

## ANALISA AKURASI PENGGUNAAN *STRAIN GAUGE* DAN *TRANSDUCER* PADA KUNCI MOMEN

Melinda Dwi Riantiningsih

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

Email : [melindarianti94@gmail.com](mailto:melindarianti94@gmail.com)

**Abstrak-** Dalam industri otomotif kegiatan pengukuran dilakukan hampir disetiap lini produksi. Akurasi dari pengukuran ini berpengaruh terhadap kualitas, *durability*, dan tingkat keamanan produk. Sebelum produksi massal, dilakukan pengujian terhadap kendaraan, salah satunya adalah uji *durability* kendaraan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang sampai ke konsumen sudah terjamin kualitas dan keamanannya. Dalam beberapa kasus terjadi kegagalan baut (*crack*) yang disebabkan karena pengencangan baut yang kurang akurat. Hal ini dikarenakan kunci momen yang tersedia adalah kunci momen analog, sehingga pengencangan baut kurang akurat. Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang penggunaan *strain gauge* pada kunci momen, namun belum ada analisa mengenai tingkat akurasi yang dihasilkan dari modifikasi tersebut. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa akurasi penggunaan *strain gauge* dan *transducer* pada kunci momen. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai akurasi dari modifikasi alat kunci momen menggunakan *strain gauge* dan *transducer*. Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan data torsi pengencangan hasil dari pengambilan data kunci momen dengan data perhitungan secara teoritis menggunakan Motosh Equation. Baut yang digunakan adalah A2-70 ukuran M12. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa akurasi modifikasi kunci momen dengan *strain gauge* dan *transducer* sebesar 92,81% dan rata-rata nilai error sebesar 7%. Artinya modifikasi kunci momen ini bisa digunakan dengan memperhatikan nilai error sehingga dapat didapatkan hasil pengencangan yang sesuai dan akurat.

**Kata Kunci :** *Torsi, Torsi Pengencangan, Kunci Momen, Strain Gauge, Akurasi.*

**Abstract-** In the automotive industry, measurement activities are carried out in almost every production line. The accuracy of these measurements affects the quality, durability and level of product safety. Before mass production, testing of vehicles was carried out, one of which was vehicle durability testing. This test is carried out to ensure that products that reach consumers are guaranteed quality and safety. In some cases a crack failure was found and caused by a less accurate bolt tightening. This is because the torque wrench that available is an analog torque, so that bolt tightening is less accurate. Previous research has been carried out on the use of strain gauges on torque wrench, but there has been no analysis of the level of accuracy produced by these modifications. In this study an analysis of the accuracy of the use of strain gauge and transducer will be carried out on the torque wrench. The purpose of this study was to determine the accuracy of the modification of torque wrench using strain gauge and transducer. The study was conducted by comparing tightening torque from direct data retrieval with theoretical calculation data using Motosh Equation. The bolt used is A2-70 size M12. From the results of the study it was found that the accuracy of the torque wrench modification with strain gauge and transducer was 92.81% and the average error value was 7%. This means that the modification of the torque wrench can be used by considering the error value so that it can be obtained accurate.

**Key Word :** *Torque, Tightening Torque, Torque Wrench, Strain Gauge, Accuracy.*

### 1. PENDAHULUAN

Kegiatan pengukuran adalah sebuah aktifitas yang penting dalam berbagai disiplin ilmu seperti akuntansi, ekonomi, manajemen, ilmu sosial, teknik, atau kedokteran [1]. Salah satu kunci keberhasilan dalam ilmu teknologi adalah kemampuan untuk mengolah data dengan tingkat akurasi yang tinggi [2]. Tingkat akurasi yang tinggi menentukan kualitas hasil analisa dan penelitian.

Dalam industry otomotif kegiatan pengukuran dilakukan hampir disetiap lini produksi baik proses perancangan, cetak, pengecatan, hingga *assembly*. Akurasi dari pengukuran ini berpengaruh terhadap kualitas, durability, dan tingkat keamanan produk. Salah satu kegiatan pengukuran yang sering dilakukan yaitu mengukur kekencangan baut yang sesuai dengan standar perusahaan. Kekencangan baut ini berpengaruh langsung terhadap keamanan dan kualitas kendaraan. Kegagalan pada proses pengencangan baut dapat mengakibatkan timbulnya berbagai masalah terkait kualitas dan keamanan, termasuk *noise*, *vibration*, *fatigue*, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, proses pengencangan baut pada industry otomotif menjadi perhatian khusus yang tidak dikehendaki terjadi kesalahan dalam proses produksi.

Sebelum produksi massal, dilakukan pengetesan terhadap kendaraan, salah satunya adalah uji durability kendaraan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang sampai ke konsumen sudah terjamin kualitas dan keamanannya. Pada pengujian durability ini, salah satu poin pengecekannya adalah durability pada sambungan baut. Dalam beberapa kasus terjadi kegagalan baut (*crack*) yang disebabkan karena pengencangan baut yang kurang akurat, pengencangan ini bisa terlalu kencang atau kurang kencang. Hal ini dikarenakan kunci momen yang tersedia adalah kunci momen analog, sehingga pengencangan baut kurang akurat.

Kunci momen adalah alat yang digunakan untuk mengencangkan baut sesuai dengan ukuran tertentu. Untuk meningkatkan tingkat akurasi kunci momen, dilakukan modifikasi dengan memasang *strain gauge* dan *transducer*. *Strain gauge* merupakan alat mekanis yang sering digunakan dalam pengujian bahan dan penelitian ilmiah, untuk mengukur perubahan panjang suatu objek [3]. Sensor *strain gauge* berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat penghantar arus listrik yang ditempel pada benda yang akan

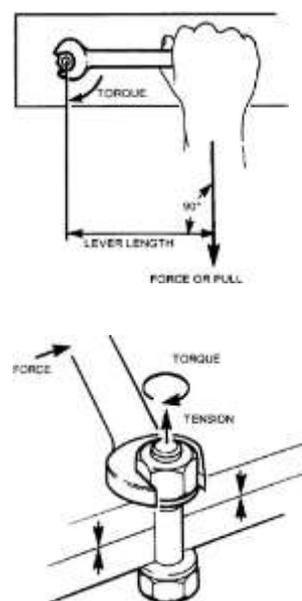
diukur regangan dimana besar regangan berasal dari pembebanan [4].

Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang penggunaan *strain gauge* pada kunci momen, namun belum ada analisa mengenai tingkat akurasi yang dihasilkan dari modifikasi tersebut. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisa akurasi penggunaan *strain gauge* dan *transducer* pada kunci momen. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai akurasi dari modifikasi alat kunci momen menggunakan *strain gauge* dan *transducer*.

### 2. KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1. Torsi untuk pengencangan

Sambungan baut digunakan secara luas di banyak aplikasi karena kemudahannya dalam perakitan dan pembongkaran. Keamanan, keandalan, dan kualitas sambungan baut ditentukan sebagian besar oleh besarnya dan stabilitas beban penjepit atau preload. Untuk mencapai preload yang diinginkan, berbagai metode pengencangan telah dikembangkan, seperti pengaturan torsi, pengaturan sudut torsi, pengaturan peregangan, dan pengaturan yield point [5].



Gambar 1. Ilustrasi proses pengencangan baut

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. Hubungan antara torsi dan gaya biasa dinyatakan dengan persamaan :

$$T = F (k.D) [6]$$

Dimana, T adalah torsi yang digunakan, F adalah gaya, D adalah nominal diameter, dan k adalah koefisien torsi yang dipengaruhi oleh banyak factor, antara lain koefisien gesekan dari ulir, kondisi perlakuan permukaan, jumlah bagian yang dikencangkan, dan lain-lain. Koefisien torsi digunakan dalam perhitungan torsi pengencangan nut ataupun baut. Koefisien torsi biasanya mewakili gaya gesekan antar sambungan.

Umumnya digunakan nilai  $k=0.2$  untuk koneksi sambungan yang umum. Untuk memprediksi hubungan antara torsi dan preload secara akurat, Motosh mengusulkan persamaan yang lebih akurat [6] :

$$T_{motosh} = \left( \frac{F \cdot P}{2} + \mu_t \cdot F \cdot r_t + \mu_b \cdot F \cdot r_b \right)$$

Dimana :

$T_{motosh}$  = Torsi pengencangan

F = Preload

P = Jarak antar ulir (*pitch*)

$\mu_t$  = Koefisien gesek ulir

$\beta$  = Setengah sudut ulir  $30^\circ$  berdasarkan standar ISO

$\mu_b$  = Koefisien gesek antara permukaan nut dan pelat sambungan

$r_t$  = Efektif kontak radius antar ulir

$r_b$  = Efektif kontak radius pada nut dan pelat sambungan

Persamaan motosh dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$T = T_p + T_t + T_b$$

Dengan T adalah torsi unput pengencangan baut,  $T_p$  adalah komponen dari pitch torsi yang menciptakan tegangan dan gaya jepit pada sambungan.

$$T_p = \frac{F \cdot P}{2}$$

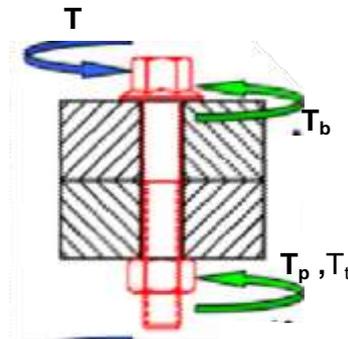
$T_t$  adalah komponen torsi yang berasal dari gesekan antar ulir,  $T_t$  bisa dinyatakan dengan persamaan :

$$T_t = \mu_t \cdot F \cdot r_t$$

Sedangkan  $T_b$  adalah komponen torsi yang sberasal dari gesekan antara kepala baut atau nut dengan permukaan sambungan pelat.

$$T_b = \mu_b \cdot F \cdot r_b$$

Untuk menghitung torsi yang berasal dari gesekan antara kepala baut atau nut dengan permukaan sambungan pelat, nilai  $r_b$  yang digunakan adalah rata-rata radius kepala baut yang kontak dengan permukaan pelat sambungan.



Gambar 2. Torsi pada sambungan baut [7]

## 2.2. Kunci Momen

Kunci momen adalah alat yang digunakan untuk mengencangkan baut pada kuat kencang tertentu dalam satuan gaya dikalikan panjang. Pada kunci momen ini terdapat skala bacaan yang menunjukkan bahwa sambungan baut dalam keadaan kencang telah diatur kuat kencangnya. Kegunaan lain dari kunci momen ini dipakai pada pengerjaan akhir setelah baut dan mur dieratkan. Awalnya pengguna harus membuat lebih kencang dengan memakai kunci biasa (kunci ring, kunci soket, dan juga kunci pas) terlebih dahulu. Setelah diperkirakan baut dan mur sedikit kencang, pengencangan selanjutnya dieratkan dengan kunci momen yang sudah diatur kekuatan kencangnya. Kunci momen juga dapat memperkirakan kekuatan kencang baut dan mur.



Gambar 3. Kunci Momen

### 2.3 Modifikasi kunci momen dengan strain gauge dan transducer

Berikut adalah kunci momen yang sudah dimodifikasi



Gambar 4 Modifikasi Kunci Momen

Modifikasi kunci momen dilakukan dengan cara memasang sensor strain gauge pada bagian kepala socket. Strain gauge akan meregang seiring dengan putaran kepala socket saat mengencangkan baut.

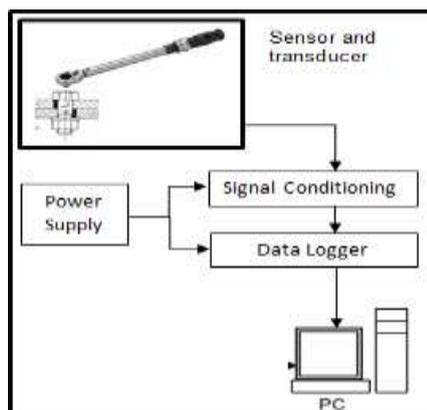
Sebelumnya, strain gauge sudah dihubungkan dengan data logger. Penambahan panjang dari sensor strain gauge akan terekam oleh data logger. Data dari data logger yang berupa penambahan panjang pada sensor strain gauge akan di konversikan pada bentuk besaran torsi (Nm) oleh software EDX sehingga torsi yang digunakan saat pengencangan akan ditampilkan pada layar.



Gambar 5 Posisi strain gauge pada kunci momen

Komponen-komponen yang digunakan untuk mengoperasikan modifikasi kunci momen antara lain :

1. Kunci Momen
2. Strain gauge dan transducer
3. Data logger EDX-Kyowa-200A
4. PC



Gambar 6. Blok diagram penggunaan kunci momen dan komponen-komponenya

Dari gambar 6 terlihat skema penggunaan kunci momen yang sudah dimodifikasi dengan strain gauge. Saat kunci momen digunakan untuk mengencangkan baut maka strain gauge akan meregang, dan mengirimkan sinyal elektrik, sinyal tersebut akan ditangkap oleh data logger dan kemudian ditampilkan pad layar dalam bentuk besaran torsi.

### 2.4 Strain gauge

Strain gauge merupakan susunan filamen tahan (resistor) yang dibuat sedemikian rupa sehingga membentuk lembaran tipis. Sensor ini dapat ditempel langsung pada benda yang diukur *strain*-nya [8].



Gambar 7. Strain gauge

Sensor strain gauge bekerja berdasarkan perubahan tekanan yang mengakibatkan perubahan resistansi. Sensor strain gauge berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat penghantar arus listrik yang ditempel pada benda yang akan diukur regangan dimana besar regangan berasal dari pembebanan[4]. Strain gauge menghasilkan perubahan nilai tahanan yang proporsional dengan perubahan panjang.

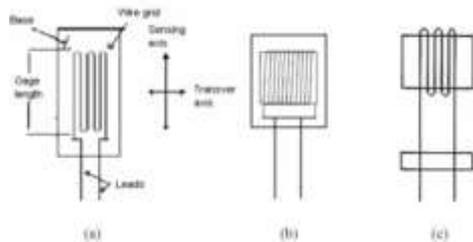
Ada dua tipe dasar strain gauge yaitu :

1. Terikat (*bonded*). *Bonded strain gauge* seluruhnya terpasang pada elemen gaya (*force member*), menggunakan semacam

bahan perekat. Selagi elemen gaya tersebut meregang, *strain gauge* juga ikut memanjang

2. Tidak terikat (*unbonded*). *Unbonded strain gauge* memiliki salah satu ujung yang dipasang pada elemen gaya dan ujung satunya dipasang pada pengumpul gaya (*force collector*).

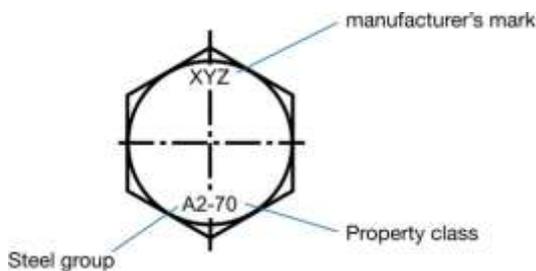
Jenis *strain gauge* yang digunakan pada penelitian ini adalah *metal wire strain gauge* dengan konfigurasi dasar. *Metal wire strain gauge* adalah *gauge* yang terdapat dalam konfigurasi yang bisa diikat, permukaan bisa di transfer dan bisa di lebur, dan ini adalah jenis awal dari *strain gauge* yang sudah berkembang. Kawat yang dipakai pada *gauge* tersebut biasanya berdiameter kurang dari 0,025 mm.



Gambar 8. Bentuk-bentuk dasar dari *metal wire strain gauge*. (a) Konfigurasi dasar; (b) Desain pelindung gauge; (c) Desain pelindung gauge yang dapat di pindah- pindahkan.

**2.5 Baut A2-70**

Baut A2-70 adalah jenis baut *stainless steel* yang masuk golongan *austenitic steel*. *Austenitic steel* terdiri dari tiga grade A1, A2,, A4 dan dibagi menjadi tiga property class 50, 70, dan 80 yang dibedakan dari metode manufaktur dan ukurannya. Pada penelitian ini digunakan bolt dan nut jenis A2-70 ukuran M12.



Gambar 9. Baut hexagon

Tabel 1. Dimensi baut M12 A2-70 [9]

Parameter	Nilai
Diameter ulir, <i>d</i>	12 mm
Jarak antar ulir, <i>p</i>	1.75 mm
Sudut ulir, $\alpha$	60°
Bearing outer diameter, <i>D<sub>o</sub></i>	18.0 mm
Efektif thread radius, <i>r<sub>1</sub></i>	5.43 mm
Efektif bearing radius, <i>r<sub>b</sub></i>	7.82 mm

Berikut mekanikal properties baut A2-70 berdasarkan ISO3506-1:1997

Tabel 2. Mekanikal properties A2-70

Parameter	Keterangan
Group	Austenitik
Grade	A2
Property class	70
Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	700 N/mm <sup>2</sup>

Tabel 3. Technical Information

Bolt dan nut berbahan A2

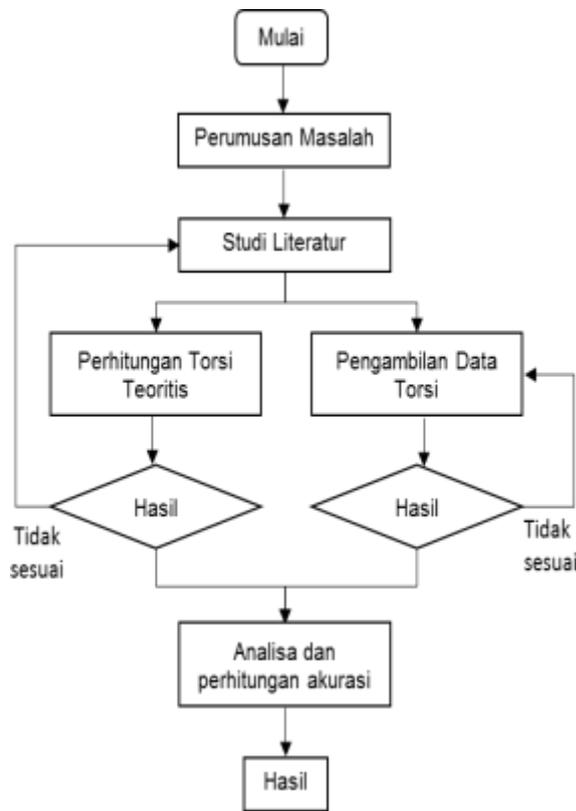
Lubricant	None
Friction coefficient in thread	0.26
Friction coefficient under head	0.35



Gambar 10 Bolt A2-70 M12

### 3. METODOLOGI

Sistematika dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram aliran berikut :



#### 3.1 Perhitungan Nilai Torsi Teoritis

Perhitungan torsi secara teoritis menggunakan *motosh equation*. Torsi yang dihitung adalah torsi yang digunakan saat pengencangan baut dengan gaya tertentu. Untuk pengencangan baut digunakan gaya 5 Newton, 7 Newton, 10 Newton, 15 Newton, dan 20 Newton.

Nilai parameter yang digunakan untuk perhitungan ada pada table 1 dan table 3. Parameter yang digunakan berdasarkan standar ISO3506-1 :1997.

#### 3.2 Pengambilan Data Torsi Pengencangan Baut

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data torsi pengencangan baut :

- 1 Kunci momen yang sudah dimodifikasi dengan *strain gauge* dan *transducer*
- 2 Push-pull gauge
- 3 Baut dan nut M12 A2-70
- 4 Mass block
- 5 Data logger Kyowa EDX-200A
- 6 PC
- 7 Software KYOWA EDX

8 Kabel rol

Cara pengambilan data :

Sebelum mengambil data torsi pengencangan baut, dilakukan kalibrasi kunci momen. *Strain gauge* dipasang pada kunci momen, dan dihubungkan dengan data logger. Kalibrasi dilakukan dengan memberikan torsi pengencangan tertentu menggunakan skala analog, kemudian dilakukan pengecekan pertambahan panjang pada *strain gauge* untuk tiap nilai torsi. Angka kalibrasi yang didapatkan dimasukkan dalam system software.

Data pengencangan baut diambil dengan cara kunci momen yang sudah dimodifikasi *strain gauge* dihubungkan dengan data logger dan PC. Gaya untuk proses pengencangan baut diukur menggunakan push-pull. Saat baut dikencangkan, torsi yang digunakan untuk pengencangan baut akan terekam oleh software EDX dan ditampilkan dalam grafik torsi pada PC.

Gaya pengencangan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 5 Newton, 7 Newton, 10 Newton, 15 Newton, dan 20 Newton. Gaya 5 Newton – 10 Newton diambil karena rata-rata pengencangan baut dilakukan pada gaya 5 Newton dan 7 Newton. Sedangkan gaya 15 Newton – 20 Newton diambil sebagai variasi data agar terlihat grafik akurasi dari hasil penelitian.

#### 3.3 Analisa dan perhitungan akurasi

Analisa data dilakukan dengan cara menghitung akurasi data torsi yang diambil secara manual dibandingkan dengan data torsi yang sudah dihitung menggunakan *motosh equation*.

Nilai akurasi menunjukkan kedekatan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya yang telah ditentukan oleh metode standar yaitu menggunakan perhitungan *motosh equation*. Nilai akurasi ini menentukan tingkat akurasi dari data yang diambil menggunakan alat kunci momen yang sudah dimodifikasi. Perhitungan akurasi dilakukan menggunakan Microsoft Excel.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Nilai torsi pengencangan secara teoritis

Perhitungan torsi secara teoritis diambil untuk gara pengencangan 5 Newton hingga 20 Newton, dengan rentang pemngambilan data 5 Newton.

1 Torsi pengencangan untuk gaya 5 Newton

$$T_{motosh} = ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} = ( )$$

$$T_{motosh} =$$

Dengan gaya pengencangan sebesar 5 Newton didapatkan torsi pengencangan 29,196 Nm.

2 Torsi pengencangan untuk gaya 7 Newton

$$T_{motosh} = ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} = ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} =$$

Dengan gaya pengencangan sebesar 7 Newton didapatkan torsi pengencangan 40.874 Nm.

3 Torsipengencangan untuk gaya 10Newton

$$T_{motosh} ( )$$

$$T_{motosh} ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} =$$

Dengan gaya pengencangan sebesar 10 Newton didapatkan torsi pengencangan 58.392 Nm.

4 Torsipengencangan untuk gaya 15Newton

$$T_{motosh} ( )$$

$$T_{motosh} = ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} =$$

Dengan gaya pengencangan sebesar 15 Newton didapatkan torsi pengencangan 87.588 Nm.

5 Torsi pengencangan untuk gaya 20 Newton

$$T_{motosh} = ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} = ( ) \text{ ---}$$

$$T_{motosh} =$$

Dengan gaya pengencangan sebesar 20 Newton didapatkan torsi pengencangan 116.785 Nm.

Dari hasil perhitungan didapatkan torsi pengencangan baut untuk masing-masing gaya sebesar :

Tabel 4. Hasil perhitungan torsi pengencangan gaya

Gaya (Newton)	Torsi Pengencangan (Nm)
5	29.196
7	40.874
10	58.392
15	87.588
20	116.785

#### 4.2 Nilai torsi pengencangan dari pengambilan data aktual

Data torsi pengencangan diambil menggunakan kunci momen modifikasi. Pengambilan data dengan cara memberikan gaya pengencangan menggunakan push-pull gauge. Setelah tercapai gaya pengencangan yang diharapkan, maka pengencangan dihentikan. Saat terjadi proses pengencangan, layar PC akan menampilkan grafik proses pengencangan. Grafik tersebut menunjukkan besaran torsi yang dihasilkan.

Hasil pengambilan data didapatkan, bahwa semakin besar gaya yang digunakan untuk mengencangkan baut maka semakin besar torsi pengencangan yang dihasilkan. Torsi pengencangan baut untuk masing-masing gaya dirangkum pada table 5.

Tabel 5 Data hasil pengambilan data torsi

Gaya (newton)	Torsi pengencangan (Nm)
5	31.687
7	42.948
10	63.636
15	93.894
20	127.352

#### 4.3 Nilai akurasi kunci momen

Dari hasil perhitungan dan pengambilan data menggunakan kunci momen modifikasi, didapatkan rangkuman hasil sebagai berikut.

Tabel 6 Hasil perhitungan dan pengambilan data

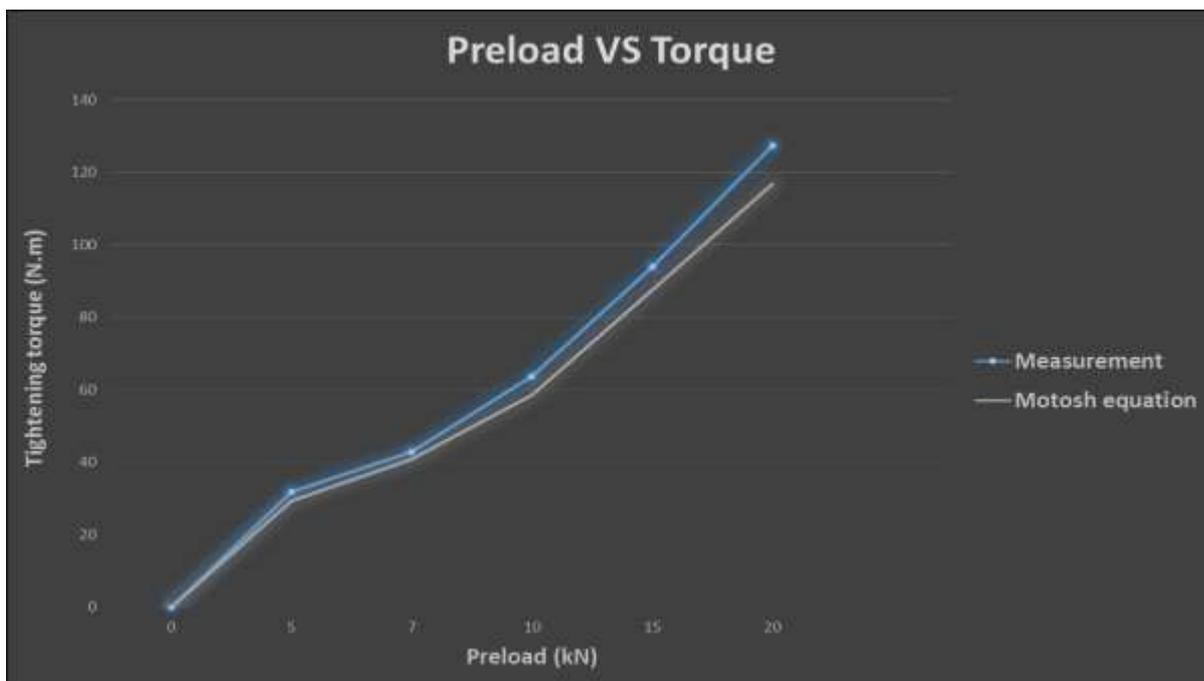
Gaya (Newton)	Motosh Equation (Nm)	Pengambilan Data Torsi (Nm)	Error
5	29.196	31.687	8%
7	40.874	42.948	5%
10	58.392	63.636	8%
15	87.588	93.894	7%
20	116.785	127.352	8%

Dari hasil pengambilan data dan perhitungan, didapatkan nilai rata-rata nilai error sebesar 7%.

Kemudian dilakukan perhitungan akurasi dari hasil pengukuran.

Gaya (Newton)	Motosh Equation (Nm)	Data Torsi (Nm)	Akurasi
5	29.196	31.687	92,13 %
7	40.874	42.948	95,17 %
10	58.392	63.636	91,76 %
15	87.588	93.894	93,28 %

Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan data hasil perhitungan dan pengambilan data menggunakan kunci momen modifikasi.



Grafik 1 Perbandingan hasil perhitungan dan pengambilan data menggunakan kunci momen modifikasi

Dari perhitungan didapatkan nilai rata-rata akurasi untuk tiap pengambilan data sebesar 92.81%.

Terdapat error sebesar 7% saat pengambilan data, hal ini kemungkinan besar diakibatkan dari fluktuatif sinyal pengambilan data. Sinyal yang fluktuatif ini dipengaruhi oleh system grounding. Sistem grounding yang kurang stabil akan mempengaruhi resistansi dalam system sehingga proses pengiriman

sinyal akan terganggu. Hal ini akan berpengaruh pada hasil pengukuran yang ditampilkan pada layar. Dari grafik hasil pengukuran juga terlihat bentuk grafik yang kurang stabil dan fluktuatif.

Nilai error tersebut juga bisa diakibatkan oleh pemberian gaya yang kurang akurat. Saat memberikan gaya menggunakan push-pull gauge pada sesi akhir pengencangan

biasanya ada hentakan yang mempengaruhi torsi pengencangan yang terekam oleh sensor.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil Analisa yang dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari pengambilan data yang dilakukan didapatkan hasil pengencangan torsi untuk gaya 5 N adalah 31.687 Nm, 10 N adalah 42.948 Nm, 15 N adalah 63.636 Nm, 15 N adalah 93.894 Nm, dan 20 N adalah 127.352 Nm
2. Rata-rata nilai error untuk pengambilan data menggunakan modifikasi kunci momen adalah sebesar 7%
3. Nilai akurasi untuk alat kunci momen yang sudah dimodifikasi dengan strain gauge dan transducer adalah **92.81%**

### 5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil Analisa yang dilakukan maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan system grounding yang lebih stabil untuk mengurangi resistansi dalam sistem
2. Pemberian gaya menggunakan alat yang memiliki skala digital, untuk menjaga akurasi saat pemberian gaya
3. Peningkatan pemberian gaya dilakukan secara perlahan agar grafik yang dihasilkan stabil dan nilai torsi yang terekam akurat.

**Daftar Pustaka**

- [1] K. K. Choong, "Use of mathematical measurement in improving the accuracy (reliability) & meaningfulness of performance measurement in businesses & organizations," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 129, pp. 184–205, 2018.
- [2] F. Grégis, "Assessing accuracy in measurement: The dilemma of safety versus precision in the adjustment of the fundamental physical constants," *Stud. Hist. Philos. Sci. Part A*, no. June 2018, pp. 1–14, 2018.
- [3] F. Universitatis, "BRIDGE MEASURING CIRCUITS IN THE STRAIN GAUGE Jelena Manojlović , Predrag Janković," vol. 11, pp. 75–84, 2013.
- [4] H. Saputra and M. Yusfi, "Rancang Bangun Alat Ukur Regangan Menggunakan Sensor Strain Gauge Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Dengan Tampilan Lcd," *Fis. Unand*, vol. 2, no. 3, pp. 162–169, 2013.
- [5] H. Gong, J. Liu, and X. Ding, "Calculation of the effective bearing contact radius for precision tightening of bolted joints," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 9, pp. 1–8, 2016.
- [6] Q. M. Yu and H. L. Zhou, "Finite Element Study on Pre-Tightening Process of Threaded Connection and Failure Analysis for Pressure Vessel," *Procedia Eng.*, vol. 130, pp. 1385–1396, 2015.
- [7] J. Drumheller, "TORQUE-TENSION AND COEFFICIENT OF Written By."
- [8] F. S. Hananto, "RANCANG BANGUN SENSOR VISKOSITAS CAIRAN MENGGUNAKAN STRAIN GAUGE DENGAN PRINSIP," pp. 87–94.
- [9] J. Zhou, J. Liu, H. Ouyang, Z. Cai, J. Peng, and M. Zhu, "Anti-loosening performance of coatings on fasteners subjected to dynamic shear load," 2017.