

PENGEMBANGAN MEKANISME SUMBU GERAK MESIN PERKAKAS MODULAR

* Yuliyanto Nur Andika¹, Susilo Adi Widyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: yuliyantonurandika@gmail.com

Abstrak

Mesin perkakas dirancang dengan kriteria tertentu sehingga benda kerja yang dihasilkannya memenuhi spesifikasi geometrik yang diinginkan. Dalam pembuatan struktur mesin perkakas modular dengan menggunakan material ST37. Salah satu cara untuk mengetahui perilaku dinamik dari struktur adalah melakukan pengujian pembuatan benda kerja dengan mesin perkakas modular yang telah dibuat. Dari hasil pengujian pembuatan benda kerja yang dilakukan akan dibandingkan dengan menggunakan *software Solid Work* untuk mengetahui defleksi yang terjadi pada struktur mesin perkakas modular. Didapatkan hasil terbaik struktur menggunakan panjang lintasan 300 mm, dengan *lead screw* M12, kedalaman potong 0,7 mm dan dengan bantalan luncur *Ball bearing*. Dari hasil terbaik akan dilakukan pembuatan struktur gabungan persumbuan yaitu sumbu X dan Y. Didapatkan hasil kekasaran permukaan sebesar 1,258 μm pada kondisi 1, 1,526 μm pada kondisi tengah, dan kondisi 3 pinggir 1,437 μm pada gerak gabungan, untuk gerak makan sumbu X didapatkan nilai kekasaran permukaan sebesar kondisi 1 pinggir 1,015 μm , kondisi 2 tengah 1,697 μm , kondisi 3 pinggir 1,190 μm dan pada gerak makan sumbu Y didapatkan nilai kekasaran permukaan sebesar pada kondisi 1 pinggir 1,969 μm , kondisi 2 tengah 2,067 μm , kondisi 3 pinggir 1,058 μm . Berdasarkan hasil pembuatan benda kerja didapatkan nilai kekasaran permukaan lebih kecil gerak makan gabungan dibanding pada gerak makan sumbu X dan Y.

Kata Kunci : *Mesin Perkakas Modular ST 37, Perbandingan kekakuan Statis dan Dinamik*

Abstract

Machine tools designed with specific criteria so that workpieces produced meets the specifications of the desired geometric. In the manufacture of machine tools modular structure using the material ST37. One way to determine the dynamic behavior of the structure is to test the manufacture of workpieces with modular machine tools. From the test results manufacture workpieces made compared using Solid Work software to determine the deflection that occurs in the structure of modular machine tools. The best results obtained using a path length of 300 mm, with lead screw M12, depth of cut of 0.7 mm and with plain bearings Ball bearings. From the best results will be making a joint structure persumbuan namely the X and Y axis. The results obtained surface roughness of 1.258 μm on condition 1, 1.526 μm in the middle of the condition, and the condition of 1.437 μm 3 edge on the joint motion, to eat the X-axis motion of surface roughness values obtained by the condition of one edge of 1.015 μm , 1.697 μm central condition 2, condition 3 edge of 1.190 μm and Y-axis motion eating surface roughness values obtained by the condition 1 pinggir 1.969 μm , 2.067 μm central condition 2, condition 3 edge of 1.058 μm . Based on the results of making the workpiece surface roughness values obtained are smaller than the combined motion eat meal motion axes X and Y.

Keywords: *Machine Tools Modular ST 37, Comparison of Static and Dynamic stiffness*

1. Pendahuluan

Mesin perkakas modular adalah suatu mesin yang menggunakan energi untuk mendeformasikan dan selanjutnya memotong dan membentuk logam hingga mencapai ukuran dan kualitas yang direncanakan. Mesin perkakas dapat memotong logam dalam keadaan dingin. Jadi tidak akan terjadi perubahan struktur logam selama proses pemotongan tersebut [11].

Mesin modular ini bertujuan untuk penelitian atau pengembangan struktur sesuai spesifikasi dengan harga yang murah dan dapat di komersilkan. Mesin perkakas modular mempunyai sistem kendali menggunakan komputer. Dalam sistem gerak persumbuannya menggunakan program, yang mana komputer sebagai pengolah informasi yang diinginkan untuk menggerakkan motor agar menghasilkan gerakan dalam pembuatan benda kerja.

Awal lahirnya mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) bermula dari Tahun 1952 yang dikembangkan oleh *John Pearson* dari Institut Teknologi *Massachusetts*. Semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat

mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat. Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikro prosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas [3].

Dewasa ini penggunaan mesin CNC hampir terdapat di segala bidang. Dikarenakan harga mesin CNC sangatlah mahal maka banyak dari instansi perguruan tinggi yang mencoba untuk mengembangkan teknologi baru melalui uji coba dan penelitian pembuatan sistem pengoperasian mesin CNC berbasis *Personal Computer* dengan biaya seminimal mungkin hingga nantinya hasil yang diperoleh bisa dimanfaatkan dalam dunia pendidikan di Indonesia [11].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan pembuatan struktur mesin perkakas dengan material yang ada di pasaran. Struktur lintasan lurus dengan variasi panjang 300mm, 350mm dan 400mm, membandingkan antara penggunaan bantalan lurus Ball Bearing dan Linear Bearing, Memvariasikan diameter leadscrew M12, M14 dan M16, memvariasikan penambahan redaman kayu pada struktur modular dan dari hasil terbaik dari proses pembuatan benda kerja struktur modular selanjutnya dilakukan variasi gabungan antara sumbu X dan Y.

2. Metode Penelitian

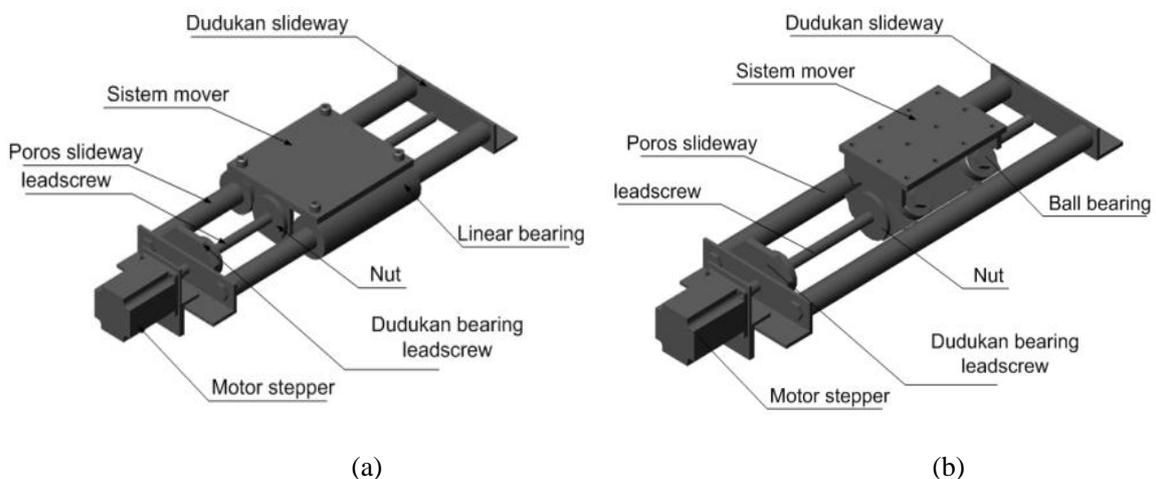
Mesin perkakas dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu mesin perkakas potong dan mesin perkakas bentuk. Perkakas potong merupakan jenis yang banyak ragamnya dan relatif kompleks baik dalam proses pemotongan maupun dalam rancangan atau desainnya [14]. Untuk dapat menghasilkan akurasi dimensi produk yang baik, struktur mesin perkakas harus mampu menahan gaya pemotongan yang muncul sebagai konsekuensi proses pemotongan dan dapat meredam getaran yang terjadi sehingga tidak menimbulkan gerak relatif antara pahat dengan benda kerja.

Bahkan, karena tuntutan akurasi dimensi produknya, perancangan struktur mesin perkakas tidak hanya didasarkan pada aspek kekuatan, tetapi pada aspek kekakuan (*stiffness*). Struktur yang kuat belum tentu kaku, sedangkan struktur yang kaku pasti kuat. Sebagai dampak dari kriteria desain seperti itu, struktur mesin perkakas memiliki harga faktor keamanan (*safety factor*) yang sangat besar sehingga cenderung sangat kokoh dan berat [13].

Konstruksi mesin perkakas pada umumnya yaitu menggunakan lintasan lurus dibuat dengan material baja khusus yang dikeraskan. Selain itu untuk meminimalisir keausan yang pasti terjadi, permukaan lintasan lurus dibuat pola khusus untuk menghasilkan gaya hidrodinamis dengan proses *hand scrapping*.

2.1 Perancangan Sistem Mover

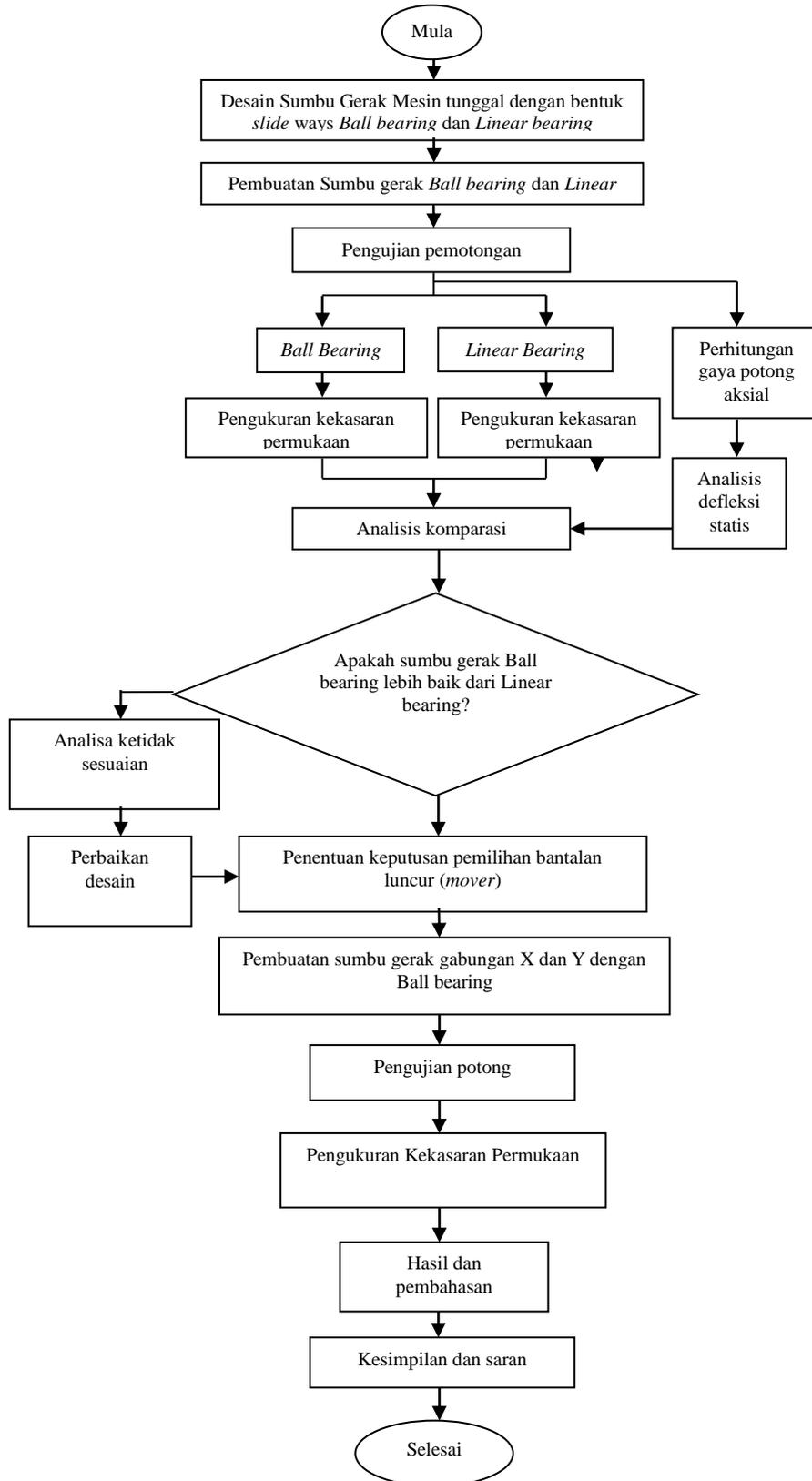
Dalam penelitian saya melakukan pemodelan lintasan lurus modular yang mudah dalam pembuatan dan harga murah. Mesin perkakas modular ini menggunakan material-material yang ada di pasaran antara lain menggunakan batang silinder pejal berukuran 25mm, ulir penggerak dengan ukuran M12, M14 dan M16 sebagai penggerak sistem mover, plat siku dengan ukuran 40x40 tebal 4mm, Nut menggunakan material kuningan dan menggunakan bantalan lurus menggunakan *Ball bearing* dan *Linear Beraing*. Gambar 1 menjelaskan struktur mesin perkakas modular.



Gambar 1 Struktur sumbu gerak mesin perkakas modular (a) *Linear bearing* (b) *Ball bearing*

2.2 Diagram Alir Penelitian

Untuk mendapatkan hasil terbaik antara *ball bearing* dan *linear bearing*, Gambar 2 menjelaskan diagram alir penelitian.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

2.3 Perhitungan Gaya

Perhitungan gaya aksial saat proses pembuatan benda kerja. Proses yang digunakan pada pengujian mesin perkakas modular menggunakan proses frais muka.

Mencari gerak makan per gigi (f_z) dengan persamaan berikut :

Diketahui:

- Rpm (n) = 1100 Rpm
- Kecepatan makan (v_f) = 50 mm/menit
- Jumlah gigi (z) = 4
- Kedalaman potong (a) = 0,7 mm
- Diameter pisau (d) = 6 mm
- $\Phi = 60^0 = 0.866$
- $k_r = 90^0 = 1$
- $k_{s\ 1.1} = 600\ \text{Mpa} = 600\ \text{N/mm}^2$ dengan harga korelasi sebesar 1535,601 N/mm^2
- p = 0,25 (dari tabel gaya potong spesifik)
- $\beta = 73^0$ $\gamma = 30^0$ (dari catalog sudut endmill)

Putaran pisau frais:

$$v = \frac{\pi d n}{1000} = 20,724\ \text{m/min} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Gerak makan per gigi

$$f_z = v_f / (n z) = 0,011364\ \text{mm/gigi} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Tebal gram saat pemakanan

$$h = f_z \sin \Phi \sin k_r = 0,009841\ \text{mm} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Gaya potong tangensial

$$hm = \frac{f_z \sin k_r}{\phi_c} (\cos \Phi_1 - \cos \Phi_2) = \frac{0,011364 \cdot 1}{90} \cdot (1-0) = \frac{0,011364 \cdot 1}{1,57} \cdot 1 = 0,007238\ \text{mm} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Sudut persentuhan

$$\phi_c = (\phi_2 \phi_1) \frac{\pi}{180} = 1,57\ \text{rad}$$

$$A_m = b \cdot hm = 0,005067\ \text{mm}$$

$$k_{s\ m} = k_{s\ 1.1} \cdot hm^p = 447,9019\ \text{N.mm}^2$$

$$F_{t\ m} = A_m k_{s\ m} = 176,4988\ \text{N} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Fluktuasi Gaya *Tangensial* pemotongan

$$k_s = k_{s\ 1.1} \cdot h^{-p} = 1535,601 \cdot 0,009841^{-0,25} = 4875,505\ \text{N/mm}^2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$A = h \cdot a \cdot (\sin k_r)^{-1} = 0,009841 \cdot 0,7 \cdot 1 = 0,006889\ \text{mm}^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$F_t = k_s \cdot A = 4875,505 \cdot 0,006889 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$= 33,58558 \text{ N}$$

Jadi gaya *Tangensial* yang terjadi yaitu 33,58558 N

Sehingga didapat gaya potong F_v

$$F_v = k_s \cdot A \quad A = a \cdot f = b \cdot h \dots \dots \dots (9)$$

$$F_v = 33,58556 \text{ N}$$

Dari persamaan

$$F_v = F \cos (\eta - \gamma_0) \dots \dots \dots (10)$$

Sehingga didapat gaya potong total F

$$F = \frac{F_v}{\cos (\eta - \gamma)}$$

$$F = \frac{33,58556}{\cos(34 - 30)}$$

$$= 45,94467 \text{ N}$$

Gaya makan *aksial* searah pahat F_f

$$F_f = 31,28832 \text{ N}$$

Didapatkan nilai gaya *tangensial* total rata-rata

$$F_{ms} = F_{tm} \cdot z_e \dots \dots \dots (11)$$

$$= 148,4172 \cdot 1 = 148,4172 \text{ N}$$

3. Hasil dan Pembahasan

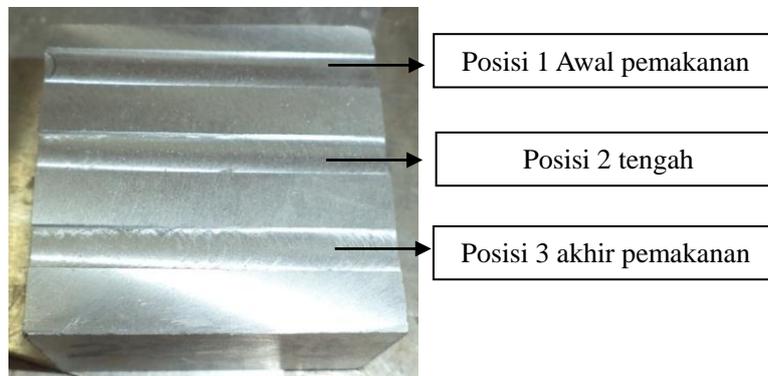
Hasil pembuatan benda kerja dengan menggunakan mesin perkakas modular akan dilakukan pengujian kekasaran permukaan dengan alat *surefac roughness*. Dimana proses pembuatan benda kerja ada beberapa variasi yang dilakukan yaitu variasi kedalam potong 0,3mm, 0,5mm dan 0,7mm. Variasi posisi pemakanan, variasi panjang lintasan lurus, variasi diameter ulir penggerak, pengaruh penambahan redaman dan variasi gabungan struktur sumbu X dan Y dari hasil terbaik proses pembuatan benda kerja modular.

3.1 Uji Kekasaran Permukaan menggunakan *sureface roughness*

Hasil dari pembuatan benda kerja dengan menggunakan variasi panjang lintasan lurus yaitu 300 mm, 350 mm dan 400 mm dengan posisi pembebanan pinggir kiri, tengah dan pinggir kanan. Dalam pengambilan data yang saya ambil ada 3 posisi yaitu posisi 1 awal pemakanan (pinggir kiri) dekat dengan tumpuan, posisi 2 (ditengah terhadap tumpuan) posisi 3 akhir pemakanan (pinggir kanan) dekat dengan tumpuan.

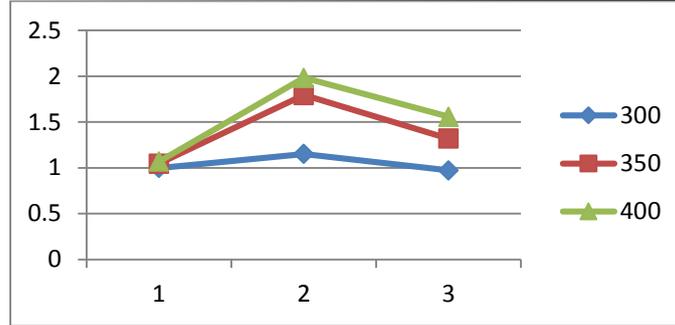
a. Hasil pengujian Kekasaran permukaan Pemakanan Modular

Pada Gambar 3. Adalah material hasil pembuatan benda kerja pada mesin perkakas modular yang saya lakukan penelitian. Posisi pemakanan dan pengambilan data kekasaran permukaan pada penelitian yang saya lakukan.



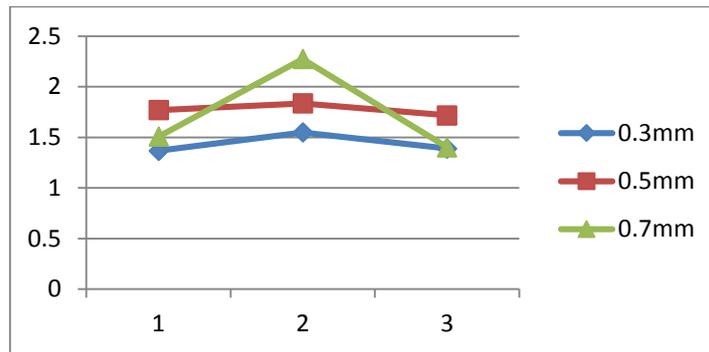
Gambar 3 Variasi uji kekasaran pemakanan

Pada Gambar 4. dibawah ini dijelaskan hasil dari perbandingan panjang lintasan lurus yang terbaik.



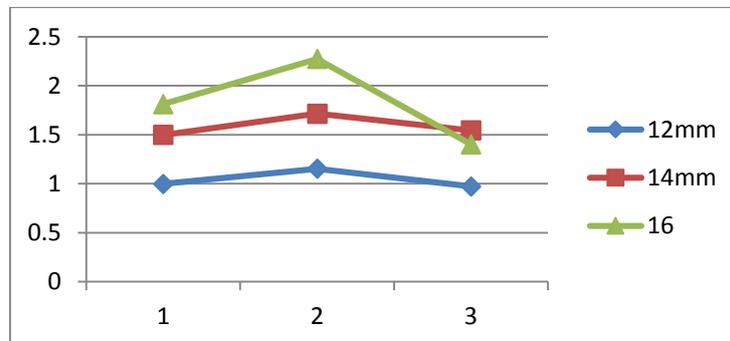
Gambar 4. Perbandingan hasil dari nilai *surfacc roughness*.

Gambar 5. dibawah ini akan dijelaskan hasil perbandingan pembuatan benda kerja dengan variasi kedalaman potong.



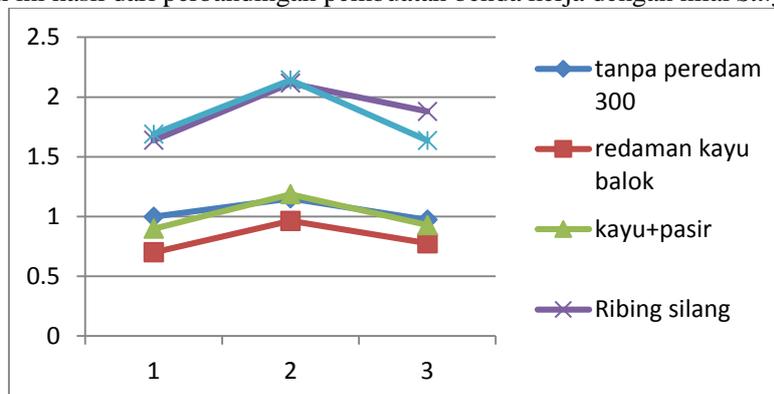
Gambar 5 Hasil perbandingan pembuatan benda kerja dengan variasi kedalaman potong.

Gambar 6 dibawah ini hasil dari perbandingan pembuatan benda kerja dengan nilai *sureface roughness*.



Gambar 6. Hasil perbandingan dari nilai *sureface roughness* dengan bervariasi diameter ulir.

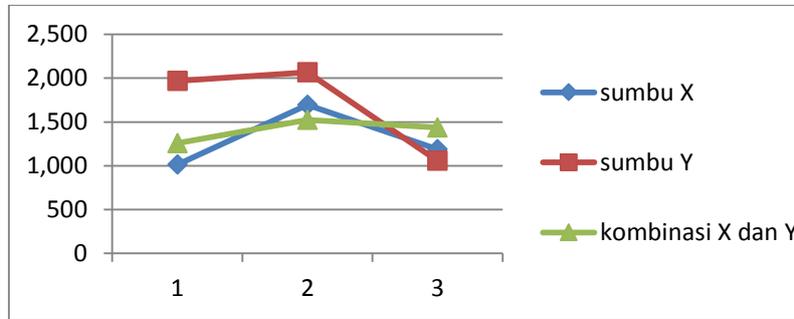
Gambar 7 dibawah ini hasil dari perbandingan pembuatan benda kerja dengan nilai *Surface roughness*.



Gambar 7 Hasil perbandingan dari nilai *surface roughness* dengan bervariasi redaman kayu

b. Hasil Pengujian *Surface Roughnes* Variasi Gabungan X dan Y

Struktur dengan nilai kekasaran permukaan yang baik akan dilakukan proses penggabungan antara 2 persumbuan antara sumbu X dan sumbu Y yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Dibawah ini hasil dari pembuatan benda kerja tumpukan yang telah di ukur dengan alat sureface roughnes didapatkan nilai . Gambar 8 menjelaskan train grafik yang didapatkan dari hasil analisa tumpukan pada struktur mesin perkakas modular.



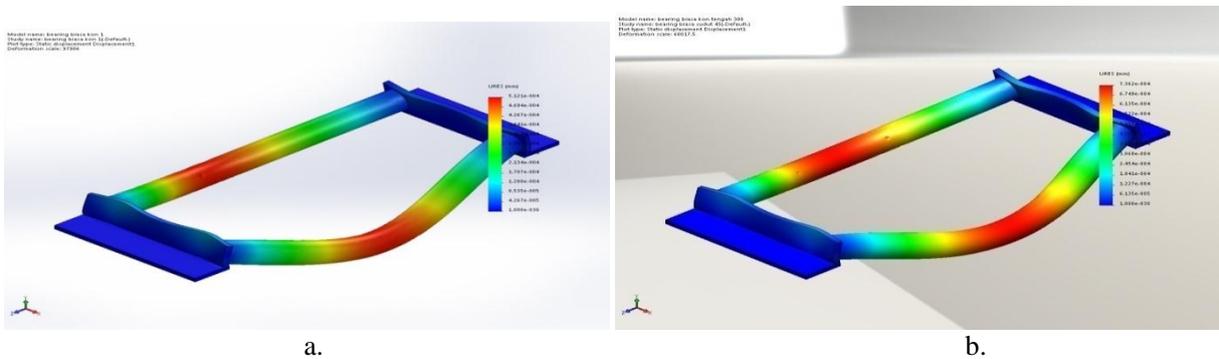
Gambar 8 Grafik hasil kekasaran permukaan.

3.2 Hasil Perhitungan Gaya

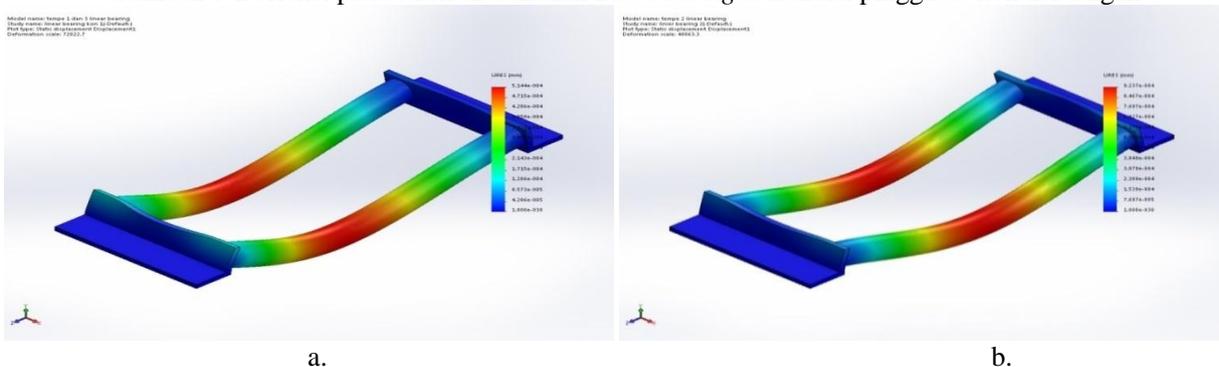
Hasil dari perhitungan gaya yang didapatkan selanjutnya dilakukan simulasi pada software Solid Work untuk mendapatkan defleksi yang terjadi pada struktur lintasan luncur. Dari hasil defleksi tersebut digunakan sebagai verifikasi terhadap hasil kekasaran permukaan yang terjadi pada proses pembuatan benda kerja. Didapatkan gaya Aksial arah pemakanan yaitu gaya $F_f = 31,28832 \text{ N}$.

3.3 Hasil Simulasi Defleksi pada *Software Solid Work*

Hasil *Surface Roughnes* yang dilakukan mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang akan dibandingkan dengan simulasi, dilakukan pada *Software Solid Work* akan didapatkan nilai pembanding dari hasil aktual dan dengan hasil *Software* dengan posisi pembebanan pada mesin perkakas modular.



Gambar 9 Defleksi pada struktur bantalan *Ball bearing*. a. kondisi pinggir b. kondisi tengah



Gambar 10 Defleksi pada struktur bantalan *Linear bearing* a. kondisi pinggir b. kondisi tengah

Hasil verifikasi dari kekasaran permukaan dan defleksi yang terjadi didapatkan hasil yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

	Hasil defleksi pada software	Hasil surface roughness
<i>Ball Bearing</i> panjang lintasan 300 mm	0,00051208 mm	0,998
	0,000736212 mm	1,152
	0,00051208 mm	0,972
<i>Linear bearing</i> panjang lintasan 300 mm	0,000514364 mm	1,508
	0,000923656 mm	2,274
	0,000514364 mm	1,402

4. Kesimpulan

- Struktur mesin perkakas modular didapatkan kedalaman potong terbaik yaitu 0,7 mm menggunakan pahat potong *end mill* berdiameter 6 mm bermata potong 4, panjang lintasan lurus 300 mm, menggunakan ulir penggerak berdiameter 12 mm dan menggunakan bantalan lurus *Ball bearing*.
- Hasil perhitungan gaya yang ditimbulkan pada saat pemakanan, didapatkan nilai Gaya total F sebesar 45,94467 N, Gaya tangensial F_v sebesar 33,58556 N, dan Gaya Aksial F_f 31,28832 N. Dari hasil perhitungan gaya yang didapatkan akan digunakan dalam melakukan pembebanan pada simulasi software sebesar 31,28832 N
- Dari hasil perbandingan antara pembuatan benda kerja dengan hasil analisa menggunakan software didapatkan hasil dengan nilai defleksi dari pembebanan sebesar 31,28832 N.
- Pada bantalan lurus *Linear bearing* terjadi defleksi dan kekasaran permukaan yang besar karena getaran yang terjadi besar disebabkan adanya suaian longgar pada *Linear bearing*. Untuk bantalan lurus *Ball bearing* pada 8 bantalannya saat penyetingan harus pada kondisi bergesekan antara lintasan lurus dan bantalan *Ball bearing*, maka tidak terjadi suaian longgar pada bantalan lurus *Ball bearing*.
- Dari pembuatan struktur gabungan antara 2 bantalan lurus *Ball bearing* dengan menggunakan ulir penggerak 12 mm didapatkan hasil kekasaran permukaan.

5. Referensi

- Bolton, W., 1995, "*Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical Engineering*". Longman
- Childs, P.R.N., 1998, "*Mechanical Design*", Second edition, University of Sussex, UK
- Dagui, H., and Hongbo, A., 2010, "*On composite position control of CNC system feeding PMSM based on position feedforward and SVPWM*". Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.735-740.
- Gupta, B.P., 2005, "*The Machinist Handbook for Precision Machining and Equipment Maintenance*". www.feedforward.com.au/machine_tools.pdf
- Kuswanto, B., 2010, "*Perubahan Harga Tegangan Tarik Yield Material Baja Karbon Rendah Setelah Melalui Proses Pack Carburizing*", Semarang: Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim
- NTN., 2009, "*Ball and Roller Bearings*". Cat.NO 2202-IX/E Catalog, NTN Corporation <http://id.scribd.com/doc/134154065/ntn-2202-ixe#scribd>
- Rochim, T., 2007, "*Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Permesinan*". Bandung: Badan Penerbit FTI ITB.
- Satrijo, D., Suprihanto, A., Kholil, A., 2005, "*Simulasi dan Analisa Modus Getar Pada Mesin Freis Type Vertical Milling Dengan Menggunakan Program Bantu Nastran*". ROTASI – Volume 7 Nomor 1 Januari 2005
- Sclater, N. and Chironis, N.P., 2001, "*Mechanism and Mechanical Devices*". New York: McGraw-Hill.
- Shigley, J.E. 1984, "*Perencanaan Teknik Mesin*". edisi keempat, Jakarta: Erlangga.
- Syamsir A., 1989, "*Dasar-dasar Perancangan Perkakas dan Mesin-mesin Perkakas*" Ed 1. Jakarta: Rajawali.
- Widarto. B., Wijanarka. S., Paryanto, Sutopo, 2008, "*Teknik Permesinan*". Departemen Pendidikan Nasional. xii. 508 hlm Daftar Pustaka : 478-480
- Widyanto, S.A. dkk, 2014, "*Merancang Mesin Perkakas*" Universitas Muhammadiyah Surakarta: Muhammadiyah University Press 2014, xxi+272 hlm; 14,8 x 21 cm.
- Wijosumarto, S.H dan Martawirya, Y.Y. 1985, "*Mesin Perkakas*", Laboratoria Teknik Produksi dan Metrologi Industri. Teknik Mesin, ITB.