PENGENCANGAN BAUT DENGAN TORSI DAN SUDUT PADA BEBERAPA VARIASI *TREATMENT* BAUT

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh:

Nama : Kelvin Chandra Yuda Ardhana
No. Mahasiswa : 16525030
NIRM : 2016030559

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGENCANGAN BAUT DENGAN TORSI DAN SUDUT PADA BEBERAPA VARIASI *TREATMENT* BAUT

TUGAS AKHIR

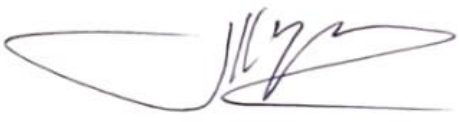
Disusun Oleh:

Nama : **Kelvin Chandra Yuda Ardhana**

No. Mahasiswa : **16525030**

Yogyakarta, 14 November 2022

Pembimbing



Dr. Ir. Paryana Puspaputra. M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGENCANGAN BAUT DENGAN TORSI DAN SUDUT PADA BEBERAPA VARIASI *TREATMENT* BAUT

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama	**: Kelvin Chandra Yuda Ardhana**
No. Mahasiswa	**: 16525030**
NIRM	**: 2016030559**

Tim Penguji

Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng
Ketua
Tanggal: 08/12/2022

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng
Anggota I
Tanggal: 02/12/2022

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME
Anggota II
Tanggal: 02/12/2022

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA ★ YOGYAKARTA ★ FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini dan ucapkan terimakasih kepada:

Bapak dan Ibu,
Affandy Ridwan dan Jumainel
Terimakasih telah mengantarkan saya sampai di titik ini. Terimakasih atas segala perjuangan yang telah kalian berikan kepada saya. Semoga gelar yang saya peroleh ini dapat membanggakan kalian. Saya beruntung menjadi seorang anak dari kalian.

Kakak dan Adik
Aliffa Karina Agesty dan Kessar Zhafran Al Saddam
Terimakasih untuk selalu menjadi saudara/i yang selalu mengingatkan saya untuk selalu berusaha keras. Terimakasih atas dukungan kalian

Pasangan saya,
Indah Kurnianda Ramadhani
Terimakasih untuk selalu bersabar dalam menjadi seorang pasangan bagi saya dari saya kuliah hingga sekarang. Terimakasih atas segala pelajaran yang telah kamu berikan ke saya. Doa terbaik untuk mu.

Saya,
Kelvin Chandra Yuda Ardhana
Terimakasih atas segalanya, terimakasih atas kekuatan mu, terimakasih atas perjuangan mu, terimakasih sudah cukup kuat selama ini. Perjalanan kita belum selesai, bekerjasamalah sekali lagi, hingga akhir.

HALAMAN MOTTO

“Barang siapa yang keluar untuk mencari ilmu maka ia berada di jalan Allah.”

(HR.Turmudzi)

“I’m not like them but i can pretend, the day is gone but i have a light, the day is done but i’m having fun.”

(Kurt Cobain)

“They laugh at me because i’m different, i laugh at them because they’re all the same.”

(Kurt Cobain)

“Music is energy. A mood, atmosphere. Feeling.”

(Kurt Cobain)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan nikmat-Nya sehingga program tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul "Pengencangan Baut dengan Torsi dan Sudut Pada Beberapa Variasi *Treatment* Baut." dapat terlaksana dan terselesaikan dengan baik. Tak lupa sholawat dan salam senantiasa penulis panjatkan kepada Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang telah berjuang dan membimbing kita keluar dari kegelapan menuju jalan yang terang benderang untuk menggapai ridho Allah SWT.

Pelaksanaan tugas akhir merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata Satu pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Tugas akhir ini bertujuan untuk menyelaraskan ilmu yang telah diperoleh di bangku kuliah dengan realita yang terjadi di dunia industri. Harapan yang ingin dicapai setelah melakukan kerja praktik ini, penulis mampu menerapkan ilmu yang telah diperoleh dengan baik.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir serta memberikan semangat dan motivasi yang sangat besar bagi penulis.

4. Orang tua penulis, Bapak Affandy Ridwan dan Ibu Jumainel yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi dalam pelaksanaan tugas akhir.
5. Kawan-kawan kontrakan ucup, Fery, Reja, Rafii, Sulton, Aria, Acil dan Satria yang telah membantu saya atas saran-saran yang telah diberikan, doa dan semangat yang luar biasa.
6. Abang Prahadid Blya Narafuadi yang telah membantu dan mengajarkan penulis serta memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir
7. Kawan-kawan Teknik Mesin UII dan semua pihak yang telah memberikan dukungan, doa, semangat, serta membantu proses penyelesaian laporan tugas akhir. Semoga kebaikan-kebaikan yang diberikan menjadi amal sholeh dan mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Aamiin.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan di masa yang akan datang. Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai mana mestinya serta berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca yang berminat pada umumnya.

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Sleman, 14 November 2022

Kelvin Chandra Yuda Ardhana

ABSTRAK

Proses pemasangan baut sendiri memerlukan teknik atau metode pengencangan baut yang tepat. Hal tersebut menjadi sangat penting untuk mengontrol variasi tegangan pada sambungan baut. Beberapa hal yang dapat diperhatikan saat mengencangkan baut adalah besarnya torsi dan sudut yang diperlukan. Torsi adalah gaya yang bekerja terhadap suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berputar, dimana dipengaruhi oleh jarak antara titik gaya dengan sumbu putar. Pada saat mengencangkan baut dengan nilai torsinya, sudut merupakan derajat rotasi ke titik kencang baut dan dapat digunakan sebagai acuan praktis saat mengencangkan baut. Penelitian ini melakukan studi eksperimental pengencangan pada baut M10 *grade* 4.6 dan *pitch* sebesar 1 mm dengan 3 (tiga) *treatment* yang berbeda, yaitu baut *direct contact*, baut dengan *ring*, dan baut dengan pelumas untuk mengetahui besarnya sudut yang dibutuhkan baut setiap *treatment* sesuai nilai torsi teoritisnya. Diperoleh hasil bahwa dampak yang paling mencolok terjadi di sudut pengujian pada baut yang diberi pelumas, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan koefisien gesek antara baut tanpa pelumas dan baut yang diberi pelumas berbeda. Kemudian dengan sudut yang sama antara baut tanpa pelumas (*direct contact* dan dengan *ring/washer*) dan baut dengan pelumas dapat menghasilkan nilai torsi yang berbeda.

Kata kunci/*keywords*: baut, pengencangan baut, torsi, sudut

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL I
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
HALAMAN MOTTO v
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH vi
PERNYATAAN KEASLIAN viii
ABSTRAK ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR NOTASI xiv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Kajian Pustaka 4
2.2 Dasar Teori 5
2.2.1 Baut 5
2.2.2 Jenis Baut 5

2.2.3 Spesifikasi Baut 7
2.2.4 Tipe Kepala Mur 8
2.2.5 *International Standardization of Organization* (ISO) 9
2.2.6 Torsi 10
2.2.7 *Bolt Elongation* (Pemanjangan Baut) 12
2.2.8 Sudut 13
BAB 3 METODE PENELITIAN 14
3.1 Alur Penelitian 14
3.2 Perancangan Produk dan Perhitungan Nilai Teoritis Baut 15
3.2.1 Perancangan Produk 15
3.2.2 Perhitungan Teoritis Baut 15
A. Perhitungan Torsi 15
B. Perhitungan Sudut 17
3.3 Peralatan dan Bahan 19
3.4 Langkah-Langkah Pengujian Baut 20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 21
4.1 Hasil Perancangan 21
4.2 Proses Pengujian Baut 21
4.3 Analisis dan Pembahasan 23
BAB 5 PENUTUP 25
5.1 Kesimpulan 25
5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya 25
DAFTAR PUSTAKA 26

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 *Nominal Stress Area for bolt grade* 4.6 – ISO *metric fine pitch thread* (ISO 898-1)..... 11
Tabel 2-2 Nilai *Proof Strength* berdasarkan *grade* baut menurut ISO 898-1 ... 11
Tabel 2-3 Nilai konstanta *K* (*Mechanical Design Engineering Handbook*)..... 12
Tabel 3-1 Spesifikasi ukuran baut dan jarak jepit nya terhadap sambungan 17
Tabel 3-2 Perhitungan *bolt stretch* 18
Tabel 3-3 Perhitungan sudut 18
Tabel 3-4 Alat dan bahan yang digunakan 19
Tabel 4-1 Perbandingan nilai perhitungan dan nilai pengujian 23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 *Carriage bolts* 5
Gambar 2-2 *Square head bolts* 6
Gambar 2-3 *Flange bolts* 6
Gambar 2-4 *Hex bolts* 6
Gambar 2-5 Spesifikasi baut 7
Gambar 2-6 Mur segi enam 8
Gambar 2-7 *Castellated nut* 9
Gambar 2-8 Mur pengunci 9
Gambar 2-9 Spesifikasi *bolt* sesuai ISO 10
Gambar 3-1 *Flowchart* penelitian 14
Gambar 3-2 Desain produk 15
Gambar 4-1 Hasil Produk 21
Gambar 4-2 Baut *direct contact* 21
Gambar 4-3 Baut dengan *ring/washer* 22
Gambar 4-4 Baut dengan pelumas/*lubricated* 22
Gambar 4-5 Grafik pengujian torsi dan sudut 24

DAFTAR NOTASI

$T =$ Torsi baut (Nm)

$K =$ *Coefficient of friction*

$F_i =$ *Preload* (N)

$d =$ Diameter baut (m)

$L =$ Panjang baut efektif ketika diberi tegangan (mm)

$E =$ *Young's Modulus Elasticity* (N/mm^2)

$A_t =$ *Nominal Stress Area* (mm^2)

$\sigma_p =$ *Proof strength* (N/mm^2)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Umumnya pada industri konstruksi seperti kontruksi baja dan konstruksi bangunan, juga pada industri otomotif dan kendaraan berat, setiap bagian elemen dari strukturnya dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan penyambung. Penyambung yang paling sering digunakan adalah baut karena kemudahannya untuk menyambung dan melepas kembali elemen yang digabungkan jika dibandingkan dengan penyambung lainnya yakni paku keling dan las.

Proses pemasangan baut sendiri memerlukan teknik atau metode pengencangan baut yang tepat. Hal tersebut menjadi sangat penting untuk mengontrol variasi tegangan pada sambungan baut. Beberapa hal yang dapat diperhatikan saat mengencangkan baut adalah besarnya torsi dan sudut yang diperlukan.

Torsi adalah gaya yang bekerja terhadap suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berputar, dimana dipengaruhi oleh jarak antara titik gaya dengan sumbu putar. *Digital Torque Wrench* merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk memperhatikan besar torsi saat mengencangkan baut. Pada saat mengencangkan baut dengan nilai torsinya, sudut merupakan derajat rotasi ke titik kencang baut dan dapat digunakan sebagai acuan praktis saat mengencangkan baut.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti melakukan studi eksperimental pengencangan pada baut dengan 3 (tiga) *treatment* yang berbeda untuk mengetahui besarnya sudut yang dibutuhkan baut setiap *treatment* sesuai dengan nilai torsi teoritisnya. Ketiga *treatment* tersebut nantinya akan dibandingkan berdasarkan besar sudut yang dibutuhkan dengan besar sudut yang dihitung secara teoritis, dimana besaran sudut tersebut dapat menjadi acuan praktis dalam mengencangkan baut. Baut yang digunakan dalam penelitian ini adalah baut M10 *grade* 4.6 dengan *pitch* sebesar 1 mm.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa torsi yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut ukuran M10 x 1 *grade* 4.6 pada plat dengan tebal 10 mm hingga sempurna?
2. Berapa sudut atau putaran yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut sesuai nilai torsinya?
3. Bagaimana dampak dari perbedaan kondisi baut saat *direct contact*, dengan *ring*, dan dengan pelumas?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian dilakukan untuk pengencangan baut pada plat baja dengan tebal 10 mm.
2. Penelitian menggunakan 4 (empat) baut dengan ukuran M10 dan *pitch* sebesar 1 mm.
3. Material baut yang digunakan yaitu baja karbon rendah *grade* 4.6.
4. Pengencangan baut dilakukan dengan 3 (tiga) *treatment* yaitu *direct contact*, dengan *ring*, dan dengan pelumas.
5. Nilai pengencangan baut mengacu kepada *standard* atau rekomendasi gaya maksimum pengencangan baut menurut ISO 898-1.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui torsi yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut ukuran M10 x 1 *grade* 4.6 pada plat dengan tebal 10 mm hingga sempurna.
2. Mengetahui sudut atau putaran yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut sesuai nilai torsinya.
3. Mengetahui dampak dari perbedaan kondisi baut saat *direct contact*, dengan *ring*, maupun dengan pelumas.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

a. Manfaat Teoritis
    1. Penambahan ilmu pengetahuan di bidang teknik mesin khususnya dalam proses pengencangan baut.
    2. Mengetahui dampak dari perbedaan kondisi atau *treatment* yang diberikan pada baut M10 x 1 *grade* 4.6.

b. Manfaat Praktis
    1. Mengetahui nilai torsi berdasarkan spesifikasi dan *grade* baut yang digunakan yakni baut M10 x 1 *grade* 4.6.
    2. Mengetahui besar sudut yang diperlukan untuk mengencangkan baut M10 x 1 *grade* 4.6.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini diuraikan dalam lima bab yang berurutan agar pembahasannnya mudah dipahami. Bab 1 berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian dan perancangan dilakukan, serta sistematika penulisan laporan akhir. Bab 2 berisi kajian pustaka dan teori-teori yang melandasi dan berhubungan dengan penelitian dan perancangan yang dilakukan. Bab 3 berisi alur penelitian dan perancangan, alat dan bahan yang digunakan serta tahapan-tahapan proses kerja. Bab 4 membahas mengenai hasil-hasil yang sudah diperoleh dari perancangan dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Kesimpulan hasil penelitian dan perancangan serta saran untuk penelitian selanjutnya dijelaskan pada Bab 5.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian ini mengacu pada beberapa referensi jurnal dan skripsi yang berkaitan dengan sistem pengencangan sambungan baut. Adapun penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan peneliti antara lain:

Penelitian yang dilakukan oleh Setiyarto (2012) mengenai pengaruh tata letak baut terhadap kinerja sambungan baut. Penelitian tersebut menguji variasi tata letak baut untuk mendapatkan nilai kinerja sambungan paling tinggi. Hasil penelitian dari studi parametris dan eksperimental yang dilakukan oleh Setiyarto menunjukkan hasil yang sama. Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa dengan adanya penambahan jumlah baut, maka akan meningkatkan kekuatan sambungan baut tersebut, namun kekuatan sambungan yang paling optimal didapatkan apabila pengaturan tata letak baut ditempatkan secara diagonal.

Ardison, dkk (2015) melakukan penelitian mengenai kinerja sambungan baut dengan metode uji eksperimental kekuatan tarik. Variasi *pretension* yang digunakan antara lain 90 Tb, 100 Tb, dan 110 Tb dengan kunci torsi dan 2/3, 3/6, dan 4/6 putaran dengan kunci manual. Penelitian tersebut memperoleh nilai kekuatan tarik yang dihasilkan berada di rentang yang hampir sama, juga menghasilkan kegagalan yang sama yakni kegagalan geser.

Silviana (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan sambungan batang tarik pelat baja dengan sambungan baut menggunakan mesin pembebanan tarik (*Universal Testing Machine*), yang kemudian membandingkannya dengan perhitungan teoritis menggunakan metode *Allowable Stress Design* (ASD). Pelat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja dengan tebal 8 mm dan 10 mm, dimana masing-masing sambungannya menggunakan tiga ukuran baut sebagai penyambung yakni baut berdiameter 1/4”, 3/8”, dan 1/2”. Diperoleh hasil bahwa sedikit lebih kuat sambungan pelat tebal 8 mm jika dibandingkan dengan pelat tebal 10 mm, kemudian didapat pula bahwa

kekuatan batang tarik secara eksperimen lebih besar dibandingkan kekuatan batang tarik secara teoritis.

Penelitian yang dilakukan oleh Apriardi, dkk (2018) mengenai kerusakan baut M64 grade 10.9 yang mengalami pengencangan berlebih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban pengencangan baut yang sesuai sehingga dapat mencegah kerusakan terulang kembali. Diperoleh hasil bahwa pengencangan atau pemberian nilai torsi berlebih pada baut dapat menyebabkan kegagalan sambungan. Baut M64 grade 10.9 ini mendapatkan nilai torsi sebesar 18.625 Nmm, dimana angka ini lebih besar dibandingkan batas yang diizinkan yaitu sebesar 16.025 Nmm.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Baut

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya kepala baut (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur atau pengunci. Dalam pemakaian di lapangan, baut dapat digunakan untuk membuat konstruksi sambungan tetap, sambungan bergerak, maupun sambungan sementara yang dapat dibongkar atau dilepas kembali. Permukaan yang berfungsi untuk mengikat dua atau lebih komponen yang bersifat *nonpermanent*, artinya sambungan ini dapat dibongkar pasang untuk melepas elemen-elemen mesin yang digabungkan. Baut dapat dikencangkan dan dilepas dengan memberikan torsi pada kepala baut atau pada *nut*.

2.2.2 Jenis Baut

a. *Carriage Bolts*

Gambar 2-1 *Carriage bolts*

Carriage bolts banyak digunakan pada penyambungan komponen jenis kayu. Baut ini memiliki kepala berbentuk kubah dan memiliki bentuk empat

persegi pada bagian lehernya. Bentuk persegi pada bagian leher ini berfungsi untuk mempererat komponen yang disambungkan dengan menekan masuk ke dalam kayu sehingga menghasilkan ikatan yang kuat.

b. *Square Head Bolts*

Gambar 2-2 *Square head bolts*

Square head bolts menjadi salah satu jenis baut yang menjadi favorit untuk digunakan. Baut dengan kepala berbentuk segi empat ini pada umumnya digunakan untuk pada industri berat dan pekerjaan konstruksi.

c. *Flange Bolts*

Gambar 2-3 *Flange bolts*

Flange bolts adalah jenis baut yang pada bagian bawah kepala bautnya terdapat bubungan (*flens*). *Flens* ini didesain untuk memberikan kekuatan pada baut seperti menggunakan *washer*. Material dalam baut ini beragam, mulai dari besi biasa hingga baja hitam.

d. *Hex bolts*

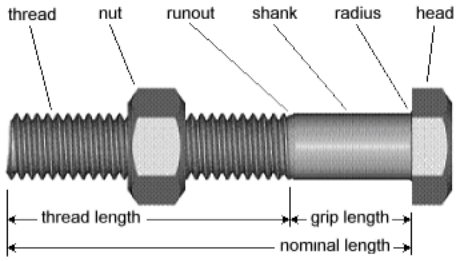
Gambar 2-4 *Hex bolts*

Hex bolts merupakan baut yang umum digunakan dan ditemukan pada pekerjaan konstruksi maupun perbaikan. Baut ini memiliki ciri umum yaitu kepala yang memiliki bentuk segi enam (*hexagonal*). *Hex bolts*

memiliki sifat atau bahan baku tertentu sesuai dengan penerapannya pada sebuah komponen yang akan dihubungkan. Bahan baku pembuatan baut ini diantaranya adalah *stainless steel, carbon steel, dan alloy steel* yang dilapisi dengan kadium atau seng plating untuk menghindari terjadinya korosi. Aplikasi untuk baut yang memiliki bentuk kepala segi enam ini sangat bervariasi, mulai dari eksterior, otomotif untuk kelautan; pesisir, dan lingkungan yang bersuhu tinggi.

2.2.3 Spesifikasi Baut

Bentuk *bolt* terdiri atas *head body* dan *thread*. Ukuran *head* berdasarkan jarak bidang rata pada bagian *head*. Ukuran *head bolt* menentukan beberapa ukuran kunci atau *socket* yang dipergunakan. Ukuran *bolt* ditentukan oleh diameter puncak *thread*, sedangkan panjang *bolt* diukur dari bagian bawah *head* ke bagian ujung *thread*. Beberapa bentuk *bolt* memiliki ketentuan penentuan ukuran panjang yang berbeda dalam penunjukkan ukuran *bolt*.



Gambar 2-5 Spesifikasi baut

a. *Bolt* berdasarkan jenis *thread* nya

1. *Bolt Inch*

Ukuran bolt ditentukan juga oleh ukuran thread. Berdasakan standarisasi *Unified Screw Thread Standard*, *thread* diukur dengan menghitung jumlah puncak ulir setiap inchi. *Unified screw* ukuran *bolt* dinyatakan dengan notasi seperti berikut:

***Bolt Code*: ½ – 20 – UNC – 3**

3 = Panjang dalam satuan inch

C = *Coarse* (ulir kasar)

F = *Fine* (ulir halus)

20 = Jumlah puncak ulir per inch

½ = Diameter luar puncak ulir

Thread dibedakan atas *coarse thread* (kasar) dan *fine thread* (halus) yang ditandai dengan notasi UNC untuk *coarse thread* dan UNF untuk *fine thread*. *Coarse thread* memiliki alur yang lebih dalam dan aplikasinya banyak digunakan, sedangkan *fine thread* memiliki alur *thread* kecil dan aplikasinya pada permukaan tertentu.

2. *Bolt Metric*

Pada standarisasi *metric*, ukuran ulir ditentukan dengan ukuran jarak antara puncak ulir terdekat. Notasi yang digunakan untuk menyatakan ukuran ulir *metric* adalah sebagai berikut:

***Bolt Code*: M 12 x 1.75 – 80 – 8.8**

8.8 = *Class* kekuatan baut

80 = Panjang baut

1,75 = Jarak puncak *thread* dalam satuan mm

12 = Ukuran puncak *thread* dalam mm

M = Ukuran ISO *Metric threads*

2.2.4 Tipe Kepala Mur

a. Mur segi enam

Gambar 2-6 Mur segi enam

Mur segi enam (*hexagonal plain nut*) digunakan pada semua keperluan industri.

b. *Castellated nut*

Gambar 2-7 *Castellated nut*

Mur dengan kepala berbentuk mahkota atau dengan slot pengunci (*castellated nut* & *slotted nut*) ini merupakan jenis mur yang dilengkapi dengan mekanisme penguncian. Kepala mur jenis ini bertujuan untuk mengunci posisi mur untuk tidak mengubah posisi yang telah ditentukan.

c. Mur Pengunci

Gambar 2-8 Mur pengunci

Mur pengunci (*lock nut*) merupakan mur yang memiliki ukuran lebih tipis dibandingkan mur pada umumnya. Mur pengunci biasanya dipasangkan di bawah mur utama yang berfungsi sebagai pengunci.

2.2.5 *International Standardization of Organization* (ISO)

Standarisasi klasifikasi *grade bolt metric* ditetapkan oleh *International Standardization of Organization* (ISO). Klasifikasi berdasarkan atas kekuatan *tensile* dan *yield*. Tanda angka pada permukaan atas *bolt* menandakan klasifikasi kekuatannnya. Semua *bolt* dan *capscrew* berdiameter di atas 4 mm memiliki tanda angka pada permukaan atas *head bolt*. Gambar 2-9 menunjukkan klasifikasi dan tanda yang digunakan pada *bolt metric*:

ISO GRADE MARKINGS FOR STEEL BOLT			
Grade Marking	Specification	Material	Equal to
No Grade Mark	Class 4.4	Steel	SAE Grade 1
	Class 4.6	Low Carbon Steel	
	Class 5.8	Low or Medium Carbon Steel, Cold Worked	SAE Grade 2
8.8	Class 8.8	low carbon boron steel, quenched and tempered	SAE Grade 3
9.8	Class 9.8	Medium Carbon Steel , Quenched & Tempered	SAE Grade 7
10.9	Class 10.9	Alloy Steel, Quenched & Tempered	SAE Grade 8

Gambar 2-9 Spesifikasi *bolt* sesuai ISO

2.2.6 Torsi

Torsi adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda yang menyebabkan benda tersebut berotasi. Ketika sambungan baut dikencangkan menggunakan kunci pas, terdapat beban awal (*preload*) dan gaya tekan awal. Alat yang berfungsi untuk mengencangkan baut dengan kekuatan tertentu adalah kunci torsi.

Baut biasanya dikencangkan dengan menerapkan torsi ke kepala baut atau mur yang menyebabkan baut meregang. Peregangan tersebut menghasilkan tegangan baut (*preload*) yaitu gaya yang menahan suatu sambungan. Torsi relatif mudah diukur menggunakan kunci torsi. *Preload* yang tinggi membantu menjaga baut agar tetap kencang, meningkatkan kekuatan sambungan, dan meminimalisir kegagalan sambungan baut. *Preload* untuk sambungan *nonpermanent* yang direkomendasikan dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$F_i = 0.75 A_t \sigma_p \tag{2.1}$$

Sedangkan untuk sambungan *permanent*:

$$F_i = 0.9 A_t \sigma_p \tag{2.2}$$

Dimana:

$$A_t = \frac{\pi}{4}(d_p + d_r)^2 \tag{2.3}$$

Untuk baut dengan standar ISO,

$$d_p = d - 0.649519p \quad (2.4)$$

$$d_r = d - 1.226869p \quad (2.5)$$

Keterangan:

A_t = *Nominal stress area* (mm^2)

σ_p = *Proof strength* (N/mm^2)

Nilai rekomendasi untuk A_t dan σ_p berdasarkan ISO 898-1 dapat dilihat pada Tabel 2-1 dan Tabel 2-2 sebagai berikut:

Tabel 2-1 *Nominal Stress Area for bolt grade* 4.6 – ISO *metric fine pitch thread* (ISO 898-1)

Thread (d x P)	***Nominal Stress Area (mm^2)***
M8x1	39.2
M10x1.25	61.2
M10x1	64.5
M12x1.25	92.1
M12x1.5	88.1
M14x1.5	125
M16x1.5	167
M18x1.5	216
M20x1.5	22
M22x1.5	333
M24x2	384
M27x2	496
M30x2	621
M33x2	761
M36x3	865
M39x3	1030

Tabel 2-2 Nilai *Proof Strength* berdasarkan *grade* baut menurut ISO 898-1

Property Class	***Proof Strength (N/mm^2)***
4.6	225
4.8	310
5.8	380
8.8	600
9.8	650

Property Class	***Proof Strength (N/mm²)***
10.9	830
12.9	970

Setelah *preload* ditentukan, torsi yang diperlukan untuk mengencangkan baut dapat diestimasi dengan rumus:

$$T = KF_i d \tag{2.6}$$

Dimana,

$T =$ Torsi baut (Nm)

$K =$ *Coefficient of friction*

$F_i =$ *Preload* (N)

$d =$ Diameter baut (m)

Nilai *K* tergantung pada bahan dan ukuran baut. Nilai *K* diberikan pada Tabel 2-3 untuk berbagai bahan dan ukuran baut:

Tabel 2-3 Nilai konstanta *K* (*Mechanical Design Engineering Handbook*)

Conditions	***K***
¼ in. to 1 in. mild steel bolts	0.2
Nonplated black finish steel bolts	0.3
Zinc plated steel bolts	0.2
Lubricated steel bolts	0.18
Cadmium plated steel bolts	0.16

2.2.7 *Bolt Elongation* (Pemanjangan Baut)

Elongation (pemanjangan) adalah sebuah pengujian mekanikal pemanjangan suatu benda dan bukan sebuah elastisitas. Saat baut dikencangkan dengan kekuatan tertentu, baut akan meregang dan akan terjadi pemanjangan pada baut dari ukuran semula. Peregangan yang terjadi pada baut menjadi sangat penting untuk diperhatikan karena apabila peregangan ini disepelekan akan membuat kegagalan pada sambungan. Pemanjangan pada baut (*bolt stretch*) menurut Hooke's Law dapat dihitung dengan:

$$Bolt\ stretch\ distance = \frac{F_i L}{E A_t} \tag{2.7}$$

Dimana,

$F_i = Preload$ (N)

$L =$ Panjang baut efektif ketika diberi tegangan (mm)

$E = Young's\ Modulus\ Elasticity$ (N/mm^2)

$A_t = Nominal\ Stress\ Area$ (mm^2)

2.2.8 Sudut

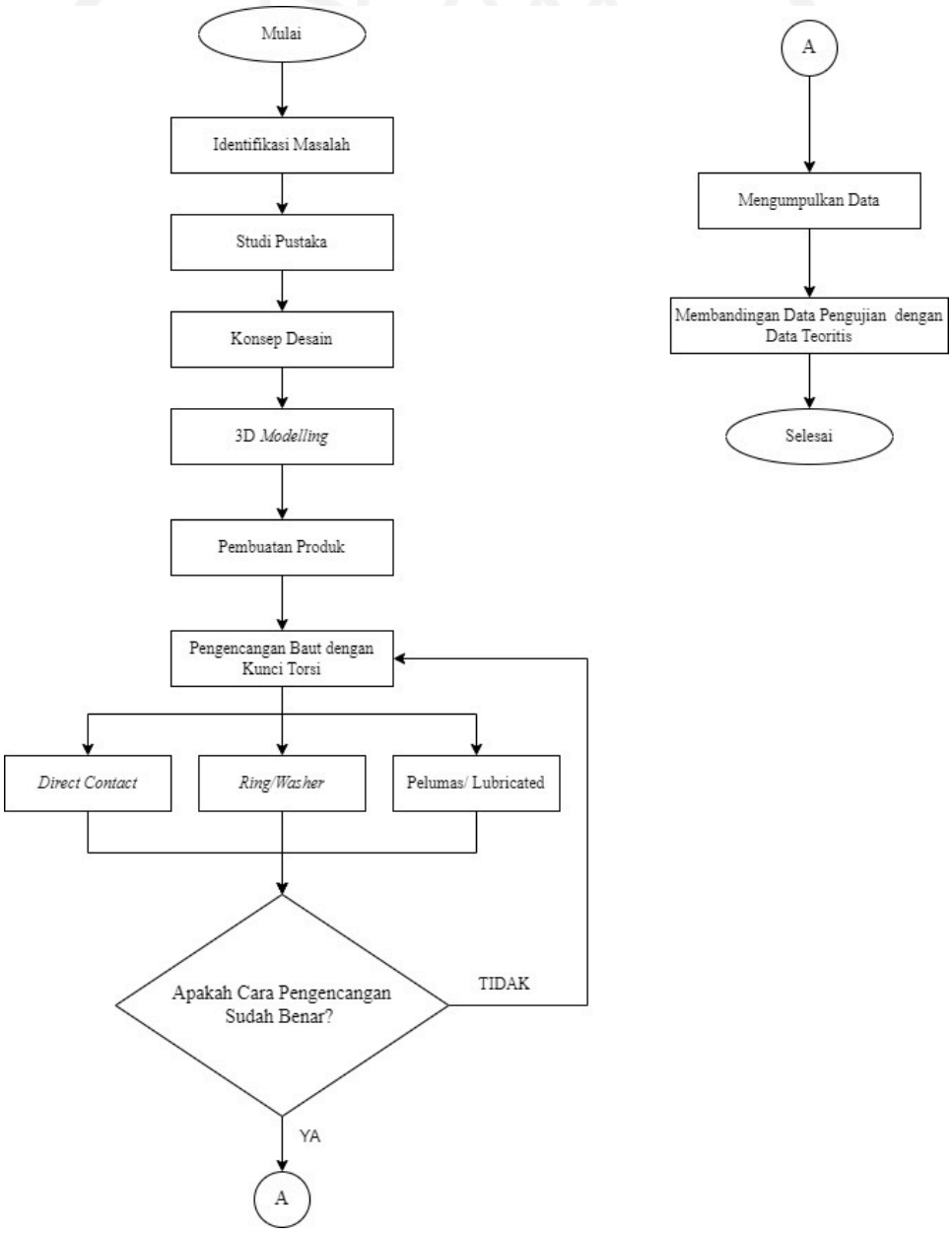
Sudut merupakan derajat rotasi ke titik kencang baut dan dapat digunakan sebagai acuan praktis saat mengencangkan baut. Hanya dibutuhkan sedikit putaran mulai saat baut belum diberi *preload* hingga baut diberi *preload* maksimum. Sebagian besar rotasi setelah mur menyentuh permukaan jepitan (*clamp*) hanya menarik sambungan. Sudut pengencangan mulai dihitung saat torsi pada baut telah tercapai. Besarnya sudut akan tergantung pada kondisi sambungan dan spesifikasi baut yang digunakan. Sudut rotasi yang diperlukan dapat dihitung dengan:

$$Rotation = \frac{Bolt\ Stretch}{Pitch} \times 360 \tag{2.8}$$

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

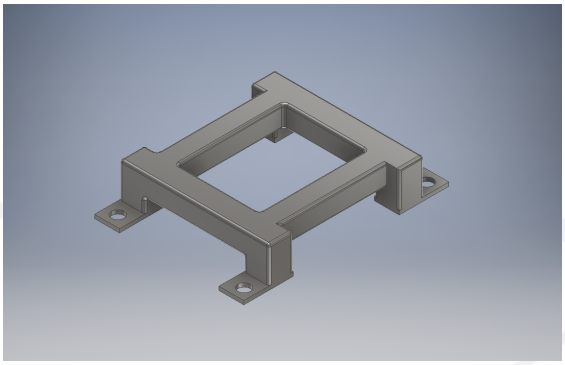
Pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan alur yang telah ditentukan peneliti. Alur penelitian yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 3-1 berikut:



Gambar 3-1 *Flowchart* penelitian

3.2 Perancangan Produk dan Perhitungan Nilai Teoritis Baut

3.2.1 Perancangan Produk



Gambar 3-2 Desain produk

Gambar 3-2 merupakan hasil desain produk yang didesain peneliti menggunakan *software* Inventor 2018.

3.2.2 Perhitungan Teoritis Baut

A. Perhitungan Torsi

Sebelum masuk ke persamaan (2.6), peneliti perlu menghitung besarnya *preload* (F_i) terlebih dahulu menggunakan rumus *preload* untuk sambungan non-permanen pada persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$F_i = 0.75 A_t \sigma_p$$

Berdasarkan ISO 898-1 pada Tabel 2-1 dan Tabel 2-2 diperoleh nilai A_t dan σ_p sebagai berikut:

A_t = 64.5 mm^2 ;

σ_p = 225 N/mm^2

Maka,

$$F_i = 0.75 A_t \sigma_p$$

$$F_i = (0.75)(64.5)(225)$$

$$F_i = 10884.38\ N$$

Nilai *preload* (F_i) ini selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai torsi. Berikut perhitungan nilai torsi baut untuk setiap *treatment:*

1) Baut Tanpa *Treatment* Apapun (*Direct Contact*)

   Berdasarkan persamaan (2.6), nilai torsi untuk baut tanpa *treatment* apapun adalah sebagai berikut:

   $$T = KF_i d$$

   Dimana nilai *K* untuk baut baja tanpa pelumas berdasarkan Tabel 2-3 adalah *K = 0.2* dengan diameter baut sebesar 10 mm, sehingga:

   $$T = KF_i d$$
   $$T = (0.2)(10884.38)(0.01)$$
   $$T = 21.77\ Nm$$

2) Baut dengan *Ring*/*Washer*

   Nilai *K* untuk baut baja tanpa pelumas berdasarkan Tabel 2-3 adalah *K = 0.2* dengan diameter baut sebesar 10 mm, maka nilai torsi untuk baut dengan *ring/washer* berdasarkan persamaan (2.6) adalah sebagai berikut:

   $$T = KF_i d$$
   $$T = (0.2)(10884.38)(0.01)$$
   $$T = 21.77\ Nm$$

3) Baut dengan Pelumas

   Berdasarkan persamaan (2.6), nilai torsi untuk baut dengan pelumas adalah sebagai berikut:

   $$T = KF_i d$$

   Dimana nilai *K* untuk baut baja dengan pelumas berdasarkan Tabel 2-3 adalah *K = 0.18* dengan diameter baut sebesar 10 mm, sehingga:

   $$T = KF_i d$$
   $$T = (0.18)(10884.38)(0.01)$$
   $$T = 19.59\ Nm$$

B. Perhitungan Sudut

Tabel 3-1 Spesifikasi ukuran baut dan jarak jepit nya terhadap sambungan

***Treatment* Baut**	**Baut**	**Diameter ulir (*thread diameter*)**	**Jarak antar ulir (*pitch*)**	**Jarak Jepit (*clamp distance*)**
Direct contact	1	10 mm	1 mm	13.5 mm
	2			13.2 mm
	3			13.7 mm
	4			13.9 mm
With washer	1			13.5 mm
	2			13.2 mm
	3			13.7 mm
	4			13.9 mm
Lubricated	1			13.5 mm
	2			13.2 mm
	3			13.7 mm
	4			13.9 mm

Tabel 3-1 merupakan spesifikasi ukuran baut M10 x 1 *grade* 4.6 yang digunakan dan jarak jepit antara baut dengan plat. Jarak jepit atau *clamp distance,* diukur menggunakan jangka sorong setelah baut terpasang sempurna pada plat. *Clamp distance* ini nantinya akan digunakan dalam menghitung pemanjangan atau peregangan yang terjadi pada baut.

Sebelum masuk ke persamaan (2.8), peneliti perlu menghitung besarnya pemanjangan baut (*bolt stretch*) terlebih dahulu menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$Bolt\ stretch = \frac{F_i L}{E A_t}$$

Dimana:

F_i = 10884.38 *N ;*

E = 200000 *N/mm^2 ;*

A_t = 64.5 *mm^2 ;*

L = *clamp distance* masing-masing baut berdasarkan Tabel 3-1

Sehingga, hasil perhitungan *bolt stretch* setiap baut pada masing-masing *treatment* akan dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 3-2 Perhitungan *bolt stretch*

***Treatment* Baut**	**Baut**	***Bolt Stretch* (*mm*)**
Direct Contact	1	0.0114
	2	0.0111
	3	0.0116
	4	0.0117
Ring/Washer	1	0.0114
	2	0.0111
	3	0.0116
	4	0.0117
Lubricated	1	0.0114
	2	0.0111
	3	0.0116
	4	0.0117

Selanjutnya, nilai *bolt stretch* ini digunakan untuk menghitung besarnya sudut yang diperlukan dalam pengencangan baut. Berikut perhitungan nilai sudut berdasarkan persamaan (2.8):

$$Rotation = \frac{Bolt\ Stretch}{Pitch} \times 360$$

Kemudian ukuran *pitch* baut yang digunakan adalah 1 mm, sehingga hasil perhitungan sudut diperoleh pada Tabel 3-3 sebagai berikut:

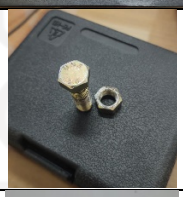
Tabel 3-3 Perhitungan sudut

Treatment	**Baut**	**Hasil (*degrees*)**
Direct contact	1	4.104
	2	3.996
	3	4.176
	4	4.212
Washer	1	4.104
	2	3.996
	3	4.176
	4	4.212
Lubricated	1	4.104
	2	3.996
	3	4.176
	4	4.212

3.3 Peralatan dan Bahan

Tabel 3-4 berikut adalah daftar peralatan dan bahan yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini:

Tabel 3-4 Alat dan bahan yang digunakan

No.	Alat dan Bahan	Fungsi	Gambar
1.	Laptop	Sebagai sarana untuk mendesain menggunakan *software* Inventor 2018	
2.	*Digital Torque Wrench*	Untuk mengukur torsi dalam bentuk *digital*	
3.	Baut M10 x 1 *grade* 4.6	Untuk menyambungkan 2 (dua) komponen	
4.	*Ring*/*Washer*	Digunakan untuk pengujian	
5.	Oli/Pelumas	Digunakan untuk pengujian	
6.	Plat Baja	Digunakan untuk pengujian	
7.	Produk hasil desain	Digunakan untuk pengujian	
8.	Kunci pas *universal*	Untuk mengencangkan baut	
9.	Busur	Untuk mengukur sudut	

3.4 Langkah-langkah Pengujian Baut

Peneliti membagi menjadi 2 (dua) bagian penjelasan, yakni langkah dalam mengukur torsi dan langkah dalam mengukur sudut sebagai berikut:

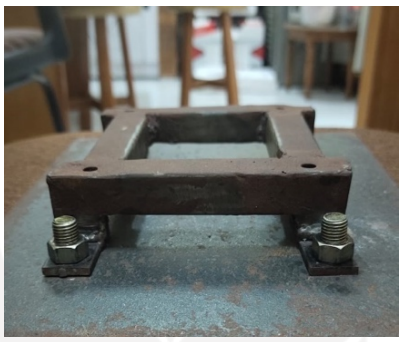
a. Torsi
   1. Setel kunci torsi digital sesuai satuan yang diinginkan.
   2. Kencangkan mur pengunci sampai menyentuh plat.
   3. Pasang kunci sesuai dengan ukuran mur yang akan dikencangkan pada penggerak kunci torsi.
   4. Sambungkan kunci soket dengan kunci torsi.
   5. Masukkan kunci soket pada mur yang akan dikencangkan.
   6. Tempatkan tangan kiri di ujung penggerak dan tangan kanan pada tangkal kunci torsi, tarik secara merata dengan tangan kanan sampai lampu indikator alat menyala yang menandakan bahwa torsi telah tercapai.
   7. Lakukan langkah 1-6 pada baut yang lain.

b. Sudut
   1. Setel kunci torsi digital menggunakan nilai torsi saat pengujian sebagai acuan.
   2. Kencangkan mur pengunci sampai menyentuh plat.
   3. Pasang kunci sesuai dengan ukuran mur yang akan dikencangkan pada penggerak kunci torsi.
   4. Sambungkan kunci soket dengan kunci torsi.
   5. Masukkan kunci soket pada mur yang akan dikencangkan.
   6. Tempatkan tangan kiri di ujung penggerak dan tangan kanan pada tangkal kunci torsi, tarik secara merata dengan tangan kanan sampai acuan torsi yang digunakan tercapai.
   7. Setel ulang kunci torsi ke *settingan* awal kunci torsi.
   8. Kencangkan baut menggunakan kunci torsi dari sudut 0° sampai baut tidak dapat dikencangkan lagi.
   9. Ukur sudut menggunakan busur.
   10. Lakukan langkah 1-9 pada baut yang lain.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Gambar 4-1 merupakan gambar hasil produk jadi berdasarkan desain yang telah dibuat peneliti pada Gambar 3-2. Produk ini akan digunakan dalam pengujian baut. Baut akan menyambungkan produk tersebut bersama plat baja dengan tebal 10 mm.



Gambar 4-1 Hasil Produk

4.2 Proses Pengujian Baut

Berikut merupakan proses pemasangan baut sebelum dilakukannya pengujian dan pengambilan nilai baut pada masing-masing *treatment.*

a. Baut *Direct Contact*

Gambar 4-2 Baut *direct contact*

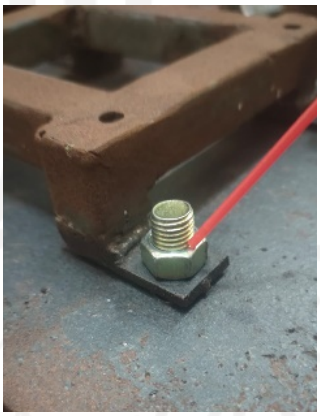
Gambar 4-2 merupakan posisi baut pada proses pemasangan baut tanpa treatment apapun. Baut dipasang dari arah bawah plat dan produk lalu disambungkan menggunakan mur.

b. Baut dengan *Ring/ Washer*

Gambar 4-3 Baut dengan *ring/washer*

Gambar 4-3 merupakan posisi baut pada proses pemasangan baut dengan *ring/washer*. Baut dipasang dari arah bawah plat dan produk, kemudian *ring* diletakkan sebelum mur dipasang.

c. Baut dengan Pelumas/ *Lubricated*



Gambar 4-4 Baut dengan pelumas/*lubricated*

Gambar 4-4 merupakan posisi baut pada proses pemasangan baut dengan pelumas. Baut dipasang dari arah bawah plat dan produk lalu disambungkan menggunakan mur. Jika baut sudah terpasang, pelumas diberikan pada bagian dalam mur dengan cara ditetes perlahan-lahan hingga dirasa cukup.

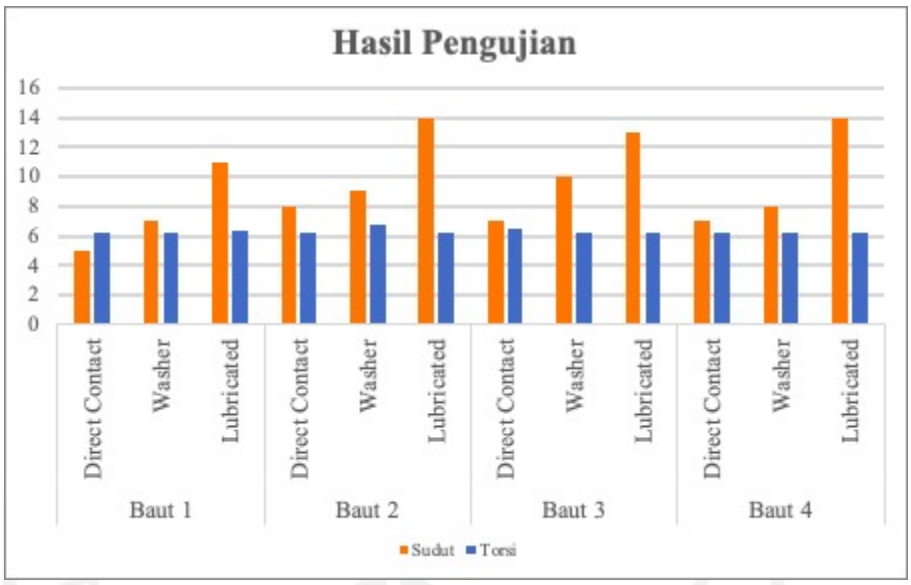
4.3 Analisis dan Pembahasan

Berikut merupakan hasil dari pengujian baut pada masing-masing *treatment* yang telah dilakukan.

Tabel 4-1 Perbandingan nilai perhitungan dan nilai pengujian

Treatment	**Baut**	**Sudut (*degrees*)**		**Torsi (*Nm*)**	
		Pengujian	**Teoritis**	**Pengujian**	**Teoritis**
Direct contact	1	5	4.101	6.174	21.77
	2	8	4.010	6.174	
	3	7	4.162	6.468	
	4	7	4.223	6.174	
Washer	1	7	4.101	6.174	21.77
	2	9	4.010	6.762	
	3	10	4.162	6.174	
	4	8	4.223	6.174	
Lubricated	1	11	4.101	6.370	19.59
	2	14	4.010	6.174	
	3	13	4.162	6.174	
	4	14	4.223	6.272	

Tabel 4-1 merupakan nilai torsi dan sudut perhitungan maupun pengujian. Nilai torsi digunakan sebagai acuan untuk mengencangkan baut, serta untuk mengetahui berapa besar sudut yang diperlukan hingga baut tersebut terpasang sempurna. Karena peneliti tidak menemukan referensi nilai torsi rekomendasi untuk spesifikasi baut M10 *grade* 4.6 dengan pitch sebesar 1 mm, maka peneliti menggunakan nilai torsi teoritis sebagaimana yang telah dihitung pada Bab 3.



Gambar 4-5 Grafik pengujian torsi dan sudut

Grafik pada Gambar 4-5 merupakan grafik hasil pengujian nilai torsi dan besarnya sudut yang diperlukan. Diperoleh bahwa nilai torsi pengujian masih dalam batas aman atau tidak lebih besar dari nilai torsi teoritis. Apabila nilai torsi saat pengujian melebihi nilai torsi teoritis, maka baut dapat mengalami kerusakan seperti aus dan patah. Kemudian pada nilai sudut pengujian tersebut, diperoleh bahwa perbedaan paling mencolok terjadi pada baut yang diberi pelumas dimana dengan sudut yang sama antara baut tanpa pelumas (*direct contact* dan dengan *ring/washer*) dan baut dengan pelumas dapat menghasilkan nilai torsi yang berbeda.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh untuk menjawab rumusan masalah penelitian ini:

1. Torsi yang dibutuhkan setiap baut M10 x 1 *grade* 4.6 pada pengujian yang dilakukan berbeda-beda setiap *treatment*nya, namun masih dalam batas aman sesuai dengan nilai torsi teoritis/rekomendasi.
2. Sudut yang dibutuhkan setiap baut M10 x 1 *grade* 4.6 pada pengujian yang dilakukan berbeda-beda setiap *treatment*nya. Baut yang diberi pelumas membutuhkan sudut yang lebih besar dibanding dengan baut pada kedua *treatment* lainnya, hal ini dikarenakan pelumas tersebut dapat mengurangi gesekan yang terjadi pada baut.
3. Dampak yang paling mencolok terjadi di sudut pengujian pada baut yang diberi pelumas, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan koefisien gesek antara baut tanpa pelumas dan baut yang diberi pelumas berbeda. Kemudian dengan sudut yang sama antara baut tanpa pelumas (*direct contact* dan dengan *ring/washer*) dan baut dengan pelumas dapat menghasilkan nilai torsi yang berbeda.

5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk dapat membandingkan ukuran dan *grade* baut dengan *treatment* yang sama seperti pada penelitian ini.
2. Untuk dapat memasukkan faktor-faktor lain yang menjadi pertimbangan saat pengencangan baut, seperti beban yang diterima.
3. Melakukan pengujian menggunakan lebih banyak baut.

DAFTAR PUSTAKA

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2006). *Shigley's Mechanical Engineering Design, Eighth Edition.* USA: McGraw-Hill.

Childs, P. R. (2019). *Mechanical Design Engineering Handbook (Second Edition).* Oxford: Butterworth-Heinemann.

Gong, H., Liu, J., & Ding, X. (2016). Calculation of The Effective Bearing Contact Radius for Precision Tightening of Bolted Joints. *SAGE Journals*.

Gutama, A., Kurniawandy, A., & Fatra, W. (2015). STUDI EKSPERIMENTAL VARIASI PRETENSION SAMBUNGAN BAUT BAJA TIPE SLIP CRITICAL. *Jom FTeknik*, 1-4.

Ihlas, A., Puspita, D. F., & Tjahjohartoto, B. (2018). INVESTIGASI FRAKTOGRAFI DAN ANALISA TEGANGAN PADA KERUSAKAN BAUT M64 GRADE 10,9 YANG MENGALAMI PENGENCANGAN BERLEBIH. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 9-18.

ISO. (2013). ISO 898-1, Part I: Bolts, Screws and studs with specified property classes--Coarse thread and fine pitch thread. In *International Standard.* Switzerland: ISO.

Muabbir. (2020). *Analisis Kekuatan Baut Pengikat Rangka Baja Pada Workshop PT Bumi Karsa.* Makassar: Universitas Hasanuddin.

Security Locknut. (2020, April). *How Does a Bolted Joint Work?* Retrieved from https://www.securitylocknut.com/how-does-a-bolted-joint-work/

Security Locknut. (2020, May). *How is Clamp Force for a Bolt and Nut Assembly Calculated?* Retrieved from https://www.securitylocknut.com/how-is-clamp-force-for-a-bolt-and-nut-assembly-calculated/

Security Locknut. (2020, July). *How Much Does a Bolt Stretch?* Retrieved from https://www.securitylocknut.com/How-much-does-a-bolt-stretch/

Security Locknut. (2020, August). *How Much Rotation Angle is Needed to Tighten a Fastener?* Retrieved from

https://www.securitylocknut.com/how-much-rotation-angle-is-needed-to-tighten-a-fastener/

Security Locknut. (2021, April). *Tension Testing: The Effect of Lubrication on K factor*. Retrieved from https://www.securitylocknut.com/tension-testing-lubrication/

Setiyarto, Y. D. (2012). STUDI PARAMETRIK DAN EKSPERIMENTAL: PENGARUH TATA LETAK BAUT PADA SAMBUNGAN MOMEN SEBIDANG UNTUK STRUKTUR BAJA COLD FORMED. *Majalah Ilmiah UNIKOM*, 9-22.

Silviana, M. (2017). STUDI KEKUATAN SAMBUNGAN BATANG TARIK PELAT BAJA DENGAN ALAT SAMBUNG BAUT. *Jurnal Inotera*, 26-31.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA