

SKRIPSI

**ANALISA TEGANGAN PADA SISTEM INSTALASI PIPA
BALLAST KAPAL DENGAN PENDEKATAN SOFTWARE
CAESAR II**

Disusun dan diajukan oleh:

**REZKY PRATAMA SISANDE
D091 17 1506**



**DEPARTEMEN SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEGANGAN PADA SISTEM INSTALASI PIPA BALLAST KAPAL DENGAN PENDEKATAN SOFTWARE CAESAR II

Disusun dan diajukan oleh

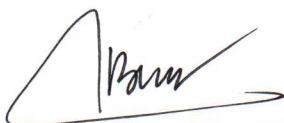
REZKY PRATAMA SISANDE
D091171506

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Departemen Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 Maret 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

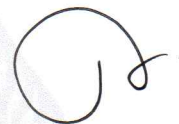
Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

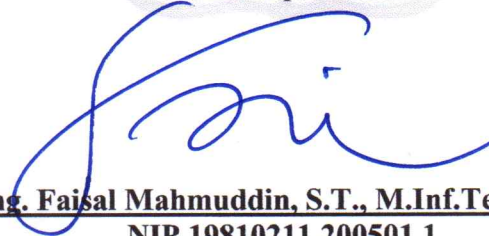


Baharuddin, ST., MT
NIP. 19720202199802100



Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T
NIP. 19870131201903007

Ketua Departemen



Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.
NIP.19810211 200501 1

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Rezky Pratama Sisande
NIM : D091171506
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISA TEGANGAN PADA SISTEM INSTALASI PIPA BALLAST KAPAL DENGAN PENDEKATAN SOFTWARE CAESAR II

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 20 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,



Rezky Pratama Sisande

ABSTRAK

REZKY PRATAMA SISANDE. *ANALISA TEGANGAN PADA SISTEM INSTALASI PIPA BALLAST KAPAL DENGAN PENDEKATAN SOFTWARE CAESAR II* (dibimbing oleh Baharuddin dan Muhammad Iqbal Nikmatullah)

Kapal memiliki sistem instalasi pipa ballast yang sangat penting dalam menjaga stabilitas kapal dan sistem instalasi layanan kapal yang memiliki rute perpipaan yang panjang karena harus mengisi tangki ballast di *double bottom* kapal sesuai kebutuhan. Fluida yang mengalir melewati instalasi pipa ballast akan menimbulkan beban karena itu, akan ada kemungkinan terjadinya jalur pipa kritis sehingga terjadi tegangan pada pipa. Tegangan dikatakan berbahaya jika melebihi batas izin yang telah ditentukan berdasarkan code dan standart. Selain tegangan, beban sustain juga dapat menimbulkan defleksi pada jalur perpipaan sehingga jalur pipa bersiko mengalami kegagalan serta kerusakan. Salah satu cara yang akan dibahas dalam penelitian ini yakni menganalisis nilai tegangan dan besarnya defleksi yang terjadi pada sistem pipa ballast dengan menggunakan software Caesar II serta analisis manual menggunakan formula. Kemudian melakukan modifikasi untuk mengoptimalkan desain sehingga penggunaan support dapat dikurangi namun masih dibawah batas izin tegangan dan batas maksimal defleksi. Support yang digunakan sebanyak 29 penyangga, dengan nilai tegangan desain sebelum dan sesudah modifikasi berdasarkan analisa Caesar II 18.752,8 Kpa dan 61.141,5 Kpa dengan batas izin 137.895,1 Kpa, dengan nilai maksimal defleksi yang didapat masing masing 0,4122 cm dan 0,4315 cm terhadap batas defleksi sebesar 0,44 cm.

Kata Kunci : Analisis Tegangan, maksimal defleksi, modifikasi, *Caesar II*, *ASME*

B31.3

ABSTRACT

REZKY PRATAMA SISANDE. *STRESS ANALYSIS OF SHIP BALLAST PIPE INSTALLATION SYSTEM USING CAESAR II SOFTWARE APPROACH (supervised by Baharuddin and Muhammad Iqbal Nikmatullah)*

The ship has a ballast pipe installation system which is very important in maintaining the stability of the ship and a ship service installation system that has long pipeline routes because it has to fill the ballast tanks in the ship's double bottom as needed. Fluid flowing through the ballast pipe installation will cause a load. Therefore, there will be a possibility of a critical pipeline causing stresses in the pipeline. The voltage is said to be dangerous if it exceeds the permissible limits that have been determined based on codes and standards. In addition to stress, sustain loads can also cause deflection in the pipe so that the pipe is at risk of failure and damage. One way that will be discussed in this study is to analyze the stress value and the amount of deflection that occurs in the ballast pipe system using Caesar II software and manual analysis using simple equations. Then modifications are made to optimize the design so that the use of the supports can be reduced but still below the allowable stress limits and maximum deflection limits. The supports used are 29 supports, with design stress values before and after modification based on Caesar II analysis of 18,752.8 Kpa and 61,141.5 Kpa with a permit limit of 137,895.1 Kpa, with maximum deflection values obtained respectively 0.4122 cm and 0.4315 cm to the deflection limit of 0.44 cm.

Keywords: Stress analysis, maximum deflection, modification, Caesar II, ASME B31.3

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	I
PERNYATAAN KEASLIAN.....	II
ABSTRAK.....	III
ABSTRACK	IV
DAFTAR ISI.....	V
DAFTAR TABEL.....	VII
DAFTAR GAMBAR	VIII
DAFTAR LAMPIRAN.....	X
DAFTAR SIMBOL.....	XI
KATA PENGANTAR	XII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengertian Umum.....	6
2.1.1. Jenis dan Bahan Pipa.....	6
2.1.2. Size Pipa.....	7
2.1.3. Komponen dan Support Pipa	8
2.1.4. Beban Pipa	11
2.2 Defleksi (Displacement).....	12
2.2.1. Defleksi Sistem Perpipaan	12
2.3 Tegangan Pipa	15
2.3.1. Perhitungan Tegangan Pipa	15
2.3.2. Tegangan Izin Pada Pipa.....	22
2.4.3. Code dan Standart	25
2.4. Perangkat Lunak Software Caesar II.....	26
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	29
3.1 Metodologi Penelitian	29
3.1.1 Pengumpulan Data	29
3.1.2 Waktu Penelitian	29
3.1.3 Pemodelan Pipa dengan Metode Element Hingga.....	29
3.1.4 Parameter Analisis	31
3.2 Data Penelitian	32

3.2.1	Data Kapal.....	32
3.2.2	Data Komponen Sistem Pipa Ballast	34
3.2.3	Data Spesifikasi Pipa	34
3.3	Kerangka Berpikir	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Analisa Data	38
4.1.1.	Menghitung Berat Total (W_t).....	38
4.1.2.	Ketebalan Minimum (t).....	38
4.1.3.	Batas Tegangan Izin.....	39
4.2	Pembuatan Model dan Input Caesar II	39
4.2.1.	Nilai Tegangan dan Displacement Pada Desain	42
4.2.2.	Perhitungan Manual Tegangan Desain	44
4.2.3	Rasio Perbandingan Nilai Tegangan Izin dan Tegangan Desain	46
4.3	Modifikasi dan Validasi Perhitungan	48
4.3.1	Desain Pipa Ballast dan Support.....	48
4.3.2	Penentuan Jarak Antar Support.....	53
4.3.3	Desain Modifikasi	55
4.3.4	Analisa Manual Tegangan Desain Modifikasi.....	61
4.3.5	Rasio Hasil Analis Software dan Kalkulasi Manual	62
4.4	Validasi Nilai Tegangan dan Displacement	64
4.4.1	Evaluasi Nilai Tegangan Desain	64
4.4.2	Evaluasi Nilai Perubahan Displacement	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN.....		73

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Daftar maksimal defleksi	13
Tabel 2 Data utama kapal.....	32
Tabel 3 Data komponen sistem pipa ballast.....	34
Tabel 4 Data parameter spesifikasi pipa	35
Tabel 5 Nilai tegangan tertinggi running Caesar II.....	42
Tabel 6 Nilai dari 10 node defleksi tertinggi	44
Tabel 7 Nilai tegangan pada analisa Caesar II.....	47
Tabel 8 Nilai tegangan manual dan analisa Caesar II.....	47
Tabel 9 Tegangan tertinggi Caesar II pada desain sebelum modifikasi.....	51
Tabel 10 Nilai dari 10 node defleksi tertinggi pada desain sebelum modifikasi ..	53
Tabel 11 Tegangan tertinggi Caesar II pada desain setelah modifikasi.....	57
Tabel 12 Nilai dari 10 node defleksi tertinggi pada desain setelah modifikasi	60
Tabel 13 Nilai tegangan Caesar II dan manual pada desain modifikasi	63
Tabel 14 Nilai Tegangan desain sebelum dan setelah modifikasi dengan running Caesar II dan manual.....	65
Tabel 15 Nilai defleksi maksimal desain dan batas izin	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Size Pipa (Sumber : https://new-tp.ppns.ac.id/post/pipa)	7
Gambar 2 Support hangers (Sumber : mechasource.blogspot).....	9
Gambar 3 Support guide (Sumber : axis-india.com/product-category)	10
Gambar 4 Support restrain (Sumber : https://www.dipa.de/en/product).....	10
Gambar 5 Support U bolt (Sumber : https://offer.alibaba.com/cps)	11
Gambar 6 maksimal defleksi (Sumber : docplayer.info .2020)	15
Gambar 7 Tegangan axial (Sumber : Chamsudi).....	17
Gambar 8 Tegangan tekuk(Sumber : Chamsudi Copy Right/6/1/2005).....	18
Gambar 9 Tegangan tekan (Sumber : Chamsudi)	19
Gambar 10 Tegangan hoop (Sumber : Chamsudi).....	19
Gambar 11 Tegangan radial (Sumber : Chamsudi Copy Right/6/1/2005).....	20
Gambar 12 Tegangan geser (Sumber : Chamsudi)	21
Gambar 13 Tegangan torsi (Sumber : Chamsudi).....	21
Gambar 14 Formula code Caesar II (Sumber : docs.hexagonppm .2019)	28
Gambar 15 Diagram pipa	33
Gambar 16 Desain isometrik sistem instalasi pipa ballast	34
Gambar 17 Desain isometrik sistem pipa ballast	40
Gambar 18 Titik tegangan tertinggi	41
Gambar 19 Presentase level tegangan pada Caesar II.....	41
Gambar 20 Defleksi tertinggi desain pada sumbu x	43
Gambar 21 Defleksi tertinggi desain pada sumbu y	43
Gambar 22 Grafik Perbandingan kalkulasi manual dan analisa Caesar II.....	48
Gambar 23 Desain isometrik pipa ballast sebelum modifikasi.....	50
Gambar 24 Defleksi tertinggi pada desain sebelum modifikasi disumbu x.....	52
Gambar 25 Defleksi tertinggi pada desain sebelum modifikasi disumbu y.....	52
Gambar 26 Desain isometrik pipa ballast setelah modifikasi	56
Gambar 27 Tegangan tertinggi desain isometrik pipa ballast setelah modifikasi.....	57
Gambar 28 Defleksi tertinggi pada desain setelah modifikasi disumbu x.....	59
Gambar 29 Defleksi tertinggi pada desain setelah modifikasi disumbu y.....	60
Gambar 30 Grafik perbandingan analisa manual dan Caesar II setelah modifikasi	64

Gambar 31 Grafik Rasio perbandingan nilai tegangan desain dan batas izin tegangan	65
Gambar 32 Grafik Rasio perbandingan nilai defleksi sebelum dan setelah modifikasi terhadap batas izin maksimal defleksi	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain kapal dimulai dari general arrangement, gambar instalasi ballast, isometrik desain.....	73
Lampiran 2 Data kapal dan spesifikasi pipa	78
Lampiran 3 Katalog Valve, Flange, Tabel ASME B31.3	79
Lampiran 4 Geometri model Caesar II.....	83
Lampiran 5 Silhouette Model Caesar II.....	83
Lampiran 6 Dimensi Pipa pada ASME-B36.10M WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE 2015	84
Lampiran 7 Tabel Tegangan Izin ASME B31.3	85
Lampiran 8 Tabel Specified Minimum Tensile Strength Pada ASME B31.3	86
Lampiran 9 Tabel Properti Pipa Dari Buku Sam Kannapan	87
Lampiran 10 Tabel Modulus Elastisitas.....	87
Lampiran 11 Node tegangan tertinggi pada desain tanpa suport	88
Lampiran 12 Node tegangan tertinggi desain sebelum modifikasi.....	88
Lampiran 13 Node tegangan tertinggi setelah modifikasi	88
Lampiran 14 Node Defleksi Tertinggi pada desain tanpa support.....	88
Lampiran 15 Node defleksi tertinggi desain sebelum modifikasi.....	90
Lampiran 16 Node defleksi tertinggi desain setelah modifikasi.....	92

DAFTAR SIMBOL

Ls	=	Pipa Span	(ft) (in) (mm)
OD	=	Diameter luar	(in) (mm)
ID	=	Diameter dalam	(in) (mm)
NPS/DN	=	Diameter nominal	(in) (mm)
SCH	=	Schedule	(in) (mm)
Sh	=	Tegangan yang diizinkan	(psi)
Z	=	Section modulus pipa	(in ³)
w	=	Berat total pipa / satuan Panjang	(lb/in)
Δ	=	Defleksi yang diizinkan	(In)
δ	=	Defleksi maksimum	(In)
I	=	Moment inersia pada bentangan pipa	(in ⁴)
C	=	Koefisien Ekspansi Thermal	(In/In/F°)
L	=	Panjang Pipa	(ft)
ΔT	=	Perbedaan Temperature	(F°)
E	=	Modulus Elastisitas	(Psi)
α	=	Linear Thermal Expansion	(In/100ft)
A	=	Luas permukaan pipa	(In ²)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan kasih karunianya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Begitu banyak kendala yang penulis terima sebagai bagian dari proses penyusunan skripsi ini, namun berkat dan kasih karuniaNya telah membimbing penyusun untuk terus berusaha menyelesaikan salah satu mata kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Universitas Hasanuddin.

Ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di departemen Teknik Sistem Perkapalan – Universitas Hasanuddin. Penyusun harus mengakui, skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, semua karena keterbatasan waktu dan pengetahuan serta kemampuan penyusun sebagai manusia biasa. Untuk itu penyusun mohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi di dalam penyusunan skripsi ”*Analisa Tegangan Pada Sistem Instalasi Pipa Ballast Kapal dengan Pendekatan Software Caesar II*”. Dalam pengantar ini, penyusun berharap masukan dan saran agar ke depannya penyusun dapat lebih baik lagi dalam membuat karya tulis selanjutnya.

Selesainya skripsi ini tidak terlepas dari campur tangan Tuhan secara langsung, serta bantuan dan dorongan yang Tuhan berikan lewat berbagai pihak. Maka lewat karya tulis ini saya selaku penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus ikhlas dan sungguh sungguh kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

1. Pertama, kepada orang tua saya yang mensupport segala cita cita dan harapan saya. Kepada bapak yang selalu menemani dan mendukung, juga kepada alm. Ibu saya, yang melahirkan, merawat, mendidik sampai saya bisa dititik ini, atas semuanya, dan saya percaya ibu akan selalu senantiasa bangga di alam sana.
2. Kepada bapak Baharuddin, S.T.,M.T, yang memberikan berbagai ilmu serta masukan dalam pembuatan skripsi saya, serta berkenan menjadi pembimbing 1 dalam skripsi saya.

3. Kepada ibu Ir. Syerly Klara, MT. selaku pembimbing akademik serta penguji dalam skripsi saya, terima kasih atas bimbingannya selama beberapa tahun ini, juga arahan ibu selama saya berkuliah
4. Kepada bapak Ir. Zulkifli, M.T, selaku penguji dan juga dosen yang senantiasa mengajar, mendidik dan memberikan banyak ilmu serta arahan kepada kami mahasiswa agar menjadi lebih baik
5. Kepada bapak Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T. yang berkenanan membimbing dan mengajar saya dalam mendalami beberapa software, juga selalu memberi arahan selama proses pembuatan skripsi saya.
6. Kepada nenek saya terkasih, dan kepada tante saya Vera Miryam yang selalu mendukung baik lewat perhatian, maupun dari segi materi.
7. Seluruh dosen dan staff pengajar yang telah mengabdikan diri untuk menjadi pengajar ilmu di Program Studi Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin
 - Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng. ;
 - Andi Husni Sitepu, ST., MT. ;
 - Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.Ing;
 - M. Rusdy Alwi, ST., MT;
 - Hasnawiyah Hasan, ST., M.Eng;
 - Rahimuddin, ST., MT;
 - Haryanti Rivai, ST., MT.,Ph.D;
 - Dr. Andi Haris Muhammad, ST., MT.
 - Balqis Shintarahayu, ST., MSc.
8. Rekan-rekan S1 Teknik Sistem Perkapalan 2017 khususnya Achmad Faiz Fanzuri, Muh solihin, Asriel Efendi, Malika, Asyah, Tomi Purba serta rekan-rekan lainnya yang tidak sempat saya tuliskan satu persatu.
9. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga bantuan, bimbingan serta doa dari semua pihak akan menjadi berkat suatu hari nanti. Penulis menyadari penulisan skripsi ini memiliki banyak sekali kekurangan, baik itu dari segi pemilihan kata, bahasa, penulisan, pengolahan data dan lainnya. Sehingga dengan fakta tersebut penulis sekali lagi menekankan kepada

pembaca agar memberikan saran, koreksi, dan masukan, agar karya tulis ini bisa lebih baik dari sebelumnya. Untuk menutup, penulis berharap karya tulis ini bisa memberikan sedikit manfaat bagi pembaca dan juga merupakan kebanggaan bila skripsi ini bisa berguna bagi beberapa orang dalam memperdalam pengetahuan.

Makassar, 20 Maret 2023

Penyusun

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan alat transportasi yang memiliki banyak sistem perpipaan, baik itu dalam seperti instalasi untuk permesinan, sistem pelayanan dikapal, dan segala jenis pelayanan distribusi lainnya dikapal itu menggunakan sistem perpipaan diprosesnya. Dari fakta ini dapat disimpulkan bahwa instalasi pipa di kapal merupakan sistem yang sangat penting.

Didalam kapal terdapat berbagai jenis sistem instalasi perpipaan, salah satunya sistem pipa ballast. Sistem ballast berfungsi untuk menjaga keseimbangan kapal apabila terjadi trim, terutama pada saat kapal sedang kosong (tanpa muatan) atau saat bongkar muat. Jadi sistem pipa ballast merupakan sistem yang sangat penting dalam menjaga stabilitas pada kapal dan juga termasuk sistem instalasi layanan kapal yang memiliki rute perpipaan yang panjang karena harus mengisi tangki ballast di *double bottom* kapal sesuai kebutuhan, serta sistem ballast merupakan sistem yang paling sering beroperasi.

Berdasarkan dari pengamatan pada sistem ballast maka ada kemungkinan tegangan yang besar terjadi diproses ballasting dikapal. Hal ini bisa menimbulkan tegangan primari atau hanya tegangan sekunder saja. Sistem instalasi pipa ballast mengangkut fluida cair yaitu air laut. Pada sistem perpipaan secara umum terdiri dari komponen-komponen seperti pipa, katup, fitting (*elbow, reducer, tee*), flange, nozzle, instrumentasi (peralatan untuk mengukur dan mengendalikan parameter aliran fluida, seperti temperatur, tekanan, laju aliran massa, level ketinggian), peralatan atau equipment (alat penukar kalor, bejana tekan, pompa kompressor), support pipa (pipa support dan pipa hanger) dan komponen khusus (*strainer, drain, vent*).

Fluida yang mengalir melewati instalasi pipa diballast akan menimbulkan beban, baik itu beban pipa, beban fluida maupun beban thermal yang timbul akibat dari adanya selisi perbedaan temperatur awal dan temperatur kerja. Perlu diperhatikan beban yang akan diterima oleh jalur perpipaan mengingat ada material yang sedang diangkut. Pada kenyataannya tidak semua jalur perpipaan yang telah

dipasang berjalan dengan baik, kemungkinan terjadinya jalur pipa kritis yaitu jalur pipa yang mengalami tegangan (*stress*). Tegangan bisa dikatakan berbahaya apabila melebihi batas besaran maksimal yang telah diatur oleh *code/standard*. Secara spesifik untuk pipa ballast yang akan dianalisa nanti memiliki batasan tegangan bergantung terhadap standart ASME dengan menentukan berdasarkan temperature, maka desain harus memiliki batasan tegangan sebesar 2000 psi atau 138.000 Kpa. Dengan pipa meliwati batas tegangan ini bisa menyebabkan timbulnya daerah kritis ini oleh beban statis sehingga menyebabkan bentuk aliran dalam pipa berubah dari laminar menjadi turbulen sehingga jalur pipa itu bergetar.

Dengan tegangan berlebih juga memberi dampak yaitu deformasi, yang merupakan perubahan pada material baik perubahan dimensi maupun struktur karena mendapat beban dari luar. Dengan timbulnya defleksi, bisa saja membuat model dari sistem pipa menjadi kurang maksimal, kegagalan material, posisi support yang akan ditarik oleh pipa sehingga menyebabkan kelonggaran pada support. Oleh sebab itu, maka perlu dilakukan analisis terhadap keadaan sistem instalasi pipa yang sedang berproses, terlebih pada penelitian ini terfokus pada sistem pipa ballast. Pengamatan ini memfokuskan pada perhitungan nilai tegangan berdasarkan jumlah pemakaian support yang efektif dengan cara mengetahui *critical line* pada node node tertentu, sehingga kita dapat memberikan support dengan tepat dan mencegah terjadinya deformasi juga kegagalan yang timbul apabila adanya beban tegangan melebihi batas dari tegangan izin sesuai dengan standart dan code. Defleksi yang diterima oleh jalur pipa juga ditentukan dengan batas 0.227 inch, nilai ini berdasarkan maksimal defleksi secara umum.

Dalam menentukan letak support yang efektif maka dimulai dari analisa desain dan node kritis untuk bisa mengetahui titik tertentu yang memiliki nilai tegangan tertinggi. Metode seperti *trial and error* digunakan dalam menentukan posisi support dan jumlah maksimal yang dapat dikurangi agar support bisa lebih sedikit digunakan namun tetap efektif mencegah adanya defleksi.

Dari penjelasan sebelumnya, maka penulis akan melakukan riset serta analisa tegangan pipa pada karya tulis yang berjudul ”**Analisa Tegangan pada Sistem Instalasi Pipa Ballast Kapal dengan Pendekatan Software Caesar II**”. Penulis ingin mengetahui jumlah support yang akan diberikan, agar lebih efektif dari desain

sebelumnya, berdasarkan standart ASME untuk nilai tegangan dan maksimal defleksi.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai tegangan pada desain sistem pipa ballast dengan beban sustain pada analisis software Caesar II dan kalkulasi manual
2. Berapa perubahan nilai defleksi pada desain yang sudah dimodifikasi
3. Berapa jumlah support yang dikurangi terhadap desain awal, dengan memperhatikan nilai tegangan dan defleksi maksimal.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah yang akan diteliti antara lain sebagai berikut.

1. Mengabaikan pipa yang terhubung dengan equipment dinamis dan beban dinamika (*occasional*)
2. Pada penelitian ini lebih difokuskan terhadap tegangan normal atau *primary stress* pada sistem instalasi pipa ballast kapal.
3. Untuk nilai ketetapan dan koefisien lainnya mengacu pada code dan standart ASME serta komponen pipa seperti flange, valve dan lain lain mengacu pada Standart ASME
4. Analisa hanya berfokus pada jalur utama pipa, serta komponen yang analisa ialah flange, bend, *support*, serta sambungan *tee*.
5. Hanya menghitung tegangan pada beban sustain
6. Analisis dilakukan dengan perhitungan menggunakan aplikasi Caesar II dan perhitungan dengan menggunakan formula numerik
7. Kalkulasi manual sebagai validasi nilai akan dihitung menggunakan formula yang ada direferansi oleh buku sam kannapan
8. Tidak menghitung kecepatan fluida dan *thermal expansion* hal ini berdasarkan fluida yang diangkut.
9. Berfokus terhadap beban sustain untuk mendapatkan nilai tegangan yang akan dijadikan patokan terhadap desain

10. Variable dalam analisa manual ditentukan berdasarkan opsi yang digunakan dalam analisa disoftware.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai tegangan pada desain sistem pipa ballast dengan beban sustain pada analisis software Caesar II dan kalkulasi manual
2. Mengetahui perubahan nilai defleksi pada desain yang sudah dimodifikasi
3. Mengetahui jumlah support yang dikurangi terhadap desain awal, dengan memperhatikan nilai tegangan dan juga defleksi maksimal

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan menjadi pembelajaran dalam proses analisa tegangan yang ada pada suatu sistem perpipaan, dengan menggunakan standart dan code internasional yakni ASME. Dari proses ini juga diharapkan bisa mendapatkan hasil dan nilai tegangan serta bentuk deformasi yang terjadi pada jalur utama perpipaan di sistem instalasi pipa ballast, sehingga nilai tegangan yang didapatkan bisa menjadi bahan acuan untuk mengetahui potensi kegagalan material yang akan terjadi akibat nilai tegangan yang telah dianalisis.

Kemudian melakukan modifikasi desain untuk memberikan opsi lain dari desain sebelumnya. Dengan memperhatikan *safety factor*, agar dalam pengoperasian sistem bisa aman dan mudah diawasi untuk menghindari resiko terjadinya kegagalan material pada sistem pipa.

Selain itu dalam proses penelitian ini digunakan untuk mengetahui potensi pengurangan jumlah support tanpa menghasilkan tegangan dan defleksi yang melewati batas izin, dengan harapan desain akan lebih efisien dalam jumlah support yang akan diberikan.

Serta dengan adanya penelitian ini, kita akan mengetahui seberapa besar peranan support pipa terhadap perubahan nilai tegangan dan defleksi yang diterima suatu instalasi.

Diharapkan juga, karya tulis ini juga diharapkan menjadi bahan pembelajaran untuk pengenalan awal analisis tegangan pada pipa.

1.6 Sistematika Penulisan

Gambaran secara umum sistematika dalam penulisan skripsi ini secara singkat

BAB I. PENDAHULUAN yang berisi tentang :

- Latar Belakang
- Rumuasan Masalah
- Batasan Masalah
- Tujuan Penelitian
- Manfaat Penelitian
- Sistematika Penelitian

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA yang berisi tentang :

- Pengertian Tentang Pipa
- Defleksi (Displacement)
- Thermal Expansion
- Tegangan Pipa
- Software Caesar II

BAB III. METODOLOGI dan DATA PENELITIAN yang berisi tentang:

- Metodologi Penelitian
- Data Penelitian
- Kerangka Berpikir

BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN yang berisi tentang :

- Analisa Data
- Pembuatan Model dan Input Caesar II
- Modifikasi dan Validasi Perhitungan
- Validasi Nilai Tegangan dan Defleksi

BAB V PENUTUP yang berisi tentang :

- Kesimpulan
- Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

Pada dasarnya pipa berfungsi untuk mengalirkan fluida (zat cair, gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya. Dalam mengalirkan fluida pipa tidak boleh bocor dan pengaliran fluida perlu ada perbedaan tekanan antara titik awal dan titik akhir, serta gesekan yang terjadi antara pipa dan fluida harus diatasi.

2.1.1. Jenis dan Bahan Pipa

Pipa merupakan holdturbolar atau benda yang digunakan untuk mentransportasikan fluida dengan karakteristik liquid, gas, flapor, liquid solid serta powder. (Paniser,Roy 2002). Berdasarkan manufakturnya pipa dibagi menjadi 3 jenis, yakni:

- Metode Seamless Pipa, metode pembuatan tanpa sambungan, dari silinder kerja dibuat lubang menggunakan mandrel.
- Metode Butt Wilded Pipa, metode pembuatan terbuat dari plat yang disambungkan dengan cara Roll
- Metode Spiral Wilded Pipa, metode pembuatan dari plat yang dispiralkan lalu disambungkan dengan cara di *welding*.

Pipa diidentifikasi menjadi tiga kategori ukuran yang berbeda yaitu:

- Ukuran Pipa Nominal (NPS),
- Diameter Nominal (DN),dan
- Schedule (Sch).

Bahan-bahan pipa secara umum : Bahan-bahan pipa yg dimaksud disini adalah struktur bahan baru pipa tersebut yang dapat dibagi secara umum sebagai berikut:

- Carbon steel
- Carbon Moly
- Galvanees
- Ferro Nikel

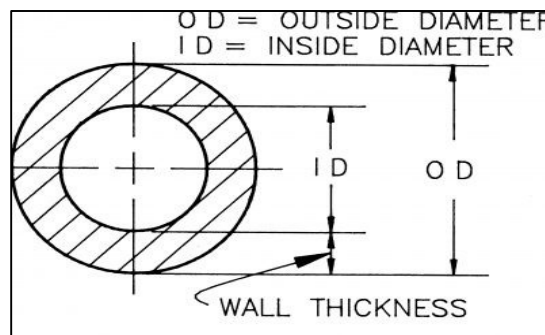
- Stainless Steel
- PVC (Paralon)

Sedang bahan-bahan pipa secara khusus dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Fibre Glass
- Aluminium
- *Wrought Iron* (besi tanpa tempa)
- *Cooper* (Tembaga)
- *Red Brass* (Kuningan Merah)
- *Nickel Cooper / Monel* (Timah Tembaga)
- *Nickel Chrom Iron / Inconel* (Besi Timah Chrom)

2.1.2. Size Pipa

Diameter luar (DO), Diameter dalam (DI). Serta untuk satuan dari nilai size pipa bisa menggunakan satuan imperial (inch) dan matrik (mm).



Gambar 1 Size Pipa (Sumber : <https://new-tp.ppns.ac.id/post/pipa>)

Nominal Pipe Size (NPS) digunakan untuk penamaan pipa saja. Dalam prosesnya istilah nominal mengacuh pada nama pipa, seperti saat kita mencari jenis kayu di took material biasanya kita mencari balok kayu dengan ukuran dimensinya misalnya “balok kayu 2 x 4”. Cara ini digunakan agar lebih mudah mengidentifikasi suatu material. Sedangkan untuk size diameter luar (DO) dan diameter dalam (DI) mengacuh pada ukuran diameter pipa dengan ukuran sebenarnya dimana letak pengukuran sesuai dengan namanya. (Mahardhika, Husodo, et al., 2021)

Ketebalan atau *wall ticknes*, memiliki batasan izin juga, untuk korosi. Nilai *wall ticknes* dapat dilihat pada tabel *schedule* pipa. Nilai dari *wall ticknes* akan dibandingkan pada nilai korosi yang dapat ditentukan dengan cara:

$$t = \frac{P \cdot D}{2(S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} \quad (1)$$

Kemudian nilai dari t_m akan ditambah dengan koefisien c , maka persamaannya:

$$t_m = t + c \quad (2)$$

Dimana:

c = Jumlah batas perlakuan material (mm)

D = Diameter Luar Pipa (mm)

E = Fakto Kualitas

W = Faktor reduksi kekuatan sambungan pengelasan

S = Nilai Tegangan Izin pad ASME B31,3

Y = Koefisien Y

Dalam proses pemipaan, metode sizing pipa mempertahankan diameter luar yang seragam sambil memvariasikan diameter dalam. Metode ini mencapai kekuatan yang diinginkan yang diperlukan untuk pipa untuk melakukan fungsi yang dimaksudkan saat beroperasi di bawah berbagai suhu dan tekanan. Untuk nilai size atau ukuran pipa mengacuh pada standar internasional “*The American Society Of Mechanical Enggineers*” atau dikenal dengan singkatan ASME dimana pada ASME B36 10M dan ASME B36 19 M. Dalam dunia perpipaan pipa untuk pendeskripsiannya dikenal Nominal Piping Size (NPS), *wall ticknes* pada pipa disebut juga dengan Schedule (Sch), serta pipa dalam standar ASME dikategorikan berdasarkan berat maka dibagi menjadi 3 kategori yaitu : *Standard (Std)*, *Extra Strong (XS)*, dan *Double Extra Strong (XXS)*.

2.1.3. Komponen dan Support Pipa

Sistem instalasi pipa terdiri dari komponen-komponen yang mendukung proses pemindahan fluidanya. Komponen perpipaan harus dibuat berdasarkan spesifikasi, standar yang terdaftar dalam simbol dan code yang telah dibuat atau dipilih sebelumnya. Komponen perpipaan yang dimaksud disini meliputi:

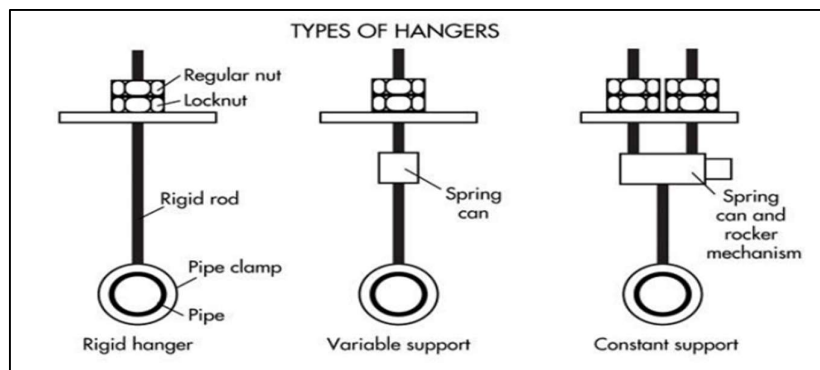
- *Pipe* (pipa)
- *Flange* (flens)
- *Fitting* (sambungan)
- *Valve* (katup)
- *Bolting* (baut)
- *Gasket*

Support dirancang agar dapat menahan berbagai macam bentuk pembebanan baik statis maupun dinamis. Penempatan support harus memperhatikan dari pergerakan sistem perpipaan terhadap profil pembebanan yang mungkin terjadi pada berbagai kondisi.

Support pada pipa tidak hanya berfungsi sebagai menahan berat pipa saja tetapi masih ada beban lain seperti expansion atau occasional yang perlu ditopang maka dari itu dibutuhkan support pipa, sebagai penahan beban yang ada pada pipa. (Azmi et al., 2018)

- Support Hanger

Support hanger berfungsi untuk meneruskan beban (load) seperti berat fluida, berat pipa, berat insulation yang akan diterima oleh sistem perpipaan yang kemudian diteruskan oleh support. Spring hanger/ support (tumpuan berpegas) digunakan sebagai alternatif dari tumpuan rigid, dimana berat dari pipa dapat ditahan tetapi perpindahan karena ekspansi termal tidak ditahan atau diakomodasikan oleh perubahan panjang dari pegas.



Gambar 2 Support hangers (Sumber : mechasource.blogspot)

- Guide Support

Guide merupakan jenis support yang berfungsi untuk menahan pipa dari pergerakan arah lateral. Biasanya guide dibuat menggunakan beam material yang dipotong sesuai dengan kebutuhan. Material guide tidak mempengaruhi korosi pada pipa berinsulasi maupun pipa tidak berinsulasi karena secara fisik tidak ada kontak antara pipa dengan material guide. Lokasi guide ditentukan oleh desain, baik pada perpipaan kritikal maupun non kritikal.



Gambar 3 Support guide (Sumber : axis-india.com/product-category)

- Pipe Restrain

Pipe restrain lebih khusus untuk menahan beban karena pergerakan pipa, atau lebih khususnya ke *thermal expansion load*. Pergerakan pipa disini, tidak hanya disebabkan oleh perubahan temperatur pipa yang tinggi atau rendah, pergerakan pipa disini dapat pula disebabkan oleh external force seperti angin. Namun, pipe restrain lebih di khususkan untuk menopang pergerakan oleh termal atau dinamik isi dari sistem perpipaan tersebut.



Gambar 4 Support resistrain (Sumber : <https://www.dipa.de/en/product>)

- U Bolt Support

U bolt merupakan jenis support yang paling umum digunakan. Support ini murah, mudah dipasang dan praktis. U bolt digunakan pada pipa dengan ukuran yang bermacam-macam, mulai dari ½ inchi hingga 8 inchi ke atas. Pada u bolt, terdapat mur baut sebagai pengencang. U bolt layaknya cincin, yang dipasang secara transversal pada pipa. Hal ini digunakan untuk menahan pergerakan pipa ke arah atas, kiri dan kanan. U bolt merupakan support untuk menahan beban karena pergerakan pipa, atau lebih khususnya ke thermal expansion load. Pergerakan pipa disini, tidak hanya di sebabkan oleh perubahan temperatur pipa yang tinggi atau rendah, pergerakan pipa disini dapat pula disebabkan oleh external force seperti angin.



Gambar 5 Support U bolt (Sumber : <https://offer.alibaba.com/cps>)

2.1.4. Beban Pipa

- Beban Statik (sustain, ekspansi dan *operating*)

Tegangan yang terjadi (aktual) pada beban sustain (tekanan, berat, dan beban mekanik sustain yang lain). Pada dasarnya adalah suatu beban yang disebabkan oleh pengaruh internal yakni tekanan, temperatur dan berat material pipa serta semua komponen dalam sistem.

- Beban Thermal

Beban yang timbul akibat ekspansi panas. Beban thermal dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan sumber penyebabnya, yaitu:

1. Beban thermal akibat pembatasan gerak oleh tumpuan, beban ini (gaya dan momen) timbul jika ekspansi atau kontraksi bebas perpipaan akibat thermal terhalang oleh tumpuan.

2. Beban thermal akibat perbedaan temperatur, beban ini terjadi akibat perubahan temperatur yang besar dan cepat, termasuk juga akibat distribusi temperatur yang tidak seragam karena adanya aliran kalor yang tinggi melalui dinding pipa.
3. Beban thermal akibat perbedaan koefisien ekspansi, beban ini terjadi pada sistem pipa yang materialnya mempunyai koefisien ekspansi yang berbeda.

2.2 Defleksi (Displacement)

Defleksi merupakan perubahan bentuk pada suatu benda / bidang yang disebabkan oleh pembebanan yang diberikan pada benda / bidang tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi suatu nilai defleksi.

1. Kekakuan merupakan kemampuan suatu benda menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk / deformasi. Semakin besar nilai kekakuan suatu bahan, semakin kecil juga defleksi yang dapat terjadi
2. Nilai pembebanan berbanding lurus dengan defleksi. Semakin besar pembebanan yang diberikan pada suatu benda semakin besar juga defleksi yang dihasilkan, begitupun sebaliknya.
3. Tumpuan berpengaruh karena jumlah reaksi dan arah berbeda-beda tiap jenisnya, sehingga defleksi yang ditimbulkan juga berbeda.
4. Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja. (Hariandja, 1996)

2.2.1. Defleksi Sistem Perpipaan

Untuk menghindari kegagalan pada sistem perpipaan, ketentuan span atau bentang antar 2 tumpuan / support pada pipa sudah dibuat. Untuk perhitungan sistem perpipaan yang terhubung dengan komponen statis maka hanya menggunakan *bending stress / base on limitation stress* dan *vertical deflection / base on limitation deflection* (Kannappan, 1985).

Untuk pipa yang ujungnya diasumsikan *simply support* yakni tumpuan sederhana yang bisa dirotasi. Satuan dari persamaan ini Imperial (Inch):

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\Delta I E}{22,5 w}} \quad \text{Based on Limitations of Deflection} \quad (3)$$

Dimana:

L_s = Pipa Span (ft)

Sh = Tegangan yang diizinkan (psi)

Z = Section modulus pipa (in³)

W = Berat total pipa / satuan Panjang (lb/in)

Δ = Defleksi yang diizinkan (In)

I = Moment inersia pada bentangan pipa (in⁴)

E = Modulus elastisitas pada temperatur desain (psi)

Menurut (Sherwood, 1973) dalam Tabel S-1, jarak maksimal pipe span (bentang antar support) dapat dikategorikan berdasarkan bahan pipa dan standar ketebalan dinding pipa. Berikut tabel S-1 yang dapat digunakan dalam menentukan defleksi maksimal berdasarkan schedule pipa:

Tabel 1 Daftar maksimal defleksi

Nominal Pipe Size	Pipe Span		Weight Of Water Filled Pipe Span (Lb)	Maximum Deflection
	Ft	In		
1.0 – INCH	16	1.07	33	0.244
1.5 – INCH	19	0.49	69	0.237
2.0 – INCH	20	11.53	107	0.230
2.5 – INCH	23	3.20	183	0.234
3.0 – INCH	25	3.65	273	0.227
4.0 – INCH	28	1.01	458	0.218
6.0 – INCH	32	10.37	1,035	0.202
8.0 – INCH	36	7.40	1,836	0.193
10.0 – INCH	40	0.55	2,987	0.185
12.0 – INCH	42	11.48	4,386	0.180
14.0 – INCH	44	11.52	5,463	0.179
16.0 – INCH	47	10.83	7,640	0.178

18.0 – INCH	50	10.65	10,289	0.179
20.0 – INCH	52	11.02	12,880	0.174
24.0 - INCH	57	5.84	19,844	0.171

(Sumber : docplayer.info.2020)

Untuk mencari defleksi maksimum yang terjadi pada sistem perpipaan selain menggunakan Tabel S-1 bisa juga menggunakan teori tegangan dan defleksi pada beban bobot mati. Ada beberapa tahapan untuk mengetahui nilai defleksi maksimum yang terjadi. Dalam penentuan jarak support perlu diperhatikan tegangan tekuk dan defleksi untuk memastikan keamanan yang lebih terhadap desain pipa, jadi perlu diketahui juga penentuan nilai defleksi maksimal dengan persamaan;

$$\delta_{\text{Desain}} = 17,1 \times \left(w \cdot \frac{Ls^4}{EI} \right) \quad (4)$$

Kemudian perlu diketahui persamaan nilai dari batas bending desain dan nilai bending izin dengan persamaan;

$$S_b = 1,2 \times \left(w \cdot \frac{Ls^2}{Z} \right) \quad (5)$$

Untuk nilai bending izin adalah:

$$S_h = \frac{S}{FH} \quad (6)$$

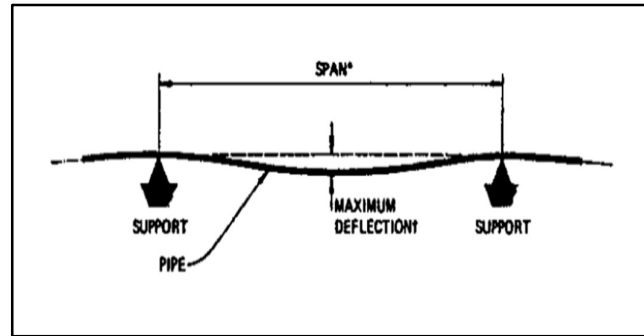
Perhitungan secara manual diawali dengan menghitung berat pipa per satuan panjang (w). Berat tersebut dapat dihitung sesuai dengan persamaan. (Kannappan, 1985) untuk nilai dari berat insulasi tergantung dengan pipa, dan cenderung untuk diabaikan.

$$\frac{\pi}{4}(OD^2 - ID^2) \cdot \rho_{\text{pipe}} \cdot L \quad (\text{Weight of Pipa}) \quad (7)$$

$$\frac{\pi}{4}(ID^2) \cdot \rho_{\text{fluida}} \cdot L \quad (\text{Weight of Content}) \quad (8)$$

$$\frac{\pi}{4}(D_{\text{ins}} - OD^2) \cdot \rho_{\text{insulasi}} \cdot L \quad (\text{Weight of Insulasi}) \quad (9)$$

$$W_p + W_c + W_i \quad (\text{Weight Total of Pipa}) \quad (10)$$



Gambar 6 maksimal defleksi (Sumber : docplayer.info.2020)

2.3 Tegangan Pipa

Sebuah sistem pipa haruslah didesain se-flexible mungkin demi menghindari pergerakan pipa (movement) akibat thermal expansion atau kontraksi thermal dan gaya axial yang bisa menyebabkan beban yang bekerja pada sistem menimbulkan tegangan dinding pipa. Kombinasi tegangan-tegangan yang bekerja pada dinding pipa akan menyebabkan regangan atau defleksi. Besarnya tegangan akibat beban operasi tekanan internal fluida yang dialirkan didalam pipa dapat diturunkan dari persamaan mekanika untuk bejana berdinding tipis. Tegangan pipa juga memiliki banyak proses perhitungan. Berikut proses piping analisis secara sederhana.

2.3.1. Perhitungan Tegangan Pipa

Perhitungan tegangan pada sistem perpipaan dapat dimulai dengan mengetahui dasar dasar tentang tegangan pipa, seperti penyebab dan juga jenis pada tegangan pipa. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui berapa tegangan yang terjadi pada jalur perpipaan. Tujuan hal ini kita dapat memahami jenis dan perhitungan tegangan pada sistem perpipaan. Standar dari desain tegangan pipa

Tegangan dalam pipa disebabkan oleh benda mati, tekanan, pemuaiian thermal, geometri pipa dan jenis material pipa. Batas tegangan pipa biasanya tergantung pada jenis material dan code produksinya. Kedua hal ini diterapkan berdasarkan teori kegagalan yang ada.

Dalam pembahasan code dan standart, tegangan pipa dibedakan menjadi dua yakni :

- Tegangan pipa aktual, yaitu tegangan hasil pengukuran strain gauge atau perhitungan analisa secara manual dan perangkat lunak komputer.

- Tegangan pipa code, yaitu tegangan hasil perhitungan menggunakan persamaan tegangan yang tertera pada code standart tertentu.

Tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai juga memerlukan arah. Nilai tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) persatuan luas (A). (Husen et al., 2018)

Tegangan yang terjadi dalam sistem perpipaan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yakni Tegangan Normal (Normal Stress) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*).

Tegangan normal terdiri dari tiga komponen tegangan, yang masing-masing adalah:

1. Tegangan longitudinal (S_L)

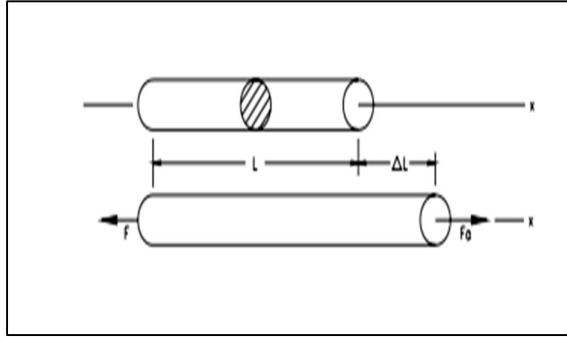
Tegangan longitudinal (S_L) adalah tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu longitudinal. Nilai tegangan ini akan dinyatakan positif jika tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik dan negatif jika tegangannya berupa tegangan tekan. Tegangan Longitudinal merupakan jumlah dari Tegangan Axial (*Axial Stress*), Tegangan Tekuk (*Bending Stress*) dan Tegangan Tekanan (*Pressure Stress*). (Husen & Jamaludin, n.d.)

Maka nilai total dari tegangan longitudinal yakni $S_L = S_{AX} + S_B + S_{LP}$

Mengenai ketiga tegangan ini dapat diuraikan berikut ini;

- Tegangan Axial (S_{ax})

Tegangan Axial (S_{ax}) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya F_{ax} yang bekerja searah dengan sumbu pipa seperti terlihat pada Gambar 7. Nilai dari tegangan axial dapat dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 7 Tegangan axial (Sumber : Chamsudi)

$$S_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} = \frac{P \cdot A_i}{\pi \cdot d_m} = \frac{P \cdot A_i}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_o^2 - d_i^2)} \quad (11)$$

Dimana :

A_m = Luas Penampang material pipa

$A_m = (\pi (d_o^2 - d_i^2) / 4) = (\text{in}^2)$

d_o = Diameter Luar Pipa

d_i = Diameter Dalam Pipa

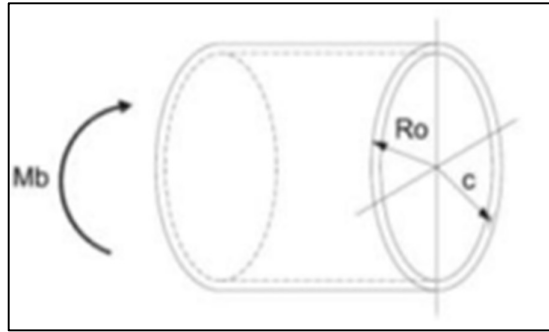
P = Tekanan dalam axial (psi)

A_i = Luas Penampang dalam pipa (in^2)

$A_i = \frac{\pi(d_i^2)}{4}$

- Tegangan Tekuk (S_B)

Tegangan Tekuk (S_B) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja diujung-ujung pipa. Dalam hal ini tegangan yang terjadi dapat berupa Tegangan Tekuk Tekan (*Tensile Bending*) atau Tegangan Tekuk Tarik (*Compression Bending*). Tegangan tekuk itu maksimum pada permukaan pipa dan nol pada sumbu pipa, karena tegangan tersebut merupakan fungsi jarak dari sumbu ke permukaan pipa. Tegangan tekuk maksimum terjadi pada permukaan pipa sedangkan tegangan minimum terjadi pada sumbu pipa seperti terlihat pada gambar 2.8. Nilai dari tegangan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 8 Tegangan tekuk (Sumber : Chamsudi Copy Right/6/1/2005)

$$S_b = \frac{M_b \cdot c}{I} = \frac{M_b \cdot r_o}{I} = \frac{M_b}{Z} \quad (12)$$

$$I = \frac{\pi(r_o^2 - r_i^4)}{64} \quad (13)$$

$$M_b = \frac{wL^2}{8} \quad (14)$$

$$c = \frac{r_2}{2} \quad (15)$$

Dimana :

I = Momen Inersia (in⁴)

M_b = Momen bending (lb·in)

w = Berat Pipa (lb/in)

L = Panjang pipa (in)

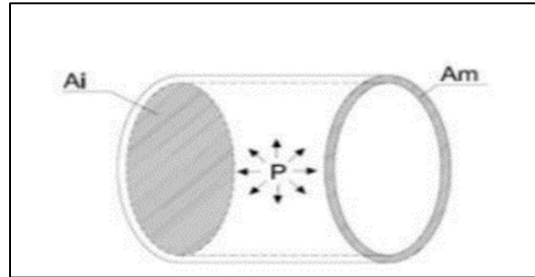
c = Jarak dari netral (in)

Z = Section modulud (in³)

r_o = jari jari pipa (in)

- Tegangan Tekan (SLP)

Tegangan Tekan (SLP) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (P) yang bekerja pada dinding pipa dan searah sumbu pipa atau dengan kata lain tegangan akibat tekanan dari fluida pipa seperti terlihat Nilai tegangan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:



Gambar 9 Tegangan tekan (Sumber : Chamsudi)

$$S_{Lp} = \frac{P \cdot A_i}{A_m} = \frac{P d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} = \frac{P d_i^2}{4 t d_m} = \frac{P d_o}{4 t} \quad (16)$$

Dimana :

P = Gaya tekan Internal (psi)

d_o = Diameter luar (in)

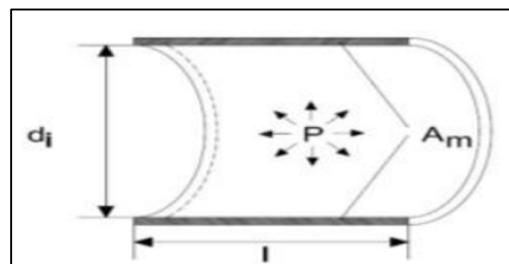
d_i = Diameter dalam (in)

t = Ketebalan pipa (in)

2. Tegangan Tangensial (*Hoop stress*)

Tegangan ini disebabkan oleh tekanan dalam pipa dimana tekanan ini bersumber dari fluida dan nilainya selalu positif jika tegangan cenderung membelah pipa menjadi dua. Tekanan dalam ini bekerja kearah tangensial dan besarnya bervariasi terhadap tebal dinding dari pipa, nilai tekanan yang diberikan kepada dinding pipa atau nilai tekanan yang dialami dinding pipa sama dengan tekanan yang diberikan oleh fluida. (Husen et al., 2018)

Rumus untuk tegangan tangensial dapat didekati dengan memakai persamaan berikut:

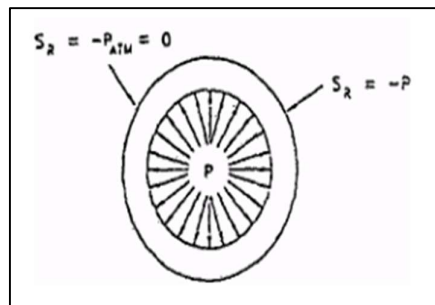


Gambar 10 Tegangan hoop (Sumber : Chamsudi)

$$S_H = \frac{P \cdot d_i \cdot L}{2 \cdot t \cdot L} = \frac{P d_i}{2t} = \frac{P d_o}{2t} \quad (17)$$

3. Tegangan Radial

Tegangan radial adalah tegangan yang bekerja pada dalam arah radial pipa atau jari-jari pipa. Nilai dari tegangan radial yang ditimbulkan karena adanya tekanan dari dalam pipa yang bervariasi pada dinding dalam pipadan dinding luar pipa. Nilai tegangan radial terbesar (maksimum) terjadi pada dinding dalam pipa, sedangkan nilai tegangan radial terkecil (minimum) terjadi pada dinding luar pipa.



Gambar 11 Tegangan radial (Sumber : Chamsudi Copy Right/6/1/2005)

$$\frac{P \cdot r_i^2}{r_o^2 \cdot r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (18)$$

Dimana :

P = Tekanan dalam (psi)

r_o = Radius luar (in)

r_i = Radius dalam (in)

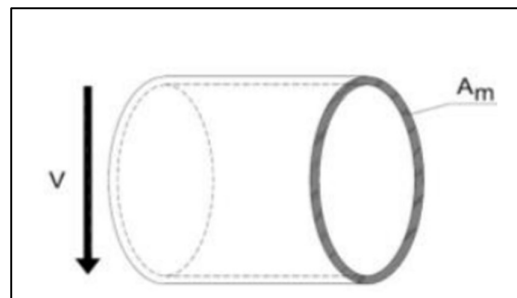
r = Jarak radius ke titik yang sedang diperhatikan (in)

Tegangan ini merupakan tegangan kompresi (nilainya negative), jika ada tekanan dalam pipa. Dan merupakan tekanan tarik positif jika didalam pipa terjadi tekanan hampa, maka dari itu tegangan ini diabaikan, terkadang nilainya 0 atau min psi.

Tegangan geser pada sistem perpipaan antara lain akibat gaya dari tumpuan pipa (pipa support) dikombinasikan dengan gaya tekuk. Berdasarkan penyebabnya, tegangan geser dibagi menjadi 2 yakni:

1. Tegangan geser

Tegangan geser mencapai nilai maksimum pada sumbu pipa dan minimum pada jarak terjauh dari sumbu pipa (yaitu permukaan luar pipa). Seperti halnya pada tegangan radial, besar tegangan geser ini kebalikan dengan tegangan tekuk, sehingga tegangan geser relatif kecil dibandingkan dengan tegangan tekuk, sehingga dapat diabaikan.

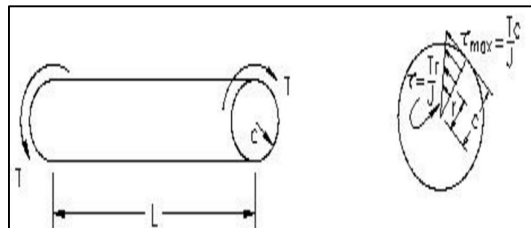


Gambar 12 Tegangan geser (Sumber : Chamsudi)

$$\tau_{max} = \frac{v Q}{A_m} \quad (18)$$

2. Tegangan Torsi

Suatu bentangan bahan dengan luas permukaan tetap dikenahi suatu puntiran (*twisting*) pada setiap ujungnya dan puntiran ini disebut juga dengan torsional, dan bentangan benda tersebut dikatakan sebagai poros (*shaft*). Untuk suatu poros dengan panjang L dan jari-jari c dikenahi torsi T (sepasang). (Chamsudi, 2005)



Gambar 13 Tegangan torsi (Sumber : Chamsudi)

$$\mathcal{J}_{\max} = \frac{M_T}{2 \cdot Z} = \frac{w \cdot L}{2 \cdot Z} \quad (19)$$

Nilai Tegangan geser Total yakni :

$$\mathcal{J}_{\max} = \frac{VQ}{A_m} + \frac{T \cdot R_o}{2 \cdot Z} \quad (\text{psi}) \quad (20)$$

2.3.2. Tegangan Izin Pada Pipa

Tegangan yang terjadi secara aktual berdasarkan pada hasil analisa komputer harus dapat dinyatakan bahwa sistem perpipaan adalah aman dalam arti tidak ada suatu masalah akibat dari opsional baik oleh beban sustain, beban thermal maupun beban occasional

Peninjauan sistem perpipaan adalah aman apabila beban tegangan yang terjadi mempunyai nilai rasio lebih kecil atau sama dengan 1 dari tegangan izin sebagaimana telah ditetapkan dalam “Code maupun Standard”. (Chamsudi, 2005)

Tegangan yang terjadi secara aktual berdasarkan pada hasil analisa komputer harus dapat dinyatakan bahwa sistem perpipaan adalah aman dalam arti tidak ada suatu masalah akibat dari opsional baik oleh temperatur, tahanan, sustain maupun beban occasional (beban sewaktu-waktu terjadi).

Peninjauan sistem perpipaan adalah aman apabila beban tegangan yang terjadi mempunyai nilai rasio lebih kecil atau sama dengan 1 dari harga allowablenya sebagaimana telah ditetapkan dalam “Code maupun Standard”. (Chamsudi, 2005)

Tegangan pada pipa berdasarkan beban atau kegagalan yang ditimbulkan dapat dikategorikan menjadi dua yakni

- Kegagalan tegangan stustain (*Primary*) adalah tegangan yang mengakibatkan kegagalan pipa secara langsung kerana melewati batas *yield* atau *ultimate strength* material pipa, dan
- Kegagalan tegangan ekspansi (*Secondary*) adalah tegangan yang mengakibatkan kegagalan karena terjadi berulang ulang namun tegangan yang terjadi masih dibawah *primary stress*.

1. Primary stress

Suatu kegagalan atau tegangan yang disebabkan oleh adanya beban sustain. Tegangan ini bisa dikatakan berbahaya, pada saat tegangan ini terjadi pada jalur pipa dan melewati batasan beban maka akan mengakibatkan kegagalan dan kerusakan pada material pipa.

Beban sustain sendiri merupakan jenis beban yang sifatnya berkelanjutan, artinya akan selalu ada selama proses operasi dari pipanya. Faktor dari sustain load :

$$\text{Design Pressure} > P$$

$$\text{Operating Weight} > WW$$

Berat operasi merupakan berat dari pipa, berat dari fluida, ditambah dengan berat insulasi dan komponen yang berada pada sistem tersebut. Karakteristik dari tegangan primari yakni :

- Kegagalan yang terjadi beban yang sangat besar.
- Kegagalan tidak dapat diselesaikan oleh dirinya sendiri, karena sekali terjadi deformasi plastik maka akan terjadi lagi secara terus menerus tanpa henti hingga membentuk “nacking” (pengecilan seperti leher) dan atau menghasilkan kegagalan pada penampang permukaan
- Sifatnya bukan siklus alami
- Beban sustain biasanya diakibatkan oleh adanya berat dan tekanan (*pressure*)
- Batasan yang diijinkan untuk tegangan sistem adalah berkisar pada tegangan yield material. (yaitu titik dimana deformasi plastik dimulai).
- Terjadinya kegagalan tersebut diawali dengan peringatan, karena akibat berat sehingga dapat menimbulkan displacement yang besar dan tidak disangka. (Chamsudi, 2005)

Didalam sistem perancangan jalur perpipaan, penempatan lokasi support pipa dititik yang tepat akan dapat mengurangi terjadinya primary stress. Jadi berdasarkan hal ini primary stress sangat bergantung pada perhitungan jarak antar support yang diizinkan. Primary stress

merupakan tegangan yang dipengaruhi oleh material dan juga temperatur, serta primary stress bisa saja terjadi ditegangan longitudinal, tegangan hoop dan juga tegangan radial, sehingga formula untuk tegangan primari ialah total dari tegangan longitudinal, hoop dan khusus radial (bisa diabaikan).

Maka primary stress yang terjadi pada beban sustain merupakan jumlah *stress longitudinal* (S_L) akibat efek tekanan, berat, dan beban sustain yang lain dengan tidak melebihi dari S_h , dimana S_h adalah batas izin tegangan pada kondisi atau suhu logam maksimum. (Husen & Jamaludin, n.d.). Secara matematis persamaan dari beban sustain dapat digambarkan seperti berikut:

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} + \frac{Pd_o}{4t} + \frac{M_b \cdot c}{I} \leq S_h \quad (21)$$

2. Secondary Stress

Tegangan yang disebabkan oleh *thermal expansion load* disebut dengan *secondary stress*. Fluida yang mengalir menyebabkan pipa mengalami pemuaian atau pengerutan. Beban thermal adalah stress yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur, jika temperatur naik akan mengakibatkan pemuaian sedangkan jika suhu menurun maka akan terjadi pengerutan. Pemuaian dan pengerutan akan mengakibatkan kegagalan dan kebocoran pada sambungan, misalnya sambungan pada pompa, vessel, tank dan lain-lain. (Husen & Jamaludin, n.d.)

Secondary stress adalah stress yang diakibatkan oleh beban thermal. Yaitu akibat temperatur fluida yang mengalir, yang menyebabkan pipa mengalami pemuaian atau pengerutan. Pipa akan menerima apa yang disebut dengan bending nature yang bekerja pada penampang pipa yang bervariasi dari negative ke positif dan timbul karena terjadinya beda defleksi secara radial dari dinding pipa. Sekondari stress bukanlah sebagai penyebab terjadinya kegagalan material secara langsung akibat beban tunggal. Kalaupun terjadi stress yang melewati yield strength, maka efeknya hanyalah terjadinya "*local deformation*" yang berakibat berkurangnya stress pada kondisi operasi.

Hanya saja jika hal ini terjadi berulang-ulang (siklus), maka akan timbul apa yang disebut “local strain range” yang berpotensi menjadi penyebab timbulnya kelelahan sehingga terjadi kegagalan kegagalan pada material disistem perpipaan. *Secondary stress* ini disebut juga dengan *Expansion Stress* atau Displacement Stress Range.

Secondary stress biasa disebut juga stress ekspansi. Tegangan yang diakibatkan oleh adanya ekspansi thermal dan atau displacementt (pergeseran) stress ekspansi akan dihitung sebagai berikut:

$$S_e = \sqrt{(s_b^2 + 4s_t^2)} \quad (22)$$

Dimana :

(S_b) = Bending Stress

(S_t) = Torsional Stress

2.4.3. Code dan Standart

Batasan yang telah ditetapkan berdasarkan “Code dan Standart” dapat dipaparkan dalam sub bab berikut. Pemakaian Code dan Standart tersebut harus sesuai dengan proses pada sistem perpipaan yang digunakan. Batatasan-batasan dalam Code dan Standart dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yakni pertama batasan yang berhubungan dengan tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan, kedua adalah batasan beban (gaya dan moment) yang terjadi pada equipment akibat beban operating dan sustain sistem perpipaan.

Sebagai catatan yang akan dibahas dalam analisa ini yakni batasan tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan. Untuk primary disebut *code allowable stress* dan untuk sekondari disebut *allowable stress range*.

1. Code Allowable Stress

Batasan tegangan pipa akibat dari primari stress, dikarenakan adanya beban sustain. Besar dari code allowable stress, bergantung pada material pipa juga pada temperatur juga termasuk. Dapat dilihat di Appendix A ASME/ANSI B31.3 adalah code yang sering digunakan dalam analisa pipa pada Chemical Plant dan Petroleum. Nilai aktual terhadap tegangan yang diijinkan pada setiap pembebanan dan perhatikan temperatur untuk

menentukan nilai. S_c (*Stress Cold*) adalah batasan tegangan pada temperatur dingin dan S_h (*Stress Hot*) adalah batasan tegangan untuk temperatur panas.

Cara kedua menghitung allowable stress menurut buku

Agustinus 2009, untuk menentukan besar dari batasan tegangan dapat dengan memilih nilai yang terkecil dari:

- Satu pertiga (1/3) dari *specified minimum tensile strength*
- Satu pertiga (1/3) dari *tensile strength* pada temperatur pengujian (perlu melakukan pengujian)
- Dua pertiga (2/3) dari *specified minimum yield strength*

2. Allowable Stress Range

Merupakan batasan tegangan untuk secondary stress yang ada akibat beban thermal, yang terjadi pada suatu material pipa dan komponennya mengalami beban berulang seperti beban akibat thermal atau ekspansi. Hal ini dilakukan untuk mencegah kegagalan akibat *fatigue* setelah diberikan beban berulang yakni dari beban thermal. Kegagalan yang disebabkan oleh gaya yang sama dan secara berulang itu pasti berhubungan dengan siklus. Untuk kondisi ekspansi thermal nilai tegangan izin material menurut ASME B31. 3 ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$S_a = 1,25 \cdot S_c + 0,25 \cdot S_h \quad (23)$$

Dimana :

S_c = Stress Cold (psi)

S_h = Stress Hot (psi)

f = Stress range faktor (psi)

2.4. Perangkat Lunak Software Caesar II

Caesar II merupakan sebuah program komputer ciptaan *Integrgraph Inc*, yang memiliki fungsi untuk menganalisis tegangan pada pipa atau sistem perpipaan. Cara kerja software ini yaitu dengan memodelkan sebuah sistem perpipaan sesuai data yang kita masukan dan caesar akan menampilkan displacement, tegangan, momen dan gaya, dll pada sistem perpipaan sesuai hasil perhitungan. Program CAESAR juga dapat membandingkan hasil perhitungan tegangan tersebut dengan

code ataupun standart yang digunakan dalam sistem perpipaan tersebut. Beberapa standart yang ada di aplikasi ini yaitu ANSI/ASME, JIS, dan DIN. (Abdillah, 2014)

Hal-hal yang perlu diketahui dan penting dalam Caesar II adalah :

- Dimensi dan jenis material
- Parameter operasi : temperatur, tekanan, fluida
- Parameter beban : berat isolasi, perpindahan, angin, gempa, dll
- Code yang digunakan
- Pemodelan : node, elemen, tumpuan.
- Selain itu kita juga dapat mengetahui aturan penempatan node:
- Definisi geometri : sistem start, interseksi, perubahan arah, end
- Perubahan parameter operasi : perubahan temperatur, tekanan, isolasi
- Definisi parameter kekakuan elemen : perubahan ukuran pipa, valve, tee, dll.
- Posisi kondisi batas : restrain, anchor
- Aplikasi pembebanan : aplikasi gaya, berat isolasi, gempa, dll
- Pengambilan informasi dari hasil analisis: gaya dalam, tegangan, displacementt, reaksi tumpuan, dll.

CAESAR II merupakan suatu perangkat lunak yang biasa digunakan untuk melakukan perhitungan pada analisis tegangan pipa. CAESAR II mampu memenuhi kebutuhan yang diperlukan untuk menghitung analisis tegangan pipa, seperti:

- Untuk merancang atau memodifikasi sistem perpipaan
- Patokan fisik yang digunakan untuk kuantifikasi perilaku “*mechanical system*” adalah percepatan, kecepatan, temperatur, gaya dan momen, stress, strain, perpindahan, reaksi tumpuan dll.
- Nilai batas yang diizinkan untuk setiap parameter ditetapkan agar tidak terjadi kegagalan sistem.
- Untuk menjaga tegangan didalam pipa dan fitting agar tetap dalam range yang diizinkan code.
- Untuk menghitung desain load yang diperlukan serta menentukan support dan restraint.
- Untuk menentukan perpindahan pipa.

Perangkat lunak ini sangat membantu dalam Engineering terutama didalam..mechanical..design..dan piping system..Pengguna Caesar II dapat membuat pemodelan sistem perpipaan, kemudian menentukan kondisi pembebanan sesuai dengan kondisi yang ada. Dengan memberikan atau membuat inputan, Caesar II dapat menghasilkan hasil analisa berupa stress yang terjadi, beban dan pergeseran terhadap sistem yang dianalisa.

Position	Longitudinal Stress (Sl)	Hoop Stress (Sh)	Shear Stress (St)	Radial Stress (Sr)
1	$\frac{P \cdot A_{in} + F_{ax} + \sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o + M_o)^2} \cdot R_o}{A_{xx}}$	$P \cdot \frac{R_i^2}{(R_o^2 - R_i^2)} \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_i^2} + 1 \right)$	$\frac{T \cdot R_o}{2 \cdot Z}$	0
2	$\frac{P \cdot A_{in} + F_{ax} + \sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o + M_o)^2} \cdot R_i}{A_{xx}}$	$P \cdot \frac{R_i^2}{(R_o^2 - R_i^2)} \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_i^2} + 1 \right)$	$\frac{T \cdot R_i}{2 \cdot Z}$	-P
3	$\frac{P \cdot A_{in} + F_{ax} - \sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o + M_o)^2} \cdot R_i}{A_{xx}}$	$P \cdot \frac{R_i^2}{(R_o^2 - R_i^2)} \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_i^2} + 1 \right)$	$\frac{T \cdot R_i}{2 \cdot Z}$	-P
4	$\frac{P \cdot A_{in} + F_{ax} - \sqrt{(i_i \cdot M_i)^2 + (i_o + M_o)^2} \cdot R_o}{A_{xx}}$	$P \cdot \frac{R_i^2}{(R_o^2 - R_i^2)} \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_i^2} + 1 \right)$	$\frac{T \cdot R_o}{2 \cdot Z}$	0

Gambar 14 Formula code Caesar II (Sumber : docs.hexagonppm.2019)