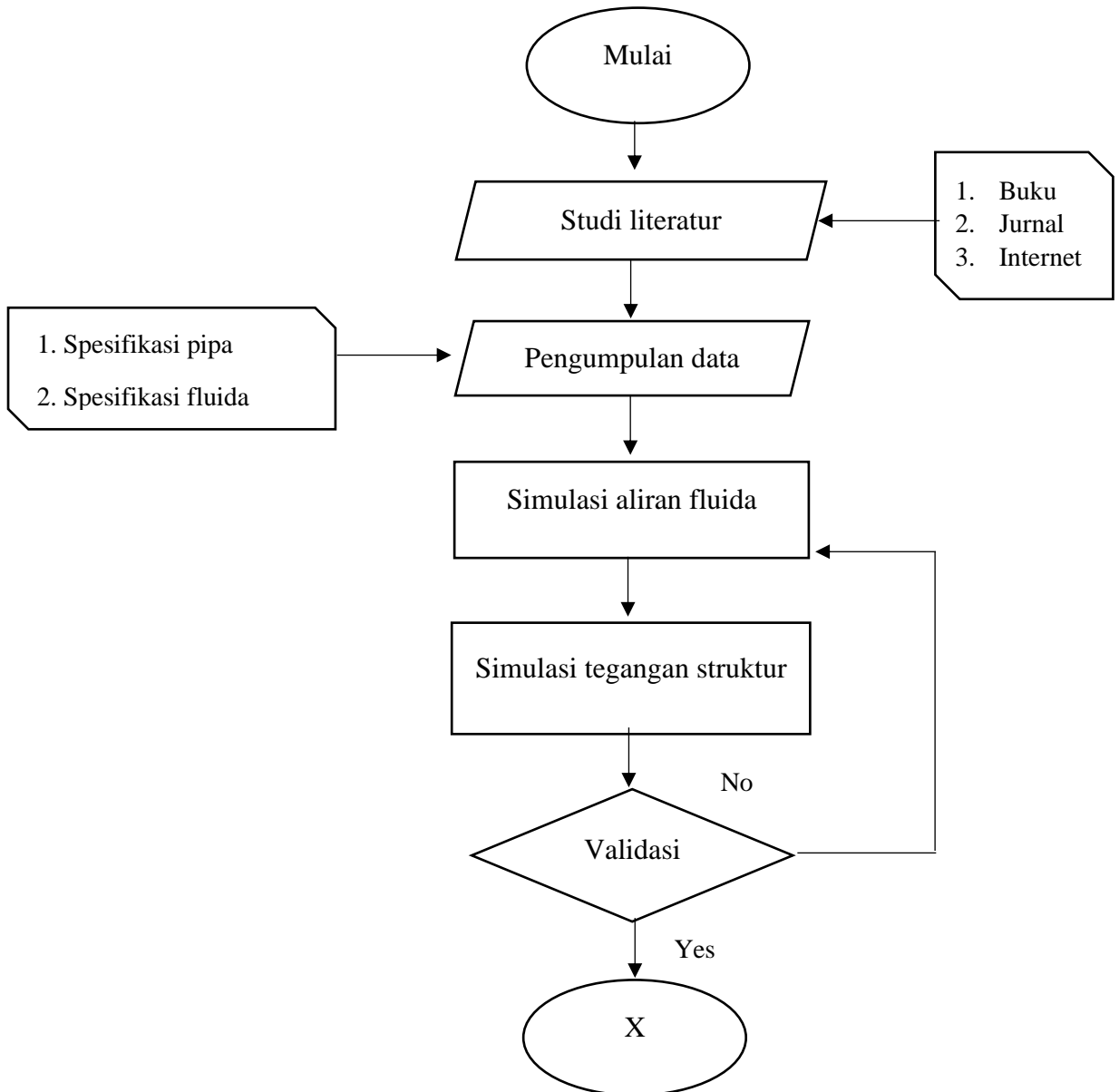
Perumusan masalah merupakan dasar pemikiran dalam penelitian ini. Berawal dari sebuah pengetahuan dan pemahaman sehingga akan memunculkan pertanyaan-pertanyaan atas suatu kasus atau permasalahan. Termasuk didalam penelitian ini penulis mempelajari tentang perpipaan bawah laut dan menemukan sebuah kasus tekanan operasional yang tidak normal atau tinggi dalam intensitas waktu yang lama. Maka dalam penelitian ini penulis merumuskan tiga buah perumusan masalah pada sub Bab 1.2 yang memerlukan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut.

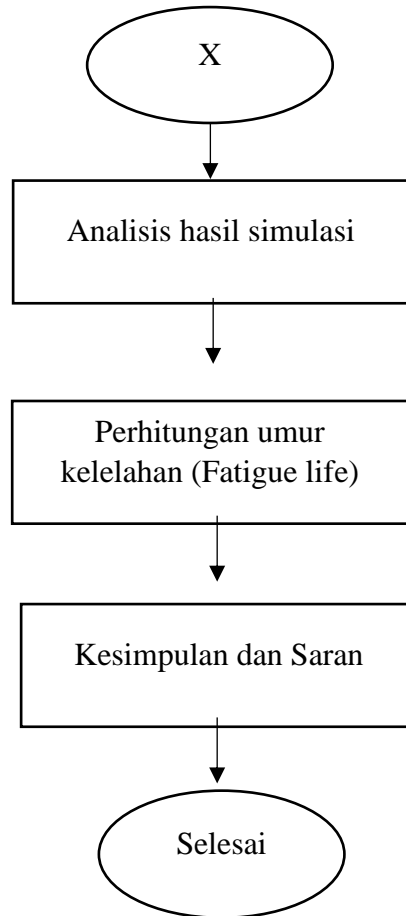
3.2 Metode Penelitian

Di dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah simulasi dan perhitungan matematis dalam penyelesaiannya. Simulasi terdiri atas dua yaitu simulasi aliran fluida dan simulasi tegangan struktur, kemudian dilakukan validasi terhadap simulasi tersebut. setelah mendapat tegangan struktur dari simulasi, maka memperhitungkan kelelahan dan umur pipa menggunakan perhitungan matematis dengan formula yang terdapat di standar DNV-GL C203 dan DNV-GL OS C101.

3.3 Tahapan Penelitian

Berikut pada Gambar 3.1 diagram alir penelitian ini, menggambarkan alur penelitian :





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan untuk menggali informasi terkait topik-topik yang menunjang penelitian ini. Sumber literasi diantaranya dari Buku, Jurnal, dan Internet. Bahasan pokok dalam penelitian ini adalah

1. Perpipaan; jenis-jenis pipa, standar pipa, kode pipa, dan spesifikasi pipa.
2. Fluida; teori momentum fluida di dalam *Tee connection*.
3. Tegangan; teori dan persamaan yang menunjang dalam menganalisa tegangan yang diterima pipa
4. Analisis kelelahan; S-N *curve*, Standar DNV-GL C203

3.3.2 Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data untuk penelitian ini penulis menggunakan data sekunder. Dikarenakan penulis tidak secara langsung melakukan pengukuran dan pengumpulan data. Data sekunder diperoleh dari perusahaan operator pipa East java gas pipeline (EJGP).

3.3.3 Pemodelan geometri pipa

Pemodelan geometri pipa dilakukan sebelum simulasi aliran dan tegangan. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak atau 3D modeler. Pemodelan dilakukan sesuai dengan data dimensi pipa yang didapatkan dari pengumpulan data.

3.3.4 Simulasi Aliran Fluida

Simulasi Aliran fluida ditujukan untuk mensimulasikan aliran fluida yaitu gas alam yang mengalir di dalam pipa. Dengan menggunakan perangkat lunak *Computational fluid Dynamics* (CFD) dengan metode *finite element method* (FEM) atau metode elemen hingga. Dengan menginput data kecepatan aliran, tekanan, dan densitas fluida maka hasil yang akan diperoleh adalah kecepatan, pola aliran, dan tekanan yang dihasilkan oleh fluida di dalam pipa.

Kecepatan dan pola aliran akan dijadikan Analisa letak titik aliran fluida yang mengenai dinding pipa. Sedangkan tekanan fluida akan menjadi input atau masukkan dalam pemodelan tegangan.

3.3.5 Simulasi Tegangan

Simulasi Tegangan bertujuan untuk mendapatkan tegangan maksimal yang dialami oleh pipa akibat pengaruh tekanan. Tegangan maksimal pada titik tertentu akan diperhitungkan dan dianalisa kelelahan dan sisa umur operasi pipa. Simulasi tegangan menggunakan perangkat lunak berbasis metode *finite element method* (FEM) atau elemen hingga.

3.3.6 Validasi

Validasi merupakan tahap untuk menguji validitas hasil simulasi yang dilakukan pada simulasi aliran fluida dan tegangan. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil antara dua ukuran meshing yang lebih kecil. Apabila error atau selisih masih dalam batas yaitu dibawah 5% maka hasil simulasi dapat dikatakan valid.

3.3.7 Analisa Hasil Simulasi

Analisa Hasil Simulasi akan menganalisa hasil simulasi aliran yaitu bagaimana pola dan kecepatan aliran mempengaruhi titik tekanan yang mengenai dinding pipa. Dan juga menganalisa tegangan yang diakibatkan oleh tekanan fluida di dalam pipa.

3.3.8 Perhitungan dan Analisa umur kelelahan

Perhitungan dan Analisa umur kelelahan dilakukan dengan memperhitungkan siklus yang terjadi pada pipa atas tegangan yang bekerja kemudian memperhitungkan siklus yang terjadi pipa hingga mengalami kelelahan berdasarkan formula dan kurva S-N pada standar DNV-GL C203. Perbandingan kedua siklus tersebut akan didapat kelelahan akumulatif atau Dfat. Selanjutnya, dapat diketahui umur sisa operasi pipa hingga terjadi kelelahan (Tlife).

3.3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan memuat ringkasan jawaban atas perumusan masalah pada penelitian ini yang terdiri atas tiga perumusan masalah yaitu pada sub BAB 1.2. sedangkan saran meliputi rekomendasi atas solusi permasalahan, penelitian yang akan berlanjut, dan juga atas permasalahan dialami penulis selama penelitian ini.

3.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi spesifikasi pipa dan spesifikasi fluida sebagai berikut :

3.4.1 Spesifikasi Pipa

Data spesifikasi pipa meliputi dua pipa yaitu pipa *East Java Gas Pipeline* dan *Terang Sirasun Batur*, tertera pada tabel 3.1 dan 3.2. Data spesifikasi pipa digunakan untuk membuat pemodelan dan juga simulasi tegangan.

1. Data pipa *East Java Gas Pipeline*

Material Data		
Properties		Unit
Outside Diameter	711 mm (28)	mm (inch)
Wall Thickness	16 (0.65)	mm (inch)
Steel Grade	API 5L X65	-
Steel Density	7850	kg/m ³
SMYS	448	mpa
Young's Modulus	200000	mpa
Maximum Allowable Ops. Press.	13.8 (2000)	mpa (psi)

Tabel 3. 1 Data material pipa EJGP

Coating Material Data		
Corrosion Coating Material	Asphalt Enamel	-
Corrosion Coating Thickness	5	mm
Corrosion Coating Density	1300	Kg/m ³
Concrete Coating Thickness	70 (2.75)	mm (in)
Concrete Coating Density	3043.51	kg/m ³

Tabel 3. 2 Data material coating pipa EJGP

2. Data pipa *Terang Sirasun Batur*

Material Data		
Properties		Unit
Pipe Join Length	12.2	m
Outside Diameter	457.2 (18)	mm (inch)
Wall Thickness	12.7 (0.5)	mm (inch)
Steel Grade	API 5L X65	-
Steel Density	7850	Kg/m ³
SMYS	448	Mpa
Young's Modulus	207000	Mpa

Tabel 3. 3 Data material pipa TSB

Coating Material Data		
Properties		Unit
Corrosion Coating Material	Asphalt Enamel	-
Corrosion Coating Thickness	6	mm
Corrosion Coating Density	1300	Kg/m ³
Concrete Coating Thickness	40 (1.6)	mm (in)
Concrete Coating Density	3043	Kg/m ³

Tabel 3. 4 Data material coating pipa TSB

3.4.2 Spesifikasi fluida

Spesifikasi fluida dalam penelitian ini di tampilkan pada tabel 3.5.

Type	Natural Gas	
ρ (kg/m ³)	0.617	at 40C, 1 bar
v (Ns/m ²) x 10 ⁻⁶	11.55	at 40C, 1 bar

Tabel 3. 5 Tabel spesifikasi fluida

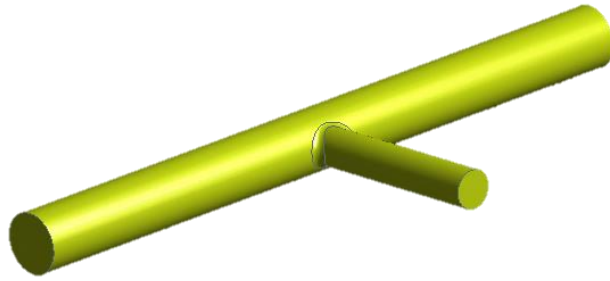
Sementara data fluida mengenai tekanan, debit, dan temperature pada operasional dengan tekanan maksimum dapat dilihat pada tabel 3.6 :

Inlet 1 PAG		Inlet 2 TSB		Outlet	
Q (mmscfd)	75.96	Q (mmscfd)	8.86	Q (mmscfd)	83.67
Q (m ³ /s)	25.07	Q (m ³ /s)	2.93	Q (m ³ /s)	27.61
A (m ²)	0.14	A (m ²)	0.37	A (m ²)	0.37
v (m/s)	171.26	v (m/s)	7.91	v (m/s)	72.71
P (Psi)	1025.35	P (Psi)	1000.25	P (Psi)	1025.14
T (F)	115.81	T (F)	92.23	T (F)	-
T celcius	46.56	T celcius	33.46	T celcius	-

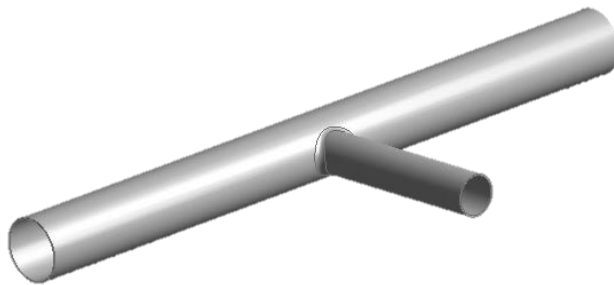
Tabel 3. 6 Data kondisi operasional maksimum

3.5 Pemodelan Tee Connection

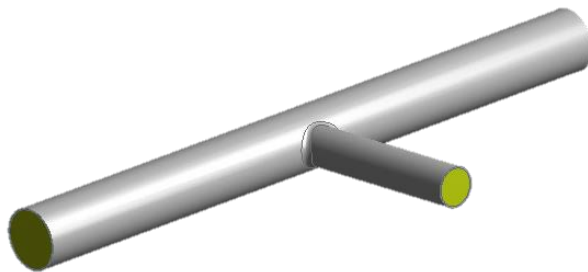
Pemodelan *Tee Connection* dilakukan menggunakan perangkat lunak tiga dimensi atau *3D modeler*. Pemodelan dibuat berdasarkan data yang didapatkan dari pengumpulan data sekunder. Adapun dalam pemodelan ini terdapat 1 *bodies* dan 2 *parts*. Hal tersebut dimaksudkan pemodelan ini merupakan satu kesatuan atas 2 model, yaitu model yang terdefinisi sebagai fluida (lihat gambar 3.2) dan yang lainnya terdefinisi sebagai pipa yang solid (lihat gambar 3.3). pada gambar 3.4 menampilkan gabungan antara kedua model yang merupakan 1 *bodies*.



Gambar 3. 2 Gambar pemodelan part fluida



Gambar 3. 3 Gambar pemodelan part solid pipa



Gambar 3. 4 Gambar pemodelan body

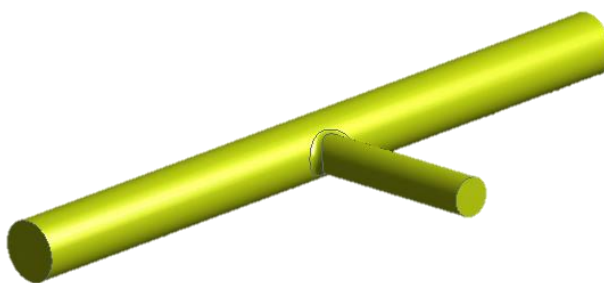
Dari Pemodelan *Tee connection*, selanjutnya akan digunakan untuk simulasi aliran fluida dengan perangkat lunak *Computational fluid dynamics* (CFD) dan simulasi tegangan dengan perangkat lunak struktur statis.

3.6 Simulasi Aliran Fluida (CFD)

Simulasi aliran fluida dilakukan menggunakan perangkat lunak *Computational fluid dynamics* (CFD) dengan metode elemen hingga. Simulasi aliran dimaksudkan untuk mengetahui pola aliran, kecepatan aliran, dan tekanan fluida pada permukaan dinding pipa. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan simulasi aliran fluida :

3.6.1 *Import Geometri*

Tahap awal dalam simulasi aliran fluida adalah membuat model geometri. Pada sub Bab 3.3 sudah dijelaskan tentang pembuatan model geometri, sehingga model geomtri yang sudah dibuat sebelumnya menggunakan pemodelan 3D, hanya cukup melakukan impor atau memasukkan model geometri fluida yang telah di buat. Berikut pada gambar 3.5 ditampilkan model geometri fluida.



Tabel 3. 5 model geometri fluida

3.6.2 Meshing

Meshing merupakan proses pembagian geometri model menjadi beberapa elemen-elemen (*Elements*) dan simpul-simpul (*Nodes*). Pembagian model geomteri menjadi beberapa elemen dan simpul merupakan metode perhitungan yang digunakan oleh perangkat lunak CFD tersebut. adapun tahapan dalam meshing adalah menetapkan bagian model, dalam proses meshing ini dengan mem-*block* seluruh model geometri.



Gambar 3. 6 model geometri hasil meshing

Proses selanjutnya yaitu dengan membuat meshing (Generate Mesh) terlebih dahulu tanpa penentuan ukuran. Setelah itu dapat diatur ukuran mesh dengan menginput *Body sizing*. Pada penelitian ini ukuran mesh adalah 0.03 dengan satuan meter. dengan ukuran mesh yang diinput menghasilkan *elements* dan *nodes* masing-masing sejumlah 65172 dan 13404. Atau dapat di rangkum pada tabel 3.8. Pada gambar 3.6 ditampilkan model geometri hasil *meshing*.

Body Sizing	0.03 m
Elements	65172
Nodes	13404

Tabel 3. 7 Meshing elements dan nodes

3.6.3 Setup

Pada langkah setup atau langkah pengaturan ini merupakan langkah untuk memasukkan data-data kondisi yang akan disimulasikan, yaitu jenis aliran, jenis material fluida dan pipa, kecepatan dan tekanan pada inlet dan outlet pipa. Berikut adalah uraian pengaturan yang dilakukan :

1. Mengatur jenis aliran turbulen yaitu k-epsilon.
2. Menginput jenis fluida dan material pipa.
Jenis fluida yaitu gas alam dengan densitas 0.617 kg/m^3 dan viskositas $1.155 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ dan juga jenis solid pipa dengan densitas 7850 kg/m^3 sesuai dengan spesifikasi material pipa. Input jenis fluida dan material diringkas pada tabel 3.9.

Jenis	Densitas (kg/m^3)	Viskositas (kg/ms)
Fluida (<i>Natural Gas</i>)	0.617	1.155×10^{-5}
Solid (API 5L X65)	7850	-

Tabel 3. 8 jenis material, densitas, dan viskositas

Densitas dan viskositas fluida pada temperatur 40°C dan pada tekanan 1 atm.

3. Memasukan data *Boundary condition* kondisi batas *Boundary condition* atau kondisi batas untuk mendefinisikan nilai tekanan dan kecepatan aliran pada tiap sisi inlet dan outlet di pipa. Pada sisi outlet tekanan tidak terdefinisi, oleh karean itu diperlukan perhitungan matematis momentum di sisi outlet (terlampir). Adapun *Boundary condition* yang diinput ditampilkan pada tabel 3.10, 3.11, dan 3.12.

Inlet 1 PAG	
Q (mmscfd)	8.86
Q (m ³ /s)	2.92
A (m ²)	0.37
v (m/s)	7.92
P (Psi)	1000.25

Tabel 3. 9 data kondisi inlet 1

Inlet 2 TSB	
Q (mmscfd)	75.96
Q (m ³ /s)	25.07
A (m ²)	0.15
v (m/s)	171.26
P (Psi)	1025.35

Tabel 3. 10 data kondisi inlet 2

Outlet	
Q (mmscfd)	83.67
Q (m ³ /s)	27.61
A (m ²)	0.37
v (m/s)	72.21
P (Psi)	1025.14

Tabel 3. 11 data kondisi outlet

Selanjutnya simulasi aliran fluida akan dilanjutkan ke tahap perhitungan atau *running* untuk mendapatkan hasil pola aliran, kecepatan, dan tekanan.

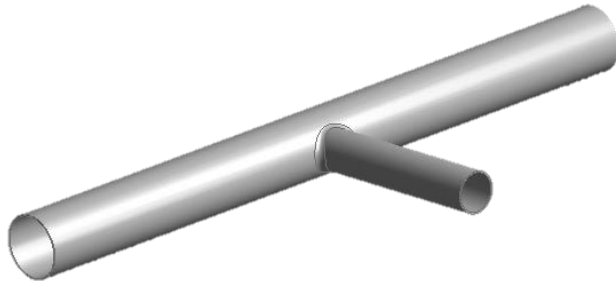
3.7 Simulasi Tegangan Struktur

Pada simulasi tegangan struktur ini akan ditransformasikan gaya-gaya yang bekerja pada simulasi aliran terhadap dinding pipa, yaitu tekanan yang bekerja pada dinding dalam pipa. Selanjutnya perangkat lunak struktur statis dengan metode *finite element method (FEM)* akan mentransformasikan dan menghitung tegangan yang terjadi di dalam struktur pipa. Tujuan dari pemodelan tegangan struktur ini adalah untuk mendapatkan tegangan pada struktur *tee connection*.

Berikut adalah uraian proses yang dilakukan dalam simulasi tegangan struktur :

1. *Import Geometri*

Import Geometri merupakan langkah pertama dalam simulasi tegangan struktur. Dikarenakan geometri yang sudah dibuat sebelum simulasi aliran sehingga tidak lagi perlu untuk membuat baru, cukup dengan memasukkan geometri yang sudah ada pada simulasi aliran. Berikut adalah gambar geometri struktur pipa pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7model geometri pipa

2. *Meshing*

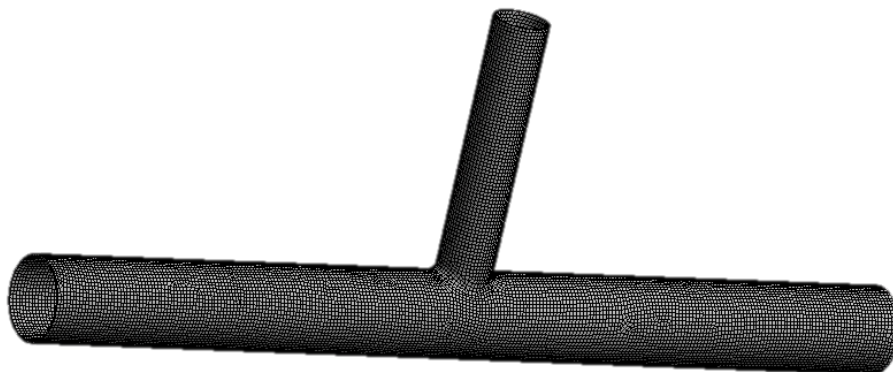
Setelah memasukkan segala data model dan geometri, langkah selanjutnya adalah proses meshing, yaitu metode yang digunakan oleh perangkat lunak untuk perhitungan dengan cara membagi-bagi model geometri menjadi elemen-elemen dan *nodes*.

Proses *meshing* diawali dengan *generate mesh* , kemudian setelah itu mengatur ukuran *meshing* sebesar 0.03 m yang menghasilkan elemen dan *nodes* masing-masing sejumlah 175932 dan 34497. Atau dapat diringkas pada tabel 3.19 berikut :

Body Sizing	0.03 m
Elements	175932
Nodes	34497

Tabel 3. 12Meshing elements dan nodes

Berikut pada gambar 3.9 ditampilkan gambar hasil *meshing* :

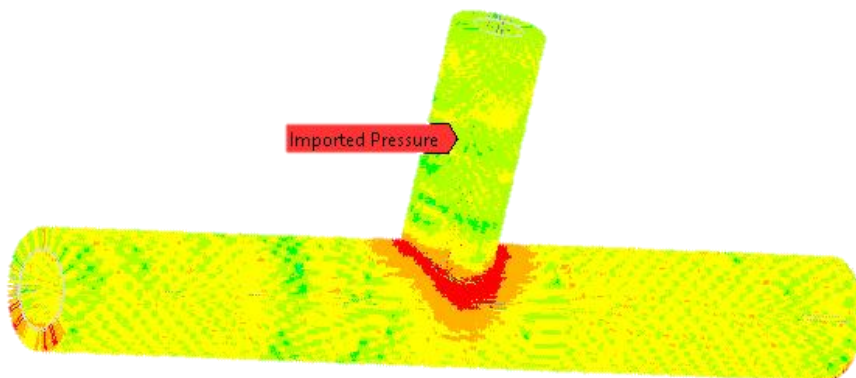


Gambar 3. 9 Model geometri hasil *meshing*

3. *Setup*

Setup atau pengaturan, pada tahap ini untuk mengatur segala kondisi yang terjadi pada model geometri pipa. Dengan mendefinisikan setiap gaya dan kondisi di titik tertentu sebagai input dari tahap ini.

Pendefinisian beban tidak dilakukan secara manual atau dengan memasukkan data gaya-gaya pada setiap titik, melainkan sudah otomatis mengimpor data gaya-gaya yang bekerja pada pipa oleh simulasi aliran fluida. Berikut pada gambar 3.10 ditampilkan gambar hasil impor geometri :



Gambar 3. 10 *import load*

Pendefinisian ujung-ujung pipa sebagai displasemen yang menandakan bahwa ujung-ujung pipa tidak terputus melainkan tersambung pipa lainnya.

4. Solution

Pada tahap solution atau penyelesaian, adalah penentuan output yang diinginkan yaitu tegangan von mises (Mpa) dan *fatigue life* (umur kelelahan) *Cycle*. Dan selanjutnya dilakukan *Running* untuk mendapatkan hasil simulasi tegangan struktur.

3.8 Validasi

Validasi merupakan tahap untuk menguji validitas atau ketepatan hasil simulasi yang dilakukan pada simulasi aliran fluida dan tegangan. Berikut adalah uraian perhitungan validasi untuk simulasi aliran dan tegangan :

3.8.1 Validasi simulasi aliran fluida

Pada validasi simulasi aliran fluida dilakukan dengan memuat 2 variasi ukuran meshing 0.05 m dan 0.03 m dengan jumlah elemen masing-masing 65830 dan 65172 menghasilkan tekanan maksimal mencapai 6.9 Mpa dan 7.07 Mpa. Dari perbandingan selisih kedua tekanan berbanding tekanan maksimum salah satu dari keduanya, maka nilai eror dalam validasi simulasi aliran fluida mencapai 2.4%. Dapat dikatakan hasil simulasi aliran valid. Pada tabel 3.14 ditampilkan ringkasan hasil validasi simulasi aliran fluida.

Ukuran mesh	Jumlah Elemen	Tekanan Max (Mpa)	Eror
0.05	65830	6.90	2.4%
0.03	65172	7.07	

Tabel 3. 14 validasi simulasi aliran fluida

Maka pada simulasi aliran fluida menggunakan jumlah elemen 65172.

3.8.2 Validasi simulasi tegangan struktur

Pada validasi simulasi tegangan struktur dilakukan dengan memuat 2 variasi ukuran meshing 0.05 m dan 0.03 m dengan jumlah elemen masing-masing 13498 dan 33784 menghasilkan tekanan maksimal mencapai 186.39 Mpa dan 202.34 Mpa. Dari perbandingan selisih kedua tekanan berbanding tegangan maksimum salah satu dari keduanya, maka nilai eror dalam validasi simulasi aliran fluida mencapai 7.4%. Dapat dikatakan hasil simulasi tegangan struktur valid. Pada tabel 3.15 ditampilkan ringkasan hasil validasi simulasi tegangan struktur.

Ukuran mesh	Jumlah Elemen	Tegangan Max (Mpa)	Eror
0.05	13498	186.39	7.4%
0.03	33784	202.34	

Tabel 3. 15 validasi simulasi tegangan struktur

Maka pada simulasi tegangan struktur menggunakan jumlah elemen 33784.

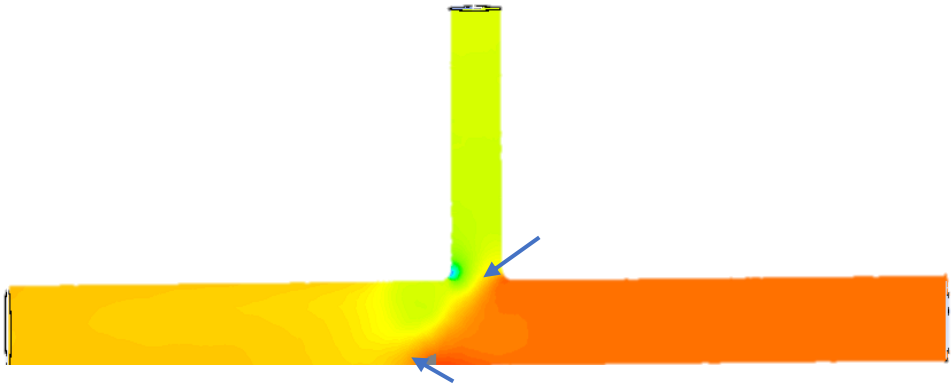
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Aliran fluida (CFD)

Berikut adalah hasil simulasi aliran fluida yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Computational fluid dynamics* (CFD) dengan metode *finite element method* atau metode elemen hingga. Hasil terdiri atas tekanan, kecepatan, dan pola aliran fluida gas alam yang terjadi di dalam *tee connection*.

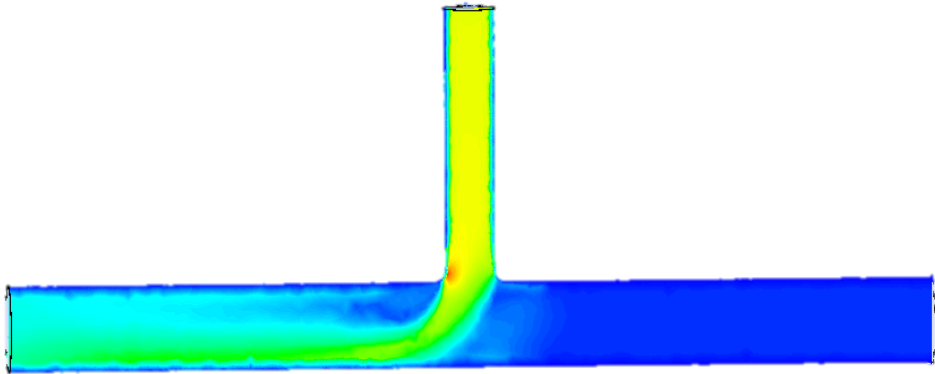
4.1.1 Hasil simulasi tekanan fluida



Gambar 4. 1 Hasil simulasi tekanan fluida

Pada hasil simulasi tekanan fluida yang bekerja pada dinding pipa, maka terdapat beberapa variasi tekanan yang bekerja pada dinding pipa. Dengan rentang tekanan maksimum mencapai 7.07 Mpa dan tekanan minimum mencapai 7.05 Mpa. Variasi tekanan yang mengenai pipa dapat dilihat dari warna yang disesuaikan dengan *legend* gambar. *Contour* hasil simulasi tekanan fluida dapat dilihat pada gambar 4.1

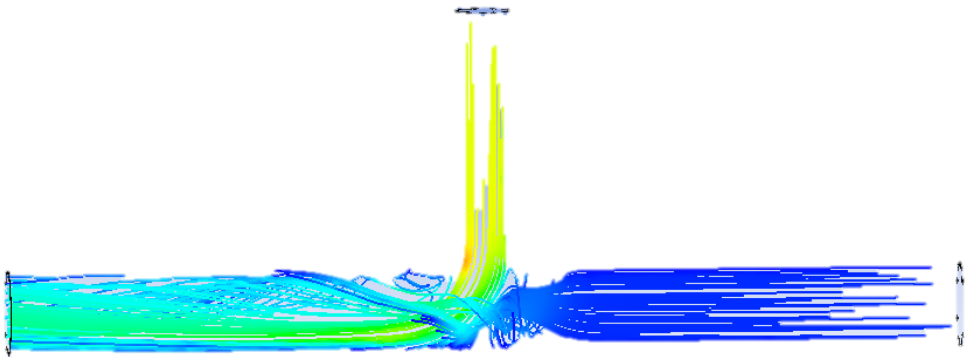
4.1.2 Hasil simulasi kecepatan aliran



Gambar 4. 2 Hasil simulasi kecepatan aliran

Hasil simulasi kecepatan aliran fluida memiliki *contour* yang dapat dilihat pada gambar 4.2. dari hasil simulasi kecepatan aliran menghasilkan kecepatan aliran tertinggi mencapai 235.2 m/s dan kecepatan aliran terendah mencapai 0 m/s. variasi kecepatan pada tiap bagian dapat dilihat pada *contour* dengan keterangan kecepatan pada *legend* gambar.

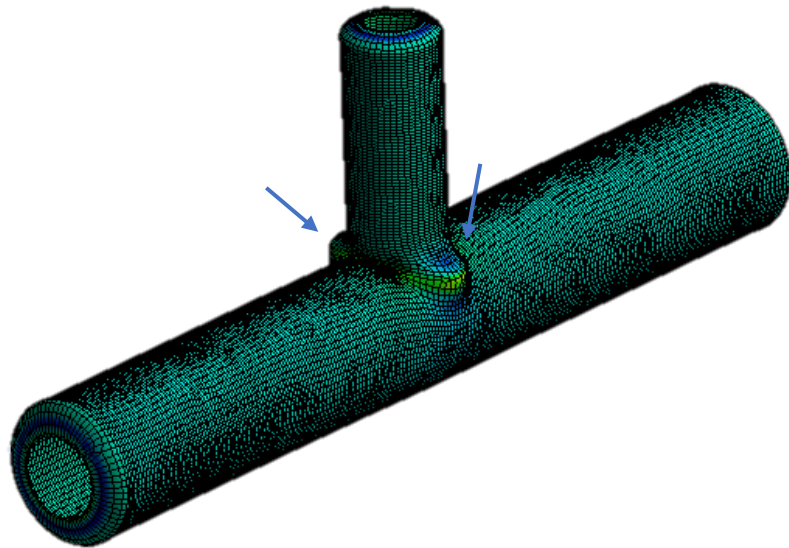
4.1.3 Hasil simulasi pola aliran



Gambar 4. 3 Hasil simulasi pola aliran

Hasil simulasi pola aliran fluida merepresentasikan pola aliran fluida dan jenis aliran yang terjadi di dalam pipa *tee connection*. *Contour* hasil simulasi pola aliran dapat dilihat pada gambar 4.3 yang menggambarkan kecepatan aliran pada setiap warna yang dapat dilihat pada *legend* gambar.

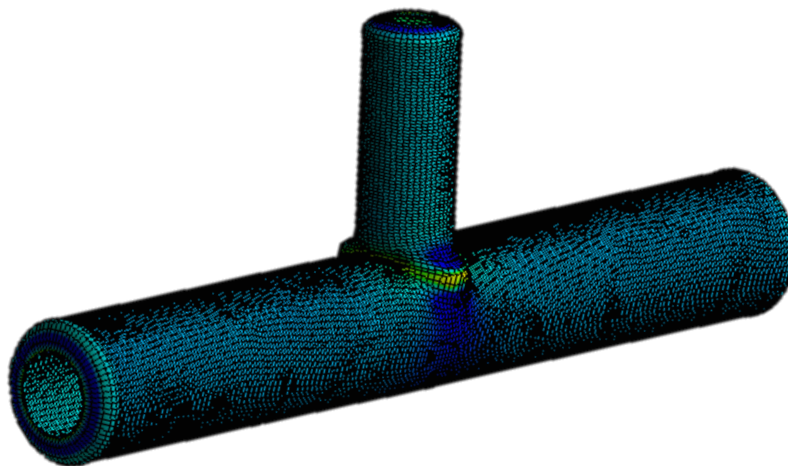
4.2 Hasil Simulasi Tegangan Struktur



Gambar 4. 4 Hasil simulasi tegangan struktur

Hasil simulasi tegangan struktur dengan beban yang diterima dari simulasi aliran menghasilkan tegangan maksimum mencapai 202.34 Mpa dan tegangan minimum mencapai 2.064 Mpa. Pada gambar 4.4 ditampilkan gambar hasil simulasi tegangan beserta dengan *legend* untuk memperlihatkan rentang tegangan yang terjadi pada setiap bagian pipa *tee connection*.

4.3 Hasil Simulasi *Fatigue Life*



Gambar 4. 5 Hasil simulasi *fatigue life*

Hasil simulasi *Fatigue life* menghasilkan siklus yang dialami pipa akibat beban yang diberikan dengan rentang siklus tertinggi mencapai 10 juta siklus dan dengan siklus terendah mencapai 183630 siklus. Semakin rendah jumlah siklus maka semakin kecil angka umur kelelahan pipa, begitu juga sebaliknya. Pada gambar 4.5 merupakan hasil simulasi *fatigue life* beserta dengan *legend* gambar.

4.4 Analisis pengaruh aliran terhadap tekanan pada dinding pipa *tee connection*

Aliran fluida yang mengalir didalam sebuah pipa, memiliki nilai tekanan, kecepatan, debit dan nilai dari sifat fluida itu sendiri yaitu densitas dan viskositas.

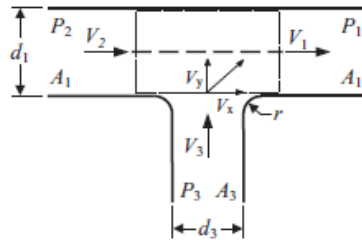
Dalam penelitian ini kasus yang terjadi adalah terdapat *tee connection* pipa gas bawah laut dengan jenis *Converging tees flow through run* atau aliran yang memusat menuju saluran utama dari cabang dan aliran utaman. Terdapat dua aliran berasal dari dua sumur gas dengan kondisi tekanan, debit, kecepatan, dan arah aliran yang berbeda menuju satu aliran dengan diameter pipa berbeda dengan diameter cabang.

Dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi tekanan aliran fluida menggunakan perangkat lunak CFD menggunakan metode elemen hingga dengan input kecepatan dan tekanan menghasilkan analisis terjadinya momentum yang diakibatkan tubrukan antara dua aliran yang kecepatan dan aliran yang berbeda. Dengan terjadinya *momentum* tersebut menjadikan perbedaan tekanan dan kecepatan pada setiap sisi *tee connection*. Tekanan yang berbeda-beda pada setiap dinding bagian dalam pipa yang dapat dilihat pada gambar 4.1 Hasil simulasi aliran fluida. Berikut adalah persamaan matematis turunan momentum yang

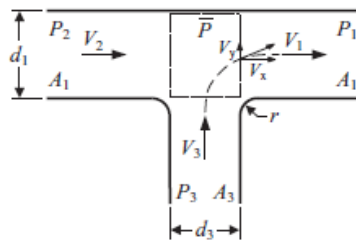
menrefleksikan faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan momentum atau *Momentum Balance* :

$$P_2 - P_1 = \frac{\rho_W V_1^2}{g} \left[1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} - C_{Xc} \left(\frac{V_2}{V_1} - \frac{V_2^2}{V_1^2} \right) - C_M \left(1 - \frac{V_2}{V_1} \right) \right]$$

$$P_3 - P_1 = \frac{\rho_W V_3^2}{g} (C_{Yc} - 1) + P_2 - P_1$$



Gambar 4. 6 skema converging tee flow through run



Gambar 4. 7 skema converging tee flow through branch

Jika dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7 beserta persamaan *Momentum balance* faktor-faktor yang mempengaruhi momentum adalah tekanan (P) dalam satuan Pa, Berat densitas (ρ_W) dengan satuan N/m³, Kecepatan (V) dengan satuan m/s, dan Konstanta perbandingan antara diameter cabang dan jari-jari sambungan.

Berdasarkan simulasi aliran fluida yang telah dilakukan menghasilkan tekanan yang dialami dinding pipa mencapai tekanan maksimum 7.051 Mpa dan tekanan minimum mencapai 7.017 Mpa. Pada gambar 4.1 hasil simulasi aliran tegangan dapat dilihat *contour* dan *legend* yang menggambarkan persebaran tekanan yang terjadi di dalam pipa. Dan pada penelitian ini berfokus pada titik maksimum yang letaknya ditunjukkan oleh tanda panah biru di gambar 4.1.

Pada Gambar 4.1 sisi inlet 1 cenderung mengalami tekanan yang meningkat, sedangkan pada sisi inlet 2 terjadi penurunan tekanan. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan melihat gambar 4.2 terdapat penurunan kecepatan pada sisi inlet 1 dengan sisi inlet yang tetap tinggi. Terdapat aliran balik akibat tingginya kecepatan pada sisi inlet dua, aliran balik atau tertahan menyebabkan tingginya tekanan dan rendahnya kecepatan.

Selanjutnya, berdasarkan tekanan fluida yang menekan pada setiap dinding pipa dilakukan simulasi tegangan.

4.5 Analisis pengaruh tekanan fluida terhadap tegangan struktur

Perbedaan yang mendasar dari tekanan (P) dan tegangan (σ) dalam penelitian ini yaitu tekanan yang dimaksud adalah tekanan yang dialami oleh permukaan dinding-dinding pipa *tee connection* akibat dari tekanan yang di hasilkan oleh momentum antara dua aliran fluida yang bertubrukan. Sedangkan tegangan (σ) merupakan akibat dari tekanan yang dialami oleh struktur dalam pipa *tee connection*.

Berdasarkan hasil simulasi tegangan struktur pipa *tee connection* menggunakan perangkat lunak dengan metode elemen hingga maka di dapat kan tegangan maksimum mencapai 202.34 Mpa dan tegangan minimum mencapai 2.064 Mpa. Pada penelitian ini berfokus pada struktur pipa dengan tegangan maksimum, dikarenakan struktur pipa yang mengalami tegangan maksimum akan memiliki siklus yang paling rendah, yang berarti akan mempengaruhi umur operasi pipa.

Adapun letak titik yang mengalami tegangan maksimum yaitu dapat dilihat pada gambar 4.4 yaitu pada sisi bagian dalam sambungan dimana dilakukannya proses *Hot tapping*. Setelah mengetahui titik tegangan maksimum, selanjutnya akan dilakukan simulasi kelelahan *fatigue life*.

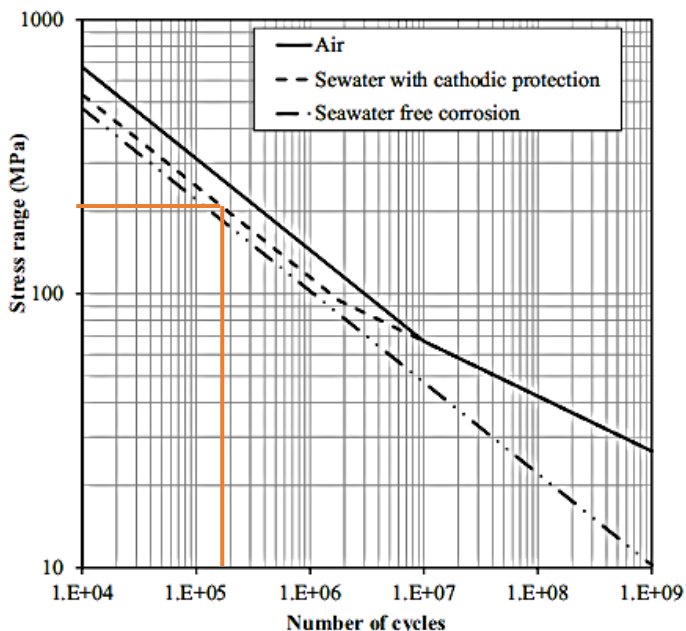
Pada gambar 4.5 hasil simulasi *fatigue life* bahwa pipa dengan tegangan maksimum mencapai 202.34 Mpa mengalami siklus terendah (ni) mencapai 183630 siklus dan berdasarkan formulasi beserta kurva SN pipa kan mengalami kelelahan (Ni) pada siklus ke 185443. Semakin tinggi tegangan yang dialami pipa *tee connection*, maka semakin rendah siklus yang dialami dan siklus hingga mengalami kelelahan yang semakin rendah, yang berarti semakin tinggi tegangan akan berakibat semakin rendahnya sisa umur operasi pipa.

4.6 Perhitungan kelelahan umur (*Fatigue life*)

4.6.1 Perhitungan jumlah siklus yang dialami pipa (ni)

Dalam menentukan umur kelelahan pipa, terlebih dahulu memperhitungkan jumlah siklus yang dialami struktur pipa (ni) berdasarkan beban yang dialami pipa, dalam penelitian ini yaitu akibat pengaruh tekanan yang dihasilkan dari dua aliran fluida.

Perhitungan jumlah siklus yang dialami pipa berdasarkan gaya yang diterimanya menghasilkan tegangan struktur senilai 202.34 Mpa. Setelah itu, dengan menggunakan Kurva S-N yang diperoleh dari standar DNV-GL C203 untuk sambungan pipa *tee connection* (tubular joints in seawater with cathodic protection). Berikut adalah kurva S-N yang digunakan untuk menghitung jumlah siklus pada gambar 4.8



Gambar 4. 8 SN curve for tubular joint with cathodic protection

Dengan memasukkan nilai tegangan atau *stress range* pada sumbu Y dengan jumlah siklus atau *Number of cycles* sumbu X, maka dengan nilai tegangan mencapai 202.34 Mpa didapatkan siklus yang dialami pipa (ni) mencapai sekitar 180000 siklus.

Berdasarkan hasil perhitungan perangkat lunak dengan menginput kurva SN yang diperoleh dari standar DNV-GL C203 untuk sambungan pipa *tee connection* (tubular joints in seawater with cathodic protection) siklus yang dialami oleh pipa mencapai 183630 siklus.

4.6.2 Perhitungan jumlah siklus hingga pipa mengalami kelelahan (Ni)

Perhitungan jumlah siklus hingga pipa mengalami kelelahan (Ni) merupakan banyaknya siklus yang dialami pipa hingga mencapai fatigue atau kelelahan akibat beban yang diterima pipa tersebut. beban pada penelitian ini merupakan tekanan yang dihasilkan oleh 2 aliran fluida gas alam menuju aliran outlet pada pipa *tee connection*.

Adapun setelah melakukan simulasi tegangan menggunakan perangkat lunak menghasilkan tegangan maksimal pada struktur pipa senilai 202.34 Mpa.

Berikut adalah formulasi dan tabel 4.1 yang digunakan untuk memperhitungkan jumlah siklus hingga pipa mengalami kelelahan (Ni), diperoleh dari standar DNV-GL C203 untuk sambungan pipa *tee connection* (tubular joints in seawater with cathodic protection).

Environment	m_1	$\log \bar{a}_1$	m_2	$\log \bar{a}_2$	Fatigue limit at 10^7 cycles (MPa)*)	Thickness exponent k
	$N \leq 10^7$ cycles		$N > 10^7$ cycles			
Air	3.0	12.48	5.0	16.13	67.09	0.25
	$N \leq 1.8 \cdot 10^6$ cycles		$N > 1.8 \cdot 10^6$ cycles			
Seawater with cathodic protection	3.0	12.18	5.0	16.13	67.09	0.25
	$N \leq 1.8 \cdot 10^6$ cycles		$N > 1.8 \cdot 10^6$ cycles			
Seawater free corrosion	3.0	12.03	3.0	12.03	0	0.25

*) see also [2.11]

Tabel 4. 1 SN curve for tubular joint with cathodic protection

Dari tabel 4.1 didapat nilai $m = 5$ dan $\lg a = 12.18$. m dan $\log a$ yang dipilih berdasarkan kondisi pipa yang berada didalam laut dan juga menggunakan perlindungan katoda (*Cathodic protection*) dengan jumlah siklus 1.8×10^6 .

Maka selanjutnya nilai m dan $\log a$ akan digunakan untuk perhitungan N_i . Dalam standar DNV-GL C203 nilai N_i di formulasikan sebagai berikut:

$$\log N = \log a - m \log \Delta \sigma$$

N = Jumlah siklus yang diprediksi hingga mencapai kelelahan pada total tegangan yang bekerja

$\Delta \sigma$ = Tegangan total yang bekerja (Mpa)

m = Kemiringan negative invers Kurva SN

$\log a$ = perpotongan sumbu $\log N$ pada kurva SN

Sehingga untuk nilai N_i pipa dalam keadaan tekanan operasional maksimum adalah sebagai berikut :

$$N_i = 10^{12.18} / 202.34^3$$

$$= 185443 \text{ Siklus}$$

4.6.3 Kelelahan akumulatif (Dfat)

Pipa *tee connection* dalam tekanan operasional yang fluktuatif dan memiliki kecenderungan tinggi dalam jangka waktu tertentu akan mengalami kelelahan atau *fatigue*. Hal ini dapat diketahui dengan melakukan perbandingan antara siklus yang diterima selama operasi (n_i) dibandingkan dengan siklus bahan pipa hingga mencapai kelelahan (N_i). Untuk menyelesaikan hal ini, dapat dilakukan dengan mengacu pada persamaan yang didapat dari DNV-GL C203:

$$Dfat = \frac{n_i}{N_i} \leq \eta$$

Sehingga untuk pipa mengalami kelelahan akumulatif (Dfat) sejumlah **0.9902**.

DFD	Structural element
1	Internal structure, accessible and not welded directly to the submerged part
1	External structure, accessible for regular inspection and repair in dry and clean conditions
2	Internal structure, accessible and welded directly to the submerged part
2	External structure not accessible for inspection and repair in dry and clean conditions
3	Non-accessible areas, areas not planned to be planned to be accessible for inspection and repair during operation

Tabel 4. 2 Design fatigue factor

Faktor keselamatan atau *safety factor* (η) mengacu pada standar DNV-GL OS C101 tertera pada tabel 4.2 maka menurut kondisi *tee connection* yaitu struktur internal, dapat diakses dan di las secara langsung dengan bagian terendam memiliki nilai DFD 2. Maka nilai *safety factor* (η) sejumlah 0.5.

Berdasarkan nilai *safety factor* (η) maka nilai Dfat tidak memenuhi. Apabila hal ini benar terjadi, maka dapat dikatakan kelelahan akumulatif sudah mencapai batas keselamatan dan pipa dapat dinyatakan sudah mencapai titik kelelahan (*Fatigue*).

4.6.4 Perhitungan life time (Tlife)

Perhitungan life time (Tlife) atau umur hidup adalah perhitungan waktu operasional sisa pipa hingga pipa mengalami kelelahan. Berikut adalah persamaan yang digunakan :

$$T_{life} = \frac{T_{exp}}{D_{fat}} \times \eta$$

Dimana :

T exp = waktu operasi yang telah berjalan = 7 tahun

D fat = *Damage fatigue* = 0.99

η = safety factor for fatigue = 0.5

Sehingga dari hasil perhitungan pada formulasi Tlife, menghasilkan waktu pipa hingga mencapai kelelahan mencapai 3.554 ~ 3.5 tahun. Terhitung sejak penelitian ini dilakukan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi, Analisa, dan pembahasan maka penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Aliran Fluida gas alam yang mengalir di dalam pipa *tee connection* mempengaruhi struktur pipa tersebut. Dengan input tekanan dan kecepatan kondisi operasional maksimum pada simulasi aliran tegangan menghasilkan tekanan maksimum pada dinding pipa mencapai 7.07 Mpa yang diakibatkan oleh momentum dari 2 aliran fluida *inlet 1* dan *inlet 2* menuju *outlet*. Faktor-faktor yang mempengaruhi momentum di dalam fluida yaitu tekanan (P) dalam satuan Pa, Berat densitas (ρ_w) dengan satuan N/m³, Kecepatan (V) dengan satuan m/s, dan Konstanta perbandingan antara diameter cabang dan jari-jari sambungan.
2. Dengan menggunakan simulasi tegangan dan simulasi *fatigue life* maka tegangan maksimum yang dialami oleh struktur pipa *tee connection* mencapai 202.34 Mpa dengan siklus yang dialami (ni) mencapai 183630 siklus. dengan formulasi pada DNV-GL C203 dan kurva SN pipa *tee connection* akan mengalami kelelahan pada jumlah siklus (Ni) 185443 dan menghasilkan kelelahan akumulatif (Dfat) sebesar 0.9902. Pipa *tee connection* akan mengalami kondisi kelelahan pada sisa umur operasi 3.5 tahun terhitung dari penelitian ini dilakukan. Jadi, semakin besar tegangan yang dialami maka semakin rendah siklus yang dialami hingga mencapai kelelahan, dan semakin rendah pula sisa umur operasi pipa.

5.2 Saran

Adapun berdasarkan penelitian yang dilakukan terdapat saran-saran, diantaranya :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap faktor eksternal yang mempengaruhi *tee connection* seperti contoh gempa bumi.
2. Pengukuran terhadap *metal loss* diperlukan guna meningkatkan akurasi hasil penelitian.
3. Perlu digunakannya peredam *backflow* pada sisi outlet.

DAFTAR PUSTAKA

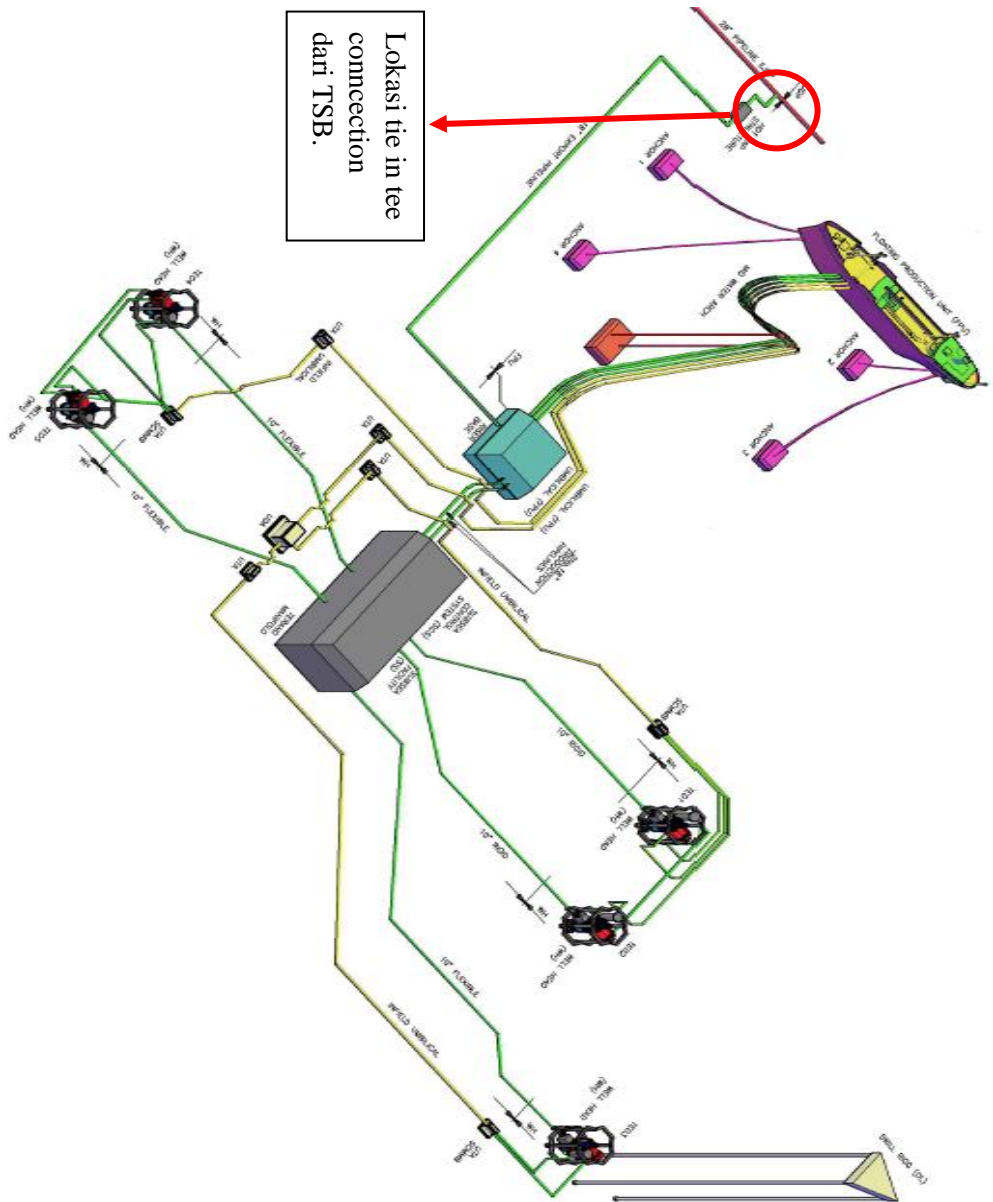
- Abdullah, A., 2016. Analisa Suppression Device sebagai Peredam VIV pada Free Span Menggunakan Metode Elemen Hingga. pp. 25-55.
- Al-Shemmeri, P. T. T., 2012. *Engineering Fluid Mechanics*. s.l.:bookboon.com.
- BP, 2018. *BP Statistical Review of world energy*. London: British Petroleum.
- C. Rennels, H. d. M. H. H., 2012. *Pipe flow : a practical and comprehensive guide*. New jersey: John Wiley & Sons, Inc.,.
- DNV-GL, 2015. *DNV-GL OS C101 Design of offshore steel structures, general*. Norway: DNV GL AS.
- DNV-GL, 2016. *RP C203 Fatigue design of offshore steel platform*. Norway, DNV GL AS.
- Hilman Syarief, d., 2014. Beban Eksternal pada Pipa Bawah Laut yang Mengalami Free Span. *digilib.its.ac.id*, pp. 1-6.
- Karyono, I. Y., 2008. *Analisa Aliran Berkembang Penuh Dalam Pipa*. Depok: s.n.
- Krishna Kurniawan Ramadhan, d., 2012. Analisa Vibrasi pada Variasi Flange Pipa Penyalur Hidrokarbon Akibat Aliran Internal. pp. 1-9.
- Kurniawan, E., 2010. *Simulasi Numerik Aliran Fluida pada Tingkat Pertama Turbin Uap Menggunakan CFD Fluent*, MEDAN: s.n.
- Pratama, B. S., Muttaqin, R. F. & dkk., 2018. *Neraca Gas Bumi Indonesia 2018-2027*. Jakarta: KESDM.
- Syahroni, A., 2019. *Analisis Umur Kelelahan Akibat Vortex Induced Vibration pada Pipa Bawah Laut Saat Kondisi Operasi*. Surabaya: s.n.
- yudhatama, i. w., 2018. Simulasi CFD erosi partikel pasir dalam aliran fluida gas turbulen pada elbow pipa vertikal-horizontal. pp. 1-6.

LAMPIRAN

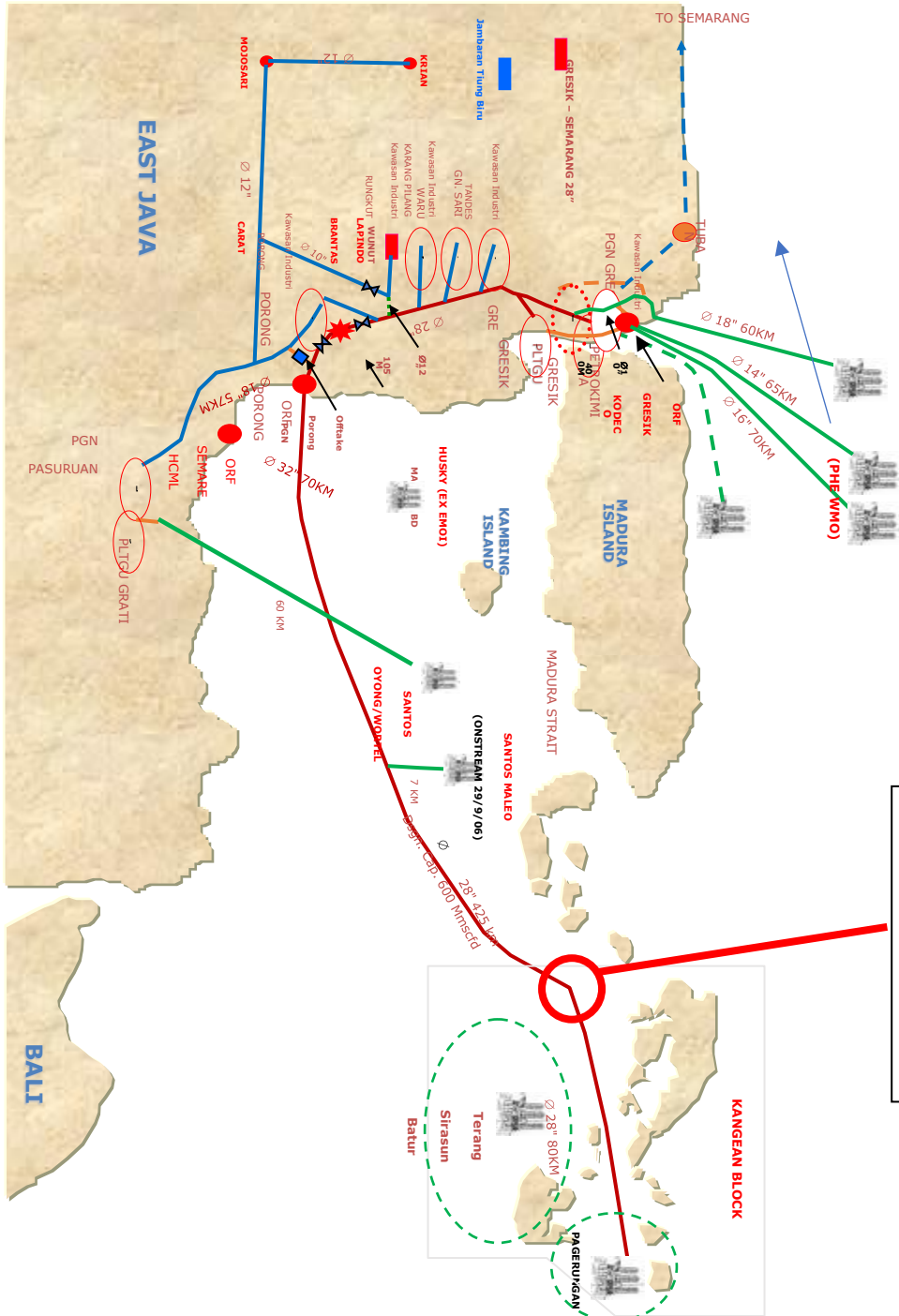
- A. Data lokasi dan gambar desain *tie-in tee connection*
- B. Perhitungan keseimbangan momentum (momentum balance) aliran fluida di dalam *tee connection*
- C. Simulasi Aliran Fluida
- D. Simulasi Tegangan Struktur
- E. Perhitungan *fatigue life* (Tlife)

A. Data Lokasi dan Gambar desain pipa

- Gambar desain pipa TSB

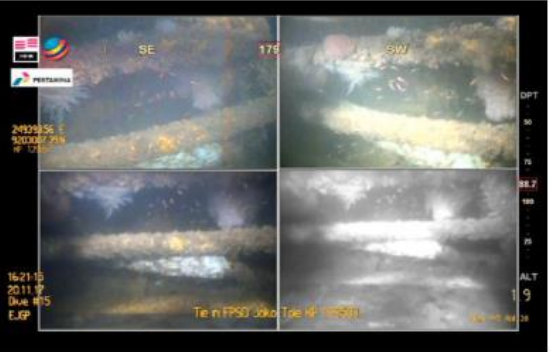
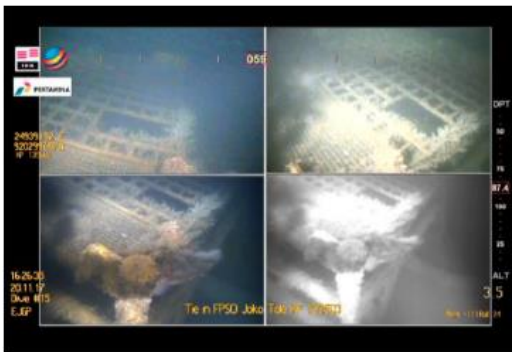
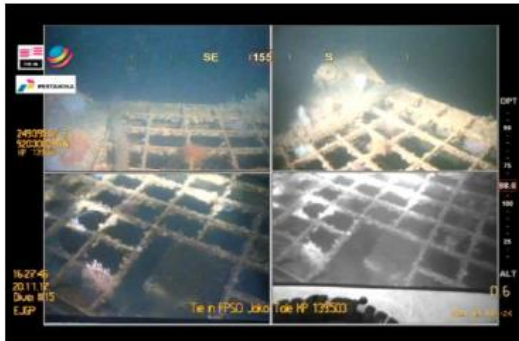


- Peta lokasi tie in tee connection



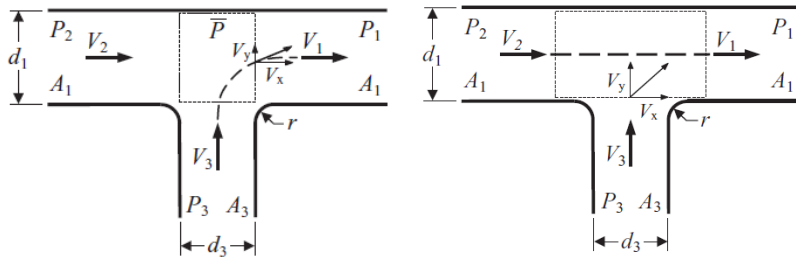
Lokasi tie in tee connection dari TSB.

- Data citra bawah laut kondisi tie in tee connction



B. Perhitungan keseimbangan momentum (momentum balance) aliran fluida di dalam tee connection

Merujuk pada buku *A Practical and Comprehensive Guide* yang dikarang oleh Rennels dan Hudson tentang aliran di dalam pipa. Maka di dapatkan formula keseimbangan momentum pada bab *Tee* dan sub bab *Converging tee*.



Converging tee through branch

Converging tee through run

Dengan mempertimbangkan kedua aliran fluida yaitu aliran utama dan aliran cabang, oleh karena itu menggunakan dua persamaan sebagai berikut :

- $$C_M = 0,23 + 1,46 \left(\frac{r}{d_3}\right) - 2,75 \left(\frac{r}{d_3}\right)^2 + 1,65 \left(\frac{r}{d_3}\right)^3$$

$$= 0,23 + 1,46 (0,167) - 2,75 (0,167)^2 + 1,65 (0,167)^3$$

$$= 0,23 + 0,243 - 0,077 + 0,0077$$

$$= 0,4037$$

- $$C_{X_c} = 0,08 + 0,56 \left(\frac{r}{d_3}\right) - 1,75 \left(\frac{r}{d_3}\right)^2 + 1,83 \left(\frac{r}{d_3}\right)^3$$

$$= 0,08 + 0,56 (0,167) - 1,75 (0,167)^2 + 1,83 (0,167)^3$$

$$= 0,08 + 0,093 - 0,048 + 0,0085$$

$$= 0,1335$$

- $$\dot{w}_2 = V_2 A_2 \rho_w$$

$$= 7,92 \times 0,37 \times 6,053$$

$$= 17,73 \text{ N/s}$$

- $\dot{W}_3 = V_3 A_3 \rho_W$
 $= 171,26 \times 0,14 \times 6,053$
 $= 145,13 \text{ N/s}$

- $\dot{W}_3 = \dot{W}_1 - \dot{W}_2$
- $\dot{W}_1 = \dot{W}_3 + \dot{W}_2$
 $= 145,13 + 17,73$
 $= 162,86 \text{ N/s}$

- $\dot{W}_1 = V_1 A_1 \rho_W$
- $V_1 = \frac{\dot{W}_1}{A_1 \rho_W} = \frac{162,86}{0,37 \times 6,053} = 72,71 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \triangleright P_2 - P_1 &= \frac{\rho_W v_1^2}{9} \left[1 - \frac{v_2^2}{v_1^2} - C_{Xc} \left(\frac{v_2}{v_1} - \frac{v_2^2}{v_1^2} \right) - C_M \left(1 - \frac{v_2}{v_1} \right) \right] \\ &= \frac{6,053 \times (72,71)^2}{9,81} \left[\left(1 - \frac{7,92^2}{72,72^2} \right) - 0,1335 \left(\frac{7,92}{72,71} - \frac{7,92^2}{72,71^2} \right) \right. \\ &\quad \left. - 0,4037 \left(1 - \frac{7,52}{72,71} \right) \right] \\ &= 3262,045 [(1 - 0,119) \\ &\quad - (0,1335 (0,108 - 0,119) - (0,4037 (1 - 0,108)))] \\ &= 3262,045 [(0,881) - (-0,0014) - (0,36)] \\ &= 3262,045 \times 0,5224 \end{aligned}$$

$$P_2 - P_1 = 1704,09 P_a$$

$$\begin{aligned}
\bullet \quad C_{Y_c} &= 1 - 0,25 \left(\frac{d_3}{d_1}\right)^{1,3} - \left(0,11 \frac{r}{d_3} - 0,65 \frac{r^2}{d_3^2} + 0,83 \frac{r^3}{d_3^3}\right) \frac{d_3^2}{d_1^2} \\
&= 1 - 0,25 \left(\frac{18}{28}\right)^{1,3} \\
&\quad - (0,11 (0,167) - 0,65 (0,167)^2 \\
&\quad + 0,83 (0,167)^3) \left(\frac{18}{28}\right)^2 \\
&= 1 - 0,25 (0,56) - ((0,018) - (0,018) + (0,0038))(0,41) \\
&= 1 - 0,14 - (0,0038) \times 0,41 \\
&= 1 - 0,14 - 0,0015 \\
&= 0,8585
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\blacktriangleright \quad P_3 - P_1 &= \frac{P_w V_3^2}{9} (C_{y_c} - 1) + P_2 - P_1 \\
&= \frac{6,053 \times (171,263)^2}{9,81} (0,85 - 1) + 1704,09 \\
&= 18097,92 (-0,65) + 1704,09
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\blacktriangleright \quad P_3 - P_1 &= 1427,36 \\
&= P_3 - 1427,36 \\
&= 7069539,39 - 1427,36 \\
&= 7068112,03 P_a \\
&= \mathbf{1025,14 \text{ Psi}}
\end{aligned}$$

Tekanan yang diperoleh dari kesimbangan momentum di sisi outlet sebesar 1025.14 Psi.

C. Hasil Simulasi Aliran Fluida (Menggunakan aplikasi CFD simulasi aliran fluida)

2019/08/01 17:28:17

Contents

1. File Report
 - Table 1 File Information for Simulasi Aliran
2. Mesh Report
 - Table 2 Mesh Information for Simulasi Aliran
3. Physics Report
 - Table 3 Domain Physics for Simulasi Aliran
 - Table 4 Boundary Physics for Simulasi Aliran
4. User Data
 - Figure 1 pressure1
 - Figure 2 velocity1
 - Figure 3 fluid flow pattern

1. File Report

Table 1. File Information for Simulasi Aliran

Case	Simulasi Aliran
File Path	D:\AKADEMIK\SKRIPSI\Model Tee\Simulasi semi final_files\dp0\FFF\Fluent\FFF-7-01000.dat.gz
File Date	12 July 2019
File Time	11:09:15 PM
File Type	FLUENT
File Version	18.2.0

2. Mesh Report

Table 2. Mesh Information for Simulasi Aliran

Domain	Nodes	Elements
fluid_gas	8772	41238
solid_pipe	8089	23934
All Domains	16861	65172

3. Physics Report

Table 3. Domain Physics for Simulasi Aliran

Domain - fluid_gas	
Type	cell
Domain - solid_pipe	
Type	solid

Table 4. Boundary Physics for Simulasi Aliran

Domain	Boundaries	
fluid_gas	Boundary - inlet_1	
	Type	VELOCITY-INLET
	Boundary - inlet_2	
	Type	VELOCITY-INLET
	Boundary - inner_wall_pipe	
	Type	WALL
	Boundary - outlet	
Type	PRESSURE-OUTLET	
solid_pipe	Boundary - inner_wall_pipe shadow	
	Type	WALL
	Boundary - outer_wall_pipe	
	Type	WALL
	Boundary - wall solid_pipe	
Type	WALL	

4. User Data

Figure 1. pressure1

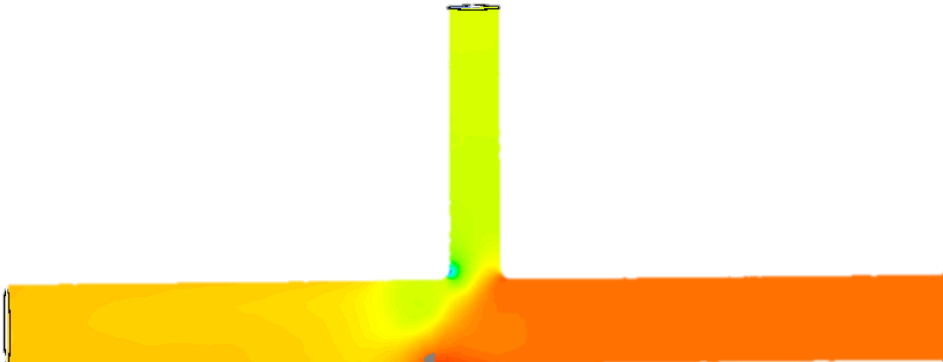


Figure 2. velocity1

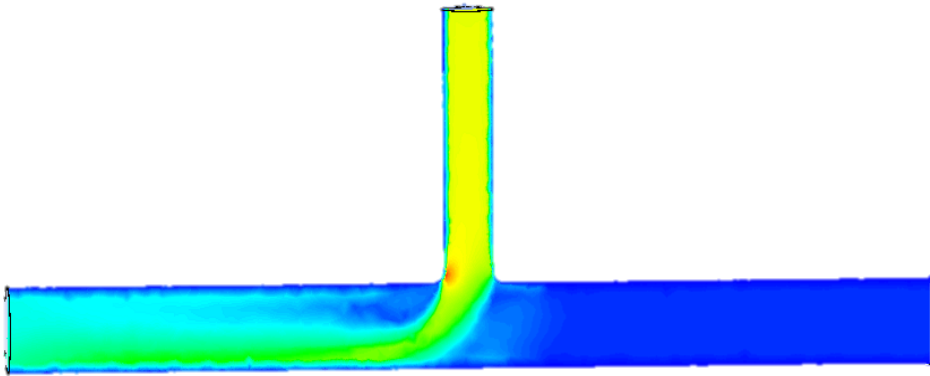
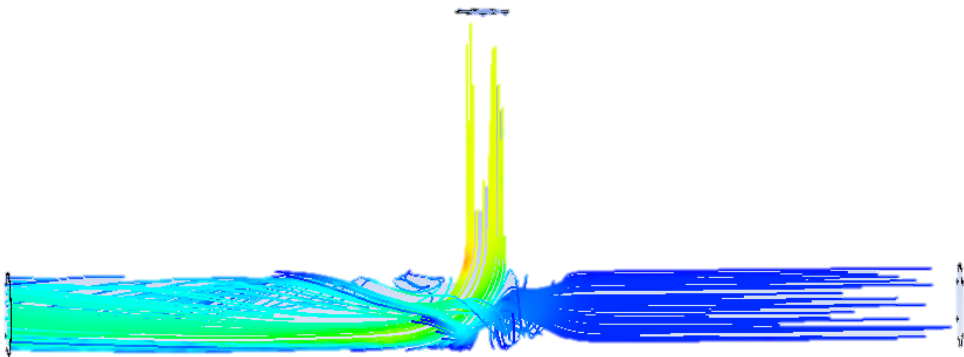


Figure 3. fluidflowpattern



D. Hasil Simulasi Tegangan Struktur (Menggunakan aplikasi FEM simulasi tegangan struktur)

Contents

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Part](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Mesh](#)
 - [Mesh Controls](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Imported Load \(B5\)](#)
 - [Imported Pressure](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Equivalent Stress](#)
 - [Fatigue Tool](#)
 - [Life](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (C4)

Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\AKADEMIK\SKRIPSI\Model Tee\Simulasi semi final_files\dp0\FFF\DM\FFF.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.7112 m
Length Y	8. m
Length Z	2.8556 m
Properties	
Volume	0.33587 m ³
Mass	2636.5 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	1

Nodes	174423
Elements	33784
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes

Enclosure and Symmetry Processing	Yes
-----------------------------------	-----

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Body Groups

Object Name	<i>Part</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Definition	
Suppressed	No
Assignment	Structural Steel
Coordinate System	Default Coordinate System
Bounding Box	
Length X	0.7112 m
Length Y	8. m
Length Z	2.8556 m
Properties	
Volume	0.33587 m ³
Mass	2636.5 kg
Centroid X	-1.3891e-005 m
Centroid Y	8.7e-005 m
Centroid Z	0.20876 m
Moment of Inertia Ip1	12975 kg·m ²

Moment of Inertia Ip2	1100.9 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	12163 kg·m ²
Statistics	
Nodes	174423
Elements	33784
Mesh Metric	None
CAD Attributes	
DMBodyGroup	1

TABLE 4
Model (C4) > Geometry > Part > Parts

Object Name	<i>Solid</i>	<i>Solid</i>
State	Meshed	Suppressed
Graphics Properties		
Visible	Yes	No
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	Yes
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Behavior	None	
Material		
Assignment	Structural Steel	

Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	0.7112 m	0.67818 m
Length Y	8. m	
Length Z	2.8556 m	2.8391 m
Properties		
Volume	0.33587 m ³	3.2046 m ³
Mass	2636.5 kg	
Centroid X	-1.3891e-005 m	2.1604e-006 m
Centroid Y	8.7e-005 m	-1.1017e-005 m
Centroid Z	0.20876 m	0.13826 m
Moment of Inertia Ip1	12975 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	1100.9 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	12163 kg·m ²	
Statistics		
Nodes	174423	0
Elements	33784	0
Mesh Metric	None	

Coordinate Systems

TABLE 5
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

Connections

TABLE 6
Model (C4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

Mesh

TABLE 7
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Element Order	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Initial Size Seed	Assembly
Span Angle Center	Coarse
Bounding Box Diagonal	8.52410 m
Minimum Edge Length	1.34460 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)

Smoothing	High
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	174423
Elements	33784

TABLE 8
Model (C4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>Hex Dominant Method</i>	<i>Body Sizing</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Suppressed	No	
Method	Hex Dominant	
Element Order	Use Global Setting	
Free Face Mesh Type	All Quad	
Control Messages	Yes, Click To Display...	
Type		Element Size
Element Size		3.e-002 m
Advanced		
Defeature Size		Default
Behavior		Soft

Static Structural (C5)

TABLE 9
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved

Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Direct
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	

Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\AKADEMIK\SKRIPSI\Model Tee\Simulasi semi final_files\dp0\SYS\MECH\

Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Elastic Support</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	3 Faces	
Definition		
Type	Displacement	Elastic Support
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m (ramped)	
Y Component	0. m (ramped)	
Z Component	0. m (ramped)	
Suppressed	No	
Foundation Stiffness		5.e+007 N/m ³

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

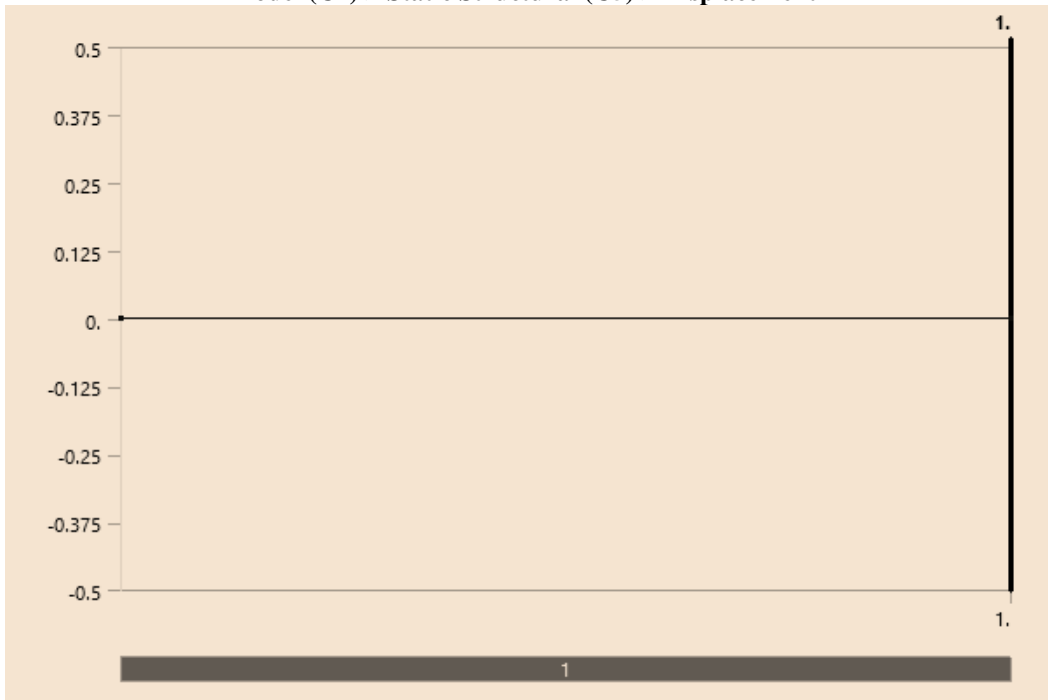


TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Imported Load (B5)

Object Name	<i>Imported Load (B5)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Imported Data
Interpolation Type	CFD Results Interpolator

Suppressed	No
Source	B5::Solution

TABLE 13
Model (C4) > Static Structural (C5) > Imported Load (B5) > Imported Pressure

Object Name	<i>Imported Pressure</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	9 Faces
Definition	
Type	Imported Pressure
Tabular Loading	Ramped
Suppressed	No
Graphics Controls	
Component	All
Transfer Definition	
CFD Surface	inner_wall_pipe
CFD Data	
CFD Results File	D:\AKADEMIK\SKRIPSI\Model Tee\Simulasi semi final_files\dp0\SYS\MECH\Solution\FFF-7-01000.dat.gz

Model (C4) > Static Structural (C5) > Imported Load (B5) > Imported Pressure

	Source Time (s)	Source Time Step	Analysis Time (s)	Scale	Offset (Pa)
--	-----------------	------------------	-------------------	-------	-------------

1	0.	-1.	1	1	0
---	----	-----	---	---	---

Model (C4) > Static Structural (C5) > Imported Load (B5) > Imported Pressure > Imported Load Transfer Summary

CFD Load Transfer Summary

All values correspond to the CFD results before the application of any Scale or Offset operations set in Mechanical.

CFD Computed Forces from CFD Results File

X-component = 29.866 N
 Y-component = 617.91 N
 Z-component = -1.0024e+006 N

Mechanical Mapped Forces for Mechanical Surface File

X-component = 846.09 N
 Y-component = 1408.6 N
 Z-component = -2.1937e+006 N

97% of Mechanical nodes were mapped to the CFD surface. The remaining nodes are mapped to the closest edge or node

Solution (C6)

TABLE 14
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	

Status	Done
MAPDL Elapsed Time	6 m 35 s
MAPDL Memory Used	2.1572 GB
MAPDL Result File Size	70.25 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 15
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single

Display Type	Lines
--------------	-------

TABLE 16
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No
Results	
Minimum	2.0647e+007 Pa
Maximum	2.0234e+008 Pa
Minimum Occurs On	Solid
Maximum Occurs On	Solid

Information	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

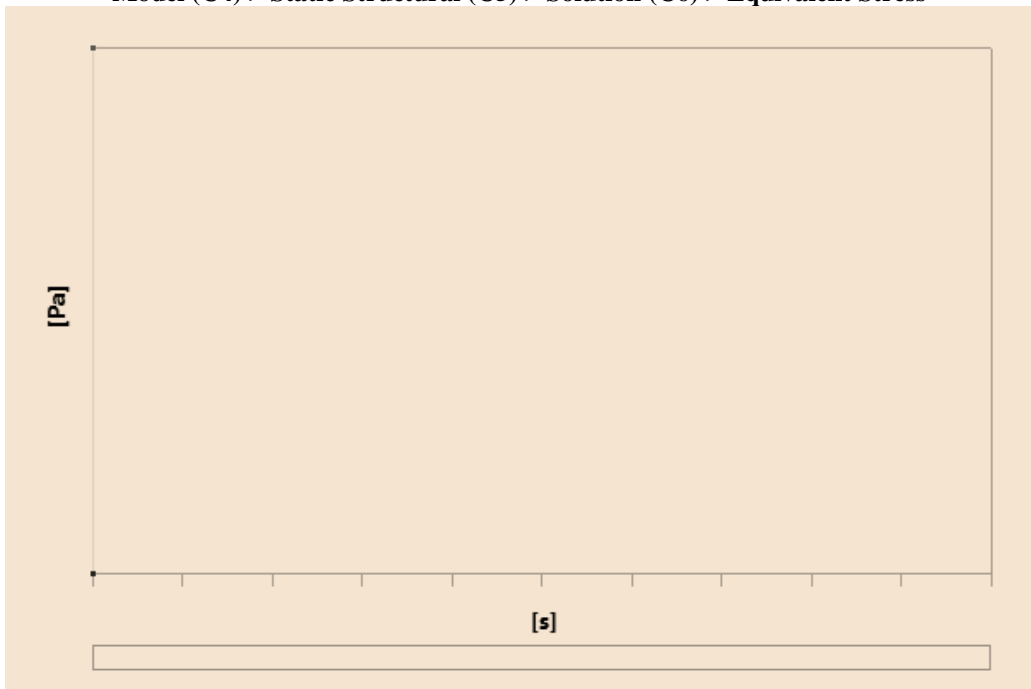


TABLE 17
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	2.0647e+007	2.0234e+008

TABLE 18
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tools

Object Name	<i>Fatigue Tool</i>
-------------	---------------------

State	Solved
Domain	
Domain Type	Time
Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1.
Loading	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1.
Definition	
Display Time	End Time
Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Goodman
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
Life Units	
Units Name	days
1 cycle is equal to	11574 days

FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool

TABLE 19
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Results

Object Name	<i>Life</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Life
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Average Across Bodies	No
Results	
Minimum	2.1253e+009 days
Minimum Occurs On	Solid

FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Life

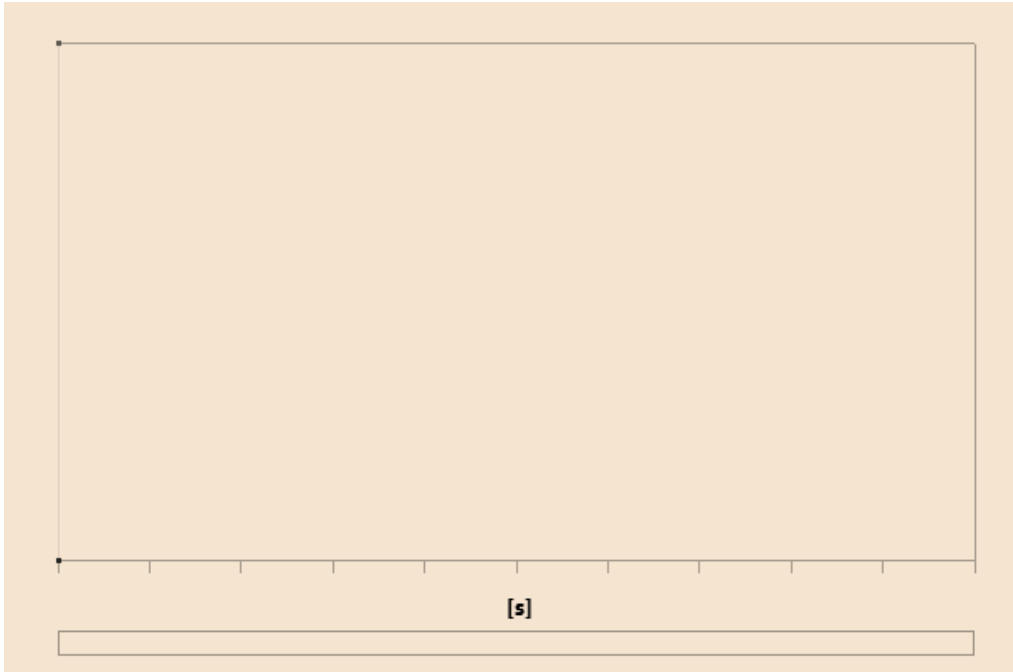


TABLE 20
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Fatigue Tool > Life

Time [s]	Minimum	Maximum
1.	2.1253e+009	1.1574e+011

Material Data
 Structural Steel

TABLE 21
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 22
Structural Steel > Appearance

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 23
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 24
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
4.48e+008

TABLE 25
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
4.48e+008

TABLE 26
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.31e+008

TABLE 27
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 28
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
5.5e+008	10000	0
3.4e+008	30000	0
2.8e+008	50000	0
2.5e+008	80000	0
2.3e+008	1.e+005	0
1.8e+008	3.e+005	0
1.4e+008	5.e+005	0
1.2e+008	7.e+005	0
1.1e+008	1.e+006	0
7.5e+007	5.e+006	0
5.8e+007	1.e+007	0

TABLE 29
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

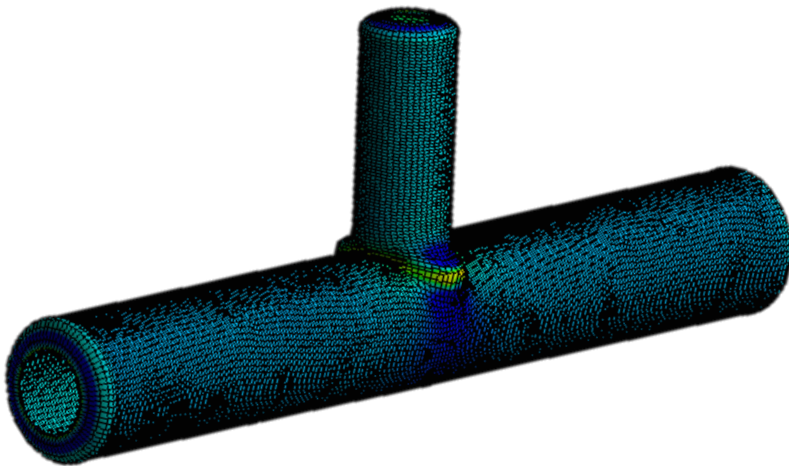
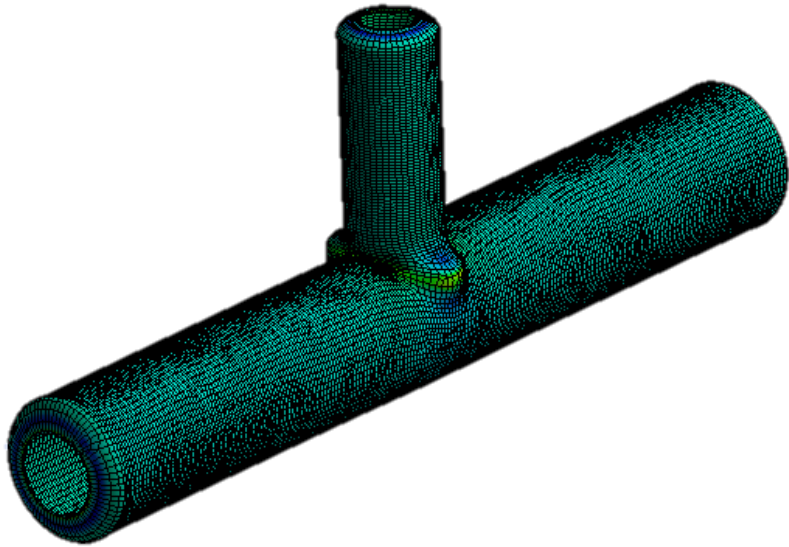
TABLE 30
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.4272e+008	0.3	1.1893e+008	5.4893e+007

TABLE 31
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability

10000



Gambar hasil simulasi tegangan struktur

E. Perhitungan Umur Kelelahan Tee connection

1. Data Pipa

East Java Gas Pipeline	
Material Data	
D (in)	28
t (in)	0.65
Steel Grade	API 5L X65
ρ (kg/m ³)	7850
SMYS (psi)	65000
E young (psi)	20700
MAOP (psi)	2000
Tensile (psi)	77000
Elongation	18

Terang Sirasun Batur	
Material Data	
D (in)	18
t (in)	0.5
Steel Grade	API 5L X65
ρ (kg/m ³)	7850
SMYS (psi)	65000
E young (psi)	20700
MAOP (psi)	2000
Tensile (psi)	77000
Elongation	18

2. Data
Fluida Gas

Type	Natural Gas	
ρ (kg/m ³)	0.617	at 40C, 1 bar
ν (Ns/m ²) x 10 ⁻⁶	11.55	at 40C, 1 bar

Inlet 1 PAG		Inlet 2 TSB		Outlet	
Q (mmscfd)	75.96	Q (mmscfd)	8.86	Q (mmscfd)	83.67
Q (m ³ /s)	25.07	Q (m ³ /s)	2.93	Q (m ³ /s)	27.61
A (m ²)	0.14	A (m ²)	0.37	A (m ²)	0.37
ν (m/s)	171.26	ν (m/s)	7.91	ν (m/s)	72.71
P (Psi)	1025.35	P (Psi)	1000.25	P (Psi)	1024.14
T (F)	115.81	T (F)	92.23	T (F)	-
T celcius	46.56	T celcius	33.46	T celcius	-

3. Hasil Simulasi Aliran
Fluida

Dari hasil simulasi aliran fluida di dalam sambungan pipa T, maka didapatkan kecepatan dan tekanan aliran sebagai berikut :

$$P_{\max} = 6.90E+06 \text{ pa}$$

$$V_{\max} = 242.5 \text{ m/s}$$

dari tekanan dan kecepatan mempengaruhi struktur dinding pipa yang selanjutnya akan di lakukan simulasi tegangan (*Static Structure*)

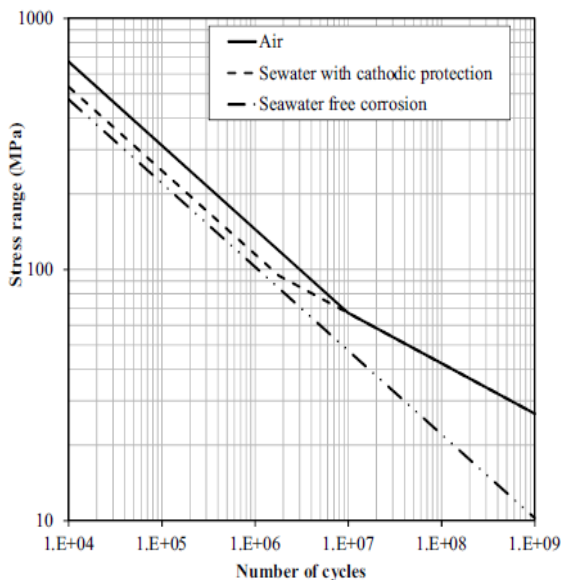
4. Hasil Pemodelan Tegangan

Dari hasil pemodelan tegangan didapatkan tegangan von mises sebagai berikut :

Tegangan max = $2.013E+08$ Pa ~ $2.013E+02$ mpa

5. Perhitungan jumlah siklus yang dialami material menggunakan kurva SN

Tee Connction merupakan bagian dari Tubular Joint. Maka karakter material yang dipilih adalah Tubular Joint in Sea Water with Cathodic protection (DNV-GL C203 2017)



Berdasarkan pembacaan Kurva SN , dengan tegangan von mises sebesar 202.34 Mpa

sambungan pipa T mengalami siklus sejumlah 18630 Atau dapat di rangkum sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tegangan} &= 202.34 \text{ Mpa} \\ n_i &= 183630 \text{ siklus} \end{aligned}$$

6. Perhitungan jumlah siklus hingga terjadinya fatigue
perhitungan menggunakan tabel *dibawah* dengan formula sebagai berikut :

Table 2-3 S-N curves for tubular joints

Environment	m_1	$\log \bar{a}_1$	m_2	$\log \bar{a}_2$	Fatigue limit at 10^7 cycles (MPa)*	Thickness exponent k
Air	$N \leq 10^7$ cycles		$N > 10^7$ cycles		67.09	0.25
	3.0	12.48	5.0	16.13		
Seawater with cathodic protection	$N \leq 1.8 \cdot 10^6$ cycles		$N > 1.8 \cdot 10^6$ cycles		67.09	0.25
	3.0	12.18	5.0	16.13		
Seawater free corrosion	3.0	12.03	3.0	12.03	0	0.25

*) see also [2.11]

$$\begin{aligned} m_1 &= 3 \\ \log a_1 &= 12.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_i &= a/S^m \\ &= 1.854E+05 \sim 185442.73 \quad (\text{Siklus}) \end{aligned}$$

7. Perhitungan *Fatigue cumulative*

$$D = n_i/N_i$$

$$N_i = 185442.7279$$

$$n_i = 183630$$

$$D = 0.99$$

8. Perhitungan umur kelelahan

$$T_{life} = \frac{T_{exp.}}{D} \times \eta \quad \text{phi} = 0.5$$

$$T_{exp} = \text{Umur operasi pipa hingga saat ini}$$

$$= 7 \text{ tahun}$$

$$T_{life} = 3.5345507 \text{ tahun}$$

BIODATA PENULIS



Penulis, Hadi Abdillah dilahirkan di kota Garut pada tanggal 3 Oktober 1997. Penulis adalah Putra ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Djunaedi Selamat Rijadi dan Diana Krisnawaty. Sejarah Pendidikan Penulis dimulai dari TKIT Nurul Fikri kemudia melanjutkan ke SDIT Nurul ilmi. Pada Pendidikan menengah pertama dan keatas yaitu SMP Bani Saleh 2 dan SMAN 1 Kota Bekasi, kemudian melanjutkan Pendidikan tinggi pada salah satu Institut terbaik di Indonesia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen

Teknik Sistem Perkapalan pada tahun 2015. Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang studi Marine Manufature and Design (MMD). Penulis mempunyai hobi Olahraga dan Jalan-jalan. Penulis pernah aktif di beberapa organisasi di kampus seperti Himasiskal FTK-ITS dan BEM ITS.

“Berusaha, Berdoa, dan Tawakkal”

Email : Abdillah.hadi03@gmail.com

HP : 0812 1294 9197