

**ANALISIS NUMERIK 2D SHACKLE MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK
ANSYS APDL 15.0**

SKRIPSI

OLEH :

AL'AZRYAN AMRY MAULANA HARAHAP

148130018



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN**

2020

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 14/1/21

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)14/1/21

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Numerik 2D Shackle Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS APDL 15.0
Nama Mahasiswa : Al'azryan Amry Maulana Harahap
NIM : 14.813.0018
Bidang Keahlian : Material Manufaktur

Laporan ini dibuat sebagai salah satu syarat penyelesaian studi di Program Sarjana S1 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, serta untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST).

Nama Dosen Pembimbing I : Zulfikar, ST., MT.

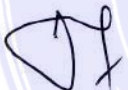
NIDN : 0007127307

Nama Dosen Pembimbing II : Bobby umroh, ST., MT.

NIDN : 0119018601

Dosen Pembimbing II,

Medan, 15 November 2019
Dosen Pembimbing I,



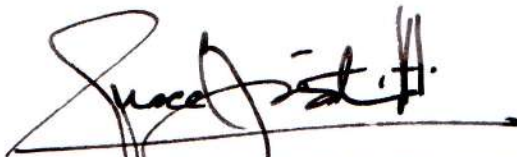
(Bobby umroh, ST., MT.)
NIDN. 0119018601



(Zulfikar, ST., MT.)
NIDN. 0007127307

Dekan Fakultas Teknik

Diketahui Oleh:
Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Dr. Grace Yuswita Harahap, ST., MT.)
NIDN. 0124127101



(Zulfikar, ST., MT.)
NIDN. 0007127307

HALAMAN PERYATAAN

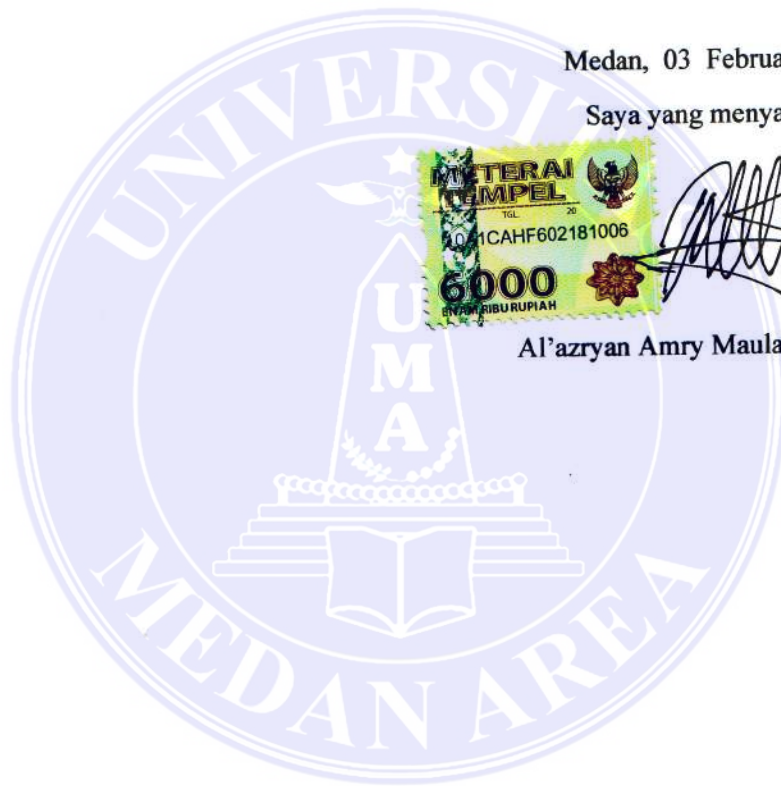
Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 03 Februari 2020

Saya yang menyatakan



Al'azryan Amry Maulana Harahap



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Al'azryan Amry Maulana Harahap
NIM : 148130018
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Analisi Numerik 2d Shackle Menggunakan Perangkat Lunak ANSYS APDL 15.0**. Dengan Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*data base*), merawat dan memublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 03 Februari 2020

Saya yang menyatakan



Al'azryan Amry Maulana Harahap

ABSTRAK

Jenis teknologi telah banyak berkembang yang bertujuan untuk memudahkan pekerjaan manusia. Shackle adalah alat yang sangat dibutuhkan untuk mengangkat serta memindahkan suatu barang dari satu tempat ke tempat lainnya. Pada proses gabungan mekanisme, kekuatan bahan dan struktur merupakan factor utama. Perhitungan dengan menggunakan metode elemen hingga ialah pilihan terbaik untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada shackle. Dalam penelitian ini, perhitungan MEH dikerjakan dengan bantuan software Ansys APDL 15.0. tujuan penelitian ini ialah: (1) mendisain bentuk shackle menggunakan MEH, (2) distribusi tegangan pada pin dan struktur shackle, (3) analisa kekuatan bahan menggunakan metode Tresca dan Energi Distorsi. Beban input berasal dari berat tangki yang akan digunakan. Metode analisis menggunakan MEH dengan jenis analisa structural den jenis elemen Beam 3Node 189. Berdasarkan hasil simulasi MEH, tegangan maksimum yang terjadi pada pin ialah 29,864 MPa dan defleksi maksimum ialah 0,0026 mm. Tegangan maksimum pada shackle ialah 76,02 MPa dan defleksi maksimum ialah 0,1881 mm. Berdasarkan teori Tresca dan Energi Distorsi, diperoleh bahwa tegangan yang terjadi masih jauh dari kriteria kegagalan struktur. Demikian juga dengan defleksi yang terjadi sangat kecil sehingga shackle aman digunakan.

Kata kunci: Shackle, MEH Simulasi, Analisa Kegagalan

ABSTRACT

Al Azryan Amry Maulana Harahap. 148130018. "The Analysis of Shackle 2D Numerical Using ANSYS APDL 15.0 Software". Supervised by Zulfikar, S.T., M.T. and Bobby Umroh, S.T., M.T.

Many types of technology have developed that aim to ease human work. A shackle is a tool that is very needed to lift and move a good from one place to another. In the combined process of mechanism, material and structure strengths are the main factors. Calculations using the finite element method are the best choice for finding out the stress that occurred in a shackle. In this study, the FEM (Finite Element Method) calculations conducted through the software support of Ansys APDL 15.0. This study aimed: (1) to design the shackle forms using FEM, (2) to distribute the stress on the shackles pin and structure, and (3) to analyze the strength material using the Tresca and Distortion Energy methods. The input load derived from the tank weight to be used. The analysis method used the FEM of structural analysis type and element kind of Beam 3Node 189. Based on the FEM simulation result, the maximum stress that occurred on the pin was 29.864 MPa and the maximum deflection was 0.0026 mm. Then, the maximum stress on the shackle was 76.02 MPa and the maximum deflection was 0.1181 mm. Refers to the Tresca and Energy Distortion methods, it gained that the stresses occurred still far from the criteria of structural failure. Thus on the deflection as well that occurred was very diminutive, so the shackle was safe to be used.

Keywords: Shackle, FEM Simulation, Failure Analysis

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Al'azryan Amry Maulana Harahap dilahirkan di Pangkalan Susu pada tanggal 12 November 1995. Penulis merupakan anak ke 3 dari 4 bersaudara, pasangan dari Arfan Harahap S.sos dan Enny Rika Susanti. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar di SD Negeri 050775 Pangkalan Susu dan Tamat pada Tahun 2007.

Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Swasta Dharma Patra Pangkalan Susu dan Tamat Pada Tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan Dharma Patra Pangkalan Berandan Jurusan Teknologi Informasi dan Komunikasi dan Tamat pada Tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan selesai pada tahun 2020.

KATA PENGANTAR

Assalaamu 'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun judul tugas akhir ini ialah : *"Analisis Numerik 2d Shackle Menggunakan Perangkat Lunak Ansys Apdl 15.0"*

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulisan sudah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan penyusunan dengan sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari bahwa keterbatasan pengetahuan dan pengalaman masih banyak kekurangan yang terdapat di dalam penyusunan seminar hasil ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan petunjuk dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Selama penulisan sampai dengan seterusnya penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun material yang tidak dapat dinilai harganya. Untuk itu melalui tulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Arfan Harahap S.sos dan Enny Rika Susanti selaku orang tua yang sangat saya sayangi dan cintai, dimana telah banyak memberikan perhatian, pendidikan, nasehat dan doa serta dukungan moral dan materi sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Zulfikar, ST.MT. dan Bobby Umroh ST.MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk

membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan tugas akhir ini.

3. Bapak Zulfikar, ST.MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Birokrasi Administrasi Fakultas Teknik.
5. Afrodhita Arika Arnisyah Harahap S.sos, Achmad Rifai Sohuturan Harahap dan Muhammad Rifqy Anshor Harahap selaku saudara kandung yang telah memberikan dorongan semangat dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Sahabat-sahabat terbaik ku Azwir Sofyan, Irvan Arta Wiguna, Rudy Alamsyah, Rangga, Muhammad Riyadi, Muhammad Rizal Irhami, Tua Perlindungan Simbolon, Calvin Parulian Simanjuntak, Adriel Hafiz Fanani, Felik Andhika Lubis, Roy Casanova, Suarman Sianturi, dan Kawan-kawan Seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2014 yang telah memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Terima kasih kepada Team Grenades Gamer Tono Sudiono, Andri Supani, Erwin Sumardiwinata, Geeta Sukawaty, Herdiansyah yang telah memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis dan semua pembaca.

Aamiin yarabba 'alamin

Medan, 31 Januari 2020



Al'Azryan Amry Maulana Harahap
148130018



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERYATAAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iii
ABSTRAK	iv
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II tinjauan pustaka.....	4
2.1 Shackle	4
2.2 Analisa Beban.....	4
2.2.1 Beban terpusat.....	5
2.2.2 Beban terdistribusi	5
2.3 Tangki Destilasi.....	6
2.4 Analisa Tegangan dan Regangan	7
2.5 Jenis-jenis Tegangan	8

2.5.1	Tegangan Normal.....	8
2.5.2	Tegangan Geser.....	10
2.6	Teori Kegagalan Struktur	11
2.6.1	Deformasi Plastis	11
2.6.2	Patah atau Rusak	11
2.7	Teori Tegangan Geser Maksimum (<i>Maximum sheare stress</i>).....	11
2.8	Teori Energi Distorsi (<i>Distortion energy</i>).....	12
2.9	Simulasi Software Ansys.....	12
BAB III METODE PENELITIAN.....		16
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2.	Alat	17
3.3.	Prosedur Perhitungan Kekuatan Struktur	18
3.4.	Prosedur Simulasi ANSYS APDL 15.0	19
3.5.	Diagram Alir Simulasi Software ANSYS	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Perhitungan Kekuatan Struktur	25
4.2	Proses Pemodelan Geometri Pin	26
4.2.1.	Permodelan Beam Pin.....	26
4.2.2.	Proses Meshing Pin.....	27
4.2.3.	Proses Load Pin.....	27
4.2.4.	Force Pada Pin	28
4.2.5.	Solve.....	29
4.3	Hasil Simulasi.....	30
4.3.1.	Hasil Simulasi Pin.....	30
4.4	Proses Pemodelan Geometri Shackle	34
4.4.1.	Pemodelan Beam Shackle	34
4.4.2.	Proses Meshing Shackle.....	35

4.4.3.	Proses Load Shackle	36
4.4.4.	Force Pada Shackle	37
4.4.5.	Solve.....	38
4.5	Hasil Simulasi.....	39
4.5.1.	Hasil Simulasi Shackle.....	39
4.6.	Analisa Kegagalan.....	43
4.6.1.	Teori Tegangan Geser Maksimum (<i>Maximum Sheare Stress</i>)	43
4.6.2.	Teori Energi Distorsi (<i>Distortion Energi</i>).....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		47
DAFTAR PUSTAKA		49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Shackle	4
Gambar 2. 2. Beban terpusat	5
Gambar 2. 3. Beban terdistribusi	6
Gambar 2. 4. Tangki destilasi	7
Gambar 2. 5. Tegangan normal.....	9
Gambar 2. 6. Tegangan tarik.....	9
Gambar 2. 7. Tegangan Tekan	10
Gambar 2. 8. Tegangan geser pada blok berpenampang empat segi panjang.....	10
Gambar 2. 9. Loga ANSYS	13
Gambar 3. 1. Laptop TOSHIBA SATELITE	17
Gambar 3. 2. Software ANSYS APDL 15.0.....	17
Gambar 3. 3. Alat ukur Vernier caliper.....	18
Gambar 3. 4. Alat Ukur Meteran	18
Gambar 3. 5. Tampilan proses preferensi	20
Gambar 3. 6. Kotak dialog Element type Solid Quad 4node 182	21
Gambar 3. 7. Kotak dialog menentukan Real Costant	21
Gambar 3. 8. Menentukan Linier Isotropic Material	23
Gambar 3. 9. Menentukan Densitas untuk Material	23
Gambar 3. 10. Diagram Alir Analisa Metode Element Hingga Dengan Software ANSYS.....	24
Gambar 4.1. Hasil Pemodelan Pin.....	26

Gambar 4.2. Hasil Meshing Pin.....	27
Gambar 4.3. Hasil memposisikan tumpuan.....	28
Gambar 4.4. Hasil Pemberian Beban Pin.....	29
Gambar 4.5. Perintah <i>Solve</i>	29
Gambar 4.6. Simulasi Telah Selesai.....	30
Gambar 4.7. Plot Result Displacment Vector Sum.....	30
Gambar 4.8. <i>Plot Result Tegangan Von Misess</i>	31
Gambar 4.9. <i>Reaction Solution</i> Per Node tumpuan.....	32
Gambar 4.10. Grafik <i>Displacment Vector Sum</i> tumpuan.....	32
Gambar 4.11. Grafik tegangan <i>Von Misess</i> tumpuan.....	33
Gambar 4.12. <i>Reaction Solution</i> Tumpuan.....	34
Gambar 4.13. Pemodelan Beam Pada Shackle.....	35
Gambar 4.14. Hasil <i>Meshing Shackle</i>	36
Gambar 4.15. Hasil Load Shackle.....	37
Gambar 4.16. Hasil Pemberian Beban.....	38
Gambar 4.17. Perintah <i>Solve</i>	38
Gambar 4.18. Hasil Simulasi Telah Selesai.....	39
Gambar 4.19. Plot Result Displacment Vector Sum.....	40
Gambar 4.20. Plot Result Tegangan Von Misess.....	40
Gambar 4.21. <i>Reaction Solution</i> Per Node Shackle.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Uraian Kegiatan.....	16
---------------------------------	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi sekarang telah banyak menghasilkan kreasi yang bertujuan untuk memudahkan pekerjaan manusia, serta dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi. Terutama untuk bagian konstruksi dan industri yang dikenal suatu alat yang dinamakan *shackle*. *Shackle* sangat dibutuhkan untuk mengangkat serta memindahkan suatu barang dari satu tempat ke tempat lainnya. *Shackle* adalah gabungan mekanisme pengangkat secara terpisah dengan rangka untuk mengangkat atau sekaligus mengangkat dan memindahkan muatan yang dapat digantungkan secara bebas atau diikatkan pada *shackle* [1].

Shackle memiliki komponen utama yang disebut dengan *crane* (kait) di mana komponen ini berfungsi sebagai pengait yang menghubungkan beban pada *crane*. *Shackle* tersebut dapat di analisa dengan menggunakan software Ansys (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0.

Sekarang telah banyak dikembangkan ilmu rekayasa dalam bidang ilmu elemen hingga yang menyatukan ilmu matematika, teknik dan komputer sehingga menghasilkan software Ansys (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0. Dari software ini dapat di desain bentuk kait sehingga sesuai dengan kapasitas angkat dan beban yang diberikan, dikarenakan kait harus dirancang dengan memperhitungkan secara detail dari segi fungsi, material, bentuk dan faktor keamanannya. Kait yang dirancang secara tidak benar akan berbahaya saat penggunaannya, sehingga perlu dilakukannya simulasi menggunakan software

Ansys (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0 agar konstruksi yang dibuat pada kait tidak mengalami kegagalan.

Dari fenomena yang muncul berdasarkan simulasi software Ansys (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0, penulis termotivasi untuk melakukan penelitian tentang tegangan yang bekerja pada kait tunggal, sehingga dari penelitian ini diperoleh data-data tegangan yang bekerja pada berbagai jenis *crane hook* (kait) agar dapat terhindar dari kegagalan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Membandingkan tegangan-tegangan yang bekerja pada *shackle* dengan menggunakan software Ansys APDL 15.0.
2. Membandingkan nilai defleksi pada *shackle* dengan menggunakan software Ansys APDL 15.0.

1.3 BATASAN MASALAH

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada :

1. Hanya membandingkan dan menganalisa tegangan yang bekerja pada *shackle*. *Shackle* tersebut berbahan baja.
2. Beban dan tumpuan yang diberikan pada *shackle* adalah sebesar 0,9 Ton dan tumpuan yang diberikan adalah jepit atau fix support.
3. Jenis *shackle* yang digunakan berjenis G-213 & S-213.
4. Tegangan puntir yang bekerja pada *shackle* diabaikan.

1.4 TUJUAN

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Desain bentuk *shackle* dengan bantuan *software* Ansys.
2. Mendapatkan distribusi tegangan dan perpindahan nodal pada *shackle* akibat berat tangki/objek.
3. Analisa kegagalan *shackle* dengan metode *Maximum sheare stress* dan *Distortion energy*.

1.5 MANFAAT

Manfaat dari penelitian ini adalah :

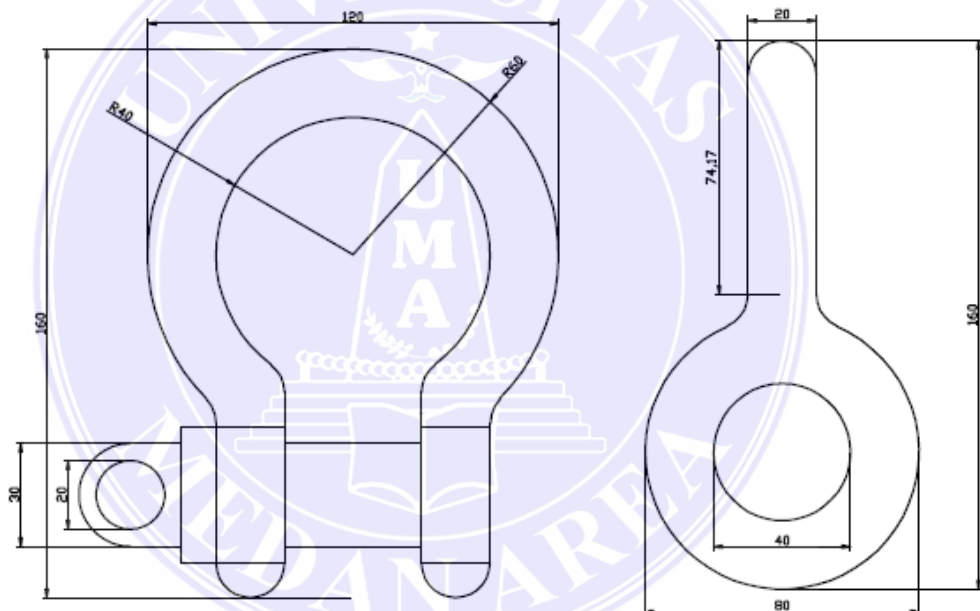
1. Mengetahui nilai tegangan yang bekerja dan defleksi yang terjadi pada *shackle* apabila diberikan pembebanan.
2. Dapat memilih bahan *shackle* yang digunakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Shackle

Shackle merupakan alat bantu pengait antara *crane* dan skid, dan sling adalah tali kawat atau kabel yang digunakan untuk mengikatkan *shackle* pada hook yang terdapat pada *crane*. Apabila bentuk objek berbentuk lingkaran maka untuk mnghubungkan sling harus menggunakan *Shackle*, dan biasanya *shakle* terbuat dari bahan steel [2]. Bentuk *shackle* yang digunakan dan dianalisa diperlihatkan pada gambar 2.1. :



Gambar 2.1. Shackle

2.2 Analisa Beban

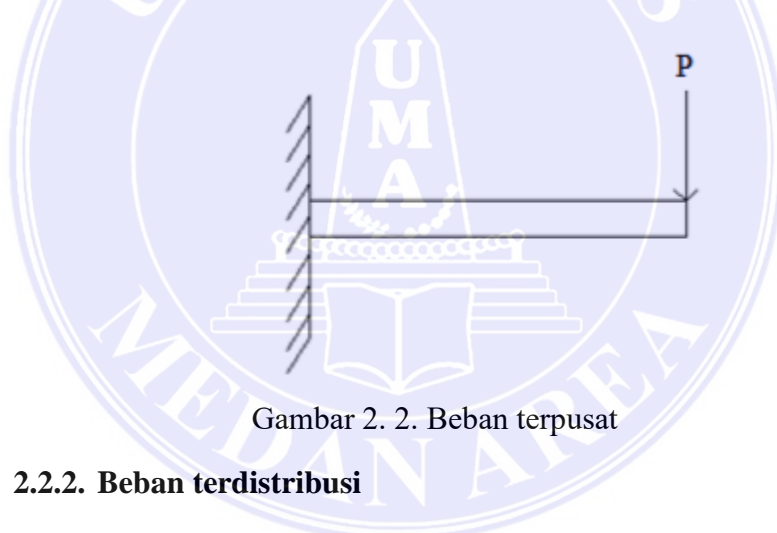
Beban dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu beban operasional, beban dari alam atau lingkungan dan beban sustain (beban dari material itu sendiri). Beban operasional adalah beban yang timbul akibat adanya gerakan dan operasi dari material tersebut, seperti beban yang timbul akibat putaran yang akan menghasilkan torsi dan lain-lain. Beban dari alam/lingkungan adalah beban yang

diterima oleh suatu material akibat kondisi alam/lingkungan sekitar, seperti beban yang diberikan akibat angin, gempa dan lainnya.

Sedangkan beban sustain adalah beban yang timbul akibat berat yang ditimbulkan oleh material itu sendiri. Beban dapat dibagi atas beberapa jenis berdasarkan daerah pembebanannya, yaitu :

2.2.1. Beban terpusat

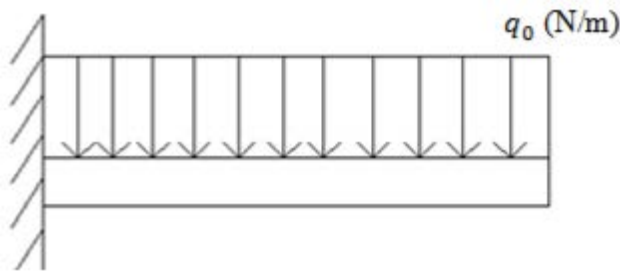
Pembebanan yang diberikan secara terpusat dan berada pada satu titik dari suatu material. Beban terpusat ini daerah pembebanannya sangat kecil dibandingkan dengan beban terdistribusi, contoh beban terpusat dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Beban terpusat

2.2.2. Beban terdistribusi

Beban terdistribusi adalah jenis pembebanan yang daerah beban yang diberikan secara merata pada seluruh bagian batang, contoh beban terdistribusi dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Beban terdistribusi

Ada juga jenis pembebanan yang diklasifikasikan berdasarkan sistem kerjanya, yaitu sebagai berikut :

1. Pembebanan dinamik Pembebanan secara dinamik adalah jenis pembebanan yang dipengaruhi oleh fungsi waktu. Besarnya pembebanan dinamik ini tidak tetap.
2. Pembebanan statik Pembebanan secara statik adalah jenis pembebanan yang tidak dipengaruhi oleh waktu, besarnya beban yang diberikan adalah konstan.

2.3 Tangki Destilasi

Setiap material pasti memiliki berat, dimana berat merupakan salah satu sifat fisik dari material. Sifat fisik dari material ini akan menimbulkan suatu gaya atau berat dari material tersebut. Pada penelitian ini perhitungan pembebanan yang terjadi pada *shackle* bertujuan untuk mengetahui gaya yang terjadi pada *shackle* saat mengangkat tangki destilasi Pertamina memiliki berat sekitar 1-0,5 ton. Ukuran dimensi tangki destilasi Pertamina adalah tinggi 2,1 meter dan diameter alas 1,51m contoh tangki destilasi dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Tangki destilasi

2.4 Analisa Tegangan dan Regangan

Untuk menganalisa suatu struktur harus memperhatikan tegangan, regangan dan deformasi yang terjadi. Menurut *Shigley's* persamaan Tegangan adalah gaya persatuan luas dan juga dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : σ : tegangan (N/m²)

P : gaya (N)

A: luas penampang (m²)

Regangan adalah perbandingan deformasi total terhadap panjang mula-mula suatu struktur. Regangan juga dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

ε : regangan

δ : defleksi yang terjadi (mm)

L: panjang mula-mula suatu struktur (mm)

Sedangkan untuk elastisitas yang dijelaskan pada hukum *Hooke* adalah :

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

σ = tegangan (Pa)

ε = regangan

E = modulus elastisitas (Pa)

Dari hukum *Hooke* dijelaskan bahwa transisi dari elatisitas menuju plastis dinamakan kekuatan luluh (yield strength) [3]. jika diberikan penambahan beban diatas batas kekuatan luluhnya maka struktur tersebut akan bersifat patah.

2.5 Jenis-jenis Tegangan

Tegangan pada umumnya terbagi menjadi dua kelompok yaitu :

2.5.1 Tegangan Normal

Tegangan yang arah kerjanya dalam arah tegak lurus permukaan terpotong batang. Tegangan normal dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu :

A. Gaya Normal

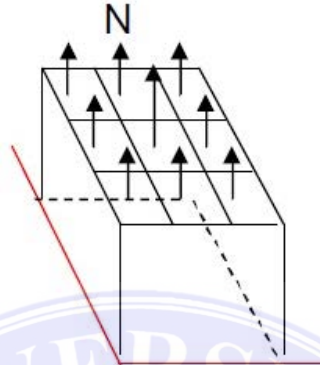
Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Jika gaya dalam diukur dalam N, sedangkan luas penampang dalam m², maka satuan tegangan adalah N/m².

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} = (N/m^2) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : $\sigma_n =$ tegangan normal (N/m^2)

$F_n =$ gaya normal (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2. 5. Tegangan normal

B. Beban Tarik

Beban Tarik dan Tekan Apabila batang ditarik oleh gaya F seperti pada gambar 2.6 maka tegangan yang terjadi adalah tegangan tarik.

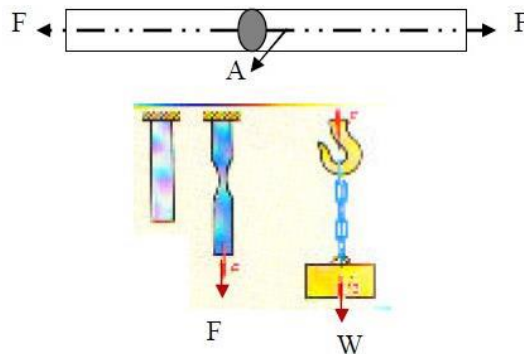
Tegangan tarik dapat ditulis dengan persamaan :

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = (N/m^2) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana : $\sigma_t =$ tegangan tarik (N/m^2)

$F_t =$ gaya tarik (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 2. 6. Tegangan tarik

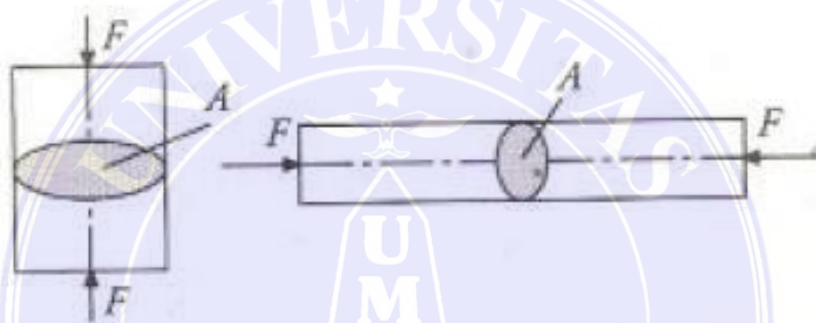
Sedangkan tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Tegangan tekan dapat ditulis:

$$\sigma_D = \frac{F_D}{A} = (\text{N/m}^2) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana : σ_D = tegangan tekan (N/m^2)

F_D = gaya tekan (N)

A = luas penampang (m^2)

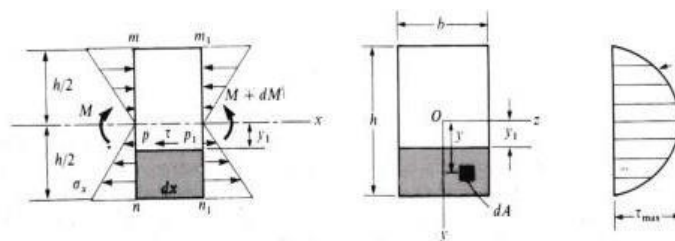


Gambar 2. 7. Tegangan Tekan

2.5.2 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, sejajar sumbu batang. Tegangan geser dapat disebabkan karena adanya beberapa pembebanan seperti pada gambar 2.8 :

A. Gaya Geser



Gambar 2. 8. Tegangan geser pada blok berpenampang empat segi panjang

Untuk menentukan tegangan geser τ pada sebarang titik dalam penampang dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana : τ = tegangan geser (N/m²)

V = gaya geser (N)

Q = momen (m³)

I = momen inersia (m⁴)

b = lebar penampang

2.6 Teori Kegagalan Struktur

Secara mendasar kegagalan (*failure*) dari suatu struktur dinyatakan bila struktur tidak dapat berfungsi lagi dengan baik untuk menerima pembebanan. Prosedur untuk pemeriksaan terperinci dan analisis bagian shackle yang rusak adalah sebagai berikut; inspeksi visual bagian tersebut, fraktografi menggunakan SEM, analisis kimia bahan, metalografi optik, uji kekerasan mikro Vickers, dan non logam uji inklusi [4]. Ada 2 tipe kriteria kegagalan akibat pembebanan statik, yaitu:

2.6.1 Deformasi Plastis

Deformasi Plastis terjadi jika material dari struktur sudah mengalami deformasi plastis karena sudah melewati batas tegangan atau regangan luluh (*yield point*) material.

2.6.2 Patah atau Rusak

Patah atau Rusak terjadi bila material dari struktur tersebut sudah patah atau melewati batas tegangan maksimum yang diizinkan material.

2.7 Teori Tegangan Geser Maksimum (*Maximum sheare stress*)

Teori tegangan geser maksimum memprediksi bahwa pemuaian dimulai ketika tegangan geser yang terjadi melebihi tegangan izin maksimum dari sebuah elemen.

Teori tegangan geser maksimum juga disebut sebagai teori Tresca atau teori Guest.

Tegangan geser maksimum memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \dots\dots\dots(2.8.)$$

Kegagalan terjadi apabila $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ lebih besar dari $\frac{S_y}{2}$. S_y merupakan *yield strength*, yakni nilai kekalahan dari material bahan.

2.8 Teori Energi Distorsi (*Distortion energy*).

Energi distorsi terjadi jika energi regangan distorsi persatuan volume mencapai atau melebihi energi regangan distorsi persatuan volume untuk menghasilkan tegangan dari elemen yang sama. Teori energi distorsi berkaitan dengan teori *Von Misess Stress*. Teori energi distorsi ini bisa membuktikan apakah hasil tegangan ekuivalen simulasi sesuai dengan hasil perhitungan teori energi distorsi. Teori energi distorsi memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\sigma' \geq S_y$$

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y \dots\dots\dots(2.9.)$$

Kegagalan terjadi apabila $[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$ lebih besar dari S_y . S_y merupakan *yield strength*, yakni nilai kekalahan dari material bahan.

2.9 Simulasi Software Ansys

ANSYS adalah suatu perangkat lunak komputer umum yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis. Ansys ini digunakan untuk mensimulasikan semua disiplin ilmu fisika baik statis maupun dinamis, analisis struktural (keduanya linier dan nonlinier), perpindahan panas, dinamika fluida, dan elektromagnetik untuk para engineer. ANSYS dapat mengimpor data CAD dan juga memungkinkan untuk membangun geometri dengan kemampuan yang "*preprocessing*". Demikian pula dalam preprocessor

yang sama, elemen hingga model (jaring alias) yang diperlukan untuk perhitungan dihasilkan. Setelah mendefinisikan beban dan melakukan analisis, hasil dapat dilihat sebagai numerik dan grafis [5].



Gambar 2. 9. Loga ANSYS

ANSYS bekerja dengan sistem metode elemen hingga dimana penyelesaiannya pada suatu objek dilakukan dengan pendeskritisasian dimana membagi atau memecah objek analitis satu rangkaian kesatuan ke dalam jumlah terbatas elemen hingga yaitu menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan dihubungkan dengan node [6].

Hasil yang diperoleh dari ANSYS ini berupa pendekatan dengan menggunakan analisa numerik. Ketelitiannya sangat bergantung pada cara kita memecah model tersebut dan menggabungkannya. Secara umum, suatu solusi elemen hingga dapat dipecahkan dengan mengikuti 3 tahapan. Tahapan Ini merupakan panduan umum yang dapat digunakan untuk menghitung analisis elemen hingga.

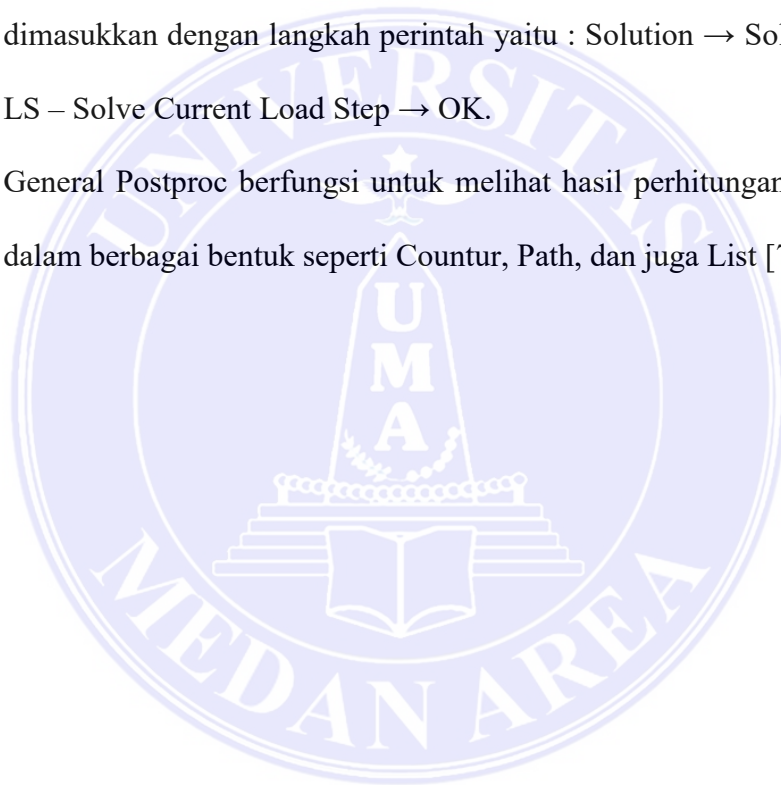
Dalam penelitian ini digunakan suatu software bantu yang cukup populer di kalangan engginer yaitu ANSYS (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0. dimana *software* program ini mampu melakukan analisa beban, pengaruh temperatur, deformasi, defleksi, tegangan pada truss, dan sebagainya. Langkah-langkah simulasi dengan menggunakan ANSYS (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0 adalah sebagai berikut :

- 1 Proses prefensi merupakan langkah pendahuluan untuk menentukan model analisis terhadap kondisi material yang ada. Dalam masalah ini preferensi

yang digunakan adalah struktural dengan langkah sebagai berikut :
Preference → Structural → Ok.

- 2 Menentukan sifat elemen material (*Element type*) adalah menentukan sifat elemen uji yang akan digunakan. Langkah menerapkan sifat elemen material adalah sebagai Berikut : Main Menu → Preprocessor → Elemen type → Add/Edit/Delete → Add.
- 3 Menentukan Real Constant adalah untuk mendefinisikan jenis elemen uji. Langkah menentukan Real Constant adalah sebagai berikut : Main Menu → Preprocessor → Real Constant → Add → OK.
- 4 Material Propertis adalah menendefinisikan jenis material yang akan digunakan dengan tujuan untuk mengetahui sifat stress dan strain dari material. Langkah menentukan Material Propertis adalah dengan melakukan perintah sebagai berikut : Main Menu→ Preprocessor → Material Propertis → Materials Models → Structural → Isotropic.
- 5 Proses Modeling adalah proses membuat model benda yang akan di uji. Untuk melakukan proses modeling dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut : Preprocessor → Modeling → Create.
- 6 Setelah permodelan selesai dan material propertis telah di input, maka langkah selanjutnya adalah proses meshing. Proses meshing adalah pembagian model menjadi elemen-elemen kecil. Untuk melakukan meshing, maka langkah yang harus dilalui yaitu : Preprocessor → Meshing → MeshTool→ Smart Size – Globalset → Mesh → Pickall → Ok.

- 7 Displacement adalah menentukan letak titik tumpuan. Langkah menentukan letak displacement yaitu : Loads → Define Loads → Apply → Structural → Displacement.
- 8 Force adalah Penerapan *Load* (beban) dengan pemberian gaya yang akan diberikan dengan langkah sebagai berikut : Loads → Define Loads → Apply → Force/Moment.
- 9 Solve adalah langkah kerja untuk menghitung semua variable yang telah dimasukkan dengan langkah perintah yaitu : Solution → Solve → Current LS – Solve Current Load Step → OK.
- 10 General Postproc berfungsi untuk melihat hasil perhitungan dari simulasi dalam berbagai bentuk seperti Countur, Path, dan juga List [7].



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area jalan Kolam No.1 Medan Estate dengan waktu 4 bulan. Uraian kegiatan dijelaskan dalam Tabel 3.1 yang berisi tentang uraian kegiatan penelitian di mulai dari persiapan alat dan bahan sampai Seminar Hasil.

Tabel 3. 1. Uraian Kegiatan

NO	Uraian Kegiatan	I				II				III				IV			
		Minggu Ke				Minggu Ke				Minggu Ke				Minggu Ke			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan Alat dan Bahan	█	█	█	█												
2	Pengukuran dan pengambilan data geometri shackle				█	█	█	█									
3	Membuat geometri hasil pengukuran menggunakan software Ansys				█	█	█	█									
4	Simulasi dan Analisa Metode Elemen Hingga Dengan Software Ansys								█	█	█	█	█	█	█	█	
5	Penulisan Hasil Penelitian															█	
6	Seminar Hasil															█	

3.2. Alat

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan perangkat keras (*hardware*)

Laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Merek* : TOSHIBA SATELITE
- *TypeProcessor* : Intel(R)Core(TM) i5-4200M CPU @2,50GHz
- *Memory* : 4.00GB
- *DisplayMode* : 1366x768(64bit)(60Hz)



Gambar 3. 1. Laptop TOSHIBA Satelite

2. Perangkat lunak (*Software*)

Dalam Penelitian ini, peneliti menggunakan 1 perangkat lunak (*software*) yang berasal dari jenis *Computer Aided Engineering* (CAE) yaitu *Software*

ANSYS (*Ansys Parametric Design Language*) APDL 15.0



Gambar 3. 2. Software ANSYS APDL 15.0

3. Alat Ukur

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa alat ukur untuk melakukan pengukuran dimensi alat *shackle*, beberapa alat ukur yang peneliti gunakan adalah sebagai berikut :

- Vernier caliper

Digunakan untuk mengukur ketebalan besi pada struktur *shackle*



Gambar 3. 3. Alat ukur Vernier caliper

- Meteran

Digunakan untuk mengukur dimensi *shackle*



Gambar 3. 4. Alat Ukur Meteran

3.3. Prosedur Perhitungan Kekuatan Struktur

Langkah-langkah pengambilan data untuk menghitung pembebanan pada struktur *shackle* adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan data ukuran dimensi *shackle* dengan alat ukur meteran dan jangka sorong.
2. Perhitungan beban yang terjadi pada *shackle*

Pada penelitian ini perhitungan pembebanan yang terjadi pada *shackle* berdasarkan perhitungan massa tangki, yaitu

PERHITUNGAN MASSA TANGKI (kg)

Parameter	Simbol	Mm	M
Tebal plat (mm)	T	5	0,005
Diameter tangki (mm)	D	1510	1,15
Tinggi tangki (mm)	T	2100	2,1
Keliling tangki (mm)	Ku	4740	4,74
Keliling teoritis (mm)	Kt	9487,61	9,49

Berat Jenis Baja (kg/m^3)

7800

Rumus :

$$\text{Volume} = T \times Kt \times t$$

$$M = B_j \times \text{Volume}$$

Variabel	Simbol	Rumus	Hasil
Volume selubung Tangki, V1 (m^3)	V1	$T \times Kt \times t$	0,09962 m^3
Volume tutup atas Tangki	V2	$0,25 \times \pi \times D^2 \times t$	0,00895 m^3
Volume tutup bawah Tangki	V3	$0,25 \times \pi \times D^2 \times t$	0,00895 m^3
Volume total selubung Tangki	VT	$V1 + V2 + V3$	0,11753 m^3
Massa Tangki (kg)	m_tangki	$BJ_baja \times VT$	916,72 kg

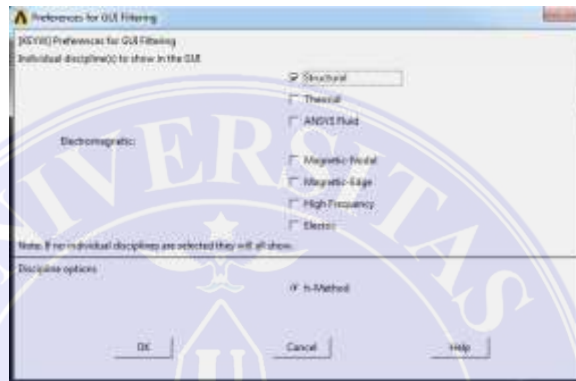
3.4. Prosedur Simulasi ANSYS APDL 15.0

Dalam simulasi ini digunakan suatu software bantu yang cukup populer di kalangan engginer yaitu Ansys (*Ansys Parametric Design Language*) APDL Versi 15.0. dimana software program ini mampu melakukan analisa beban, pengaruh temperatur, deformasi, defleksi, tegangan, dan sebagainya.

1. Proses Preferensi

Proses preferensi merupakan langkah pendahuluan untuk menentukan model analisa terhadap kondisi material yang ada. Dalam masalah preferensi yang digunakan adalah struktur, contoh proses preferensi dapat dilihat pada gambar 3.5.

Preferensi → Struktural → Ok



Gambar 3. 5. Tampilan proses preferensi

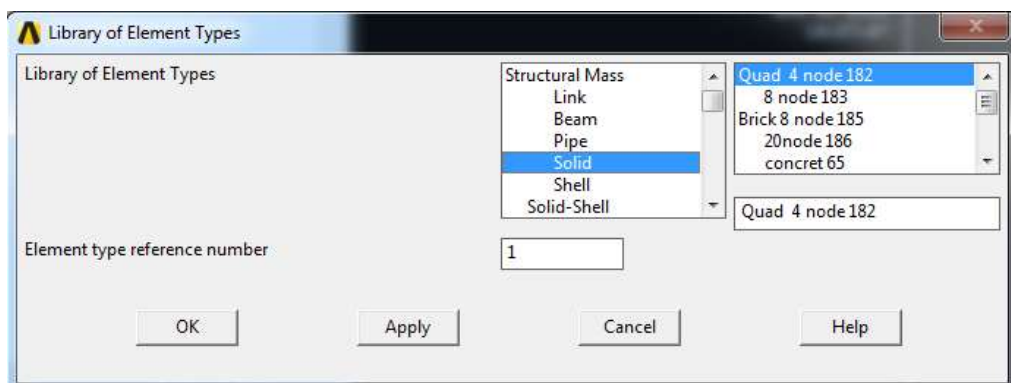
2. Menentukan Element Type

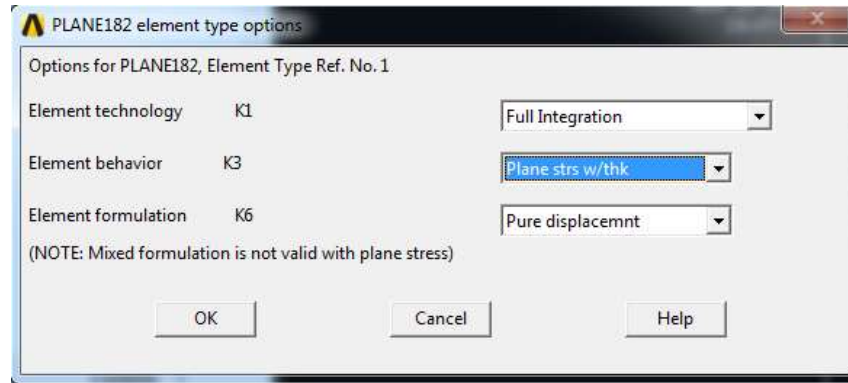
Dalam penelitian ini terdapat 2 jenis Element type yang digunakan adalah element type solid Quad 4node 182 dengan cara berikut, dapat dilihat pada gambar 3.6.

Main Menu → Preprocessor → Element type → Add/Edit/Delete → Add

Setelah menentukan Element type Pilih Options → Element behavior →

Plane strs w/ thk.



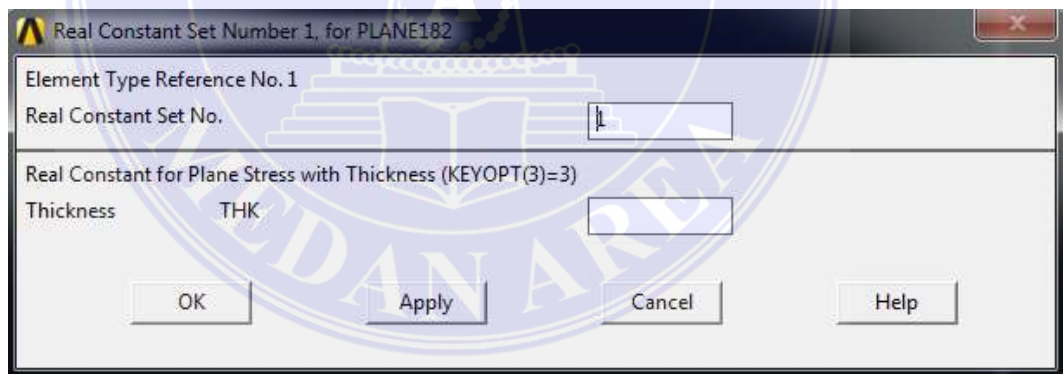


Gambar 3. 6. Kotak dialog Element type Solid Quad 4node 182

3. Menentukan Real Constant

Pada penelitian ini, untuk Element type Solid Quad 4node 182 harus menentukan Real Constant. Hal ini dikarenakan pada Solid Quad 4node 182 memerlukan data ketebalan benda uji. Menentukan Real Constant dapat mengikuti langkah sebagai berikut, dapat dilihat pada gambar 3.7

Main Menu → Preprocessor → Real Constant → Add → Ok → isi Real Constant for stress with Thickness Plane 182 → Ok.



Gambar 3. 7. Kotak dialog menentukan Real Constant

4. Mendefinisikan Material Propertis

Pada penelitian ini, satuan yang digunakan ialah metrik. Satuan panjang yang digunakan ialah dalam mm. Oleh karena itu semua satuan panjang harus disesuaikan ke satuan panjang milimeter (mm).

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ m}^2 = 1.000.000 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ m}^3 = 1.000.000.000 \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ KPa} = 1000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 1.000.000 \text{ Pa}$$

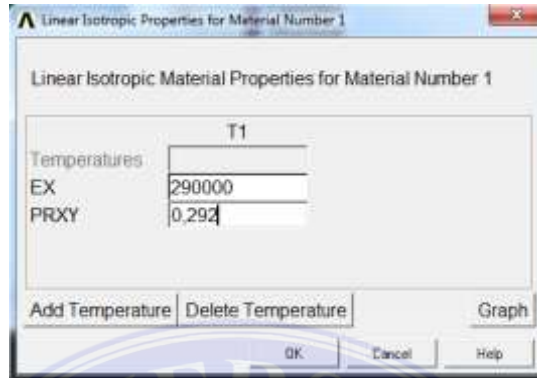
$$1 \text{ GPa} = 1.000.000.000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ GPa} = 1.000.000 \text{ N/m}^2 = 1.000.000 \times \frac{\text{N}}{1.000.000 \text{ mm}^2} = 1 \text{ N/mm}^2$$

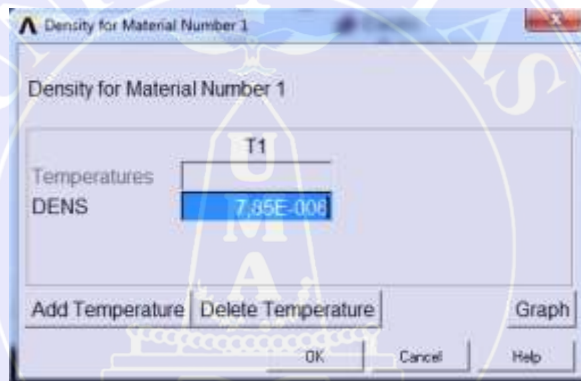
Modulus Elastisitas diambil dari baja AISI No. 1040 dengan nilai yield strength 290 Gpa = 2.900.000.000.000 Pa atau 290.000 Mpa. Nilai ini digunakan untuk mengisi Kotak dialog EX pada kotak material Isotropic. Selanjutnya nilai Densitas (Kerapatan massa) baja ialah 7850 kg/m³. Karena 1 m³ = 10⁹ mm³. Maka nilai yang harus dimasukkan dalam kotak Densitas adalah 7,85e-6.

Selanjutnya nilai Poisson Ratio adalah satuan tertentu. Nilai Poisson Ratio untuk baja ialah sekitar 0,292. Setelah mendefinisikan elemen yang akan digunakan, kita akan memasukan kedalam Material Propertis yang bertujuan untuk mengetahui sifat stress dan strain dari material dengan melakukan perintah berikut, dapat dilihat pada gambar 3.8

Main Menu → Preprocessor → Material Propertis → Materials Model → Structural
→ Isotropic → Isi Nilai EX dengan 2,9e-6 dan PRXY 0,292 dan isi nilai Density
7,85e-6.



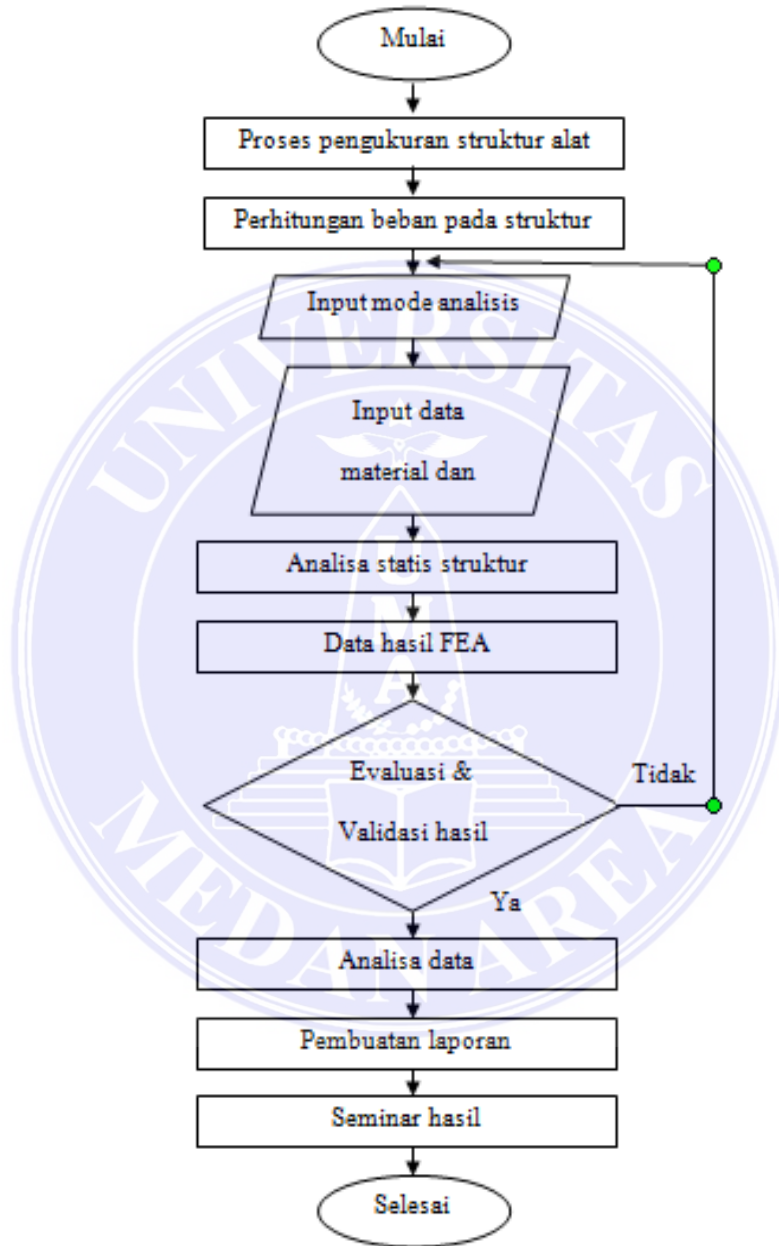
Gambar 3. 8. Menentukan Linier Isotropic Material



Gambar 3. 9. Menentukan Densitas untuk Material

3.5. Diagram Alir Simulasi Software ANSYS

Diagram alir prosedur analisa metode elemen hingga dengan *software* Ansys diperlihatkan pada gambar 3.10



Gambar 3. 10. Diagram Alir Analisa Metode Element Hingga Dengan Software ANSYS.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan kekuatan *Shackle*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Ukur bentuk pin dan *shackle* menggunakan meteran atau jangka sorong untuk mendapatkan ukuran dan dimensi pada tiap-tiap pin dan *shackle* tersebut. Jika sudah mendapatkan ukuran dan dimensi pada pin dan *shackle* sebaiknya melakukan desain pada software dengan langkah-langkah yang sudah ditetapkan seperti proses Beam, Meshing, Load, Force dan Solve.
2. Hasil simulasi pembebanan pada tangki ialah: defleksi maksimum terjadi pada bagian tengah pin dengan nilai sebesar 0,002696 mm. Tegangan maksimum yang terjadi pada pin terdapat pada pinggiran pin besarnya tegangan ialah 29,86 MPa. Berdasarkan hasil simulasi ini menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi pada pin sangat kecil sehingga pin aman terhadap beban tersebut. Defleksi maksimum pada *shackle* terjadi pada tengah *shackle* yaitu sebesar 0,188153 mm. Tegangan maksimum terjadi pada pinggiran rangkai *shackle* yaitu sebesar 76.0226 MPa. Berdasarkan hasil simulasi ini menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi pada *shackle* sangat kecil sehingga *shackle* aman terhadap beban tersebut.
3. Berdasarkan perhitungan teori kegagalan Tegangan Geser Maksimum (*Maximum Sheare Stress*), tegangan yang ditimbulkan pada pin ialah 16,981 MPa akibat beban eksternal jauh lebih kecil dari tegangan Yield-nya yaitu

145000 MPa. Tegangan yang ditimbulkan pada shackle ialah 0,482005 MPa akibat beban eksternal jauh lebih kecil dari tegangan Yield-nya yaitu 145000 MPa. Besarnya tegangan maksimum yang terjadi berdasarkan hasil simulasi masih jauh lebih kecil dari kekuatan luluh beban. Demikian juga berdasarkan perhitungan teori kegagalan Teori Energi Distorsi (*Distortion Energy*), tegangan maksimum yang terjadi pada pin ialah 604,52 MPa akibat beban eksternal juga jauh lebih kecil dari tegangan Yield-nya yaitu 290.000 MPa. Tegangan yang ditimbulkan pada shackle ialah 6702,57 MPa. Dengan demikian pin dan struktur shackle dapat dinyatakan aman untuk digunakan pada beban kerja tersebut.

5.2 Saran

1. Pada penelitian ini penulis menggunakan *software* ANSYS 15.0 APDL dimana pada penelitian ini material propertis harus di input secara manual dan dari sumber referensi lain. Sehingga disarankan agar pada penelitian selanjutnya menggunakan *software* Finite Element Methode(FEM) lain seperti Nastran, Solid work, dan lainnya.
2. Sebelum melakukan instalansi *software* untuk penelitian, disarankan untuk mengecek spesifikasi PC agar sesuai dan mendukung jalanya *software* pada saat proses simulasi.
3. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Rudenko, *Mesin Pengangkat*, Jakarta: Erlangga, 1964.
- [2] A. D. J. Ardianto, S. Wiratno dan M. Fathonah, “Studi Perbandingan Desain Geometri Padeye Simetri dan Tidak Simetri,” *Jurnal Integrasi*, vol. Volume 9, no. No 2, pp. 97-105, 2017.
- [3] Shigley's, *Mechanical Engineering*, USA: McGraw-Hill, 2006.
- [4] D. Y. W, H. L. J, S. N. Y, J. Y. W, H. K. D dan S. C. K, “Failure mode analysis of a damaged shackle part used for container transportation,” *Engineering Failure Analysis*, pp. 641-831, 1964-1967.
- [5] M. S. Novian dan Rahmawaty, “PERANCANGAN SASIS MOBIL HARAPAN DAN ANALISA SIMULASI PEMBEBANAN STATIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANSYS 14.0,” *Biltek Sekolah Tinggi Teknik Harapan*, vol. 4, no. 043, 2015.
- [6] O. Fatra, E. Widoro dan T. Y. P. Gultom, “ANALISIS STRUKTUR VELG PADA MODIFIKASI AIRSIDE INSPECTION VEHICLE MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANSYS,” *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru*, vol. 9, no. 3, pp. 1-66, 2016.
- [7] Zulfikar, *DASAR-DASAR PEMAKAIAN SOFTWARE ANSYS 5.4*, MEDAN: Teknik Mesin Universitas Medan Area, 2018.