BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini mendorong kita untuk menemukan inovasi-inovasi yang lebih baik daripada produk-produk industri yang sudah ada di pasaran. Seperti yang sudah diketahui, puli pada aplikasinya di lapangan dimanfaatkan sebagai alat pentransfer daya dari motor penggerak ke mesin produksi yang ditahan dengan menggunakan pasak seperti pada kompresor, alat selep padi, mesin bubut dan lain-lain. Dari hasil survei di beberapa toko teknik di kota malang diantaranya toko BUDI JAYA, toko PRIMA TEKNIK, dan toko SAKTI tedapat dua jenis puli yang bisa didapatkan yaitu puli pejal dan puli berlubang. Puli pejal merupakan puli yang belum mempunyai lubang poros dan alur pasak, sedangkan pada puli berlubang sudah mempunyai lubang poros dan alur pasak.

Pada proses produksi kerajinan batu marmer dan onyx, dimana daya dari mesin diesel 12 PK dipindahkan dengan sebuah poros transmisi yang panjangnya mencapai 6 meter yang ditahan dengan beberapa *pillowblock*. Daya dari poros transmisi tersebut nantinya akan dipindahkan untuk berbagai keperluan seperti mesin bubut dan generator 3000 watt dimana listrik yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai daya gergaji tangan, gerinda tangan, dan sebagainya.

Permasalahan yang timbul apabila menggunakan puli berpasak adalah terjadinya perbedaan diameter di sepanjang poros transmisi yang panjangnya mencapai 6 meter, sedangkan pada poros transmisi tersebut akan ditempatkan beberapa puli sekaligus (dapat mencapai 8 puli) dengan jarak tertentu. Hal tersebut menyebabkan; (1) pembubutan puli untuk presisi dengan poros sulit dilakukan, misalnya bagian poros yang akan dipasang puli berada di tengah dengan diameter yang lebih kecil (toleransinya besar) dibandingkan dengan diameter ujung poros sehingga puli harus dibubut dengan diameter lubang yang besar, (2) membuat alur pasak pada poros transmisi yang panjang memberikan kesulitan tersendiri terutama dari sudut teknis pembuatannya, (3) apabila letak bubut dan puli pada poros tidak lurus segaris, menyebabkan *belt* menjadi tidak tegak lurus sehingga umur pemakaian *belt* menjadi pendek, (4) pemasangan beberapa *pillowblock* pada poros transmisis menyebabkan kesulitan pemasangan puli pada poros.

Metode untuk mengikat elemen-elemen tertentu pada poros tanpa menggunakan pasak telah banyak digunakan seperti pada sambungan naf pada poros berbentuk kerucut, sambungan dengan sesuaian sesak, dan sambungan dengan sekrup penetap. Secara umum metode-metode tersebut memanfaatkan gaya tekan dan gaya gesek untuk mengikat elemen-elemen tertentu pada poros.

.Pada tahun 2012 D. Wiryanto melakukan penelitian disertasi tentang pengaruh pemakaian baut mutu tinggi dan baut biasa terhadap kinerja sistem sambungan dengan ring khusus beralur. Pada penelitian ini, penggunaan ring yang dibuat khusus dengan alur yang saling berjodoh terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan pada sambungan baut pada pelat baja dibandingkan dengan ring standar. Dari hasil penelitian yang dilakukan, diketahui penggunaan ring yang dibuat khusus dengan alur yang saling berjodoh dapat menghasilkan sistem sambungan yang kaku (tidak terjadi slip) dikarenakan adanya gaya *pretensioning* dan cukup baik untuk pembebanan dinamis. Semakin besar gaya *pretensioning* yang diberikan, akan meningkatkan kekuatan sebelum terjadinya slip. Sedangkan pemakaian baut biasa dapat menghasilkan mekanisme slip-kritis.

Oleh karena itu peneliti merencanakan suatu mekanisme rekayasa kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan sebagai alternatif pengganti pasak yang diharapkan dapat menjadi solusi pada permasalahan pada proses produksi kerajinan batu marmer dan onyx, karena; (1) puli mudah dipasang karena tidak adanya alur pasak pada poros dan puli meskipun terdapat beberapa *pillowblock* di sepanjang poros, (2) pemasangannya yang fleksibel sehingga kelurusan *belt* dapat terjamin sehinga umur pemakaian *belt* menjadi lebih panjang, (3) dapat dipasang dengan toleransi yang besar terhadap poros. Oleh karena itu, perlu diketahui seberapa besar momen yang sanggup dipindahkan oleh kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan sahingga dapat diaplikasikan di lapangan.

Berdasarkan uraian diatas peneliti mengambil permasalahan tentang berapa momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi kekencangan baut pengunci dan berapa momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi sudut pada *bushing* tirus.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi kekencangan baut pengunci.
2. Berapa momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi sudut pada *bushing* tirus.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dan menjaga proses penulisan agar tidak meluas,perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Poros berdiameter 1 inch.
2. Spesifikasi puli yang digunakan adalah sebagai berikut:
   - Diameter luar 10 inch.
   - Merupakan puli dengan *hub* pejal berdiameter 8 cm.
   - Ketebalan bagian yang pejal 3 cm.
   - Terbuat dari besi cor.
3. Bahan *bushing* menggunakan *stainless steel* AISI 316L yang diproses dengan mesin bubut konvensional dengan ukuran menyesuaikan ukuran puli.
4. Pembahasan difokuskan pada kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan.
5. Koefisien gesek dianggap maksimum (μ=1) karena tidak mengijinkan terjadi slip pada aplikasinya

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui besarnya momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi kekencangan baut pengunci
2. Mengetahui besarnya momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi sudut pada *bushing* tirus.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Merupakan suatu penelitian sistem pengganti pasak dan diharapkan menjadi masukan dalam penelitian berikutnya
2. Secara praktis dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan bagi bidang industri sebagai suatu alternatif pengganti pasak dengan kombinasi dua *bushing* tirus
3. Sebagai pengembangan dari ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang rekayasa produksi yang nantinya dapat diaplikasikan secara luas dan diproduksi secara massal

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada tahun 2012 **D. Wiryanto**, melakukan penelitian tentang pengaruh pemakaian baut mutu tinggi dan baut biasa terhadap kinerja sistem sambungan dengan ring khusus beralur. Pada penelitian ini, penggunaan ring yang dibuat khusus dengan alur yang saling berjodoh terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan pada sambungan baut pada pelat baja. Dari hasil penelitian yang dilakukan, diketahui penggunaan ring yang dibuat khusus dengan alur yang saling berjodoh dapat menghasilkan sistem sambungan yang kaku (tidak terjadi slip) yang cukup baik untuk pembebanan dinamis. Semakin besar gaya *pretensioning* yang diberikan, akan meningkatkan kekuatan sebelum terjadinya slip. Sedangkan pemakaian baut biasa dapat menghasilkan mekanisme slip-kritis.

2.2 Poros Transmisi

Poros transmisi *(transmission shaft)* atau sering hanya disebut poros *(shaft)* adalah komponen alat mekanis yang mentransmisikan gerak berputar dan daya. Pada proses produksi kerajinan batu marmer dan onyx, dimana daya dari mesin diesel dipindahkan dengan sebuah poros transmisi yang panjangnya mencapai 6 meter yang ditahan dengan beberapa *pillowblock*. Daya dari poros transmisi tersebut nantinya akan dipindahkan untuk berbagai keperluan seperti mesin bubut dan generator 3000 watt dimana listrik yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai daya gergaji tangan, gerinda tangan, dan sebagainya.

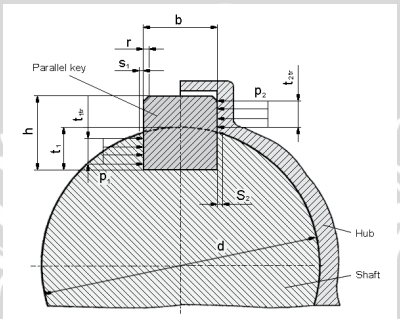
Gambar 2.1. Poros transmisi pabrik marmer

2.3 Pasak

Pasak adalah sebuah komponen permesinan yang ditempatkan diantara poros dan naf (hub) elemen pemindah daya untuk maksud pemindahan torsi. Pasak dipasang pada alur aksial yabng dibuat pada poros yang disebut "*key seat*" (Robert L. Mott, P.E : 464). Jenis pasak yang paling sering digunakan adalah pasak parallel dan pasak tembereng (*woodruff*).

2.3.1. Pasak Paralel (*Parallel Keys*)

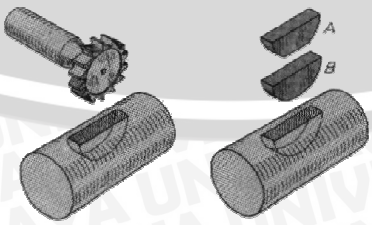
Pasak paralel merupakan jenis pasak yang paling banyak diterapkan dimana puli harus disambung tidak bergerak dengan poros. Alur pasak pada pasak dan naf dirancang setengah tinggi pasak ditahan sisi alur pada poros dan setengah lainnya ditahan sisi alur pada naf.



Gambar 2.2. Pasak Paralel
Sumber:http://www.eassistant.eu/fileadmin/dokumente/eassistant/etc/HTMLHandbuch_en/eAssistantHandb_HTML_ench8.html

2.3.2 Pasak *Wood ruff* (*Wood ruff Keys*)

Pasak jenis ini digunakan pada pembebanan yang relatif kecil. Proses pembuatannya lebih murah dan mudah dalam pemasangan dan pelepasannya. Pemasangan pasak jenis ini pada *hub* sama seperti pasak paralel.



Gambar 2.3. Pasak *Woodruff*
Sumber: http://www.me.metu.edu.tr/courses/me114/Lectures/loc_key_spr_riv.htm

Penggunaan pasak pada proses produksi batu marmer dan onyx yang menggunakan poros transmisi panjang menimbulkan beberapa masalah, yaitu :

- Pembubutan puli untuk presisi dengan poros sulit dilakukan karena terjadinya perbedaan diameter di sepanjang poros.
- Pembuatan alur pasak pada poros transmisi yang panjang memberikan kesulitan tersendiri terutama dari sudut teknis pembuatannya.
- Apabila letak bubut dan puli pada poros tidak lurus segaris, menyebabkan *belt* menjadi tidak tegak lurus sehingga umur pemakaian *belt* menjadi pendek

2.4 Puli

Puli merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya sproket rantai dan roda gigi. Bentuk puli pada umumnya dibedakan berdasarkan bentuk sabuknya. Puli silinderik digunakan apabila menggunakan sabuk rata, sedangkan puli dengan alur V digunakan apabila menggunakan sabuk-V. Disamping kedua bentuk puli tersebut, juga terdapat puli bergigi yang digunakan untuk menjalankan sabuk-gigi. Seperti pada rantai, jenis puli ini memindahkan gerakan yang dipaksakan tanpa terjadi selip. Tetapi pada umumnya jenis puli yang paling sering digunakan adalah puli dengan alur V karena gaya gesek yang ditimbulkan lebih besar. Puli pada umumnya dibuat dari besi cor kelabu FC 20 atau FC 30, dan adapula yang terbuat dari baja.

Gambar 2.4. Puli V-belt

Puli yang digunakan pada penelitian ini adalah puli dengan *hub* pejal dimana diameter lubang untuk poros akan dirubah dan disesuaikan dengan diameter luar *bushing* tirus.

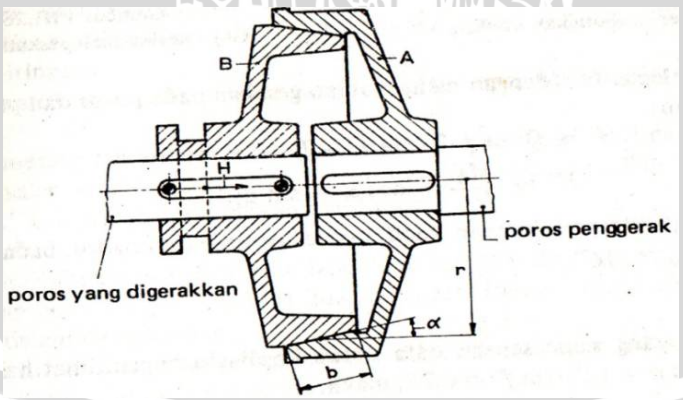
2.5 Transmisi

Transmisi adalah suatu mekanisme yang dipergunakan untuk memindahkan gerakan elemen-elemen yang satu ke gerakan elemen-elemen yang lainnya. Rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan dimaksudkan untuk memindahkan putaran poros ke puli secara langsung dengan menggunakan gaya gesek. Perpindahan tersebut diterapkan untuk daya yang terbatas, karena besar gaya normal yang terjadi tunduk pada pembatasan, sehingga apabila terjadi pembebanan berlebih akan terjadi slip.

Pada aplikasinya, rekayasa dua *buhing* tirus berpasangan harus dapat memindahkan putaran dari poros ke puli secara penuh (tanpa terjadi slip) sehingga koefisien gesek dianggap maksimum (μ=1). Apabila putaran poros adalah n_1 dan putaran puli adalah n_2, maka $n_1 = n_2$.

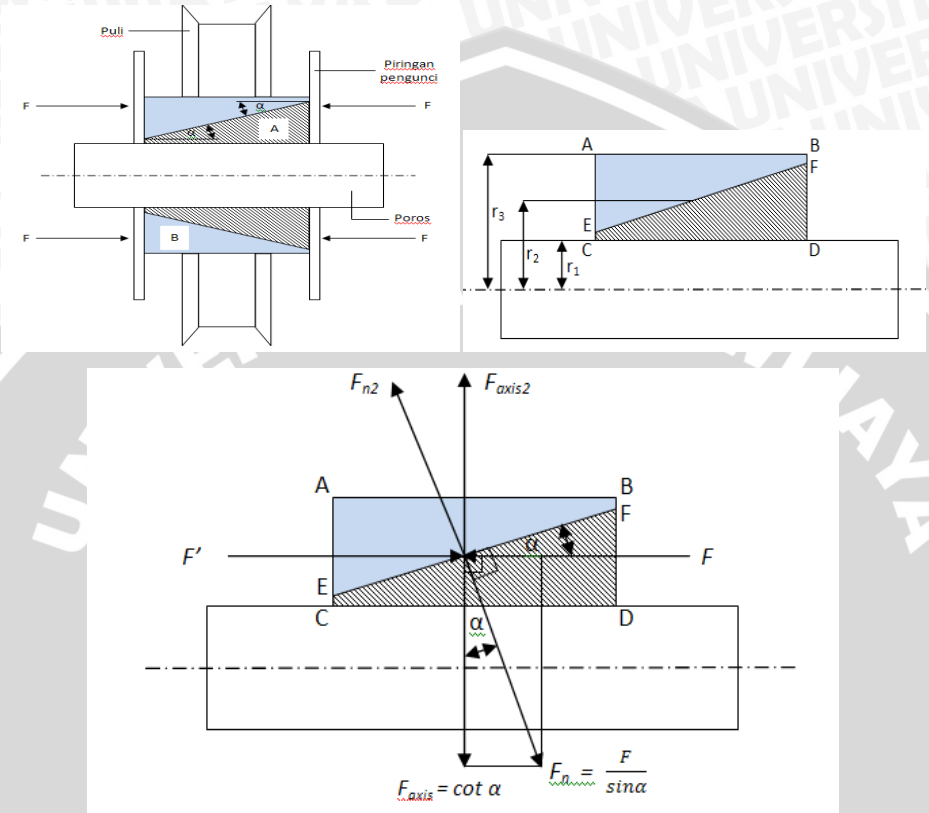
2.6 Kopling Gesek Kerucut

Kopling kerucut merupakan suatu kopling gesek dengan kontruksi sederhana dan mempunyai keuntungan dimana dengan gaya aksial yang kecil dapat ditransmisikan momen yang besar. Kopling ini dulu sering digunakan, tetapi sekarang tidak lagi karena daya yang diteruskan tidak seragam. Pada gambar ,kopling kerucut terdiri dari sebuah kerucut *B* (sudut puncak = 2α) yang dapat digeser mealui pasak benam pada poros yang digerakkan dan sebuah kerucut berongga *A* yang dipasang erat pada poros penggerak dengan sudut puncak yang sama.



Gambar 2.5. Kopling gesek kerucut
Sumber: Jac.Stolk & C.Kros (1993:211)

Perhitungan gaya yang bekerja yang bekerja pada dua *bushing* tirus berpasangan dapat disesuaikan dengan perhitungan gaya pada kopling gesek kerucut karena mempunyai konstruksi yang relatif sama.



Gambar 2.6. Rangkaian pemasangan dua *bushing* tirus berpasangan dan gaya yang bekerja pada dua *bushing* tirus berpasangan

Apabila pada sisinya ditekan dengan gaya F antara satu dengan lainnya, maka pada bidang kontak EF bekerja suatu gaya normal (Jac.Stolk dan C.Kros, 1993:212) :

$$F_n = \frac{F}{sin \propto} \quad (2.1)$$

Pada bidang kontak CD dan AB terjadi gaya normal :

$$F_{axial} = F \cot \alpha \quad (2.2)$$

Gaya tangensial yang terjadi pada bidang EF, CD dan AB :

$$F_{t1} = \mu \, . \, F_n \quad (2.3)$$

$$F_{t2} = \mu \, . \, F_{axial} \quad (2.4)$$

Maka, momen yang dapat dipindahkan pada bidang AB, EF dan CD :

$$M_{CD} = F_t \cdot r_1 \quad (2.5)$$

$$M_{EF} = F_t \cdot r_2 \quad (2.6)$$

$$M_{AB} = F_t \cdot r_3 \quad (2.7)$$

Luas Bidang Gesek pada bidang EF :

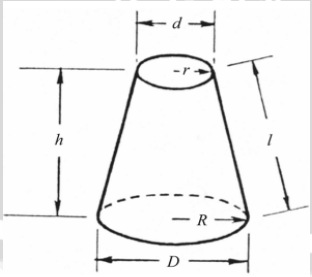
$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot b \quad (2.8)$$

dengan :

F	=	Gaya	(N)
F_n	=	Gaya normal	(N)
F_t	=	Gaya tangensial	(N)
M	=	Momen	(N.m)
μ	=	koefisien gesek	
A	=	Luas bidang gesek	(m^2)
b	=	Panjang EF	(m)
r	=	Jari-jari	(m)

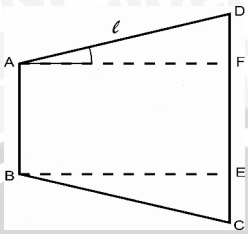
2.7 Kerucut Terpancung (*Frustum*)

Kerucut terpancung (*frustum*) adalah kerucut lingkaran tegak yang dipotong bagian atasnya oleh suatu bidang yang sejajar dengan bidang alas kerucut.



Gambar 2.7 Gambar *frustum* 3 dimensi
Sumber: http://www.google.co.id/imgres=conical+frustum

Apabila digambarkan dalam bentuk dua dimensi secara sederhana, bentuk kerucut terpancung seperti pada gambar di bawah ini.



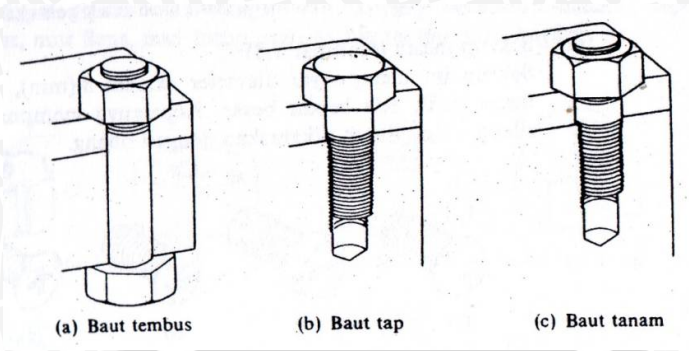
Gambar 2.8. Gambar *frustum* 2 dimensi
Sumber : http://www.google.co.id/imgres=conical+frustum

Pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan yang menggunakan bentuk kerucut terpancung. Apabila panjang EF adalah tetap,maka perubahan sudut α memberikan pengaruh pada bidang kontak yang bersinggungan antara *bushing* tirus yang satu dengan pasangannya. Perubahan sudut α juga mempengaruhi besar gaya normal yang bekerja pada dua *bushing* tirus berpasangan.

2.8 Baut

Baut dan mur merupakan alat pengikat yang sangat penting. Baut digolongkan menurut bentuk kepalanya, yaitu segi enam, soket segi enam, dan kepala persegi. Baut dan mur dapat dibagi sebagai berikut : baut penjepit, baut untuk pemakaian khusus, sekrup mesin, sekrup pengetap, dan mur. Baut penjepit berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut :

1. Baut tembus, untuk menjepit dua bagian melalui lubang tembus, dimana jepitan diketatkan dengan sebuah mur.
2. Baut tap, untuk menjepit dua bagian dimana jepitan diketatkan dengan ulir yang ditapkan pada salah satu bagian.
3. Baut tanam, merupakan baut tanpa kepala dan diberi ulir pada kedua ujungnya. Untuk menjepit kedua bagian, aut ditanam pada salah satu bagian yang mempunyai lubang berulir, dan jepitan diketatkan dengan sebuah mur.



Gambar 2.9. Baut penjepit
Sumber: Sularso (2004:293)

Pada penelitian ini jenis baut yang digunakan adalah baut tembus karena dapat memberikan gaya yang sama pada kedua sisi piringan pengunci pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan.

2.9 *Stainless Steel*

Baja tahan karat atau lebih dikenal dengan *Stainless Steel* adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (Ferum).

Tabel 2.1 Spesifikasi Sifat dari Jenis-Jenis *Stainles Steel*

Jenis Stainless Steel	Respon Magnet	Ketahanan Korosi	Metode Hardening	Ke-liat-an (Ductility)	Ketahanan Temperatur Tinggi	Ketahanan Temperatur Rendah	Kemampuan Welding
Austenitic	Tdk	Sgt Tinggi	Cold Work	Sgt Tinggi	Sgt Tinggi	Sgt Tinggi	Sgt Tinggi
Duplex	Ya	Sedang	Tidak ada	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi
Ferritic	Ya	Sedang	Tidak ada	Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah
Martensitic	Ya	Sedang	Q & T	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah

Sumber: id.scribd.com/doc/9002492/stainless-steel-2

Stainless Steel AISI 316L merupakan jenis *stainless steel austenitic* yang paling banyak digunakan karena mempunyai sifat mekanis yang baik dan harganya murah. Berikut komposisi dan sifat mekanis dari *stainless steel* AISI 316L.

Tabel 2.2 Komposisi dan sifat mekanis *stainless steel*

Element	Weight %
C	0.03
Mn	2.00
Si	1.00
Cr	16.0-18.0
Ni	10.0-14.0
P	0.045
S	0.03
Mo	2.0-3.0

Properties		Conditions	
		T (°C)	Treatment
Density (×1000 kg/m^3)	8	25	
Poisson's Ratio	0.27-0.30	25	
Elastic Modulus (GPa)	190-210	25	
Tensile Strength (Mpa)	480	25	hot finished and annealed (wire) more
Yield Strength (Mpa)	170		
Elongation (%)	40		
Reduction in Area (%)	50		

Sumber : http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steel

Berdasarkan table dapat diketahui modulus elastisitas dari stainless steel AISI 316L adalah 190 GPa, maka :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad (2.9)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (2.10)$$

Maka :

$$\varepsilon = \frac{F}{E\ .A} \qquad (2.11)$$

Dengan :

E = Modulus Elastisitas (GPa)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m^2)

ε = Regangan

σ = Tegangan (Pa)

2.10 Teknis Pembubutan Batu Marmer

Pada dasarnya teknis pembubutan batu marmer tidak jauh berbeda dengan proses pembubutan logam. Penggunaan kopling sebagai pengatur kecepatan dan dengan menggunakan mesin penggerak diesel dengan daya 12 PK dengan putaran maksimal 1430 rpm. Pada awalnya batu marmer dipotong berbentuk persegi delapan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan untuk memudahkan proses pembubutan awal. Untuk pembubutan awal digunakan kecepatan yang paling rendah sekitar 60 rpm pada gigi satu. Proses pembubutan dilakukan secara perlahan dengan kedalaman pemakanan sekitar 1 mm hingga permukaan benda kerja berbentuk silinderis dengan tujuan meminimalisisr kerusakan dan cacat pada benda kerja. Kemudian kecepatan putaran dapat ditambah secara berkala pada proses penggosokan benda kerja.

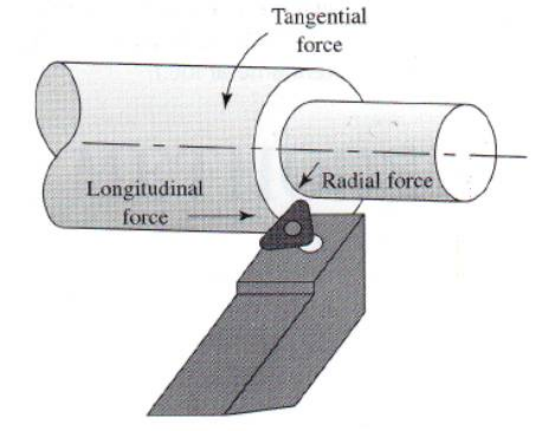
Sifat mekanis batu marmer adalah :

1. Bersifat padat, keras, getas dan tahan terhadap cuaca
2. Mudah dikerjakan
3. Tidak tahan asam
4. Secara kimia terdiri dari kalsium karbonat ($CaCo_3$)

Gambar 2.10. Contoh Hasil Kerajinan Marmer
Sumber: http://www.networkedblogs.com/blog/bintang-antik-sejahtera

Gambar 2.11. Mesin Bubut Marmer di Tulungagung
Sumber http://anekamarmer.com/produk-25-mesin-bubut-.html

Pada proses pembubutan batu marmer ini, mata pahat harus dialiri dengan air secara terus menerus sebagai proses pendinginan mata pahat tidak dan menjadikan permukaan batu tidak terlalu keras. Pada proses pembubutan batu marmer, pahat sebagai perkakas potong merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan proses pembubutan.



Gambar 2.12 Gaya pada mata pada proses pembubutan
Sumber : George Schneider, 2001

Ada 3 jenis gaya pada pahat pada saat peoses pembubutan, gaya-gaya tersebut adalah :

1. *Tangensial force* (gaya tangensial)

   Gaya ini bekerja pada arah tangensial/ sumbu Y searah dengan putaran benda kerja dan menghasilkan gaya reaksi terhadap perputaran benda kerja tersebut. Pada kondisi normal, gaya ini adalah gaya yang paling besar dibandingkan dengan kedua gaya lainnya, besarnya sekitar 99% dari gaya total yang diperlukan oleh operasi mesin bubut (berhubungan dengan daya motor). Salah satu penyebab terjadinya getaran pada mesin bubut adalah adanya gaya tangensial.

2. *Longitudinal force* (gaya longitudinal)

   Gaya ini terjadi pada arah axis/ sumbu X benda kerja dan memberikan gaya reaksi pada arah axis mata pahat. Besarnya gaya ini hanya 1% dari total daya permesinan yang dibutuhkan.

3. *Radial force* (gaya radial)

   Gaya ini bekerja pada garis tengah benda kerja/ sumbu Z. besar gaya ini merupakan yang terkecil dibandingkan dengan kedua gaya lainnya.

Dari uraian diatas, untuk memudahkan dalam hal perhitungan, gaya longitudinal dan gaya radial dapat diabaikan dikarenakan nilainya yang sangat kecil. Apabila berat jenis batu marmer 2700 kg/m^3, maka perhitungan gaya tangensial pada proses pembubutan batu marmer adalah:

Massa batu marmer :

$$m = \rho \cdot V \qquad \text{(http://id.wikipedia.org/Massa\_jenis)} \qquad (2.12)$$

Kecepatan pemotongan :

$$v_c = \frac{\pi . D . n}{1000} \qquad \text{(http://www.scribd.com/doc/50155162/D200030004)} \qquad (2.13)$$

Gaya tangensial :

$$F_t = \frac{m . \dot{v}}{r} \qquad \text{(http://www.scribd.com/doc/50155162/D200030004)} \qquad (2.14)$$

Momen :

$$M = F \cdot r \qquad \text{(Jac.Stolk dan C.Kros, 1993:346)} \qquad (2.15)$$

dengan :

m	=	Massa	(kg)
v_c	=	Kecepatan pemotongan	(m/min)
F_t	=	Gaya tangensial	(N)
ρ	=	Berat jenis batu marmer	(kg/m^3)
V	=	Volume benda kerja	(m^3)
D	=	Diameter benda kerja	(mm)
n	=	Kecepatan motor	(rpm)
r	=	Jari-jari benda kerja	(m)
M	=	Momen	(N.m)

2.11 Permasalahan Produksi pada Kerajinan Batu Marmer dan Onyx

Pembuatan rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan sebagai alternatif pengganti pasak pada puli dan poros dalam penelitian ini mengacu pada industri kerajinan batu marmer dan onyx. Seperti disajikan di muka, dimana pada proses produksi kerajinan batu marmer dan onyx daya dari satu mesin diesel akan ditransfer ke beberapa mesin bubut sekaligus dengan menggunakan poros transmisi yang panjangnya mencapai 6 meter dimana pada poros terpasang 4 sampai 6 puli. Sehingga sistem pemasangan puli dengan alur pasak memiliki banyak kekurangan dalam proses pembuatan dan instalasinya, seperti:

1. Pembuatan beberapa alur pasak pada poros transmisi yang panjang menyebabkan konsentrasi tegangan. Defleksi yang terjadi pada poros yang panjang ditemukan kasus poros yang patah tepat pada konsentrasi tegangan pada alur pasak pada poros.
2. Pembubutan puli untuk presisi dengan poros sulit dilakukan, karena terdapatnya perbedaan diameter di sepanjang poros (toleransinya besar atau sebaliknya), sehingga puli harus dibubut dengan lubang diameter yang besar.
3. Membuat alur pasak pada poros transmisi yang panjang memberikan kesulitan tersendiri terutama dari sudut teknis pembuatannya terutama pada bagian tengah poros.
4. Sistem pemasangan puli dengan alur pasak menyebabkan posisi puli menjadi tetap dikarenakan adanya alur pasak pada poros, sehingga apabila terjadi kesalahan dalam pemasangan puli harus dilakukan proses permesinan ulang pada poros.
5. Apabila letak bubut dan puli pada poros tidak lurus (segaris), menyebabkan *belt* menjadi tidak tegak lurus sehingga umur pemakaian *belt* menjadi lebih pendek.

Pembuatan alur pasak menuntut tingkat kepresisian yang tinggi sehingga apabila terjadi kesalahan pada proses pembuatannya akan menyebabkan kesulitan dalam instalasinya. Disamping itu apabila jarak antara bengkel bubut dengan lokasi pabrik dimana poros terpasang berjauhan menyebabkan tambahan kesulitan karena setiap terjadinya perbedaan antara hasil dari proses permesinan dengan rencana awal instalasi berdampak pada waktu penyelesaian.

Proses permesinan ulang apabila terjadi kesalahan dalam pembuatan alur pasak pada poros dan pembuatan diameter lubang pada puli, perbaikan pada poros transmisi apabila terjadi kerusakan menyebabkan kerugian dari segi waktu dan biaya. Disamping itu, dalam proses perbaikannya menyebabkan terhentinya proses produksi yang dapat menimbulkan kerugian dari berbagai aspek seperti; (1) biaya pengeluaran bertambah, (2) mempengaruhi efisiensi jumlah produk yang dihasilkan, (3) berkurangnya pendapatan, (4) gaji pegawai yang tetap harus dibayar, (5) terhentinya proses pengiriman produk.

Rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan sebagai alternatif pengganti pasak pada puli bertujuan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut dengan berbagai keuntungan sebagai berikut:

1. Dapat diproduksi secara massal terutama pada poros dengan diameter standar, misalnya poros baja dengan diameter 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2 inchi dan sebagainya.
2. Dapat dipasang pada poros yang memiliki perbedaan diameter dengan toleransi –0,5 mm s.d +0,5 mm.
3. Tidak diperlukannya alur pasak pada poros menyebabkan tidak terjadinya perubahan bentuk, sehingga lebih efisien dan umur poros lebih panjang karena tidak terjadi konsentrasi tegangan.
4. Pemasangan yang fleksibel sehingga kelurusan *belt* dapat terjamin sehinga umur pemakaian *belt* menjadi lebih panjang.

2.12 Hipotesa

Berdasarkan teori dapat diambil hipotesa bahwa kekencangan baut pengunci dan sudut pada *bushing* tirus mempengaruhi besar momen yang dapat dipindahkan. Semakin besar kekencangan baut pengunci maka semakin besar gaya yang bekerja pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan dan semakin besar sudut pada *bushing* tirus maka semakin besar bidang kontak yang bersinggungan pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan sehingga kemampuan memindahkan momen dua *bushing* tirus berpasangan akan semakin besar.

.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental sejati (*true experimental research*) untuk mendapatkan data-data dan informasi tambahan yang diperoleh melalui kajian literatur dari buku, jurnal penelitian dan internet. Metode ini dilakukan dengan pengujian secara langsung untuk mengetahui berapa besar momen yang dapat dipindahkan dua *bushing* tirus berpasangan dengan variasi kekencangan baut pengunci dan variasi sudut pada *bushing* tirus.

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan dan sebagai sebab dalam penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

   - Kekencangan baut pengunci : 280 N, 320 N, 360 N, dan 400 N
   - Sudut *Bushing* : 4°, 6°, dan 8°

2. Variabel Terikat

   Variable terikat adalah variabel yang besar nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah momen (N.m).

3. Variabel Terkendali

   Variabel terkendali adalah variabel yang nilainya tetap dan ditentukan sebelum penelitian. Dalam penelitian ini variabel terkendalinya adalah pembebanan sebesar 60 kg.

3.3 Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan November 2012 – Desember 2012. Pembuatan *bushing* tirus dan perangkat lainnya di Bengkel UD Barokah Tlogomas. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

3.4 Alat dan Bahan yang digunakan

Alat Konstruksi untuk pembuatan sistem mekanik bushing tirus meliputi:

a. Mesin bubut
b. Mesin bor
c. Mesin gerinda
d. Mesin gergaji
e. Mesin las
f. Seney

Alat yang digunakan dalam pengujian meliputi :

a. Kamera digital
b. Tool kit
c. *Caliver*/sket mat
d. Kunci Momen

Gambar 3.1 Kunci Momen
Sumber: prohex kunci momen.php.htm

e. Hidraulik *Press*

Gambar 3.2 Mesin Uji Tekan

f. *Load Shell*

Gambar 3.3 *Load Shell*

Bahan penelitian terdiri dari :

a. Puli pejal

   Puli ini memiliki Diameter luar 10 Inchi

b. Mur-baut

   digunakan untuk mengencangkan rangkaian puli pada poros

c. *Stainless stell* pejal

   digunakan sebagai bahan bushing tirus setelah melalui proses pemesinan.

d. Plat lingkaran

   sebagai penjepit samping kiri-kanan rangkaian puli.

e. Besi kotak pejal

   digunakan sebagai rangka penahan saat dilakukan pengujian

f. Poros pejal

Gambar 3.4 Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
Sumber: Dokumentasi Pribadi

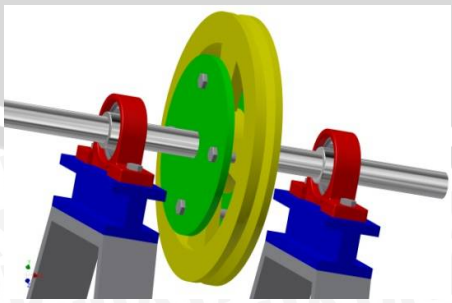
3.5 Prosedur Penelitian

a. Pembuatan *bushing tirus*, piringan plat pengunci, dan rangka pengujian
   1. Melakukan proses permesinan pada bahan stainless stell pejal untuk pembuatan bushing tirus sesuai dengan dengan sudut 4°, 6°, dan 8°.
   2. Melakukan proses permesinan pada besi persegi pejal untuk pembuatan rangka pengujian sesuai dengan desain gambar.
   3. Melakukan proses permesinan pada plat untuk pembuatan plat lingkaran pengunci sesuai dengan desain gambar.

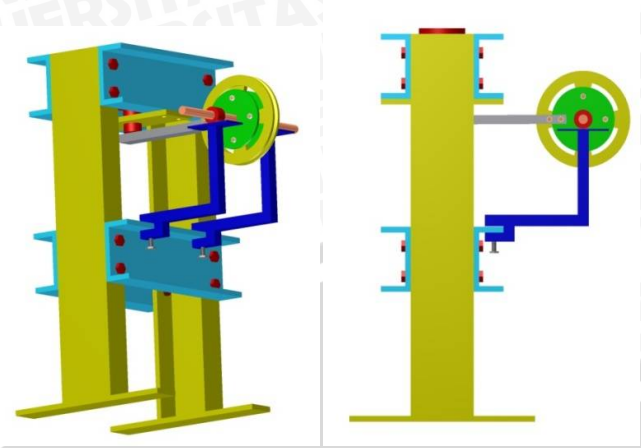
b. Perakitan sistem pada puli, poros, dan rangka pengujian
   1. Perangkaian kombinasi dua bushing tirus berpasangan dan plat pengunci pada puli dan poros sesuai dengan desain gambar.
   2. Pemasangan rangka pengujian pada alat uji tekan sesuai dengan desain gambar.
   3. Pemasangan rangkaian puli dan poros pada rangka pengujian sesuai dengan desain gambar.
   4. Pengujian siap dilakukan.

3.6 Metode Pengujian

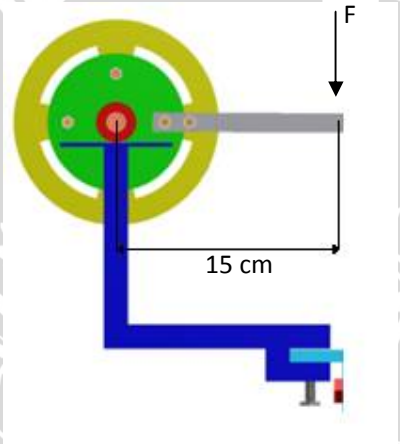
Proses pengujian dilakukan dengan menekan lengan yang panjangnya 15 cm pada alat uji dengan mesin hidraulik *press* dengan pembebanan 60 kg hingga terjadi slip. Besar pembebanan dapat dilihat dari *load shell* yang dipasang diantara lengan dan alat penekan pada hidraulik *press*. Sehingga dapat diketahui berapa momen yang dapat dipindahkan kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan. Proses pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Gambar rangkaian puli seperti pada gambar di bawah.



Gambar 3.5. Rangkain puli



Gambar 3.6. Rangkaian Puli pada *Hidraulik Press*



Gambar 3.7 Panjang lengan pada pengujian

Gambar 3.8 Pemasangan *load shell*

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh kekencangan baut pengunci dan sudut pada *bushing* tirus terhadap kemampuan memindahkan momen dua bushing tirus berpasangan, maka perlu dibuat model rancangan penelitian agar hasil yang diperoleh berguna untuk menyelesaikan masalah yang akan dihadapi. Rancangan penelitiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian Hasil Uji Kekuatan Pencekaman

Kekencangan baut pengunci (N)	Ulangan	Momen (N.m)		
		Sudut 4°	Sudut 6°	Sudut 8°
280	1			
	2			
	3			
320	1			
	2			
	3			
360	1			
	2			
	3			
400	1			
	2			
	3			

3.8 Analisis Statistik

3.8.1 Analisis Varian Dua Arah

Dalam pengolahan data untuk statistik digunakan analisis varian dua arah sehingga dapat diketahui ada tidaknya pengaruh variasi kekencangan baut pengunci (faktor A) dan variasi sudut pada *bushing* tirus (faktor B) serta pengaruh interaksi antara keduanya (faktor AB) terhadap kemampuan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan.

Faktor A dan B masing-masing memiliki level A_1, A_2, A_3, .., A_r dan B_1, B_2, B_3, …, B_c. Jika jumlah pengamatan adalah *t* kali, dan rancangan dua kategori A dan B dinyatakan dengan $(\alpha\beta)_{ij}$ dengan α_1 merupakan pengaruh interaksi antara faktor

A pada level i dan β_1 merupakan faktor B pada level j, maka nilai pengamatan dapat ditulis dengan model matematis sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{(Walpole, 1995:407)} \quad (3.1)$$

dengan :

μ = nilai rata-rata dari seluruh pengamatan

α_1 = pengaruh faktor A ke i

β_j = pengaruh faktor B ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi faktor A ke i dan faktor B ke j

E_{ijk} = simpangan pengamatan dari nilai Y_{ijk}

Untuk hipotesis dalam penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut :

- $H_{01} : A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_i$

  Menyatakan bahwa variasi kekencangan baut pengunci tidak memberikan pengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen.

- $H_{11} : A_1 \neq A_2 \neq A_3 \neq A_4 \neq A_i$

  Menyatakan bahwa variasi kekencangan baut pengunci memberikan pengaruh terhadap kekutan kemampuan memindahkan momen

- $H_{02} : B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = B_i$

  Menyatakan bahwa variasi sudut pada *bushing* tirus tidak memberikan pengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen.

- $H_{22} : B_1 \neq B_2 \neq B_3 \neq B_4 \neq B_i$

  Menyatakan bahwa variasi sudut pada *bushing* tirus memberikan pengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen.

- $H_{03} : (AB)_{11} = (AB)_{12} = \ldots = (AB)_{ij}$

  Menyatakan bahwa interaksi faktor A dan B tidak memberikan pengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen.

- $H_{33} : (AB)_{11} \neq (AB)_{12} \neq \ldots \neq (AB)_{ij}$

  Menyatakan bahwa interaksi faktor A dan B memberikan pengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen.

Hasil perhitungan dalam analisis varian dua arah dengan interaksi dapat diringkas seperti pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Analisa Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F_{hitung}
Pengaruh A	r – 1	JKA	$S_1{}^2 = \frac{J\ K}{r-1}$	$F_{hitung} = \frac{s_1{}^2}{s^2}$
Pengaruh B	c – 1	JKB	$S_2{}^2 = \frac{J\ K}{c-1}$	$F_{hitung} = \frac{s_2{}^2}{s^2}$
Pengaruh interaksi A dan B	(r - 1)(c – 1)	JKAB	$S_3{}^2 = \frac{J\ K\ A}{(r-1)(c-1)}$	$F_{hitung} = \frac{s_3{}^2}{s^2}$
Galat	rc(t – 1)	JKG	$s^2 = \frac{J\ K}{r\ (t-1)}$	
Total	rct – 1	JKT		

Tiap pengujian hipotesa diatas didasarkan pada perbandingan varian yang bebas dan varian penduganya (Walpole, 1995:407) :

$$JKT = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{t} (Y_{ijk} - \bar{Y}_{...})^2 \quad (3.2)$$

$$JKA = ct \sum_{i=1}^{r} (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^2 \quad (3.3)$$

$$JKB = rt \sum_{k=1}^{t} (\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...})^2 \quad (3.4)$$

$$JKAB = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})^2 \quad (3.5)$$

$$JKG = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{t} (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2 \quad (3.6)$$

Maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$JKT = JKA + JKB + JKAB + JKG \quad (3.7)$$

Apabila masing-masing dibagi dengan derajat bebasnya akan diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering kita sebut sebagai kwadrat tengah yang disingkat KT. Maka nilai varian tersebut adalah:

1) $S_1^{\,2} = \frac{J\ K\ A}{r\ -\ 1}$ (3.8)

2) $S_2^{\,2} = \frac{J\ K\ B}{c\ -\ 1}$ (3.9)

3) $S_3^{\,2} = \frac{J\ K\ A\ B}{(r\ -)(c\ -\ 1\ )}$ (3.10)

4) $s^2 = \frac{J\ K\ G}{r\ c\ (t\ -\ 1\ )}$ (3.11)

Untuk menguji ketiga hipotesa di atas kita hitung harga F_{hitung} dari masing masing sumber keragaman (faktor A, B dan interaksi) kemudian dibandingkan dengan tabel F_{tabel} dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu.

Nilai f $_{hitung}$ dari masing – masing sumber keragaman adalah sebagai berikut:

Untuk faktor A : $F_{hitung} = \frac{S_1^{\,2}}{s^2}$ (3.12)

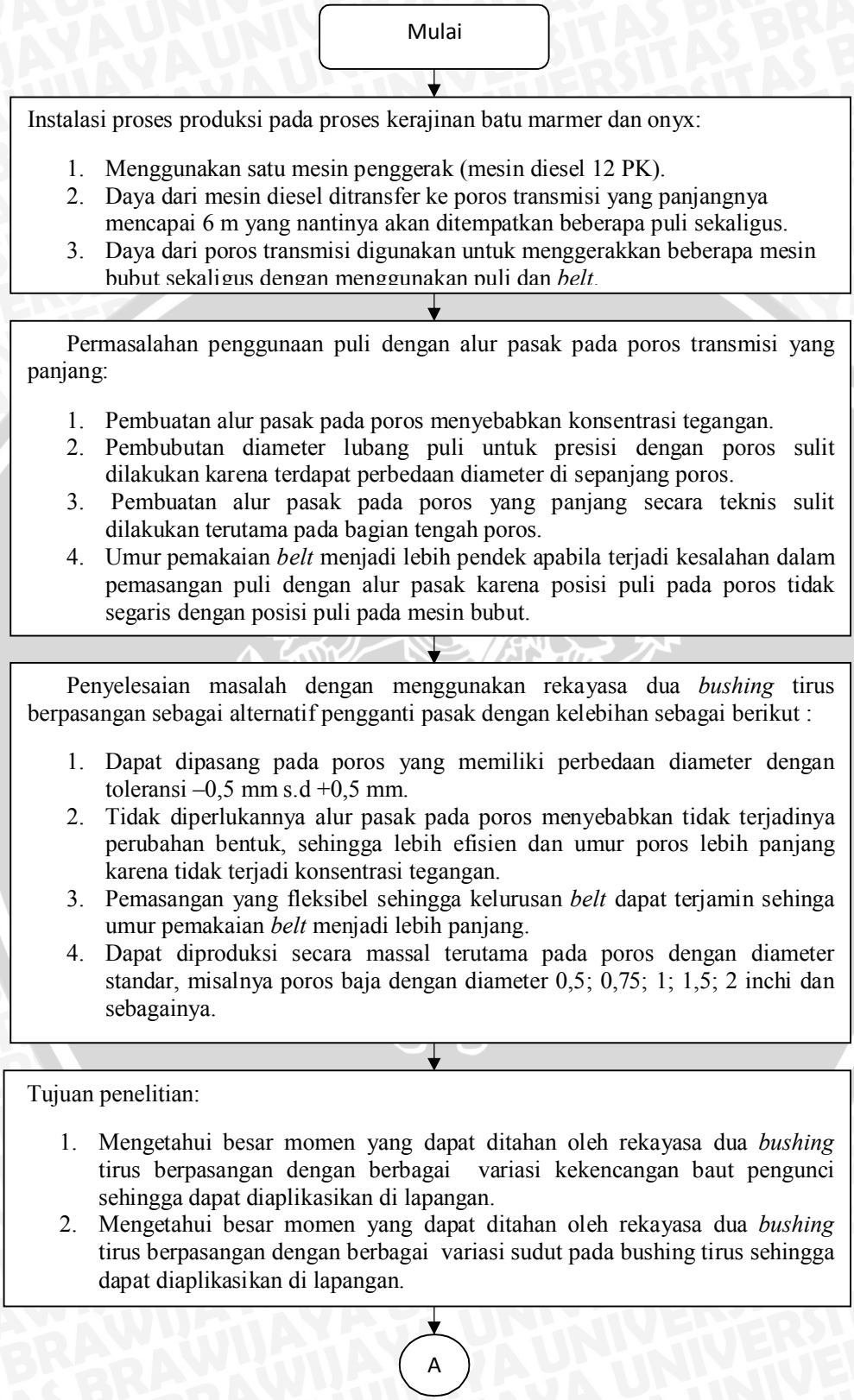
Untuk faktor B : $F_{hitung} = \frac{S_2^{\,2}}{s^2}$ (3.13)

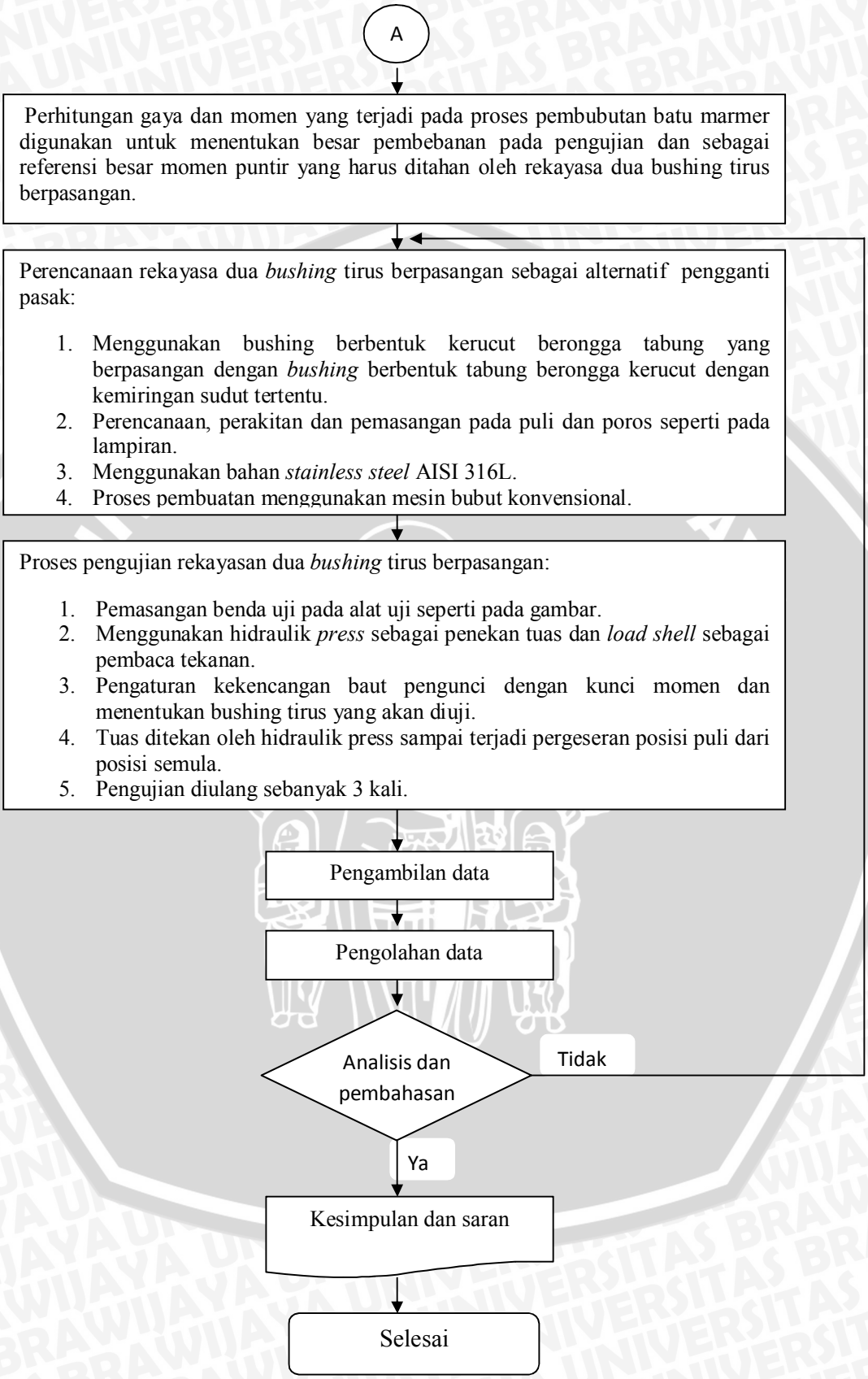
Untuk faktor interaksi antara A dan B : $F_{hitung} = \frac{S_3^{\,2}}{s^2}$ (3.14)

Kesimpulan yang diperoleh dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} yaitu :

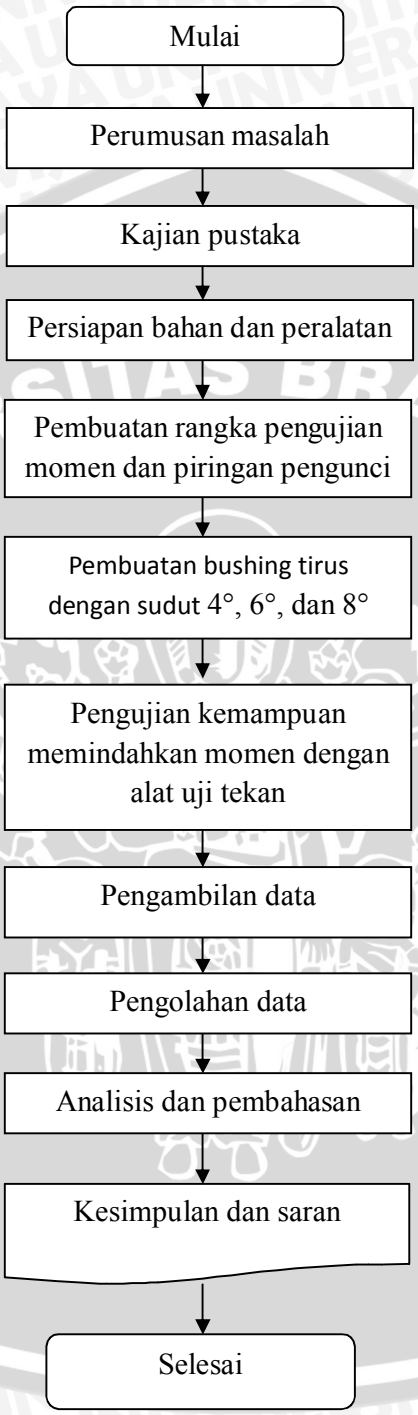
1. Jika ($F_{A\ hitung}$) > $F_{A\ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (variasi kekencangan baut pengunci) berpengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus.
2. Jika ($F_{B\ hitung}$) > $F_{B\ tabel}$, maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima. Berarti faktor B (variasi sudut pada *bushing* tirus) berpengaruh terhadap kekuatan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus.
3. Jika $F_{AB\ hitung}$ > $F_{AB\ tabel}$, maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Berarti interaksi faktor A (variasi kekencangan baut pengunci) dan faktor B (variasi sudut pada *bushing* tirus) berpengaruh terhadap kekuatan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus.

3.9 Diagram Alir Penulisan




A
Perhitungan gaya dan momen yang terjadi pada proses pembubutan batu marmer digunakan untuk menentukan besar pembebanan pada pengujian dan sebagai referensi besar momen puntir yang harus ditahan oleh rekayasa dua bushing tirus berpasangan.
Perencanaan rekayasa dua bushing tirus berpasangan sebagai alternatif pengganti pasak:
1. Menggunakan bushing berbentuk kerucut berongga tabung yang berpasangan dengan bushing berbentuk tabung berongga kerucut dengan kemiringan sudut tertentu.
2. Perencanaan, perakitan dan pemasangan pada puli dan poros seperti pada lampiran.
3. Menggunakan bahan stainless steel AISI 316L.
4. Proses pembuatan menggunakan mesin bubut konvensional.
Proses pengujian rekayasan dua bushing tirus berpasangan:
1. Pemasangan benda uji pada alat uji seperti pada gambar.
2. Menggunakan hidraulik press sebagai penekan tuas dan load shell sebagai pembaca tekanan.
3. Pengaturan kekencangan baut pengunci dengan kunci momen dan menentukan bushing tirus yang akan diuji.
4. Tuas ditekan oleh hidraulik press sampai terjadi pergeseran posisi puli dari posisi semula.
5. Pengujian diulang sebanyak 3 kali.
Pengambilan data
Pengolahan data
Analisis dan pembahasan
Tidak
Ya
Kesimpulan dan saran
Selesai

3.10 Diagram Alir Penelitian



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Gaya Pada Proses Pembubutan Batu Marmer

Proses pembubutan batu marmer digunakan sebagai referensi dalam menentukan besar pembebanan dan besar momen yang harus dipindahkan pada mekanisme dua bushing tirus berpasangan supaya dapat diaplikasikan di lapangan.

Diketahui :

m = 65 kg

n = 60 rpm

d = 0.33 mm

Perhitungan :

V_c = π . d . n

= 3,14 x 0.33 x 60

= 62,172 m/min

= 1,04 m/s

$F_t = \frac{m \cdot v^2}{r}$

$= \frac{65 \cdot (1,04)^2}{0,165}$

= 426,08 N

= 43,5 kg

M = F_t . r

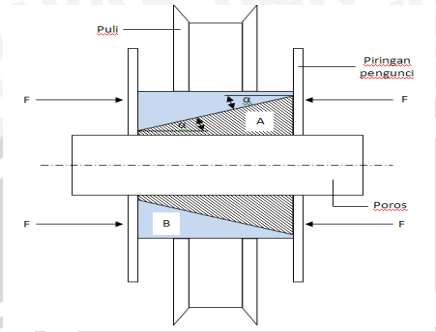
= 426,08 x 0.165

= 70,303 N.m

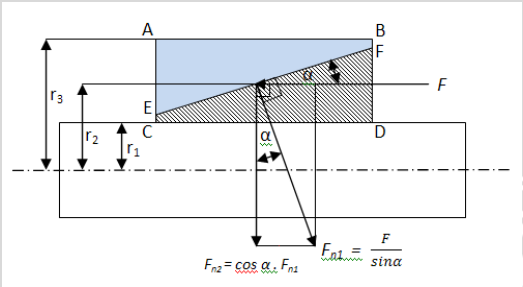
Maka pada pengujian dilakukan pembebanan yang lebih besar dari 43.5 kg, yaitu sebesar 0-60 kg untuk memudahkan dalam mengetahui kemampuan memindahkan momen pada mekanisme dua bushing tirus berpasangan. Sedangkan besar momen yang harus dicapai sebesar $M \geq 70,303$ N.m

4.2 Perhitungan Momen Dua *Bushing* Tirus Berpasangan

Berikut adalah gambar rangkaian dua *bushing* tirus berpasangan yang telah dirangkai pada puli dan poros dan gaya-gaya yang terjadi pada dua *bushing* tirus berpasangan.



Gambar 4.1. Rangkaian dua *bushing* tirus berpasangan



Gambar 4.2. Gaya-gaya yang bekerja pada *bushing* tirus

Perhitungan Luas bidang gesek pada *bushing* tirus:

- Pada *bushing* bersudut 4° dengan panjang b = 0,03015 m

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b$$
$$= 2 \times 3{,}14 \times 0{,}01725 \times 0{,}03015$$
$$= 0{,}003266 \text{ m}^2$$

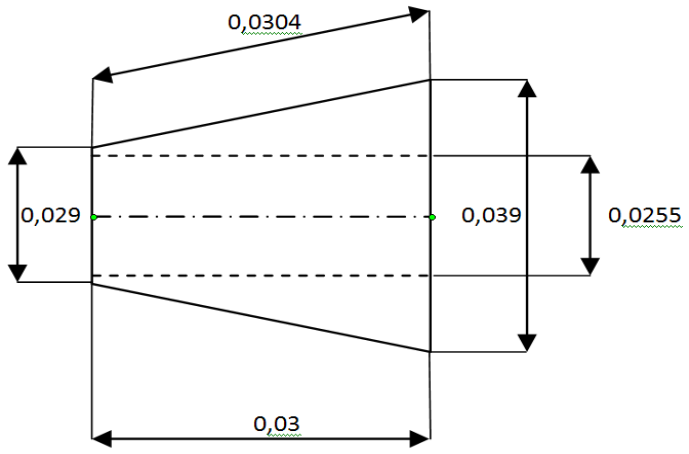
- Pada *bushing* bersudut 6° dengan panjang b = 0,03027 m

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b$$
$$= 2 \times 3{,}14 \times 0{,}01725 \times 0{,}03027$$
$$= 0{,}003279 \text{ m}^2$$

- Pada *bushing* bersudut 8° dengan panjang b = 0,03041 m

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b$$
$$= 2 \times 3{,}14 \times 0{,}01725 \times 0{,}03041$$
$$= 0{,}003293 \text{ m}^2$$

Sebelumnya perlu diketahui apakah pada kekencangan baut yang telah ditentukan, *bushing* tirus mampu merenggang sehingga dapat bersinggungan sempurna dengan puli maupun poros. Untuk contoh perhitungan, digunakan *bushing* tirus bersudut 8° dengan kekencangan baut 280 N.



Gambar 4.3. *Bushing* tirus A dalam satuan meter

Berdasarkan gambar 4.3, maka dapat diketahui luas dari bushing tirus yaitu :

$$L_{Frustum} = \pi.p\,(r_1+r_2) + \pi r_1^2 + \pi r_2^2$$
$$= 3{,}14 \times 0{,}0304\,(0{,}0145+0{,}0195) + 3{,}14\,(0{,}0145)^2 + 3{,}14\,(0{,}0195)^2$$
$$= 3{,}23 \times 10^{-3} + 0{,}66 \times 10^{-3} + 0{,}12 \times 10^{-3}$$
$$= 4{,}01 \times 10^{-3}\ m^2$$

$$L_{Tabung} = 2\,\pi\,r\,(r+t)$$
$$= 2 \times 3{,}14 \times 0{,}01275\,(0{,}01275+0{,}03)$$
$$= 3{,}42 \times 10^{-3}\ m^2$$

$$L_{Bushing} = L_{Frustum} - L_{Tabung}$$
$$= 4{,}01 \times 10^{-3} - 3{,}42 \times 10^{-3}$$
$$= 0{,}59 \times 10^{-3}\ m^2$$

Berdasarkan pada gambar 4.2, maka gaya normal yang bekerja pada *bushing* tirus dengan sudut 8° dan kekencangan baut sebesar 280 N pada bidang EF adalah :

$$F_n = \frac{F}{\sin \alpha}$$

$$= \frac{280}{\sin 8^\circ}$$

$$= 2011{,}88 \text{ N}$$

Maka gaya normal yang bekerja pada bidang CD adalah :

$$F_{axial} = F_n \text{ x } \cos 8^\circ$$

$$= 2011{,}88 \text{ x } \cos 8^\circ$$

$$= 1992{,}3 \text{ N}$$

Maka regangan yang terjadi pada bidang CD adalah :

$$\varepsilon = \frac{F}{E \,.A}$$

$$= \frac{1992{,}3}{190 \,.10^{6} \,.0{,}59 \,.10^{-3}}$$

$$= 17{,}8 \,.\, 10^{-3}$$

Maka diameter poros pada *bushing* tirus setelah mengalami regangan adalah :

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d}{d_0}$$

$$d = 0{,}0255 - (0{,}0255 \text{ x } 17{,}8.10^{-3})$$

$$= 0{,}025 \text{ m}$$

Apabila jarak antara *bushing* tirus dengan poros maupun dengan puli sebesar 0,5 mm, maka pada kekencangan baut 280 N dan sudut bushing tirus 8°, dua *bushing* tirus berpasangan dapat merenggang sesuai dengan kebutuhan sehingga dapat bersinggungan dengan sempurna pada puli maupun poros.

Berdasarkan gambar 4.2, hasil perhitungan gaya yang terjadi pada *bushing* tirus pada kekencangan baut 280 N, 320 N, 360 N dan 400 N dengan sudut *bushing* tirus sebesar 4°, 6°, dan 8° seperti pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 gaya normal yang bekerja pada *buhing* tirus

F (N)	F_n (N)			F_{axial} (N)		
	sudut 4°	sudut 6°	sudut 8°	sudut 4°	sudut 6°	sudut 8°
280	4013.992	2678.708	2011.884	4004.214	2664.034	1992.305
320	4587.419	3061.381	2299.297	4576.244	3044.61	2276.92
360	5160.846	3444.053	2586.709	5148.275	3425.187	2561.535
400	5734.274	3826.726	2874.121	5720.305	3805.763	2846.15

Berdasarkan tabel 4.1 dan gambar 4.2, contoh perhitungan momen pada dua *bushing* tirus berpasangan pada bidang AB, EF dan CD diambil dari kekencangan baut sebesar 400 N dengan sudut *bushing* tirus sebesar 4°.

Diketahui :

r_1 = 0,0125 m

r_2 = 0,01725 m

r_3 = 0,022 m

Contoh perhitungan :

$M_{AB} = \mu \, . \, F_n \cos \alpha \, . \, r_3$

= 1 x 5734,27 *cos* 4 x 0,022

= 125,846 N.m

$M_{EF} = \frac{\mu \, . F_2 r}{\sin \propto}$

$= \frac{1 \; .4 \; 0 \; 0 \; .0 \; ,0 \; 1 \; 7 \; 2 \; 5}{sin \; 4 \; °}$

= 98,92 N.m

$M_{CD} = \mu \, . \, F_n \cos \alpha \, . \, r_1$

$= 1 \times 5734{,}27 \cos 4 \times 0{,}0125$

$= 71{,}503$ N.m

Hasil perhitungan momen pada dua *bushing* tirus berpasangan seperti pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Momen yang bekerja pada dua *bushing* tirus berpasangan

F (N)	M_{AB} (N.m)			M_{EF} (N.m)			M_{CD} (N.m)		
	Sudut 4°	sudut 6°	sudut 8°	sudut 4°	sudut 6°	sudut 8°	sudut 4°	sudut 6°	sudut 8°
280	88.093	58.609	43.831	69.241	46.208	34.705	50.053	33.3	24.904
320	100.68	66.981	50.092	79.133	52.809	39.663	57.203	38.058	28.462
360	113.26	75.354	56.354	89.025	59.41	44.621	64.353	42.815	32.019
400	125.85	83.727	62.615	98.916	66.011	49.579	71.504	47.572	35.577

Berdasarkan perhitungan, momen yang menjadi referensi adalah M_{CD} dimana pada daerah tersebut kemampuan memindahkan momennya merupakan yang terkecil diantara yang lainnya. Berdasarkan tabel 4.2, juga dapat diketahui bahwa rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan yang dapat diaplikasikan pada proses kerajinan batu marmer dan onyx adalah rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan dengan sudut bushing 4° dengan kekencangan baut sebesar 400 N

4.3 Data Hasil Pengujian

Setelah melakukan beberapa proses pengencangan baut sebagai variabel bebas dan dilakukan pembebanan tertentu sebagai variabel terkontrol, maka dilakukan pengambilan data dengan menggunakan alat uji hidraulik *press* yang ditambahkan dengan *load shell*, dan diperoleh hasil pengujian seperti pada tabel 4.1 dan 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Momen Dalam Satuan N.m

Kekencangan baut pengunci (N)	Ulangan	N.m		
		Sudut 4°	Sudut 6°	Sudut 8°
280	1	66,15	48,51	38,22
	2	65,415	48,51	37,485
	3	65,415	47,775	38,22
320	1	72,03	54,39	42,63
	2	72,03	52,92	43,365
	3	71,295	53,655	42,63
360	1	78,645	57,33	46,305
	2	79,38	56,595	46,305
	3	79,38	57,33	45,57
400	1	86,73	62,475	49,98
	2	87,465	62,475	49,98
	3	86,73	63,21	50,715

4.4 Pengolahan Data

4.4.1 Analisis Varian Dua Arah

Dari hasil pengujian diatas dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh kekencangan baut pengunci dan pengaruh sudut pada *bushing* tirus terhadap kemampuan memindahkan momen dua *bushing* tirus berpasangan. Dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh data sebagai berikut :

- Jumlah Seluruh Perlakuan (JSP)

  JSP = $\sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{t} Y_{ijk}$

  = 910,665 + 665,175 + 531,405

  = 2107,25

- Jumlah Kuadrat Seluruh Perlakuan (JKSP)

  JKSP = $\sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \sum_{k=1}^{t} Y_{ijk}^2$

  = 69875,4 + 37204,8 + 23774,8

  = 130855

- Faktor Koreksi (FK)

  FK = $\frac{JS^2P}{r.c.t}$

  = $\frac{(2107,25)^2}{4.3.3}$

  = 123347,29

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

  JKT = JKSP – FK

  = 130855 – 123347,29

  = 7507,71

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

  JKP = $\frac{\sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} T_{ij}^2}{t}$ – FK

  = $\frac{28943585,8}{3}$ – 123347,29

  = 7503,17

- Jumlah Kuadrat Pengaruh A (JKA)

JKA $= \frac{\sum_{i=1}^{r} T_i^2}{c\ t} - FK$

$= \frac{8\ 1\ 2\ 0\ 3\ 6{,}5}{3\ .3} - 123347{,}29$

$= 1250{,}85$

- Jumlah Kuadrat Pengaruh B (JKB)

JKB $= \frac{\sum_{i=1}^{c} T_i^2}{c\ t} - FK$

$= \frac{1\ 1\ 4\ 1\ 7\ 0\ 4{,}5}{4\ .3} - 123347{,}29$

$= 6166{,}61$

- Jumlah Kuadrat Pengaruh Interaksi A dan B (JKAB)

JKAB = JKP – JKA – JKB

= 7503,17 - 1250,85 - 6166,61

= 85,713

- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

JKG = JKT – JKA – JKB – JKAB

= 7508.212 - 1250,85 - 6166,61 - 85,713

= 5,03944

- Nilai varian dari masing-masing perlakuan sebagai berikut

1. Nilai varian pengaruh A

$S_A^2 = \frac{JKA}{r-1} = \frac{1\ 2\ 5\ 0{,}8\ 5}{4-1} = 416{,}95$

2. Nilai varian pengaruh B

$$S_B^2 = \frac{JKB}{C-1} = \frac{6166,61}{4-1} = 2055,54$$

3. Nilai varian interaksi A dan B

$$S_{AB}^2 = \frac{JKAB}{(C-1)(r-1)} = \frac{85,713}{(4-1)(13-1)} = 14,2855$$

4. Nilai Varian Galat

$$S^2 = \frac{JKG}{r\,c\,(t-1)} = \frac{5,039444}{4.3\,(3-1)} = 0,20998$$

Nilai F hitung dari masing-masing sumber keragaman sebagai berikut :

1. Untuk vaktor A :

$$F_{A\ hitung} = S_A^2 / S^2 = \frac{416,95}{0,20998} = 1985.69$$

2. Untuk vaktor B :

$$F_{B\ hitung} = S_B^2 / S^2 = \frac{2055,54}{0,20998} = 14684$$

3. Untuk vaktor AB :

$$F_{AB\ hitung} = S_{AB}^2 / S^2 = \frac{14,2855}{0,20998} = 68.0337$$

Setelah dilakukan statistik maka didapatkan nilai-nilai statistik. Dari nilai-nilai statistik dapat disimpulkan nilai F hitung dan F tabel. Pada tabel 4.3 menjelaskan hasil perhitungan analisis varian dua arah.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Analisis Varian Dua Arah

Sumber Keragaman	dB	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}
Pengaruh A	3	1250,85	416,95	1985,69	3,01
Pengaruh B	2	6166,61	2055,54	14684	3,4
Pengaruh interaksi A dan B	6	85,713	14,2855	68,0327	2,51
Galat	24	5,039	0,26998		
Total	35	7507,71			

Keterangan :

A : Kekencangan baut

B : Sudut *bushing* tirus

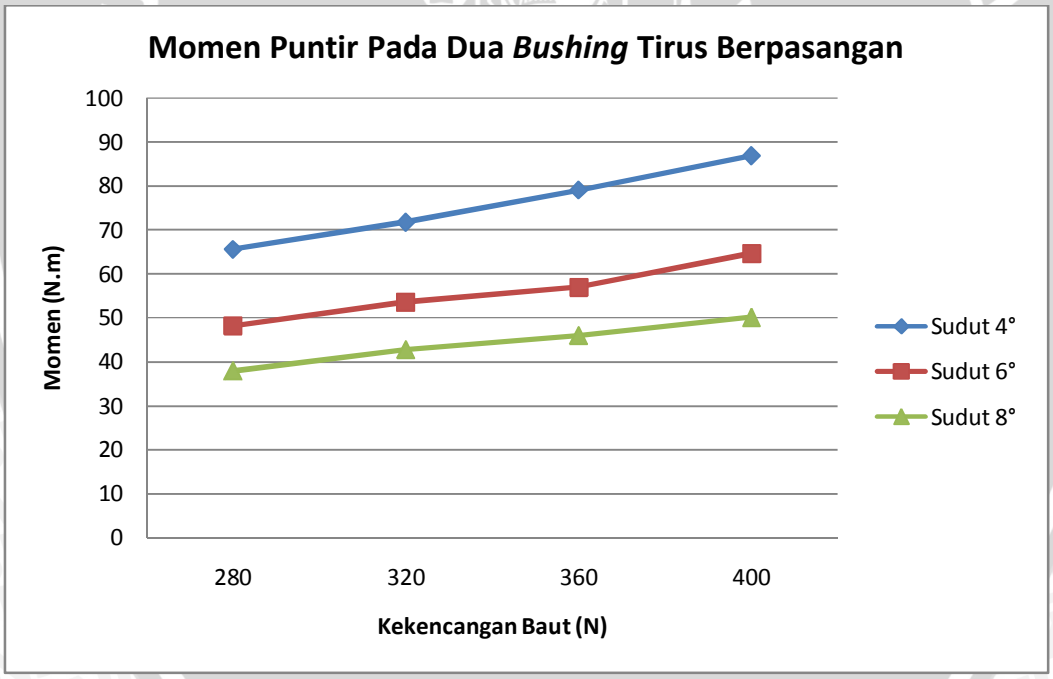
Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada table 4.3 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. $F_{A\ hitung} = 1985,69 > F_{A\ tabel} = 3,01$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima. Berarti faktor A (variasi kekencangan baut pengunci) berpengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan tingkat keyakinan 95%.
2. $F_{B\ hitung} = 14684 > F_{B\ tabel} = 3,4$, maka H_{02} ditolak dan H_{12} diterima. Berarti faktor B (variasi sudut pada *bushing* tirus) berpengaruh terhadap kekuatan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan tingkat keyakinan 95%..
3. $F_{AB\ hitung} = 68,0327 > F_{AB\ tabel} = 2,51$ maka H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Berarti interaksi faktor A (variasi kekencangan baut pengunci) dan faktor B (variasi sudut pada *bushing* tirus) berpengaruh terhadap kekuatan memindahkan momen kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan dengan tingkat keyakinan 95%..

4.5 Pembahasan

Dari ketiga rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan, diketahui mampu memberikan daya pencekaman yang baik terhadap puli dan poros yang kekuatannya tergantung dari sudut *bushing* tirus dan kekencangan baut pengunci. Hal tersebut dikarenakan pada daerah kekencangan baut antara 280-400 N, *bushing* tirus mampu merenggang dan bersinggungan langsung dengan puli maupun poros dengan sempurna. Semakin tinggi kekencangan baut pengunci dan semakin kecil sudut pada *bushing* tirus, maka kekuatan pencekaman yang dihasilkan semakin besar.

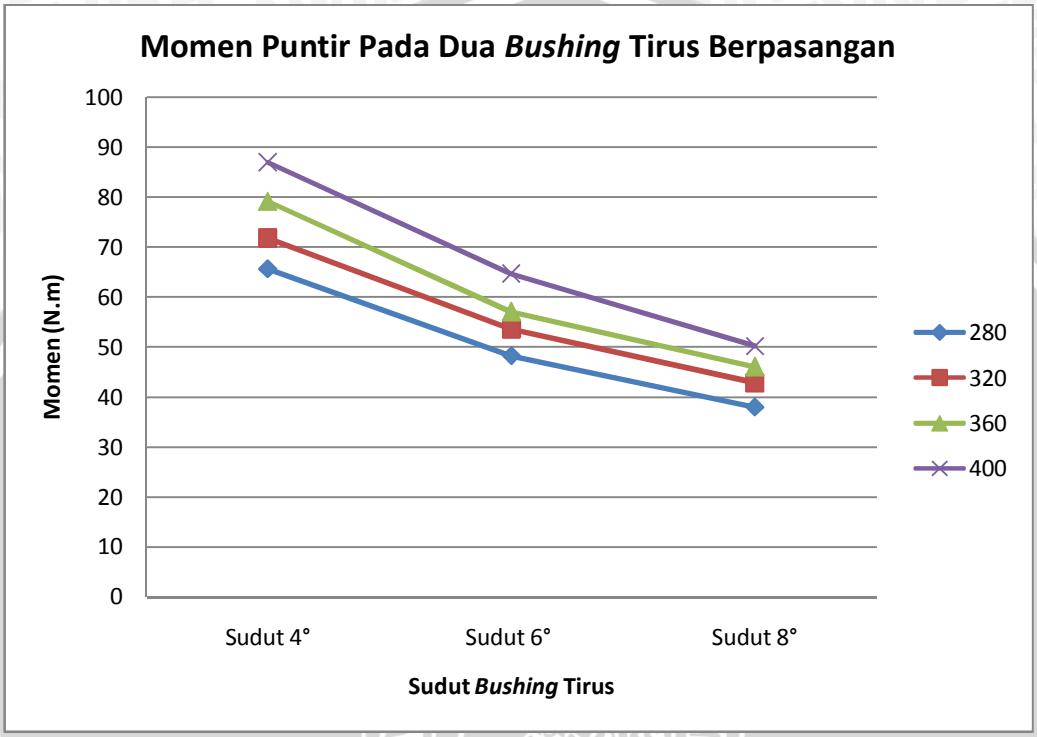
Berdasarkan data hasil pengujian dapat diketahui bahwa kekencangan baut pengunci dan sudut pada *bushing* tirus berpengaruh terhadap kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan. Berdasarkan data tersebut, dapat dibuat grafik hubungan antara momen dengan pengaruh kekencangan baut pengunci dan sudut pada *bushing* tirus seperti berikut :



Gambar 4.4 Grafik hubungan kekencangan baut pengunci dan terhadap kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa semakin besar kekencangan baut pengunci maka kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan semakin besar. Kemampuan memindahkan momen

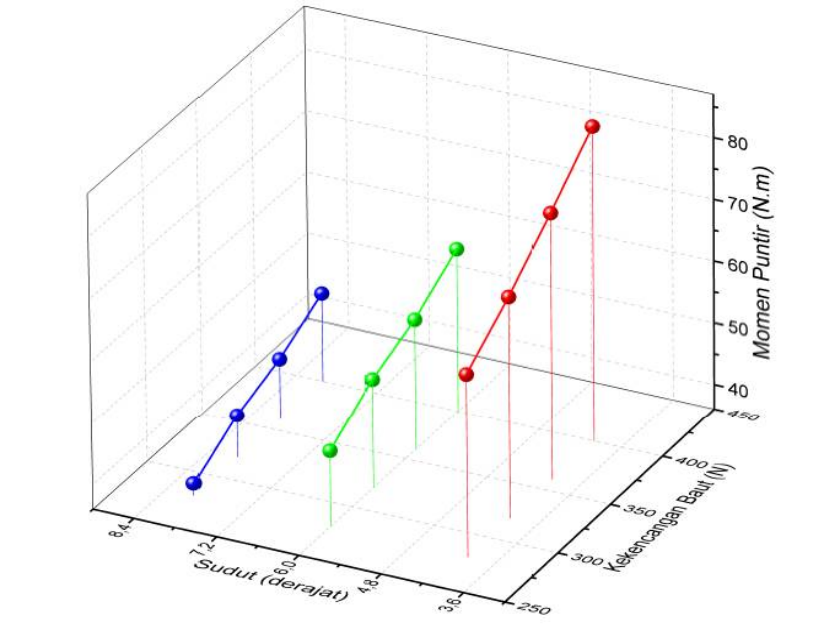
tertinggi terdapat pada kekencangan baut sebesar 400 N, sedangkan yang terendah terjadi pada kekencangan baut sebesar 280 N. Hal tersebut dikarenakan semakin besar kekencangan baut pengunci maka semakin besar gaya normal yang bekerja pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan, sehingga kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan akan semakin meningkat.



Gambar 4.5 Grafik hubungan sudut pada *bushing* tirus terhadap kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.2 dapat diketahui semakin besar sudut pada *bushing* tirus maka kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan semakin menurun. Kemampuan memindahkan momen tertinggi terdapat pada *bushing* bersudut 4º, sedangkan yang terendah terdapat pada *bushing* bersudut 8º. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi perbedaan antara hipotesa dengan hasil pengujian. Hal tersebut dikarenakan semakin besar sudut pada *bushing* tirus maka semakin kecil gaya normal yang bekerja pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan, sedangkan bertambahnya luasan bidang kontak yang terjadi relatif kecil sehingga kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan semakin menurun.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 dan gambar 4.2, dapat diketahui pengaruh kekencangan baut pengunci dan sudut pada *bushing* tirus terhadap kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan. Kemampuan memindahkan momen tertinggi yaitu 86,975 N.m pada *bushing* bersudut 4º dengan kekencangan baut sebesar 400 N, sedangkan kemampuan memindahkan momen terendah yaitu 37,975 N.m pada *bushing* bersudut 8º dengan kekencangan baut 280 N.



Gambar 4.6 Grafik hubungan sudut dan kekencangan baut pengunci terhadap kemampuan memindahkan momen puntir pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan

Berdasarkan tabel hasil pengujian dan tabel perhitungan momen secara teoritis pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan, terjadi perbedaan nilai besar momen yang dapat dipindahkan. Hal tersebut dikarenakan kemiringan sudut pada *bushing* tirus kurang dari yang telah ditentukan, yaitu kurang dari 4º, 6º, dan 8º sehingga menyebabkan gaya yang bekerja pada dua *bushing* tirus berpasangan semakin besar. Terjadinya perbedaan sudut pada bushing tirus disebabkan pada proses pembuatannya menggunakan mesin bubut konvensional sehingga memberikan kesulitan tersendiri untuk membuat sudut pada *bushing* tirus secara presisi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisa statistik dimana $F_{A\ hitung} = 1985{,}69 > F_{A\ tabel} = 3{,}01$, $F_{B\ hitung} = 14684 > F_{B\ tabel} = 3{,}4$ dan $F_{AB\ hitung} = 68{,}0327 > F_{AB\ tabel} = 2{,}51$, didapatkan kesimpulan bahwa adanya pengaruh antara kekencangan baut pengunci, sudut pada *bushing* tirus dan interaksi keduanya terhadap kemampuan memindahkan momen pada rekayasa dua *bushing* tirus berpasangan. Semakin besar kekencangan baut pengunci, maka kemampuan memindahkan momen akan semakin meningkat dan semakin besar sudut pada *bushing* tirus maka kemampuan memindahkan momen akan semakin menurun. Kemampuan memindahkan momen tertinggi terdapat pada kekencangan baut sebesar 400 N dengan sudut *bushing* 4º, yaitu sebesar 86,975 N.m. Sedangkan kemampuan memindahkan momen terendah terdapat pada kekencangan baut sebesar 280 N dengan sudut *bushing* 8º, yaitu sebesar 37,975 N.m.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh kekencangan baut pengunci dan sudut pada *bushing* tirus terhadap kemampuan memindahkan momen pada kombinasi dua *bushing* tirus berpasangan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan *bushing* yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan pengujian yang berbeda.
4. Pembuatan *bushing* tirus dapat menggunakan mesin CNC agar didapatkan tingkat kepresisian yang lebih baik.