OPTIMASI DESAIN STRUKTUR BED MESIN BUBUT CNC TERHADAP PENGARUH DEFLEKSI, FREKUENSI PRIBADI DAN PROSES MANUFAKTUR MILLING

Ardhi Priantoko

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: ardhi180@yahoo.com

Achmad murdifin

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: achmad.murdifin@yahoo.com

Afin Adkhiyan

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: afinadkhiyan@gmail.com

Sugeng Slamet

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: sugeng_hanun@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tujuan utama dari optimasi desain ini adalah untuk meningkatkan kualitas dari mesin bubut yang akan dibuat BMEPPO-BBPT. Dengan tetap menggunakan material *Gray cast iron* (FC25) serta menekan jumlah material yang di butuhkan dalam pembuatan *bed* bubut tersebut tetapi menghasilkan bentuk desain *Slant Bed* bubut CNC yang optimal sehingga tidak mengurangi kualitas mesin yang akan dibuat. Perancangan struktur *bed* menggunakan *ribbing* dapat membuat mesin tetap kokoh dan mampu mengatasi pembebanan yang terjadi akibat berat komponen mesin bubut, namun tetap memenuhi aspek berat yang tidak berlebihan. Proses perancangan dilakukan melalui metode *reverse engineering* dari desain mesin bubut CNC *Leadwell T-6*, yang berikutnya akan dimodifikasi untuk melihat perilaku statis tepatnya pada defleksi, perilaku dinamis serta frekuensi dari desain yang akan diuji menggunakan pendekatan *software* analisis. Hasil akhirnya adalah mendapatkan desain dengan defleksi terkecil serta gambar desain manufaktur untuk membantu proses permesinan *milling* pada tahap pembuatan *bed* mesin bubut CNC tersebut.

Kata kunci: *Bed*, defleksi, frekuensi, dan desain manufaktur.

ABSTRACT

The mainly purpose from this design optimization to increase lathe quality which will made by BMEPPO-BPPT. Decided use Gray cast iron (FC25) as material and losing weight on production but can create optimal CNC lathe slant bed design and will not decreasing machine quality. Design structure of bed use ribbing methode can save machine stiffness and hold all load from lathe machine component but still can kept that weight not excessive. Design procces use Reverse Engineering methode from CNC Leadwell T-6 machine and then will modified to see the dynamic and static characteristic. Result of this optimization is give design with low deflection and manufacturing design for help milling procces.

Keywords: *Bed*, deflection, frequency and manufacturing design.

1. PENDAHULUAN

Mesin perkakas adalah salah satu pendukung dari berkembangnya industri manufaktur di seluruh dunia. Dilihat dari negara-negara maju seperti Jepang, Jerman dan Amerika serikat dengan perkembangan industrinya mereka menjadi pemasok utama di dunia. Di Indonesia sendiri perkembangan sektor industri mesin perkakas masih jauh tertinggal.

Balai Mesin Perkakas, Teknik Produksi, dan Otomasi – BPPT (disingkat BMEPPO – BPPT) berencana membuat mesin bubut CNC yang akan di-reverse desainnya dari mesin bubut Leadwell T-6 buatan Taiwan.

Dipilihnya mesin Leadwell T-6 ini karena dari target harga dan kualitas mesin yang masih terjangkau dan berdasarkan survey harga per komponen mesin, harga akhir yang diharapkan bisa lebih murah dari mesin yang sudah ada, sehingga mesin produksi BPPT mampu bersaing dengan mesin buatan China ataupun Taiwan dalam perkembangannya.

Beberapa penelitian dilakukan untuk meningkatkan kualitas mesin bubut terutama pada bagian bed yang menjadi bagian terpenting dalam struktur mesin perkakas. Salah satu metode yang digunakan adalah penambahan *ribbing* atau penyangga pada struktur bed. Metode ini dinilai paling efisien pada aspek penggunaan material karena dengan jumlah material yang rendah tetapi dapat meningkatkan kekuatan struktur [1].

Nilai kekuatan desain bed dapat diketahui melalui analisa pengujian menggunakan pendekatan *software* analisis CAD. Pendekatan ini dipilih karena tidak memungkinkan untuk pembuatan prototipe asli dari bed yang akan dibuat sebagai pengujian secara langsung karena membutuhkan biaya yang mahal dalam pembuatannya.

Tulisan ini akan menyajikan proses optimasi desain bed pada tahap modifikasi desain, analisa desain terhadap kekuatan statis mendapatkan besar defleksi struktur, serta desain manufaktur berupa gambar permesinan untuk proses pengerjaan permukaan dengan menggunakan mesin *milling* pada tahap selanjutnya.

2. STUDI PUSTAKA

Mesin perkakas terdiri dari struktur mesin, *Bed*, kolom, *Housing*. *Bed* adalah dasar dari mesin perkakas di mana *guideways*, *spindle*, dan komponen lain dipasang. Struktur mesin tersebut harus mampu menahan beban maksimal dari komponen dan benda kerja. Mesin perkakas memiliki karakter keakuratan produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin pembentukan logam. Mesin perkakas digunakan untuk proses produksi barang dalam jumlah yang relatif kecil atau sedikit. Sebaliknya dengan mesin pembentukan logam secara ekonomis untuk memproduksi barang dalam jumlah banyak [2].

Sebuah mesin perkakas harus mampu menjaga stabilitas kerja dan harus memenuhi beberapa kriteria umum seperti : kekakuan statis yang tinggi; menghindari frekuensi pribadi yang tidak dapat diterima agar tidak terjadi resonansi; menahan getaran pada level yang dapat diterima; kapasitas redaman yang memadai (*damping*); kecepatan dan pemakanan tinggi; tingkat keausan yang rendah di bagian *Sliding Part*; distorsi termal yang rendah dari komponen mesin perkakas yang berbeda; desain, pengembangan, pemeliharaan, perbaikan, dan biaya produksi rendah [2].

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 struktur mesin perkakas dapat dibagi menjadi 2 yaitu *Open Frames* / Struktur Terbuka. Struktur terbuka memiliki kemudahan untuk mengakses pahat/alat potong dan benda kerja. Struktur bertipe terbuka dapat kita jumpai di mesin bubut, bor, sekrap, dan freis. Pada mesin bubut struktur ini disebut *bed*, sedangkan pada mesin freis dan gurdi, struktur ini disebut kolom. *Closed Frames* / Struktur tertutup. Struktur tertutup memiliki kekakuan yang amat baik namun akses untuk benda kerja dan pahat cenderung sulit. Struktur tertutup dapat dijumpai di mesin press dan mesin uji tarik.

Gambar 1. a. Struktur Mesin terbuka; b. Struktur Mesin Tertutup [2]

Perancangan struktur mesin perkakas disesuaikan dengan kebutuhan gerak pemotongan dan pemakanan, panjang langkah, serta ukuran dan kapasitas mesin. Dalam hal ini, pembuangan *Chip*, *travel*, pemasangan, dan pemeliharaan juga dipertimbangkan. Tingkat pemindahan bahan menentukan kapasitas daya alat mesin dan karenanya besarnya gaya potong. Kelas akurasi produksi dipengaruhi oleh deformasi dan lendutan struktur, yang harus dijaga dalam batas yang ditentukan. Penilaian perilaku struktur alat mesin diperoleh dengan mengevaluasi karakteristik statis dan dinamis [3].

Secara umum pada gambar 2, di dalam mesin bubut CNC ada 5 komponen utama, yaitu *bed*, *tooling system/turret*, *guideways*, *tailstock*, dan *headstock*. Untuk komponen mesin seperti pahat, scrap conveyor dapat dimasukkan kategori komponen tambahan.

Gambar 2. Komponen utama mesin bubut CNC (sumber: Leadwell product brochure)

Analisa statis sangat diperlukan pada tahap perancangan desain bed mesin perkakas untuk mengetahui tegangan, regangan dan defleksi struktur, begitu juga dengan analisa dinamis yang digunakan untuk mengetahui frekuensi natural mesin yang berhubungan erat dengan getaran struktur. Kedua hal ini sangat penting untuk mencegah kegagalan kerja mesin ketika dioperasikan [4].

Gaya statis yang bekerja di struktur adalah akibat dari gaya proses/gaya pemotongan dan berat dari komponen mesin serta benda kerja. Gaya statis yang bekerja pada struktur akan mengakibatkan adanya defleksi atau kesalahan geometrik selama proses pemesinan terjadi sehingga hasil proses pemesinan akan berada pada daerah toleransi yang nilainya diperoleh dari kesalahan geometrik akibat pembebanan statis. Adanya kesalahan geometrik ini akan mempengaruhi akurasi hasil proses pemesinan [2].

Analisa dinamis digunakan untuk menentukan karakteristik getaran dan frekuensi pribadi [4]. Akibat dari gaya dinamis ini, akan terjadi getaran atau sering disebut *chatter* yang mempengaruhi stabilitas dari proses pemesinan.

Proses manufaktur merupakan suatu proses pembuatan benda kerja dari bahan baku sampai barang jadi atau setengah jadi dengan atau tanpa proses tambahan. Pada dasarnya proses manufaktur benda kerja terutama yang berasal dari bahan logam dapat dikelompokkan menjadi: (a) Proses pengecoran (b) Proses pembentukan (c) Proses pemotongan (d) Proses penyambungan (e) Proses perlakuan fisik (f) Proses pengerjaan akhir.

Manufaktur adalah multidisiplin melibatkan desain produk dan kekuatan aspek materi teknik mesin; dasar-dasar struktur material, pemodelan, dan konsep desain proses pengolahan bahan dan teknik; evaluasi biaya, dasar-dasar pengolahan manufaktur, kualitas kontrol, dan seluruh aspek manajemen mutu teknik industri. Topik lain, seperti teknik penggunaan alat dan analisis kegagalan. Karena manufaktur melibatkan ilmu pengetahuan yang luas, tentu memerlukan kerja tim yang kompak antara anggota dari berbagai disiplin ilmu teknik. Tim kerja ini melibatkan desain, pemilihan bahan, proses seleksi, pemasaran, pembelian, produksi, kualitas, dan fungsi manufaktur lainnya yang diperlukan untuk mengembangkan produk "terbaik" untuk konsumen [5].

Dalam perancangan *bed* ini Konfigurasi permukaan yang mencakup antara lain kekasaran permukaan dan arah bekas pengerjaan (tekstur), memegang peranan penting dalam perencanaan suatu elemen mesin, yaitu yang berhubungan dengan gesekan, keausan, pelumasan, tahanan kelelahan, kerekatan suaian, dan sebagainya. Konfigurasi permukaan yang diminta perencana harus dinyatakan dalam gambar, menurut cara-cara yang sesuai dengan standar.

Kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil, yang selanjutnya disebut nilai kekasaran (R_a). Nilai kekasaran rata-rata aritmetik telah diklasifikasikan oleh ISO menjadi 12 tingkat kekasaran, dari mulai N1 sampai dengan N12. Untuk penunjukan pada gambar mengenai spesifikasi kekasaran ini dapat dituliskan langsung nilai R_a -nya, atau tingkat keka-sarannya.

Sebagaimana pada tabel 1. nilai kekasaran permukaan suatu elemen ditentukan menurut fungsinya, sedangkan untuk mencapainya bergantung pada kemampuan proses pengerjaan manual atau pemesinan di tempat produksi.

Tabel 1. Nilai kekasaran permukaan [4]

<i>Kekasaran Ra (μm)</i>	<i>Tingkat Kekasaran</i>	<i>Panjang Sampel (mm)</i>
50	N12	8
25	N11	
12.5	N10	2.5
6.3	N9	
3.2	N8	0.8
1.6	N7	
0.8	N6	
0.4	N5	
0.2	N4	0.25
0.1	N3	
0.05	N2	
0.025	N1	0.08

Penjelasan notasi simbol parameter digunakan untuk menunjukkan kekasaran permukaan produk industri, termasuk kekasaran rata-rata aritmatika (Ra), tinggi maksimum (Ry), 10-spot rata kekasaran (Rz), rata-rata jarak cekung-to-cembung (Sm), jarak rata-rata antara puncak lokal (S), dan tingkat panjang beban (tp). Kekasaran permukaan adalah rata-rata aritmatika dari nilai-nilai di tempat yang dipilih secara acak pada permukaan suatu benda [6].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Proses perancangan dimulai dengan merekonstruksi ulang struktur *bed* mesin *Leadwell* T-6 buatan Taiwan yang nantinya akan dijadikan acuan atau akan di-*reverse* untuk pembuatan mesin bubut CNC yang dibuat oleh BPPT. Gambar 4 adalah hasil rekonstruksi ulang mesin bubut CNC *Leadwell* T-6 melalui *software Solidworks* 2013.

Gambar 3. Rekontruksi Desain *Bed Existing*

Berdasarkan data material yang telah ada sebelumnya, diperoleh berat struktur *bed* menurut *Solidworks* 2013 adalah 1.546 ton kg. Untuk bentuk ribbing yang digunakan adalah ribbing diagonal seperti ditunjukkan gambar di bawah ini

Gambar 4. Pemotongan Desain *Bed Existing*

Dari desain *bed* yang ada, penulis mencoba memodifikasi desain *bed* tersebut dan diperoleh 3 desain utama untuk menjadi pertimbangan desain selanjutnya:

a) Desain 1 – *Vertical ribbing* dengan pemotongan bagian belakang *bed I*

Gambar 5. (a) isometri depan desain I (b) pemotongan desain dari samping; (c) pemotongan desain dari depan

b) Desain 2 – *Diagonal Ribbing* dengan tambahan *rib* di bawah *tailstock*

Gambar 6. (a) isometri depan desain II (b) pemotongan desain dari samping (c) Pemotongan Desain Dari Belakang

c) Desain 3 – *Vertical ribbing* dengan pemotongan bagian belakang *bed II*

Gambar 7. (a) isometri depan desain III (b) pemotongan desain dari samping (c) Pemotongan Desain Dari Belakang

Setelah diperoleh desain *existing* dan 3 desain modifikasi, langkah selanjutnya yang dilakukan oleh penulis adalah memberi pembebanan statis pada *bed* yang nantinya akan dianalisis lebih lanjut. Secara umum, di dalam mesin bubut CNC ada 6 komponen utama, yaitu *bed*, *tooling system/turret*, *guideways*, *tailstock*, *headstock*, dan motor penggerak. Untuk komponen mesin seperti pahat, scrap conveyor dapat dimasukkan kategori komponen tambahan. Dalam pembebanan statis ini akan dibuat beberapa asumsi untuk memudahkan proses perhitungan dan analisis, antara lain:

- 1) Pembebanan akibat berat komponen yang diterima oleh *bed* adalah dari *tailstock*, *headstock*, *tooling system/turret*, dan *guideways*.
- 2) Berat motor listrik diabaikan untuk pembebanan.
- 3) Gaya berat yang diterima oleh *bed* terdistribusi merata/tidak pada satu titik pada bagian *bed* yang menerima pembebanan.
- 4) Akan dilakukan 2 analisis, saat gaya pemotongan terjadi maksimum dan saat gaya pemotongan sesuai katalog mesin *Leadwell* sebagai pembanding.
- 5) Gaya pemotongan radial dapat diabaikan karena nilainya terlalu kecil.
- 6) *Tailstock* tidak dipakai saat proses pemotongan sehingga gaya pemotongan dari pahat akan dialirkan benda kerja seluruhnya ke *headstock*.

Perlu dijelaskan pada asumsi keempat, adanya dua analisis yaitu ketika gaya pemotongan maksimum dan ketika gaya pemotongan sesuai katalog mesin *Leadwell* diperlukan sebagai tolak ukur ketercapaian kualitas mesin dibanding mesin *Leadwell* dan sebagai patokan kualitas mesin ketika beban yang terjadi maksimal sehingga

nantinya akan dicantumkan pada katalog mesin kondisi-kondisi yang harus dihindari saat proses pemesinan dilakukan.

Berdasarkan *software Solidworks 2013*, diperoleh berat komponen antara lain [2]:

- Headstock* + motor : 375 kg
- Berat *tooling system* + *Guideways Z Axis* : 350 kg
- Berat *Tailstock* + *Guideways X Axis* : 210 kg
- Berat motor hidrolik + *ball screw* : 70 kg

Untuk analisis pertama, saat gaya pemotongan maksimum gambar 8.c digunakan gaya pemotongan arah vertikal (FT) sebesar 2263.5 N dan gaya pemakanan (Ff) sebesar 679 N. untuk analisis kedua gambar 8.b, nilai gaya pemotongan arah vertikal (FT) sebesar 72 N dan gaya pemakanan (Ff) sebesar 24 N.

Gambar 8. (a) Diagram Benda Bebas akibat berat komponen, (b) Diagram Benda Bebas akibat gaya pemotongan maksimum, (c) Diagram Benda Bebas akibat gaya pemotongan sesuai katalog, (d) Diagram Benda Bebas keseluruhan yang diterima Bed

Melalui *software ANSYS R15.0* daerah pembebanan seperti asumsi ketiga dapat dilihat pada gambar 9 berikut:

Gambar 9. Pemberian gaya pada software ANSYS R15.0

Setelah dilakukan pemberian beban dengan nilai seperti dicantumkan di atas, berikutnya dilakukan analisis statis untuk melihat defleksi statis dan tegangan *Von Mises* yang terjadi di struktur baik saat terjadi gaya

pemotongan maksimal maupun gaya pemotongan sesuai katalog. Selain analisis statis, dilakukan pula analisis dinamis untuk melihat nilai frekuensi pribadi dari struktur dan daerah kritis yang mungkin terjadi saat frekuensi pribadi tersebut terjadi.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Statis

a) Desain 1ribbing back-cut versi I

Gambar 10. Defleksi statis pada desain I saat gaya potong (a) maksimum (b) katalog

Gambar 11. Persebaran tegangan von Mises pada desain I

b) Desain 2 Ribbing diagonal

Gambar 12. Defleksi statis pada desain II saat gaya potong (a) maksimum (b) katalog

Gambar 13. Persebaran tegangan von Mises pada desain II

c) Desain 3 ribbing back-cut versi II

Gambar 14. Defleksi statis pada desain III saat gaya potong (a) maksimum (b) katalog

Gambar 15. Persebaran tegangan von Mises pada desain 3

4.2 Analisis Dinamis

Tabel 2. Daftar frekuensi pribadi ketiga desain

Mode	Frequency[Hz]		
	Vertical ribbing back-cut versi II	Diagonal ribbing	Vertical ribbing back-cut versi II
1	156.26	166.37	171.4
2	226.16	203.82	210.68
3	281.99	243.92	251.33
4	291.63	327.26	344.25
5	340.92	383.17	393.04
6	393.94	409.27	421.92

Dari hasil analisis statis dan dinamis tersebut, perbandingan untuk masing-masing desain ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan masing-masing desain ribbing

No	Desain	Berat (ton)	Defleksi statis (μm)	Tegangan von Mises (MPa)	Frekuensi Pribadi 1 (Hz)
1	Existing	1.546	5.6609	2.2234	130.97
2	Vertical Ribbing back cut Versi I	1.528	4.1153	1.3275	156.26
3	Diagonal ribbing	1.547	3.7328	1.8337	166.37
4	Vertical Ribbing back cut Versi II	1.542	2.752	1.9038	171.40

Tabel 4. Perbandingan relatif masing-masing desain ribbing

No	Desain	Berat (ton)	Defleksi statis (μm)	Tegangan von Mises (MPa)	Frekuensi Pribadi 1 (Hz)
1	Existing	Datum	Datum	Datum	datum
2	Vertical Ribbing back cut Versi I	+	+	+	+
3	Diagonal ribbing	-	++	+	+
4	Vertical Ribbing back cut Versi II	+	+++	+	+

Mesin bubut CNC *leadwell T-6* ini juga memiliki frekuensi pribadi yg cukup rendah, yaitu 130.97 Hz. Berdasarkan katalog, mesin ini beroperasi maksimum pada putaran *spindle* 4500 RPM atau setara dengan 75 Hz. Nilai selisih antara putaran *spindle* dengan frekuensi pribadi ini sebenarnya cukup jauh, yaitu 55 Hz, namun tidak dapat mengantisipasi jika terjadi salah pemotongan atau terjadinya proses pemesinan dengan kedalaman potong yang besar hingga menghasilkan *chatter* sehingga struktur ini rawan gagal jika operator tidak pandai dalam menggunakan mesin ini. Struktur yang baik adalah ketika frekuensi kerja maksimum dari beban yang ada bernilai 1/3 dari frekuensi pribadi strukturnya [7]. Struktur yang baik seharusnya memiliki frekuensi pribadi pertama kali di angka 225 Hz.

Dari 3 modifikasi desain yang ada, perbaikan desain meliputi aspek statis dan dinamik. Dalam hal dinamik, walau belum mencapai angka 225 Hz, ketiga desain sudah menunjukkan kenaikan frekuensi pribadi pertama di angka 155-170 Hz yang menunjukkan perbaikan desain. Dari aspek dinamik, masih belum dapat diputuskan untuk memilih 1 desain terbaik.

Dari aspek statis, ketiga desain ini lebih kuat dibanding desain CNC *leadwell T-6* karena nilai tegangan *von Mises*-nya lebih kecil, artinya struktur mampu mendistribusikan pembebanan yang dialaminya dengan baik, namun 3 desain tersebut kurang optimal karena *safety factor* struktur tersebut sangat tinggi serta dilihat dari *Yield strength* materialnya yang masih jauh di angka 250 MPa sedangkan struktur modifikasi hanya berada di angka 1,4-1,6 MPa.

Dari aspek defleksi statis, desain dengan *ribbing back-cut versi II* menunjukkan perbedaan cukup signifikan dibanding desain lain dengan defleksi di angka 2.753 μm yang memberikan defleksi statis terkecil. Dari aspek ini menunjukkan bahwa desain dapat digunakan untuk desain *bed* mesin bubut CNC BPPT yang selanjutnya akan dimanufaktur.

4.3 Desain manufaktur

Metode desain penambahan ribbing terbukti dapat meningkatkan kekuatan struktur *bed* dengan jenis material yang sama dan pengurangan jumlah material yang digunakan. Hal ini dapat menjadi acuan meningkatnya kualitas struktur mesin. Optimasi yang dilakukan memberikan hasil pada penurunan biaya produksi *bed* mesin yang akan dibuat. Perubahan desain modifikasi pada desain ribbing back-cut versi II ditunjukkan pada gambar 16-19.

Gambar 16. Penambahan ribbing dibawah tailstock

Desain yang tepat dari struktur mesin perkakas membutuhkan pengetahuan mendalam tentang bentuk desain mereka dan sifat material, dinamisa proses pemesinan tertentu dan sifat dari komponen yang menyusunnya. Baru-baru ini, penelitian telah dilakukan di bidang perbaikan desain struktural dari peralatan mesin dengan meningkatkan kekakuan dan keringanan berat badan yang terutama mendesak untuk bagian-bagian struktural, seperti tempat tidur, kolom, meja kerja, balok dan sebagainya. Susunan rusuk (*Ribbing*) di struktur mesin perkakas merupakan faktor kunci untuk kekakuan struktural dan konsumsi bahan. Sehingga desain keringanan dari *ribbing* signifikan untuk kerja mmesin dan menghemat biaya.

Berikut penjelasan masing-masing proses permesinan sesuai gambar 19 :

a. Proses no 1

Angka 1,5 menunjukkan bahwa dimensi permukaan yang akan di kerjakan harus diberi kelonggaran sebesar 1,5 milimeter sebelum dilakukan penyelesaian akhir (*finishing*) melalui permesinan. Dalam prakteknya, pencantuman angka kelonggaran ini tidak diharuskan ada karena biasanya sudah diketahui bahwa untuk pemrosesan kembali suatu permukaan sudah tentu harus ada kelebihan dimensi ukuran dari permukaan tersebut. Dalam gambar kerja, biasanya dicantumkan angka kelonggaran, tetapi angka kelonggaran untuk permesinan.

Angka 3,2 menunjukkan bahwa kekasaran rata-rata maksimum yang diijinkan adalah 3,2 mm. Pada Tabel 1 dapat dilihat angka-angka kekasaran Ra dari 12 kelas kekasaran. Ada pula satuan lain yang biasa digunakan untuk menyatakan harga kekasaran rata-rata selain mm yaitu microinch atau ru, $1 \text{ ru} = 0.025 \text{ mm}$. Pada bagian atas dari tanda segitiga terdapat tulisan yang berbunyi *milling*, artinya: penyelesaian akhir dari permukaan (*finishing*) dilakukan dengan menggunakan mesin (*milling machine*). Kadang-kadang dicantumkan pula keterangan lain dalam penyelesaian permukaan, misalnya proses pengerasan, proses pelapisan, proses pancaran pasir, dan sebagainya.

Angka 0,8 menunjukkan angka panjangnya sampel pengukuran yang harus diambil dalam pemeriksaan kekasaran permukaan dari komponen yang dibuat tersebut. Jadi, angka 0,8 pada contoh di atas artinya adalah panjang sampel untuk pemeriksaan kekasaran sama dengan 0,8 milimeter.

Simbol = artinya: arah bekas pengerjaan sejajar dengan bidang proyeksi dari potongan tempat tanda dipakai.

b. Proses no 2

Angka 12,5 menunjukkan bahwa kekasaran rata-rata maksimum yang diijinkan adalah 12,5 mm. Pada Tabel 2.4 dapat dilihat angka-angka kekasaran Ra dari 12 kelas kekasaran. Ada pula satuan lain yang biasa digunakan untuk menyatakan harga kekasaran rata-rata selain mm yaitu microinch atau ru, $1 \text{ ru} = 0.025 \text{ mm}$. Pada bagian atas dari tanda segitiga terdapat tulisan yang berbunyi *sand casting*, artinya: penyelesaian akhir dari permukaan (*finishing*) dilakukan dengan menggunakan hasil dari *sand casting*.

c. Proses no 4

Tanda ∇ artinya proses pengerjaannya dengan *sandcasting* dan *forging* dengan harga Ra 12,5 – 25,0 dan rata-rata maksimum kekerasan yang diijinkan adalah 12,5 mm – 25,0 mm.

d. Proses no 5

Tanda $\nabla \nabla$ menjelaskan proses pengerjaannya dengan harga Ra 3,2 – 6,3 dan rata-rata maksimum kekerasan yang diijinkan adalah 3,2 mm – 6,3 mm.

Untuk proses permesinan dari *bed* ke 3 tersebut dengan ukuran *bed* yang telah ada, menggunakan *Portal Type Plano Miller*, model FLP 1600, dengan spesifikasi berikut :

Gambar 20. Portal Type Plano Miller, model FLP 1600

Gambar 20 menunjukan Jenis *Portal Type plano miller* Model FLP dirancang untuk mesin mekanik berbagai bagian yang terbuat dari besi cor atau baja, baja ditempa atau struktur dilas. Jenis mesin dapat melakukan pengerjaan seadanya, *finishing* dan operasi penggilingan super-akhir serta pengeboran dan memotong benang. Mesin-mesin dapat dikendalikan dalam mode otomatis melalui peralatan CNC atau manual (mode MDI) dari panel kontrol pusat.

Tabel 4. Spesifikasi Mesin *Milling Plano*

<i>Spesification</i>	<i>M.U.</i>	<i>FLP 1600</i>
<i>Table size</i>	mm	4000 × 1620
	in	157 × 64
<i>Max.load on table</i>	Kg/m	4000
<i>Table longitudinal travel (x)</i>	mm	4600
	in	181
<i>Head longitudinal travel (y)</i>	mm	2500
	in	98
<i>Ram vertikal travel (z)</i>	mm	1000
	in	39
<i>Spindle taper</i>		ISO 50
<i>Spindle speed range</i>	rpm	10-3000
<i>Main motor power</i>	kW	30
	hp	40
<i>Distance between columns</i>	mm	2000
	in	79
<i>Max. Distance between table and spindle front surface</i>	mm	2150
	in	85

5. KESIMPULAN

- 1) Desain *existing* perlu dirancang ulang.
- 2) Modifikasi desain *vertical ribbing* dengan pemotongan bagian belakang *bed* II memiliki nilai defleksi statis yang paling baik diantara modifikasi desain yang lain.
- 3) Modifikasi desain *vertical ribbing* dengan pemotongan bagian belakang *bed* II merupakan desain terkuat dari desain yang ada dengan nilai tegangan *von mises* terkecil.
- 4) Tiga modifikasi desain menunjukkan perbaikan nilai frekuensi pribadi dari struktur *bed*.
- 5) Proses manufaktur pengerjaan permukaan disarankan menggunakan mesin *Portal Type Plano Miller*, model FLP 1600

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abuthakeer , S. Syath . 2011. "Structural Redesigning Of A Cnc Lathe Bed To Improve Its Static And Dynamic Characteristics". *International Journal of Engineering-Tome IX*. 3, 389-384.
- [2] Youssef, Helmi A., and El-Hofy, Hassan. (2008). *Machining Technology: Machine Tools and Operations*, USA: CRC Press.
- [3] Mazid ,A. M. (2007). "Evaluation of dynamic quality of lathe machines to categorise them for better productivity and accuracy reducing defects". *5th Australasian Congress on Applied Mechanics, ACAM 2007*. Australia: Monash University
- [4] Subrahmanyam ,B.V. 2013. "Static and Dynamic Analysis of Machine Tool Structures". *International Journal of research In Mechanical engineering & technology* 4. 14-18.
- [5] Creese, G. Robert. (1999). *Introduction to Manufacturing Processes and Material*. USA: Marcel Dekker, Inc.
- [6] JIS B 0601.(1994). *Technical Data: Surface Roughness*. Halaman 1257-1258
- [7] Weck, Manfred. (1984). *Handbook of Machine Tools Volume 2: Construction and Mathematical Analysis*, Inggris: John Wiley & Sons.