



PEMODELAN DAN ANALISIS *EYEBOLT* TERHADAP BEBAN DAN SUDUT ANGKAT MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Fathurrahman^{a*}, Hanifah Widiastuti^a, Muhammad Hasan Albana^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam, Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia.

*Corresponding authors at: Fathurrhm96@gmail.com (Fathur) Tel.: +6287847648158

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 10 Juli 2025

Direvisi pada 24 Juli 2025

Disetujui pada 28 Juli 2025

Tersedia daring pada 18 Agustus 2025

Kata kunci:

Eyebolt, Finite Element Analysis, Ansys, Sudut Pengangkatan.

Keywords:

Eyebolt, Finite Element Analysis, Ansys, Sudut Pengangkatan.

ABSTRAK

Eyebolt berperan sebagai bagian dari komponen pengangkatan peralatan yang dibutuhkan dalam proses pemindahan peralatan berat. Meskipun demikian, *eyebolt* memiliki potensi kegagalan yang tinggi akibat dari ketidaksesuaian standar sudut pengangkatan yang akhirnya berakibat pada kerusakan *eyebolt*. Penelitian ini akan memfokuskan kepada analisis pembebanan terhadap *eyebolt* dari variasi sudut pengangkatan yang diberlakukan. Sehingga penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk pengaplikasian *Eyebolt* dalam aktivitas pengangkatan komponen peralatan berat di kemudian hari. Simulasi *Finite Element Analysis (FEA)* merupakan metode numerik komputasi untuk mengetahui perilaku suatu material atau struktur ketika diberi pembebanan. Dalam penelitian ini akan mensimulasikan tiga skenario pembebanan dengan variasi sudut berbeda, yaitu 90°, 75°, 45°, dan 30° terhadap *Eyebolt Australian Standard 2371:2018 for eyebolt grade 4*. Parameter yang diamati dalam penelitian kali ini berfokus pada perbandingan dari faktor deformasi material, *factor of safety*, tegangan dan regangan yang mempengaruhi aspek kesuksesan pengangkatan.

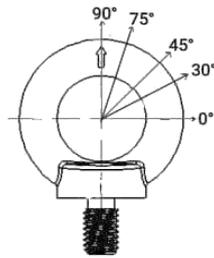
ABSTRACT

Eyebolts are part of lifting components that are required to move heavy equipment. However, *eyebolts* have a high potential for failure due to noncompliance with lifting angle standards, ultimately resulting in *eyebolt* damage. This study focuses on analyzing the load on the *eyebolt* as a result of varying the lifting angle. It is expected that the findings of this study can be used as a learning tool for the future use of *eyebolts* in the lifting of heavy equipment components. Finite element analysis (FEA) simulation is a numerical method used to determine the behavior of a material or structure under a given load. In this study, three loading scenarios of ASTM standard Grade 4 *eyebolts* with different lifting angles (90°, 75°, 45°, and 30°) were simulated. The material deformation factor, safety factor, stress, and strain that affected the success of lifting activities were examined.

1. PENGANTAR

Seiring dengan perkembangan teknologi di era globalisasi, permintaan bahan bakar oil dan gas industri semakin meningkat dari total konsumsi bahan bakar fosil. Ini mengakibatkan kebutuhan terhadap peralatan eksplorasi yang tinggi. Namun perlu disadari bahwa perkembangan teknologi perlu beriringan dengan perkembangan keamanan kerja serta lingkungan kerja yang sehat. Salah satu faktor keamanan yang perlu diperhatikan adalah sistem aktivitas pengangkatan (Putra dkk., 2020).

Eyebolt merupakan komponen mekanikal yang krusial dalam aktivitas pengangkatan, yang biasa digunakan bersamaan dengan *sling* ataupun rantai. Selain itu *eyebolt* dalam penggunaannya perlu konsiderasi yang besar karena kemampuannya dalam menahan aktivitas pengangkatan. Dengan berkembangnya teknologi, *eyebolt* semakin berkembang mengikuti semakin canggihnya kemampuan industri dalam beradaptasi (Adhil dkk., 2020). Komponen mekanis *eyebolt* adalah salah satu pemegang kunci untuk mengamankan aktivitas pengangkatan. *Eyebolt* merupakan baut berulir yang memiliki kepala berbentuk lingkaran menyerupai mata. Kemampuan *eyebolt* didasari pada beberapa faktor, seperti material dan geometri dari *cross-section* (Dhage dkk., 2025). Gambar 1 memperlihatkan diagram detail dari sudut pengangkatan *eyebolt* yang akan didiskusikan dalam penelitian ini.



Gambar 1: Sudut Pengangkatan *Eyebolt*

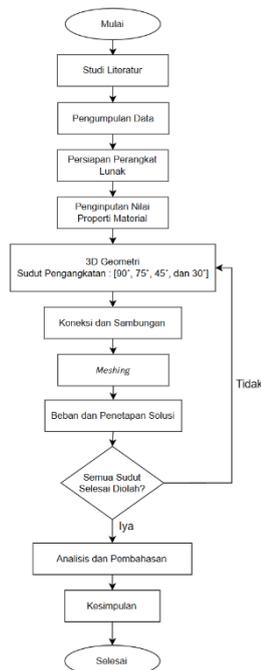
Penelitian sebelumnya memiliki kesamaan dalam mengamati perbandingan sudut pengangkatan dalam *eyebolt* untuk sudut pengangkatan 15°, 45° dan 60°. Meskipun demikian penelitian sebelumnya hanya berfokus untuk membuktikan teori bahwa “Nilai pengangkatan *eyebolt* beriringan dengan kesuksesan pengangkatan menggunakan *eyebolt*”. Sebagai contoh, semakin tinggi sudut pengangkatan yang dihitung dari sudut horizontal, semakin tinggi peluang keberhasilan pengangkatan yang dilakukan. Sebagai hasil dari penelitian sebelumnya bahwa teori tersebut terbukti benar (Putra dkk., 2020). Penulis menyadari bahwa penggunaan *eyebolt* dalam pengangkatan benda berat jarang dilakukan bahkan sampai dihindari demi mencegah kegagalan pengangkatan karena dalam penggunaannya *eyebolt* memiliki resiko kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan komponen mekanik lainnya.

Perlu diperhatikan bahwa penggunaan *Eyebolt* diluar batas aman itu sangat dilarang. Penetapan batas sudut pengangkatan oleh *Eyebolt* yaitu sebesar 45° (Hutama Karya, 2020; Wall, 2018). Meskipun demikian beberapa industri memilih menetapkan batas limit pengangkatan menggunakan *eyebolt* pada sudut 75°. Sehingga sudut yang ditetapkan lebih dari batas 75° tersebut dianggap dapat memberikan tegangan berlebih pada *eyebolt* yang menyebabkan kegagalan aktivitas pengangkatan (Wall, 2018). Sehingga penelitian ini berfokus kepada perbandingan sudut pengangkatan, antara 90°, 75°, 45° dan 30° serta mengevaluasi kemampuan setiap variasi sudut pengangkatan *eyebolt* dalam menahan tekanan. Sehingga pada akhirnya penelitian ini dapat memberikan pemahaman mengenai perbandingan perubahan bentuk material *eyebolt* dari setiap sudut pengangkatan yang diteliti dan standar dari 45° dan 75° batasan penggunaan *eyebolt*.

2. METODE

2.1. Diagram Flowchart

Diagram *flowchart* dari penelitian akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah.



Gambar 2: Diagram *Flowchart*

2.2. Studi Literatur

Tahapan pertama dalam *flowchart* adalah studi literatur, dimana dimulai dengan mempelajari teori *eyebolt* dalam industri mekanikal komponen. Seperti memahami poin aman atau sampai mencari aturan khusus dalam penggunaan *eyebolt* dalam aktivitas pengangkatan. Selain itu dalam studi literatur ini terdapat proses penyeleksian *eyebolt* yang akan digunakan dalam model analisis di penelitian ini. Dimana pemilihan jenis *eyebolt* didasari dari tipe *eyebolt*, tingkatan material, serta *eyebolt* yang relevan digunakan dalam industri. Hasil dari observasi lapangan bahwa *eyebolt* yang digunakan adalah *Eyebolt AS2371:2018* dari *townley drop forge*. Gambar 3 memperlihatkan penggunaan *eyebolt townley drop forge* di lingkup industri.

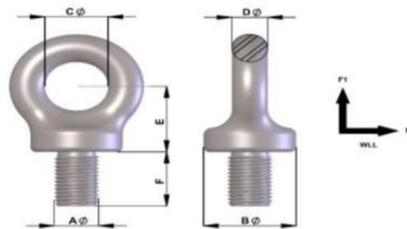


Gambar 3: *Eyebolt* Townley Drop Forge AS2371:2018

2.3. Pengumpulan Data

2.3.1. Gambar 3D *Eyebolt* M12

Ekstrak 3D model *eyebolt* AS2371:2018 dari website resmi *townley drop forge* (Townley Drop Forge, 2018). Pemilihan ukuran *eyebolt* didasari dari observasi di lapangan. Sehingga ukuran yang dipilih adalah *eyebolt* M12 AS2371:2018 dengan tipe *eyebolt* pengangkatan. *Eyebolt* M12 AS2371:2018 merupakan *eyebolt metric coarse-type* yang biasa digunakan dalam aktivitas pengangkatan. Gambar 4 memberikan ilustrasi *eyebolt* serta diagram spesifikasi dari *eyebolt* AS2371:2018, dengan dimensi ukuran dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah.



Gambar 4: Desain *Eyebolt* Townley Drop Forge AS2371:2018

Tabel 1: Tabel Dimensi *Eyebolt* Townley Drop Forge AS2371:2018

| Size | WLL (t) Transverse (F2) | WLL (t) Axial (F1) | Thread Pitch | B | C | D | E | F | Weight (kg) |
|------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-----|-----|----|-----|-----|----------------|
| M06 | N/A | N/A | 1 | 21 | 14 | 9 | 19 | 17 | 0,06 |
| M08 | N/A | N/A | 1,25 | 21 | 14 | 9 | 19 | 17 | 0,06 |
| M10 | 0,06 | 0,25 | 1,5 | 21 | 14 | 9 | 19 | 17 | 0,06 |
| M12 | 0,10 | 0,40 | 1,75 | 28 | 18 | 11 | 24 | 22 | 0,15 |
| M14 | 0,10 | 0,40 | 2 | 35 | 24 | 15 | 31 | 27 | 0,28 |
| M16 | 0,20 | 0,80 | 2 | 35 | 24 | 15 | 31 | 27 | 0,28 |
| M18 | 0,20 | 0,80 | 2,5 | 42 | 29 | 16 | 35 | 40 | 0,46 |
| M20 | 0,40 | 1,60 | 2,5 | 42 | 29 | 16 | 35 | 40 | 0,46 |
| M22 | 0,50 | 2,00 | 2,5 | 50 | 33 | 20 | 41 | 41 | 0,85 |
| M24 | 0,62 | 2,50 | 3 | 57 | 38 | 22 | 48 | 42 | 1,1 |
| M27 | 0,62 | 2,50 | 3 | 71 | 48 | 28 | 65 | 52 | 2,1 |
| M30 | 1,00 | 4,00 | 3,5 | 71 | 48 | 28 | 65 | 52 | 2,1 |
| M33 | 1,25 | 5,00 | 3,5 | 71 | 48 | 28 | 65 | 52 | 2,2 |
| M36 | 1,57 | 6,30 | 4 | 86 | 54 | 33 | 73 | 63 | 3,7 |
| M39 | 1,75 | 7,00 | 4 | 86 | 54 | 33 | 73 | 64 | 3,7 |
| M42 | 2,00 | 8,00 | 4,5 | 102 | 68 | 40 | 90 | 79 | 6,3 |
| M48 | 2,50 | 10,00 | 5 | 115 | 76 | 49 | 99 | 89 | 9,5 |
| M56 | 3,70 | 15,00 | 5,5 | 143 | 97 | 56 | 124 | 116 | 19,5 |
| M64 | 5,00 | 20,00 | 6 | 143 | 97 | 56 | 124 | 116 | 19,5 |
| M72 | 6,20 | 25,00 | 6 | 163 | 106 | 66 | 140 | 125 | 29 |
| M76 | 7,50 | 30,00 | 6 | 163 | 106 | 66 | 140 | 125 | 29 |

Sumber: Data dimensi *Eyebolt* AS2371:2018.

2.3.2. Komposisi Kimia

Spesifikasi komposisi material yang digunakan dalam produksi *eyebolt* M12 AS2371:2018 yaitu terbuat dari besi *alloy* (ASTM International, 2020). Tabel 2 menunjukkan detail dari komposisi kimia dalam *eyebolt* yang terbuat dari besi *alloy*.

Tabel 2: Komposisi Kimia *Eyebolt* M12

| Komposisi Kimia Material | | | |
|--------------------------|---------------|-----------|---|
| | Analisa Panas | | Variasi Produk yang Diperbolehkan dalam Analisis (Diatas/Dibawah) |
| Carbon | C | 0,33 | 0,33 |
| Manganese | Mn | 0,30–1,10 | 0,30–1,10 |
| Phosphorus | P | 0,025 | 0,025 |
| Sulfur | S | 0,025 | 0,025 |
| Silicon | Si | 0,15–0,35 | 0,15–0,35 |
| Chromium | Cr | 0,90 | 0,90 |
| Molybdenum | Mo | 0,10–0,60 | 0,10–0,60 |
| Nickel | Ni | 0,40–3,75 | 0,40–3,75 |

Sumber: Data Laporan *Eyebolt* yang terbuat dari Besi *Alloy* tahun 2020

2.4. **Persiapan Perangkat Lunak**

Persiapan perangkat lunak yang terintegrasi dengan *finite element analysis (FEA)*. Dimana FEA yaitu sistem solusi numerik yang digunakan dalam penyelesaian geometri kompleks. Meskipun demikian perlu dipahami bahwa dalam penggunaannya FEA tidak selalu menunjukkan hasil yang akurat sehingga sedikit menginput data yang salah akan berakibat fatal kepada hasil akhir simulasi (Yetmez, 2016).

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ansys workbench student version*. *Ansys workbench* mampu menjalankan proses FEA untuk menganalisis tegangan, perubahan bentuk dan cross-section dari tiap geometri yang disimulasikan (Dhage dkk., 2025). Beberapa tahapan dalam pelaksanaan FEA diantaranya tahap sebelum processing, tahap analisis, dan tahap setelah processing (Yetmez, 2016). Alur *ansys workbench* FEA ditunjukkan pada Gambar 2.

2.4.1. **Memasukan Nilai Properti Material**

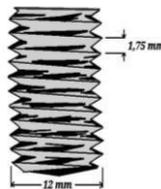
Properti mekanikal untuk *eyebolt* M12 tipe AS2371:2018 yang menggunakan besi *alloy* sebagai material utama (ASTM International, 2020), dan besi *alloy* akan digunakan dalam penelitian ini sebagai syarat simulasi, dan besi *alloy* akan digunakan dalam penelitian ini sebagai syarat simulasi berjalan dengan sesuai. Gambar 5 memberikan material dari *eyebolt*.

| | A | B | C | D | E |
|----|---|-------------------------------------|--------------------|---|---|
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Material Field Variables | Table | | | |
| 3 | Density | 7850 | kg m ⁻³ | | |
| 4 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | | | | |
| 6 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 7 | Derive from | Young's Modulus and Poisson's Ratio | | | |
| 8 | Young's Modulus | 2,1E+11 | Pa | | |
| 9 | Poisson's Ratio | 0,3 | | | |
| 10 | Bulk Modulus | 1,75E+11 | Pa | | |
| 11 | Shear Modulus | 8,0769E+10 | Pa | | |
| 12 | Strain-Life Parameters | | | | |
| 20 | S-N Curve | Tabular | | | |
| 24 | Tensile Yield Strength | 6,6E+08 | Pa | | |
| 25 | Compressive Yield Strength | 6,6E+08 | Pa | | |
| 26 | Tensile Ultimate Strength | 6,4E+08 | Pa | | |
| 27 | Compressive Ultimate Strength | 0 | Pa | | |

Gambar 5: Mekanikal *Eyebolt* M12 AS2371:2018

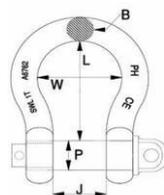
2.4.2. **3D Geometri**

Tiga dimensi (3D) geometri produk dibuat melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu *import eyebolt* M12 geometri yang sebelumnya telah disediakan oleh pemilik resmi. Selanjutnya peneliti menambahkan ulir pada bagian geometri baut sehingga sama dengan *eyebolt* yang digunakan di lapangan. Dimensi dari ulir *eyebolt* dapat dilihat pada Tabel 1 diatas. Untuk lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 6 mengenai penambahan langkah ulir pada geometri *eyebolt*.



Gambar 6: M12 Langkah Ulir.

Setelah itu, pembuatan *lifting gear* dan dudukan *eyebolt* untuk memberikan simulasi geometri yang sesuai aslinya sehingga *shackle* dan *shackle pin* dibentuk. Dalam penelitian ini M12 *eyebolt* digunakan, sehingga *shackle* yang digunakan adalah *shackle* ukuran yang dibawah M12 yaitu M8. Diagram *shackle* PHB-08-B yang dapat dilihat pada Gambar 7 dengan nilai variabelnya pada Tabel 3 dibawah.



Gambar 7: *Shackle and Pin Shackle* Diagram Dimensi

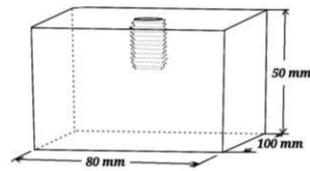
Tabel 3: Tabel Dimensi dari *Shackle* dan *Pin Shackle*

| Nomor Shackle | P (mm) | B (mm) | J (mm) | W (mm) | L (mm) | WLL (Tones) |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 08 | 10 | 8 | 16 | 24 | 32 | 0,8 |
| 15 | 12,7 | 10 | 20 | 30 | 40 | 1,5 |
| 25 | 16 | 12,7 | 25 | 38 | 50 | 2,5 |
| 40 | 19 | 16 | 32 | 48 | 64 | 4 |
| 55 | 22,2 | 19 | 38 | 57 | 76 | 5,5 |
| 75 | 25,4 | 22,2 | 44 | 66 | 88 | 7,5 |
| 90 | 28,6 | 25,4 | 51 | 76 | 102 | 9 |

Sumber: Data dimensi *shackle* (S3i Group, 2025).

Tahapan selanjutnya yaitu membentuk dudukan *eyebolt*, yang dibentuk dari geometri kotak biasa. Langkah ulir yang dibentuk dalam dudukan *eyebolt* dibuat otomatis menyerupai langkah ulir yang terdapat pada *eyebolt* yang sebelumnya dibentuk menggunakan

fitur *boolean*, dengan memilih bagian mana yang akan di *subtract* antara Langkah ulir dan dudukan *eyebolt*. Referensi geometri dari dudukan *eyebolt* terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8: Dimensi Dudukan *Eyebolt*

2.4.2.1. Koneksi dan Sambungan

Tiga bagian komponen yang digunakan di penelitian ini, diantaranya *eyebolt*, *shackle* dan dudukan *eyebolt*. Sehingga mendefinisikan korelasi antara setiap komponen untuk memberikan hasil analisa yang sesuai. Berikut adalah uraian koneksi dan sambungan yang digunakan dalam penelitian ini.

a. *Frictional Contact*

Frictional contact berhubungan dengan relasi antara komponen, sehingga komponen tersebut memiliki pengaruh terhadap komponen lainnya karena adanya *frictional force*. Gaya tersebut akan diterapkan kepada semua area komponen yang telah di set memiliki *frictional contact*. Koneksi ini diyakini dapat mempengaruhi hasil akhir simulasi (Vashishtha dkk., 2025). Lebih lanjutnya nilai koefisien gesek yang ditetapkan bernilai 0,2 (*steel*). *Frictional contact* diaplikasikan kepada:

1. Antara ulir *eyebolt* dan lubang ulir di dudukan *eyebolt*.
2. Antara *eyebolt* dan *shackle*.

b. *Fixed Joints*

Fixed joints didesain untuk tidak memberikan gerakan sedikitpun, serta nilai nya diabaikan. Namun, koneksi ini dapat memberikan banyak tekanan pada sendi karena harus cukup kuat untuk menahan gaya pembengkokan dan geser (Hargrave, 2024). *Fixed Joints* diaplikasikan kepada:

1. Antara *shackle* dan *shackle pin*
2. Dibawah dudukan *eyebolt*

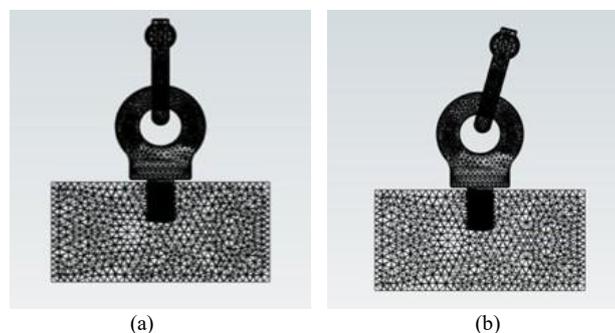
c. *Translational joints in the shackle (lifting gear)*

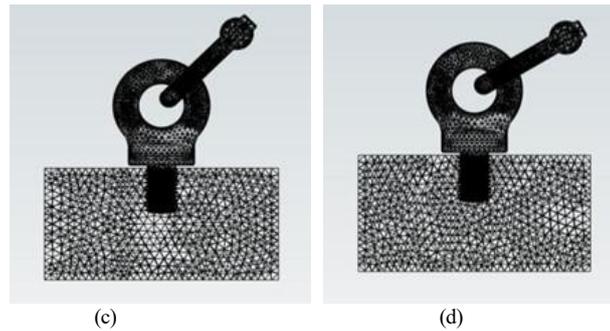
Translational joint adalah jenis sendi yang memungkinkan satu bagian untuk bergerak sepanjang vektor. Bagian tersebut tidak dapat berputar dan hanya memiliki satu derajat kebebasan translasi (Graspengeering, 2021). Selain itu, pada akhirnya, itu akan menjadi tempat di mana batasan-batasan diletakkan dalam geometri.

Semua sambungan sistematis yang dijelaskan di atas diterapkan pada semua simulasi pada setiap variasi sudut dari geometri.

2.4.3. *Meshing*

Langkah selanjutnya adalah membuat jaringan dari ketiga geometri yang akan dianalisis. Membuat jaringan adalah ketika geometri desain yang lengkap dibagi menjadi area yang lebih kecil, di mana area ini terhubung di titik diskrit yang disebut node. Node akan bervariasi dan tergantung pada perpindahan antara masing-masing daerah. (Yetmez, 2016). Bagian ini sangat penting untuk mendapatkan hasil terbaik dan menghindari kesalahan selama proses simulasi. Gambar 9 memberikan penerapan pemetaan pada setiap sudut pengangkatan.





Gambar 9: Meshing (a) Sudut 90° (b) Sudut 75°(c) Sudut 45°(d) Sudut 30°

Gambar 8 menunjukkan ilustrasi pemeshan dengan konfigurasi detail pemeshan secara otomatis oleh Ansys Mechanical. Selain itu, total simpul dihitung menjadi 148003 simpul dengan total 98500 elemen. Semakin banyak simpul yang kita terapkan, semakin rinci hasilnya. Namun, hal ini akan mempengaruhi kinerja komputer. Selain itu, standar tinggi dari kualitas *meshing* dapat dicapai dengan pemeshan otomatis oleh Ansys. Pemeshan otomatis Ansys biasanya memberikan mesh yang baik ketika diterapkan pada geometri yang sederhana, seperti yang kita lakukan dalam penelitian ini. Namun, untuk membuatnya lebih rinci, kami memastikan kualitasnya dengan mengurangi ukuran mesh di bagian kecil seperti *eyebolt* dan lubang ulir yang menentukan ukuran yang lebih kecil dalam *meshing*, ukuran ditetapkan menjadi $0,1 \times 10^{-2}$ menggunakan pengukuran wajah Ansys ini memastikan kualitas *meshing* masih dihitung sebagai *meshing* yang baik meskipun untuk geometri kecil seperti ulir. Ini karena dihitung sebagai bagian kecil. Ansys secara otomatis cenderung memiliki kesalahan saat menangani hal ini.

Kualitas *mesh* diatur ke default, dengan *meshing smoothing* diatur ke tinggi. Kualitas pemetaan dalam studi ini dinyatakan secara numerik sebagai metrik *meshing*. Metrik *meshing* pada kualitas ortogonal, di mana nilai rata-rata kualitas ortogonal dalam studi ini adalah 0,81811, yang sangat baik karena idealnya adalah 0,85 dan toleransinya di bawah 0,10 dari itu. Selain itu, kemiringan yang ditunjukkan dalam metrik *meshing* adalah 0,25, yang ideal dan kurang dari 0,9, yang merupakan toleransi maksimum untuk kemiringan yang baik. Selanjutnya, rasio aspek untuk *meshing* adalah 1,93, yang ideal karena seharusnya sekecil mungkin, atau biasanya harus di bawah lima. Terakhir, *Determinan Jacobian* dalam kualitas *meshing* ini dinyatakan sebagai 0,99, dan itu sangat baik, karena *Determinan Jacobian* seharusnya sedekat mungkin dengan 1 sehingga kualitas *meshing* yang digunakan dalam penelitian ini.

2.4.4. Beban dan Penetapan Solusi

Langkah terakhir sebelum menganalisis adalah menentukan batasan dan solusi untuk simulasi. Menurut Tabel 1, beban kerja keamanan untuk pengangkatan aksial baut M12 pada kancing mata kelas 4 adalah 0,40 ton. (Townley Drop Forge, 2018), atau sama dengan 400 kg. Oleh karena itu, batas beban untuk seluruh variasi sudut dalam simulasi ditetapkan sebesar 4000 N. Penetapan ini memungkinkan setiap variasi sudut dapat dibandingkan secara konsisten pada tahap akhir analisis. Pembebanan diterapkan pada sambungan (*joint*) dalam bentuk gaya yang mengarah ke atas, sesuai dengan kondisi kerja peralatan pengangkat beban. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan solusi apa yang perlu kita ketahui dari data yang telah dimasukkan melalui *ansys workbench*. Luaran yang perlu dihasilkan sebagai berikut: *displacement total*, tegangan setara, regangan elastis setara, faktor keamanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses simulasi selesai, diperoleh hasil yang bervariasi untuk setiap sudut pengangkatan yang dianalisis. Parameter yang diamati meliputi deformasi total, tegangan setara (*von Mises*), regangan elastis setara, dan faktor keamanan. Perlu dicatat bahwa hasil tersebut diperoleh berdasarkan geometri *eyebolt* semata, karena penelitian ini secara khusus difokuskan pada analisis perilaku *eyebolt* terhadap variasi sudut pengangkatan. Ringkasan hasil akhir untuk setiap variabel yang terpengaruh oleh perubahan sudut pengangkatan disajikan pada Tabel 4.

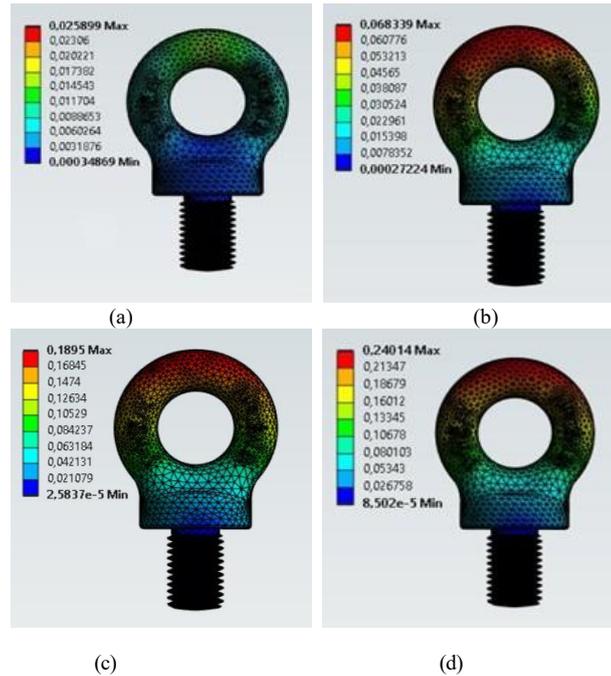
Tabel 4: Tabel hasil rata-rata simulasi

| Sudut Pengangkatan | Deformation (mm) | Strain (mm/mm) | Stress (MPa) | Factor of Safety |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|------------------|
| 30° | $0,82198 \times 10^{-1}$ | $0,27036 \times 10^{-3}$ | 52,397 | 0,5475 |
| 45° | $0,6601 \times 10^{-1}$ | $0,22633 \times 10^{-3}$ | 44,045 | 0,7005 |
| 75° | $0,23174 \times 10^{-1}$ | $0,12942 \times 10^{-3}$ | 25,532 | 1,1002 |
| 90° | $0,4827 \times 10^{-2}$ | $0,9689 \times 10^{-4}$ | 19,144 | 1,7692 |

Sumber: Output simulasi menggunakan *Ansys Workbench*

3.1. Total Deformasi

Total deformasi adalah kemampuan objek untuk terdefinisi dari dimensi atau bahkan ukuran aslinya sebagai akibat dari gaya yang diterapkan pada geometri (Putra dkk., 2020). Gambar 10 menunjukkan ilustrasi detail dari hasil sebuah *eyebolt* dari berbagai sudut.



Gambar 10: Hasil Total deformasi (a) Sudut 90 ° (b) Sudut 75 °(c) Sudut 45°(d) Sudut 30 °

Deformasi diukur melalui tahap warna setelah selesai. Selain itu, ini diklasifikasikan menjadi sembilan tahap, yaitu biru tua, biru, biru muda, cyan, hijau, limau, kuning, oranye, dan merah sesuai dengan nilai variabelnya. Selanjutnya, setiap derajat variasi pengangkatan memiliki hasil deformasi yang berbeda. Tabel 5 memberikan hasil rinci dari simulasi untuk total deformasi pada setiap sudut pengangkatan.

Tabel 5: Hasil Simulasi Total Deformasi

| Sudut Pengangkatan | Total Deformasi (mm) | | |
|--------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Maximum | Minimum | Average |
| 30° | 0,2401 | $0,85020 \times 10^{-4}$ | $0,82198 \times 10^{-1}$ |
| 45° | 0,1895 | $0,25837 \times 10^{-4}$ | $0,6601 \times 10^{-1}$ |
| 75° | $0,683 \times 10^{-1}$ | $0,27224 \times 10^{-3}$ | $0,23174 \times 10^{-1}$ |
| 90° | $0,258 \times 10^{-1}$ | $0,34869 \times 10^{-3}$ | $0,4827 \times 10^{-2}$ |

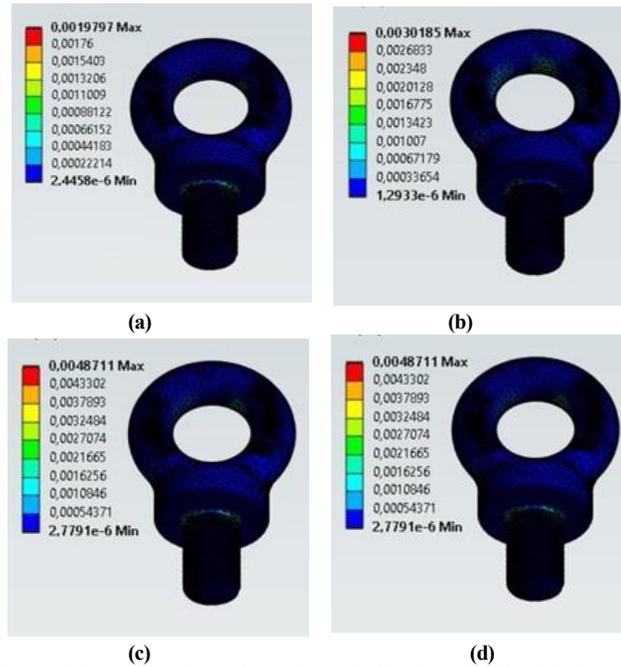
Sumber: Output simulasi total deformasi menggunakan Ansys Workbench.

Terlihat bahwa nilai total deformasi tidak mencapai 1 mm dari semua variasi derajatnya. Selain itu, ini sejalan dengan teori di mana semakin besar sudut yang dihitung dari sudut horizontal, semakin sedikit deformasi yang dialami oleh *eyebolt*. Misalnya, sudut angkat 90° memiliki deformasi yang rendah dan hanya memerlukan $0,4827 \times 10^{-2}$ mm deformasi total rata-rata, dan sudut angkat 30° memiliki skala deformasi yang tinggi yang memerlukan $0,82198 \times 10^{-1}$ mm deformasi total rata-rata. Namun, lihat nilai total deformasi maksimum pada 90° dan 75°, di mana nilai ini berubah drastis dari $0,4827 \times 10^{-2}$ mm menjadi $0,6601 \times 10^{-1}$ mm. Ini disebut sebagai rentang sudut kritis, yang mungkin menjadi alasan mengapa beberapa industri menerapkan tidak kurang dari 75° sebagai sudut angkat maksimum untuk operasi pengangkatan *eyebolt*.

Dari Tabel 5, kita dapat mengonfirmasi bahwa dengan gaya 4000 N yang diterapkan, total deformasi terendah yang dapat diterima oleh *eyebolt* AS2371:2018 M12 adalah ketika ia tegak lurus dengan tanah atau menggunakan sudut angkat 90° yang akan menghasilkan nilai rata-rata sekitar $0,4827 \times 10^{-2}$ mm. Itu berarti ketika diterapkan pada sudut angkat 75°, nilainya meningkat menjadi $0,23174 \times 10^{-1}$ mm atau 480% dari nilai terendah. Selain itu, ketika diterapkan pada sudut angkat 45°, nilainya meningkat menjadi $0,6601 \times 10^{-1}$ mm atau 1367% dari nilai terendah. Terakhir, ketika diterapkan pada sudut angkat 30°, nilainya akan meningkat menjadi $0,82198 \times 10^{-1}$ mm, atau setara dengan 1702% dari nilai terendah.

3.2. Equivalent Elastic Strain.

Definisi dari *equivalent elastic strain* dapat dilihat dari definisi regangan ekuivalen atau tegangan efektif. Definisi regangan ekuivalen didefinisikan sebagai distorsi total dari elemen-elemen suatu material (Ding & Zhang, 2017). Ini berarti seberapa banyak mata baut akan deformasi sementara sebelum kembali ke bentuk aslinya. Gambar 11 menunjukkan hasil setelah simulasi untuk regangan elastis ekuivalen.



Gambar 11: Ilustrasi *Equivalent Elastic Strain* (a) Sudut 90° (b) Sudut 75°(c) Sudut 45°(d) Sudut 30°

Dapat dilihat dari Gambar 11 di atas bahwa regangan elastis ekuivalen terutama mempengaruhi bahu batangan mata dan lubang batangan mata. Untuk nilai yang lebih detail, Tabel 6 menunjukkan nilai-nilai detail dari regangan elastis ekuivalen dari setiap sudut pengangkatan.

Tabel 6: Hasil Simulasi *Equivalent Elastic Strain*

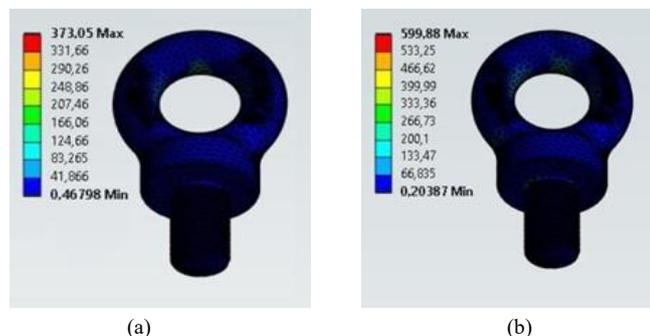
| No | Sudut Pengangkatan | <i>Equivalent Elastic Strain (mm/mm)</i> | | |
|----|--------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| | | <i>Maximum</i> | <i>Minimum</i> | <i>Average</i> |
| 1 | 30° | $0,6062 \times 10^{-2}$ | $0,19592 \times 10^{-5}$ | $0,27036 \times 10^{-3}$ |
| 2 | 45° | $0,4871 \times 10^{-2}$ | $0,27791 \times 10^{-5}$ | $0,22633 \times 10^{-3}$ |
| 3 | 75° | $0,3018 \times 10^{-2}$ | $0,12933 \times 10^{-5}$ | $0,12942 \times 10^{-3}$ |
| 4 | 90° | $0,1979 \times 10^{-2}$ | $0,24458 \times 10^{-5}$ | $0,9689 \times 10^{-4}$ |

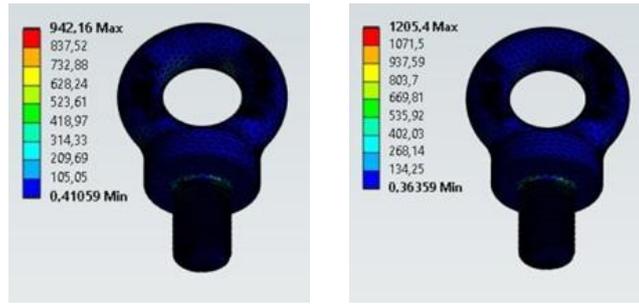
Sumber: Output simulasi *equivalent elastic strain* menggunakan *Ansys Workbench*.

Dapat dilihat dari Tabel 6 di atas bahwa *equivalent elastic strain* tertinggi terjadi ketika diterapkan pada sudut angkat 30°, yang mencapai $0,27036 \times 10^{-3}$ rata-rata. Lebih lanjut, nilai terendah dari *equivalent elastic strain* terjadi ketika sudut angkat 90° diterapkan, dengan rata-rata $0,9689 \times 10^{-4}$. Selain itu, hasil akhir dari sudut 75° adalah 133% lebih tinggi daripada sudut angkat 90°, dan sudut angkat 45° adalah 233% lebih tinggi daripada sudut angkat 90°. Terakhir, sudut angkat 30° adalah 279% lebih tinggi daripada sudut angkat 90°. Jika kita melihat dengan cermat pada Tabel 6, kita bisa melihat perbedaan yang sangat besar pada hasil akhir antara 75° dan 45°. Oleh karena itu, dari simulasi *equivalent elastic strain* menggunakan 75° daripada 45°, itu akan secara signifikan meningkatkan regangan dengan konsekuensi kegagalan.

3.3. *Equivalent Stress*

Equivalent stress atau *von Mises stress* diterapkan dalam pekerjaan desain karena memberikan stres 3D acak yang akan diwakili sebagai satu rangkaian stres positif. (Sangdavinc, 2023). Gambar 12 memberikan ilustrasi tentang stres ekuivalen setelah simulasi untuk setiap derajat pengangkatan.





(c) (d)
Gambar 12: Ilustrasi Equivalent Stress (a) Sudut 90° (b) Sudut 75°(c) Sudut 45°(d) Sudut 30°

The *equivalent stress* dari Gambar 12 lebih lanjut dijelaskan dalam Tabel 7 yang memberikan hasil akhirnya secara rinci untuk *equivalent stress* di setiap sudut pengangkatan *eyebolt*.

Tabel 7: Hasil Simulasi *Equivalent Stress*

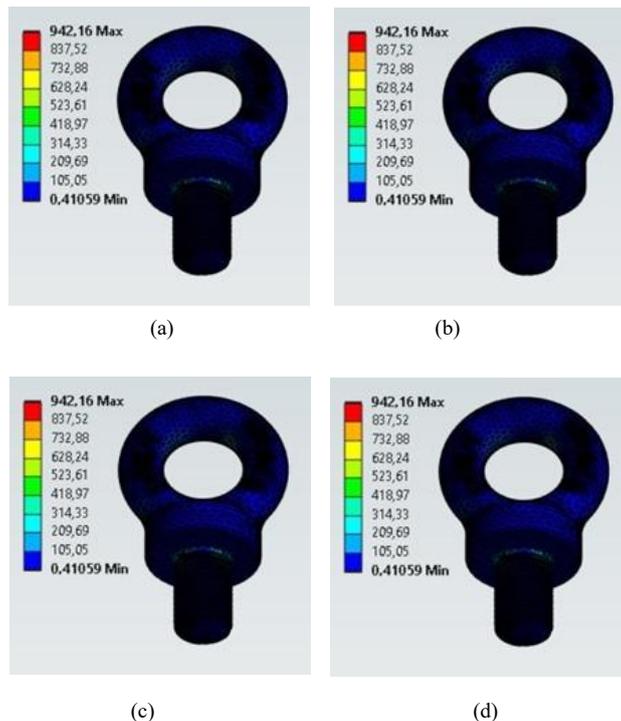
| Sudut Pengangkatan | <i>Equivalent Stress (MPa)</i> | | |
|--------------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| | <i>Maximum</i> | <i>Minimum</i> | <i>Average</i> |
| 30° | 1205,4 | 0,36359 | 52,397 |
| 45° | 942,16 | 0,41059 | 44,045 |
| 75° | 599,88 | 0,20387 | 25,532 |
| 90° | 373,05 | 0,46798 | 19,144 |

Sumber: *Output* simulasi *equivalent stress* menggunakan *Ansys Workbench*.

Seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 7, *equivalent stress* terbesar terjadi ketika tegangan diterapkan pada sudut 30°, dan yang terendah adalah ketika diterapkan pada sudut 90°. Selain itu, jika Anda melihat Tabel tersebut, terdapat kesenjangan besar antara nilai yang menggunakan sudut 75° dan sudut 45°. Selain itu, hasil akhir sudut 75 ° adalah 133,36% lebih tinggi daripada sudut 90°, sudut 45° adalah 230,07 % lebih tinggi daripada sudut 90°, dan terakhir, sudut 30° adalah 273,69% lebih tinggi daripada sudut 90°. Kekuatan hasil material adalah 640 MPa, yang berarti bahwa sudut 45° dan sudut 30° telah melewati kekuatan hasil dan akan mengalami deformasi permanen. Di sisi lain, sudut 75° dan sudut 90° memiliki hasil yang lebih rendah, yang berarti *eyebolt* akan kembali ke posisi semula.

3.4. Factor of Safety

Factor of safety adalah angka yang digunakan untuk menunjukkan seberapa banyak struktur dapat menahan ketika sistem yang sama diterapkan di dunia nyata. Faktor keselamatan penting karena tujuannya, yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem itu dapat diandalkan dan dapat menahan kondisinya (Post, 2024). Gambar 13 menggambarkan faktor keselamatan untuk setiap sudut pengangkatan dari *eyebolt*.



(a) (b) (c) (d)
Gambar 13: *Factor of Safety* (a) Sudut 90 ° (b) Sudut 75°(c) Sudut 45 °(d) Sudut 30 °

Tabel 8: Hasil Simulasi *Factor of Safety*

| Sudut Pengangkatan | <i>Factor of Safety</i> |
|--------------------|-------------------------|
| 30° | 0,5475 |
| 45° | 0,7005 |
| 75° | 1,1002 |
| 90° | 1,7692 |

Sumber: Output simulasi *factor of safety* menggunakan *Ansys Workbench*.

Dari Tabel 8, terlihat bahwa Faktor Keamanan yang lebih tinggi diperoleh ketika sudut pengangkatan 90° diterapkan pada operasi. Nilai sudut 90° adalah 1,7692, yang dianggap aman karena berada di atas 1,5 – 2, yang sering kali sudah cukup. Namun, alasan simulasi menggunakan kapasitas beban maksimum yang dapat ditangani oleh mata baut secara vertikal adalah 0,40 ton (Townley Drop Forge, 2018). Sudut 45° dan sudut 30° tidak dapat menahan gaya yang diberikan dan akan segera patah, terlihat dari faktor keselamatan yang di bawah 1, sudut 75° masih dapat menahan gaya yang diberikan, tetapi masih memiliki kemungkinan untuk patah. Terakhir, sudut 90° adalah pilihan terbaik untuk operasi pengangkatan menggunakan *eyebolt*.

4. KESIMPULAN

Kemampuan *eyebolt* untuk operasi pengangkatan memiliki sudut 45° memiliki kesamaan dengan sudut 30° menyebabkan patah ketika menerapkan jenis batasan yang sama. Hal ini disebabkan oleh kekuatan material yang tidak cukup kuat untuk menangani stres yang terjadi, yang akan mengakibatkan faktor keamanan yang lebih rendah dalam serangkaian operasi. Selain itu, sudut 75° hingga 90° terbukti lebih aman dibandingkan sudut 45° dan sudut 30°. Secara numerik dikatakan bahwa ketika sebuah *eyebolt* diterapkan pada batas yang sama, dan batas itu sendiri adalah beban maksimum yang dapat ditangani oleh *eyebolt* secara vertikal. Sudut 75° hanya akan memberikan kurang dari 50% lebih banyak regangan dan stres dibandingkan dengan metode yang paling aman. Namun, berbeda dengan 45°, di mana itu meningkat secara signifikan menjadi 200% lebih, atau setara dengan tiga kali stres & regangan yang terjadi dari metode yang paling aman. Selain itu, sudut 30° mencapai hingga 250% lebih banyak stres & regangan dibandingkan dengan metode yang paling aman.

Total stres & regangan yang terjadi pada mata pengikat akan berdampak pada deformasi mata pengikat. Semakin tinggi stres dan regangan, semakin besar deformasi yang akan terjadi. Deformasi yang lebih tinggi ini akan berujung pada kegagalan operasi. Selanjutnya, sudut 30° terbukti dilarang untuk digunakan, dan sudut 45° tidak disarankan untuk digunakan dalam peralatan pengangkatan berat dan harus dilakukan perhitungan yang kuat terkait spesifikasinya dan beratnya. Namun, sudut 90° adalah metode teraman selama persyaratan dipenuhi. Akhirnya, sudut 75° terbukti masih mampu mengangkat batasan berat vertikal. Namun, setiap operasi pengangkatan harus direncanakan sebelumnya, dan memeriksa setiap peralatan pengangkatan untuk menghindari kegagalan dalam pengangkatan. Untuk industri yang menerapkan mata pengangkat dengan sudut angkat 75° perlu menyadari berat material agar tidak melebihi batas mata pengangkat. Namun, industri yang menetapkan batas mata pengangkat hingga 45° harus lebih berhati-hati saat mengangkat mendekati 45°. Perhitungan dasar harus dilakukan untuk memastikan operasi dilakukan di lingkungan yang aman dan kuat. Lebih lanjut, ketika sudut angkat diatur lebih dari 45°, hal ini akan membuat operasi pengangkatan gagal, dan mata pengangkat akan patah pada akhirnya. Pada akhirnya, penelitian ini memfokuskan pada industri untuk memberikan aspek rekayasa yang jelas tentang bagaimana pengangkatan mata pengangkat harus dilakukan bagi mereka yang menggunakan mata pengangkat dan secara umum kepada pembaca dari berbagai latar belakang yang ingin mencari lebih banyak pengetahuan tentang operasi pengangkatan dan sistem mata pengangkat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengungkapkan terima kasih yang mendalam dan penghargaan atas dukungan dan kata-kata bijak dari semua individu yang terlibat dalam mewujudkan karya ini. Terima kasih khusus disampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa, kepada keluarga, kepada Politeknik Negeri Batam, dan kepada semua pihak yang upayanya membuat publikasi makalah ini menjadi terealisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhil, A., Muhammed, A., P, J., Pradeep, N., & R, J. (2020). Designing and analysis of lifting eye bolt for various geometry. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 10(3), 18–25.
- ASTM International. (2020). ASTM F541-12(2020): Standard Specification for Alloy Steel Eyebolts. In *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/F0541-12R20>
- Dhage, O., Kale, P. R., Ahmad, A., Jogdand, C., & Pingale, A. D. (2025). Analysis of Lifting Eye Bolt for Different Materials and Cross Sections. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 73(3), 751–758.
- Ding, X., & Zhang, G. (2017). Coefficient of equivalent plastic strain based on the associated flow of the Drucker-Prager criterion. *International Journal of Plasticity*, 91, 15–20.
- Graspenengineering. (2021). *What is Translational Joint?* Grasp Engineering. Diakses Juni, 2025, dari <https://www.graspenengineering.com/what-is-translational-joint/>
- Hargrave, G. (2024). *Is a Weld a Fixed Connection: Explained and Defined*. Weldsmartly. Diakses Juni, 2025, dari <https://weldsmartly.com/is-a-weld-a-fixed-connection/>
- Hutama Karya. (2020). Buku Saku Standard Safety Lifting: Standar Pengangkatan yang Aman. In *Hutama Karya*. Diakses Mei, 2025, dari <https://online.fliphtml5.com/oclxp/shag/#p=1>
- Post, H. (2024). *What Is Factor of Safety and How to Calculate It*. Tradesafe. Diakses Juni, 2025, dari <https://trdsf.com/blogs/news/what-is-factor-of-safety#:~:text=The Factor of Safety y%28FoS%29 is a,actual loads it will experience during normal use.>
- Putra, S. P., Muvariz, M. F., & Prasetyo, N. A. (2020). Studi Kekuatan Eyebolt Pada Proses Pengangkatan Wellhead. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, 2(1), 14–19. <https://doi.org/10.30871/jatra.v2i1.1799>

-
- S3i Group. (2025). *Lifting Bow Shackle – Stainless Steel – Long Safety Pin*. s3i.co.uk. Diakses Mei, 2025, dari <https://www.s3i.co.uk/lifting-bow-shackle-long-pin.php>
- Sangdavinc. (2023). *ANSYS分析结果中的各种应力(Stress)类型*. 360doc个人图书馆. Diakses Juni, 2025, dari http://www.360doc.com/content/23/0725/10/52500583_1089942350.shtml
- Townley Drop Forge. (2018). *Metric eyebolts AS2317:2018*. Townley Drop Forge. Diakses Mei, 2025, dari <https://www.townleydropforge.com.au/catalogue/metric-eyebolts-as23171998/>
- Vashishtha, G., Chauhan, S., Singh, R., Singh, M., & Tejani, G. G. (2025). A Review of Numerical Techniques for Frictional Contact Analysis. *Lubricants*, 13(1), 1–18.
- Wall, R. (2018). *Shoulder Eye Bolt Failure During Equipment Lift*. Energy Safety Canada. Diakses Juni, 2025, dari <https://www.energysafetycanada.com/Resource/Safety-Alerts/2018/Shoulder-Eye-Bolt-Failure-During-Equipment-Lift>
- Yetmez, M. (2016). Finite element analysis. *Musculoskeletal Research and Basic Science*, 51–59.