

STUDI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEGANGAN BOUT PADA KOPLING TETAP JENIS FLENS

Ucu Shita^{1*)}, Budi Hartono¹⁾, Dwi Yuliaji¹⁾

¹Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

*e-mail: ucushita.uika@gmail.com

ABSTRAK

Sambungan baut pada kopling berfungsi untuk memindahkan gaya-gaya yang bekerja pada titik penyambungan ke elemen – elemen. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan analisa torsi yang diterima oleh baut dan melakukan pengujian dampak torsi terhadap sambungan baut. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan perputaran motor dan jenis material sambungan baut yang berbeda. Perhitungan secara teoritis untuk mengetahui torsi yang terjadi berdasarkan besar daya 1500 watt dan kecepatan perputaran 1500 rpm, maka di dapatkan torsi motor 9,549 N.m, torsi roda gigi 38,196 N.m dan torsi gearbox 2.291,76 N.m. Pada perhitungan sambungan baut secara teoritis didapatkan gaya pembebanan 763.920 N, dan tegangan geser yang terjadi pada masing-masing baut $7,40 \times 10^8$ N/m². Dari ketiga material baut yang digunakan hanya baut dari material baja saja yang tegangan izinnnya masih lebih besar dari tegangan aktual yang terjadi, sehingga baut dari material baja aman untuk digunakan. Hasil deformasi secara visual didapatkan bahwa pergeseran posisi baut pada masing-masing pengujian berbeda-beda. pergeseran posisi baut paling besar terjadi pada baut di posisi 'b' dengan nilai pergeseran sebesar 1,94 mm pada kecepatan 720 rpm. Adapun hubungan kecepatan perputaran terhadap torsi pengendoran dan pergeseran posisi baut ialah semakin besar kecepatan perputaran motor maka torsi pengendoran dan pergeseran posisi bautnya semakin besar pula.

Kata kunci : Deformasi, Kecepatan perputaran, Torsi.

ABSTRACT

The bolt connection in the coupling serves to transfer the forces acting at the connection point to the elements. The purpose of this study is to analyze the torque received by the bolt and to test the impact of torque on the bolt connection. This test is carried out by varying the rotational speed of the motor and different types of bolt connection materials. Theoretically calculated to determine the torque that occurs based on the power of 1500 watts and the rotational speed of 1500 rpm, then the motor torque is 9.549 N.m, the gear torque is 38.196 N.m and the gearbox torque is 2.291.76 N.m. In the calculation of the bolt connection theoretically, the loading force is 763,920 N, and the shear stress that occurs in each bolt is 7.40×10^8 N/m². Of the three bolt materials used, only steel bolts whose allowable stress is still greater than the actual stress, so steel bolts are safe to use. The results of the visual deformation showed that the shift in the position of the bolts in each test was different. the biggest shift in bolt position occurs in the bolt in position 'b' with a shift value of 1.94 mm at a speed of 720 rpm. The relationship between rotational speed and loosening torque and bolt position shift is that the greater the rotational speed of the motor, the greater the loosening torque and bolt position shift.

Keywords : Deformation, Speed of turnaround, Torque.

1. PENDAHULUAN

Kopling tetap (*coupling*) adalah elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya dari

poros penggerak ke poros yang digerakan secara pasti (tanpa terjadi slip), di mana sumbu kedua poros tersebut terletak pada satu garis lurus atau dapat sedikit berbeda sumbunya. Berbeda dengan kopling

tidak tetap (*clutch*) yang dapat dilepaskan dan dihubungkan bila diperlukan, maka kopling tetap selalu dalam keadaan terhubung.

Untuk menghubungkan kedua *flens* dalam sebuah pemasangan kopling, maka diperlukan ikatan/penghubung untuk merekatkan keduanya. Salah satu jenis ikatan/penghubung ialah dengan sambungan baut. Selain sebagai pengikat sambungan baut juga berfungsi untuk memindahkan gaya-gaya yang bekerja pada titik penyambungan ke elemen – elemen. Kelebihan dari penggunaan sambungan baut pada konstruksi kopling tetap ialah agar mudah dipasang dan dilepas untuk keperluan perawatan dan penggantian komponen. Kekurangan dari penggunaan sambungan baut pada konstruksi kopling tetap ialah baut yang digunakan harus mampu menahan beban atau gaya-gaya yang terjadi pada saat proses pemesinan dilakukan.

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan baut pada konstruksi kopling tetap, selain itu juga melakukan pengamatan terhadap deformasi yang terjadi pada setiap sambungan baut.

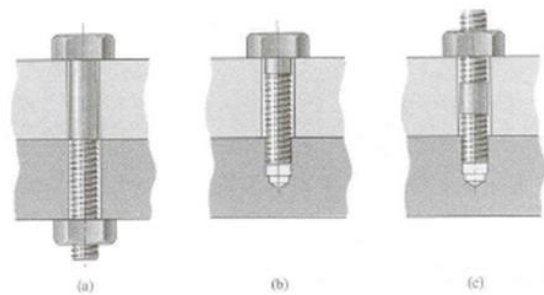
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kopling Flens

Kopling dapat diartikan sebagai suatu alat yang digunakan untuk menghubungkan dua buah poros secara bersama pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk meneruskan daya dan putaran. Daya dan putaran diteruskan dari penggerak mula (motor listrik, motor bakar atau turbin). Kopling kaku (*Flens*) merupakan salah satu jenis kopling yang paling sederhana dan paling banyak digunakan pada pemesinan kapal, alat fitness dan pabrik industry. Kopling kaku memiliki kelemahan yang tidak mengizinkan sedikitpun ketidaklurusan antara kopling dan ujung poros, serta tidak dapat mengurangi tumbukan transmisi. Puntiran yang dikeluarkan mesin utama dapat menyebabkan kegagalan atau kerusakan pada kopling, terutama pada pasak dan baut.

2.2. Sambungan Baut

Sambungan baut adalah alat yang digunakan untuk memegang, mengencangkan atau menyambung dua elemen atau lebih. Sambungan baut atau (*threaded fastener*) menggunakan alat yang berulir untuk menyambungkan dua elemen atau lebih. Kelebihan jenis sambungan ini adalah kemungkinan untuk melepas dan memasang kembali. Sehingga sambungan jenis ini sangat cocok untuk peralatan yang sering dilepas dan dipasang untuk keperluan perawatan atau penggantian komponen yang aus. Gambar 2.2 menunjukkan tiga buah tipe sambungan baut yang umum digunakan yaitu sambungan baut mur, sambungan *cap-screw*, dan sambungan stud. Klasifikasi sambungan baut umumnya dilakukan berdasarkan konstruksi dan kegunaan, tipe ulir, dan jenis kepala baut.



Gambar 1. Konstruksi sambungan baut

2.2.1. Tegangan geser pada baut

Untuk mencari besarnya tegangan geser yang terjadi pada baut, secara teoritis dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T = \frac{\pi}{4} d_b^2 \tau_b n_e \frac{B}{2} \text{ (kg. m)}$$

$$\tau_b = \frac{8T}{\pi d_b^2 B n_e} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Keterangan :

T : Momen rencana (kg.m)

d_b : Diameter baut (m)

τ_b : Tegangan geser baut (kg/m²)

n_e : Jumlah baut

B : Diameter pusat baut (m)

2.3. Pemilihan Bahan

2.3.1. Baja

Baja adalah suatu logam yang terdiri dari besi (Fe) dan Karbon (C), dikenal dengan nama Baa atau baja lumer (Carbon steel). Selanjutnya baja yang diberi tambahan bahan logam lain sebagai paduannya, antara lain: Mangan (Mn), Nikel (Ni), Kromium (Cr), Molibdenium (Mo), Silikon (Si), dinamakan baja paduan (Alloy Steel).

Karbon pada baja memegang peranan sangat penting, kadar karbon berkisar antara 0,05% sampai 1,5%. Bila kadar karbonnya lebih dari 2% sampai 4% dikatakan besi tuang.

2.3.2. Kuningan

Kuningan suatu campuran antar tembaga dengan minimum 10% Seng (Zn), dan atau dengan logam lain juga. Sama dengan perunggu, maka kuningan pun ada yang dituang ada yang ditempa. Penggunaan dan sifat fisiknya dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 1. Data Teknik kuningan

jenis	Sistim H.C.N.N.	% Cu	% Sn	% Zn	% Pb	Lain bahan	G _{pt} Kg/cm ²	B.H.N.	Sifat penggunaan
Kuningan	GMS.60	60		40	2		1.500	45	Untu dituang
Kuningan	KMS.58	58		40			4.400	120	Sekrup, kunci-kunci
Kuningan	KMS.72	72		28		2 Al	2.900	60	Baling-baling turbin
Kuningan	KMS.76	76		22			3.500		Pipa kondensor
Kuningan Timah	B146-49-6B	67	1	29	3		2.100		Macam-macam guna

2.3.3. Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Aluminium memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan

kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Aluminium memiliki karakteristik sebagai logam ringan dengan densitas 2,7 g/cm³.

Tabel 2. Mechanical properties Aluminium 6061

Ultimate tensile strength	310 MPa
Tensile yield strength	276 MPa
Shear strength	207 MPa
Fatigue strength	96,5 MPa
Modulus of elasticity	98,9 GPa
Shear modulus	26 Gpa

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi kecepatan perputaran dan variasi material baut. Proses pengambilan data dilakukan dengan cara menentukan putaran kecepatan motor sesuai dengan variasi kecepatan yang telah ditentukan, mengamati pengaruh kecepatan putaran terhadap deformasi sambungan baut dan juga dilakukan perekaman konsumsi daya menggunakan *power analisys*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa

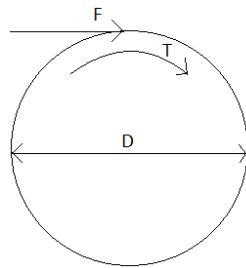
Analisa yang dilakukan ialah mencari data dengan menggunakan rumus teoritis, pada tabel 3 dijelaskan perhitungan torsi yang terjadi pada motor listrik, roda gigi dan juga gearbox.

Tabel 3. Hasil perhitungan torsi

Torsi motor	Torsi roda gigi	Torsi gearbox
9,549 N.m	38,196 N.m	2.291,76 N.m

4.1.1. Pembebanan pada poros

Dalam mencari pembebanan pada poros dapat menggunakan persamaan dibawah dan letak posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pembebanan pada poros

$$F_s = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)} (N)$$

Dimana :

F_s = Gaya yang terjadi pada poros (N)

T = 2.291,76 (N.m)

D = 32 (mm) = 0,032 m

$$F_s = \frac{2.291,76}{\left(\frac{0,032}{2}\right)} (N)$$

$$F_s = \frac{2.291,76}{(0,016)} (N)$$

$$F_s = 143.235 (N)$$

Dari hasil perhitungan diperoleh gaya pembebanan pada poros sebesar 143.235 N.

4.1.2. Tegangan geser yang terjadi pada poros

Dalam mencari tegangan geser yang terjadi pada poros dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$\tau_s = \frac{16T}{\pi d^3} (N/m^2)$$

Dimana :

τ_s = Tegangan geser yang terjadi pada poros (N/m²)

T = 2.291,76 (N.m)

d = 32 (mm) = 0,032 m

$$\tau_s = \frac{16 \times 2.291,76}{\pi \times (0,032)^3} (N/m^2)$$

$$\tau_s = \frac{36.668,16}{0,00010294371} (N/m^2)$$

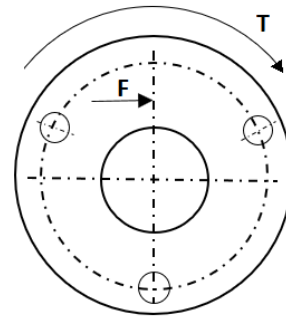
$$\tau_s = 356.196.216,359 (N/m^2)$$

$$\tau_s = 3,56 \times 10^8 (N/m^2)$$

Dari hasil perhitungan diperoleh tegangan geser yang terjadi pada poros adalah sebesar 3,56 x 10⁸ N/m².

4.1.3. Pembebanan pada flange

Dalam mencari nilai pembebanan dari flange dapat menggunakan persamaan dibawah dan letak posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pembebanan flange

$$F = \frac{2T}{D}$$

Dimana

F =Gaya pembebanan flens (N)

T =2.291,76 (N.m)

D =81 (mm) =0,081 m

$$F = \frac{2 \times 2.291,76}{0,081}$$

$$F = \frac{4.583,52 N.m}{0,081 m}$$

$$F = 56.586,667 N$$

Dari hasil perhitungan diperoleh gaya pembebanan pada flange sebesar 56.586,667 N.

4.1.4. Tegangan geser yang terjadi pada flange

Data yang digunakan dalam menghitung tegangan geser pada kopling flange adalah Momen torsi (T) = 2.291,76 N.m, Diameter (D) = 81 mm, tebal flens [(t)_f] = 10 mm. tegangan geser yang terjadi pada flange dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau_f = \frac{2T}{\pi D^2 t_f}$$

$$\tau_f = \frac{2 \times 2.291,76}{\pi \cdot (0,081)^2 \cdot 0,010}$$

$$\tau_f = \frac{4.583,52 N.m}{0,0002061 m^3}$$

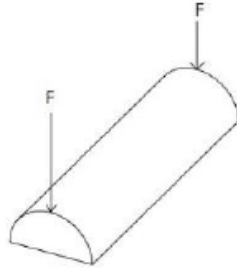
$$\tau_f = 22.237.154,847 N/m^2$$

$$\tau_f = 2,22 \times 10^7 N/m^2$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai tegangan geser yang terjadi pada flange yaitu sebesar 2,39 x 10⁷ N/m².

4.1.5. Pembebanan pada baut flange

Dalam mencari nilai pembebanan yang terjadi pada baut dapat menggunakan persamaan dibawah dan letak posisi pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pembebanan baut

$$F_b = \frac{2T}{D_1} (N)$$

Dimana :

F_b = Gaya yang terjadi pada baut (N)

T = 2.291,76 (N.m)

D = 6 (mm) = 0,006 m

$$F_b = \frac{2 \times 2.291,76}{0,006} (N)$$

$$F_b = \frac{4.583,52}{0,006} (N)$$

$$F_b = 763.920 (N)$$

Dari hasil perhitungan diperoleh gaya pembebanan pada baut sebesar 763.920 N

4.1.6. Tegangan geser yang terjadi pada baut flange

Dalam mencari besarnya tegangan geser yang terjadi pada baut dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$\tau_b = \frac{8T}{\pi d_b^2 B n_e} (N/m^2)$$

$$\tau_b = \frac{8 \times 2.291,76}{\pi \times (0,006^2) \times 0,073 \times 3} (N/m^2)$$

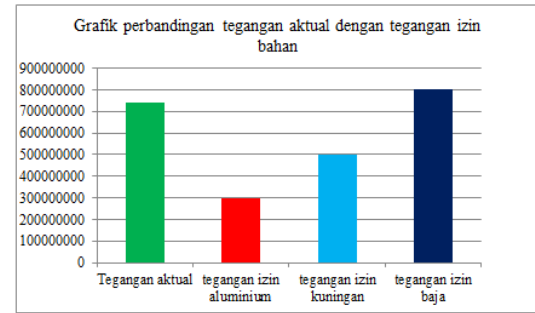
$$\tau_b = \frac{18.334,08}{0,000024777} (N/m^2)$$

$$\tau_b = 740.223.099,706 N/m^2$$

$$\tau_b = 7,40 \times 10^8 N/m^2$$

Dari hasil perhitungan diperoleh tegangan geser yang terjadi pada masing-masing baut flange adalah sebesar 7,40 x10⁸ N/m². Perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan tegangan izin

masing-masing material, dapat dilihat melalui gambar 5.



Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan aktual dengan tegangan izin

Dari gambar diatas dapat dilihat untuk baut dari material baja memiliki tegangan izin 8 x 10⁸ N/m² , baut material kuningan 5 x 10⁸ N/m², sedangkan baut material aluminium 3 x 10⁸ N/m². Dari ketiga material baut yang digunakan hanya baut dari material baja saja yang tegangan izinnnya masih lebih besar dari tegangan aktual yang terjadi, sehingga baut dari material baja aman untuk digunakan.

4.2. Data Hasil Pengujian

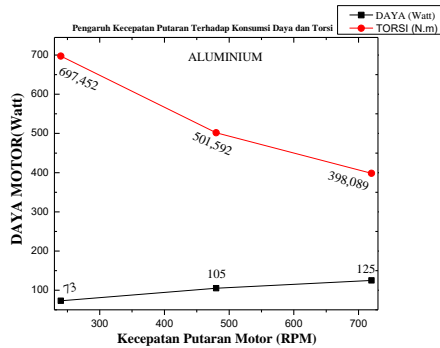
Data hasil pengujian dapat dijelaskan pada tabel 4, sebagai berikut :

Tabel 4. Pengaruh kecepatan putaran terhadap konsumsi daya dan torsi

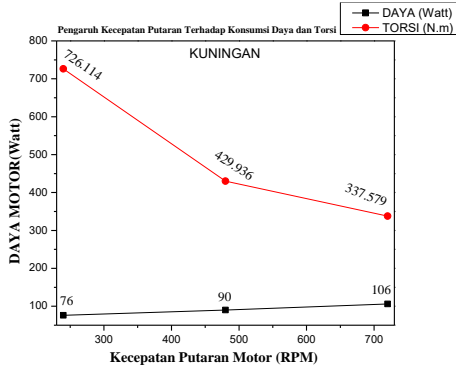
Daya motor (watt)	Kecepatan putaran motor (RPM)	Torsi (N.m)		
		Motor	Roda gigi	Gearbox
Aluminium				
73	240	2,906	11,624	697,452
105	480	2,089	8,359	501,592
125	720	1,658	6,634	398,089
Kuningan				
76	240	3,025	12,101	726,114
90	480	1,791	7,165	429,936
106	720	1,406	5,626	337,579
Baja grade 8.8				
80	240	3,184	12,738	764,331
96	480	1,910	7,643	458,598
108	720	1,433	5,732	343,949

Dari tabel 4 diatas menjelaskan data hasil pengujian pengaruh kecepatan putaran terhadap konsumsi daya dan torsi yang terjadi, yangmana dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan perputaran motor maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Berbeda halnya dengan konsumsi daya, semakin besar kecepatan perputaran motor maka semakin besar pula konsumsi daya yang dibutuhkan.

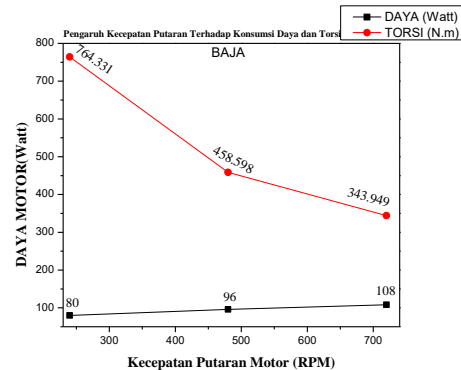
Berikut merupakan grafik hasil pengujian pengaruh kecepatan putaran terhadap konsumsi daya dan torsi yang terjadi dijelaskan gambar 6 sampai dengan gambar 8.



Gambar 6. Grafik pengujian kecepatan putaran bahan aluminium



Gambar 7. Grafik pengujian kecepatan putaran bahan kuningan



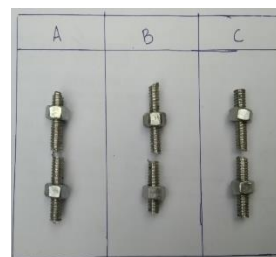
Gambar 8. Grafik pengujian kecepatan putaran bahan Baja

Selain didapatkan hasil pengujian pengaruh kecepatan perputaran terhadap konsumsi daya dan torsi, pada pengujian ini didapatkan pula hasil dari pengaruh kecepatan perputaran terhadap torsi pengencangan baut dan juga deformasi pada baut secara visual. Pada table 5 dibawah menjelaskan data hasil pengujian :

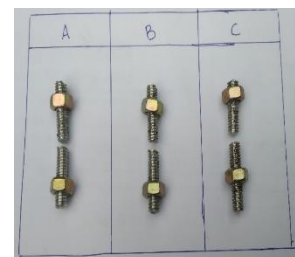
Tabel 5. Pengaruh kecepatan putaran terhadap torsi pengencangan baut

Kecepatan putaran motor (RPM)	Torsi pengencangan baut (N.m)						Deformasi (visual)
	Awal			Akhir			
	a	b	c	a	b	c	
Aluminium							
240	2	2	2	-	-	-	Gambar 4.8
480	2	2	2	-	-	-	Gambar 4.9
720	2	2	2	-	-	-	Gambar 4.10
Kuningan							
240	4	4	4	-	-	-	Gambar 4.11
480	4	4	4	-	-	-	Gambar 4.12
720	4	4	4	-	-	-	Gambar 4.13
Baja grade 8.8							
240	6	6	6	9,25	14,59	3,8	Gambar 4.14
480	6	6	6	18,64	23,30	7,76	Gambar 4.15
720	6	6	6	22,93	25,04	17,99	Gambar 4.16

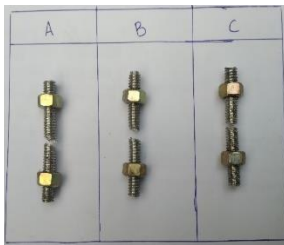
Dari data hasil pengujian diatas dapat dilihat bahwa untuk aluminium diberikan torsi pengencangan baut sebesar 2 N.m dan untuk kuningan sebesar 4 N.m sedangkan untuk torsi pengendoran dari kedua bahan baut tersebut tidak ada, karena pada saat pengujian kedua bahan tersebut mengalami patah. Dari patahan atau kerusakan yang terjadi pada masing-masing baut dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi pada setiap baut tidak sama, karena patahan yang terjadi pada setiap baut berbeda-beda. Hasil dari patahan dapat dilihat pada gambar 9 sampai dengan gambar 12.



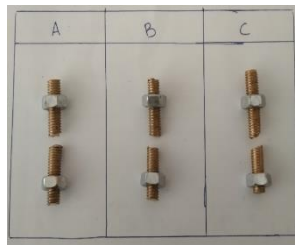
Gambar 9. Aluminium 240 rpm



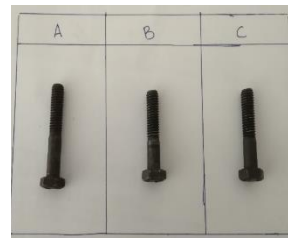
Gambar 10. Aluminium 480 rpm



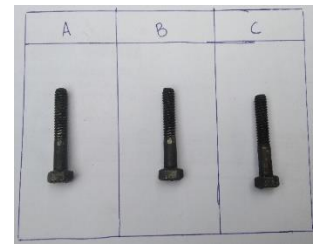
Gambar 11. Aluminium
720 rpm



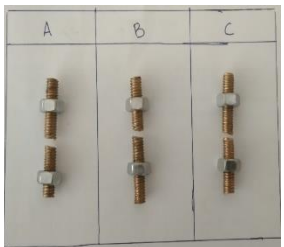
Gambar 12. Kuningan
240 rpm



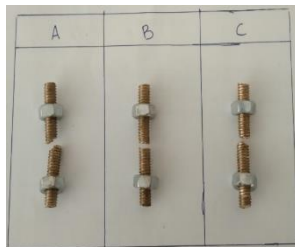
Gambar 16. Baja 240
rpm



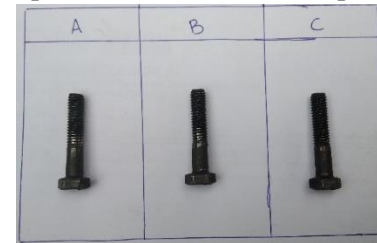
Gambar 17. Baja 480
rpm



Gambar 13. Kuningan
480 rpm

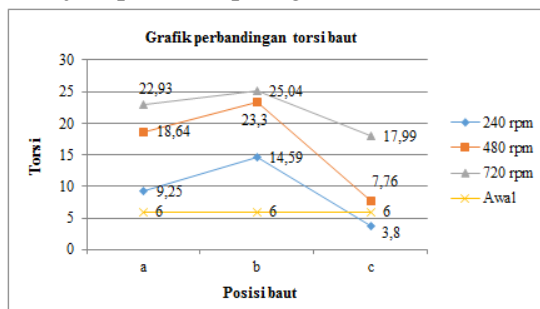


Gambar 14. Kuningan
720 rpm



Gambar 18. Baja 720 rpm

Pada tabel 5. dapat dilihat untuk bahan baut baja diberikan torsi pengencangan baut sebesar 6 N.m. sedangkan untuk torsi pengendoran masing-masing bautnya berbeda. Berikut grafik perbandingan dari torsi pengencangan dengan torsi pengendoran pada baut baja dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 4.15 Grafik perbandingan torsi baut baja

Adapun hubungan kecepatan perputaran terhadap torsi pengendoran baut memiliki hubungan yang berbanding lurus, semakin besar kecepatan perputaran motor maka torsi pengendoran bautnya semakin besar pula. Torsi pengendoran baut yang paling besar dialami oleh baut bagian B, begitupun untuk setiap variasi kecepatan perputaran. Adapun deformasi yang terjadi pada baut bahan baja ditunjukkan gambar 16 sampai gambar 18.

Selain dilihat secara visual, deformasi pada baut juga dapat dilihat dari pergeseran sumbu baut setelah mengalami pengujian, berikut data pergeseran dapat dilihat pada tabel 6 dibawah.

Tabel 6. Pergeseran pada baut baja

Kecepatan putaran motor (RPM)	Pergeseran pada baut (mm)		
	a	b	c
240	0,06	0,07	0,04
480	0,10	0,14	0,08
720	0,77	1,94	0,22

Dari tabel 6 diatas dapat dilihat pergeseran posisi baut dari material baja setelah dilakukan pengujian. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan perputaran motor maka pergeseran posisi baut semakin besar pula. Jika dilihat dari posisi baut maka baut di posisi 'b' yang mengalami pergeseran paling besar dari setiap variasi kecepatan perputaran motor.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisa terhadap distribusi tegangan baut pada flange, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis untuk daya motor 1500 watt dan kecepatan perputaran motor 1500 rpm didapatkan torsi motor sebesar 9,549 N.m. Untuk torsi roda gigi

- sebesar 38,196 N.m sedangkan torsi yang terjadi pada gearbox yaitu 2.291,76 N.m.
2. Tegangan geser yang terjadi pada baut berdasarkan perhitungan teoritis dengan gaya pembebanan pada baut sebesar 763.920 N. Diperoleh tegangan geser yang terjadi pada masing-masing baut flange adalah sebesar $7,4 \times 10^8$ N/m².
 3. Dari hasil data dan grafik menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan perputaran motor maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Sedangkan untuk konsumsi daya, semakin besar kecepatan perputaran motor maka semakin besar pula konsumsi daya yang dibutuhkan.
 4. Dampak dari torsi terhadap sambungan baut dapat dilihat dari deformasi secara visual, dimana patahan dari masing-masing baut tidak sama. Selain itu dapat dilihat juga dari torsi pengendoran baut, yangmana semakin besar kecepatan perputaran motor maka torsi pengendoran bautnya semakin besar pula, adapun dari setiap masing-masing baut yang paling besar mengalami torsi pengendoran yaitu baut bagian B.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisa pada penelitian distribusi tegangan baut pada *flange*, ada hal yang perlu diperhatikan dalam keberlanjutannya agar lebih baik yaitu, disarankan untuk membuat penahan yang lebih kuat, sehingga mampu menahan torsi yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih yang seikhlas-ikhlasnya, penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah sudi meluangkan waktu untuk memberikan petunjuk, saran dan bimbingan demi kesempurnaan penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Hidayat, W., Asri, A., & Kurniawan, E. (n.d.). Analisis tegangan geser, momen dan tegangan lentur maksimum untuk pembuatan pisau pada rancang bangun

mesin pemecah buah kakao kapasitas 2 ton/jam. *Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PIPT)*.

- Isma Putra, B., Hidayat, A., & Purnama, J. (2012). *Elemen Mesin Untuk Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Khurmi, R., & Gupta, J. (2005). *A Textbook Of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD.
- Sukarnoto, T., & Soeharsono. (2017). Analisis Distribusi Tegangan Pada Kepala Baut Dengan Variasi Filet Menggunakan Metode Fotoelastisitas. *MESIN, Volume 9 Nomor 3*, 137-141.
- Sularso, & Suga, k. (1997). *Dasar perancangan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Zainuri, A. M. (2008). *Kekuatan Bahan*. Yogyakarta: Andi.