

KONSTRUKSI MESIN PERKAKAS KONVENSIONAL DAN NC¹⁾

Komang Bagiasna²⁾

RINGKASAN

Mesin perkakas merupakan tulang punggung suatu proses manufaktur maupun suatu sistem produksi. Kualitas produk yang dihasilkan tergantung pada interaksi yang terjadi antara benda kerja, perkakas potong dan mesin perkakasnya. Dalam hal ini mesin perkakas merupakan salah satu faktor dominan yang mempengaruhi ketelitian benda kerja yang dihasilkan, karenanya mesin perkakas disebut juga sebagai induk dari mesin-mesin yang ada.

Penekanan biaya produksi dan usaha menjaga konsistensi kualitas produk merupakan salah satu faktor pendorong perkembangan mesin perkakas yang mengarah kepada mesin perkakas NC. Walaupun pada mesin perkakas NC sistem pengaturan elektronik yang dikoordinir oleh komputer merupakan bagian yang paling menonjol, tetapi konstruksi mesin perkakasnya tetap merupakan tulang punggung bagi keberhasilan fungsi mesin perkakas secara menyeluruh. Karenanya penguasaan konsep-konsep dasar konstruksi mesin perkakas yang mencakup: rangka & bed, spindel utama dan bantalan, slideways, sistem transmisi daya dan gerak insut merupakan bagian yang primer dalam penguasaan teknologi dan usaha pengembangan industri mesin perkakas di dalam negeri.

Dalam makalah ini dibahas pula secara singkat hasil-hasil pengkajian baik eksperimental maupun teoritik yang telah dirintis selama ini di Laboratorium Teknik Produksi, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITB.

1. LATAR BELAKANG

Kegiatan manufacturing suatu produk melibatkan aspek proses pemotongan logam dengan berbagai elemen yang tercakup di dalamnya yang di antaranya adalah mesin perkakas, benda kerja, perkakas potong maupun perkakas bantu, serta berbagai parameter pemotongan. Dalam hal ini kualitas dari produk yang dihasilkan tersebut tentunya dipengaruhi oleh faktor-faktor di atas, di antaranya yang penting dan dijadikan fokus dalam pembahasan ini adalah konstruksi mesin perkakas.

Konstruksi suatu mesin perkakas secara langsung mempengaruhi ketelitian produk yang dihasilkan karena mesin perkakas tersebut merupakan tempat terjadinya interaksi antara benda kerja dengan perkakas potong. Sehingga ketelitian gerak maupun ketelitian geometrik berbagai komponen/element mesin perkakas akan langsung mempengaruhi ketelitian produknya. Makin tinggi tingkat kualitas produk yang diinginkan, maka makin tinggi pula ketelitian mesin perkakas yang digunakan untuk membuat produk tersebut. Ciri khas yang seperti ini menyebabkan kelompok mesin perkakas ini disebut sebagai induk dari semua mesin.

Di lain pihak usaha yang tiada hentinya untuk menekan semaksimal mungkin waktu pemotongan (cutting-time) atau dalam bentuk peningkatan jumlah geram yang dihasilkan persatuan waktu (Rate of Metal Removal), ikut sebagai salah satu faktor yang menentukan arah perkembangan kon-

struksi mesin perkakas tersebut. Dampak positif lain dari keadaan ini adalah penelitian dalam bidang material perkakas potong yang mampu mendukung usaha-usaha peningkatan di atas.

2. KONSTRUKSI MESIN PERKAKAS

Secara umum konstruksi suatu Mesin Perkakas terdiri dari beberapa bagian (sub-konstruksi dan komponen) yang kemudian dirakit sedemikian rupa sehingga memenuhi spesifikasi ketelitian geometrik, dan berfungsi dengan baik. Masing-masing bagian tersebut memiliki ciri tersendiri sesuai dengan fungsinya dan yang selanjutnya akan dibahas secara singkat adalah bagian-bagian utama, di antaranya adalah: rangka (struktur), slideways, spindel, sistem transmisi daya.

2.1. Rangka Mesin Perkakas Konvensional.

Dalam rancangan rangka mesin perkakas, secara global terdapat 2 faktor yang mempengaruhi rancangan tersebut, yakni:

- kekakuan statik yang berkaitan dengan gaya-gaya statik.
- kekakuan dinamik yang berhubungan dengan gaya-gaya yang besarnya berfluktuasi terhadap waktu (time dependent), misalnya gaya-gaya unbalance, fluktuasi gaya pemotongan karena material benda kerja yang tidak homogen mau-

1) Dikomunikasikan dalam Seminar Peranan IPTEK dalam Pembangunan Industri untuk Mempersiapkan Industri Tinggal Landas, 1986, ITS - Surabaya.

2) Laboratorium Metrologi - Jurusan Teknik Mesin FTI-ITB.

pun karena proses pemotongannya sendiri. Kasus terakhir ini terlihat pada mesin freis (milling machine).

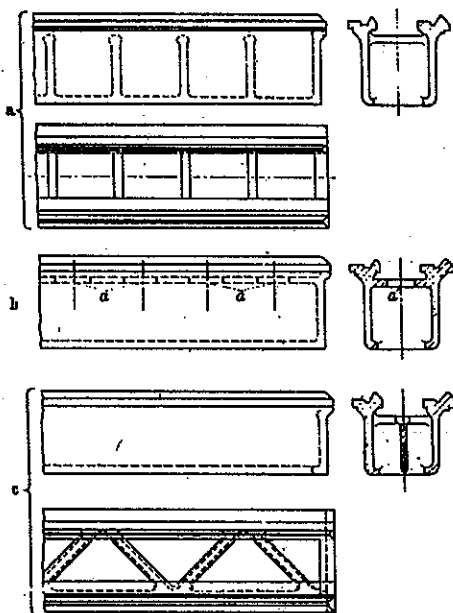
Kekakuan statik merupakan kasus-khusus dari kekakuan dinamik pada frekuensi sama dengan nol. Peranan kekakuan statik terutama pada ketelitian geometrikan sedang kekakuan dinamik berkaitan dengan masalah getaran yang terjadi pada waktu proses pemotongan berlangsung, misalnya gejala chatter.

Faktor yang mempengaruhi kekakuan (stiffness) mesin perkakas adalah:

- (a) Material, misalnya: besi tuang, baja, material komposit.
- (b) Bentuk geometrik secara global: monolitik, cellular, sistem box. Bentuk geometrik tersebut juga mempengaruhi metoda pembuatan rangka mesin perkakas apakah dengan proses pengecoran atau melalui proses pengelasan.

Rangka merupakan sub-struktur dari mesin perkakas dan memegang peranan penting karena sub-struktur ini yang menahan gaya statik maupun dinamik, misalnya gaya pemotongan, berat benda kerja/sub-struktur lainnya maupun gaya tak seimbang (unbalance forces) yang terjadi dari komponen rotasi. Gaya-gaya tersebut kemudian diteruskan kebagian fondasi dari mesin itu. Rangka ini pada umumnya berupa bed misalnya seperti pada mesin bubut, mesin gerinda, mesin bor horizontal, berupa landasan dan kolom misalnya pada kelompok mesin gudi, mesin freis dan lain-lain.

Salah satu rancangan dari sub-struktur ini dengan bagian penguat (ribbing) diperlihatkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Sub-struktur bed mesin bubut.

- a. Penguat vertikal.
- b. Penguat horizontal.
- c. Penguat diagonal.

2.2. Pemandu Luncur (slide-ways), Mesin Perkakas Konvensional.

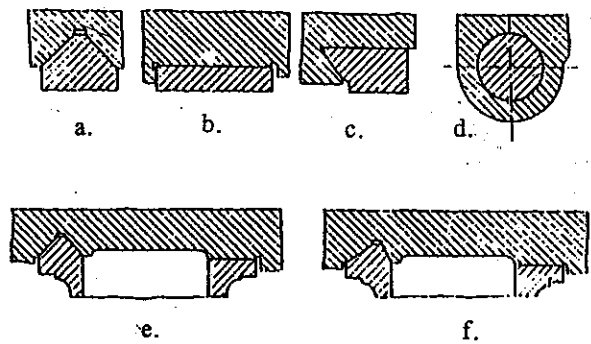
Gerakan sub struktur atau elemen mesin perkakas berlangsung dan diarahkan oleh pemandu luncur sehingga bagian mesin perkakas ini berperan penting karena langsung mempengaruhi ketelitian geometrikan, misalnya: kelurusan, ketegaklurusan maupun kesejajaran gerak elemen tersebut. Gaya statik maupun gaya dinamik yang terjadi pada mesin perkakas terlebih dulu ditahan oleh pemandu luncur sebelum sampai pada rangka mesin perkakas.

Adanya faktor-faktor: gerak dan gaya-gaya normal pada pemandu luncur menimbulkan gaya gesek dan dikaitkan dengan kondisi permukaan gesek serta kondisi pelumasannya menimbulkan masalah keausan pemandu luncur. Hal ini mempengaruhi ketelitian gerak maupun ketelitian benda kerja yang dihasilkan.

Uraian singkat di atas mempengaruhi konsep rancangan pemandu luncur yang memenuhi ketentuan berikut:

- a. Dalam keadaan bekerjanya berbagai gaya, pemandu luncur tetap mampu mengarahkan dengan tepat gerak berbagai komponen.
- b. Adanya fasilitas untuk kompensasi terhadap keausan yang terjadi, misalnya dengan menggunakan pasak (gib).

Beberapa jenis rancangan pemandu luncur ditunjukkan dalam gambar 2.



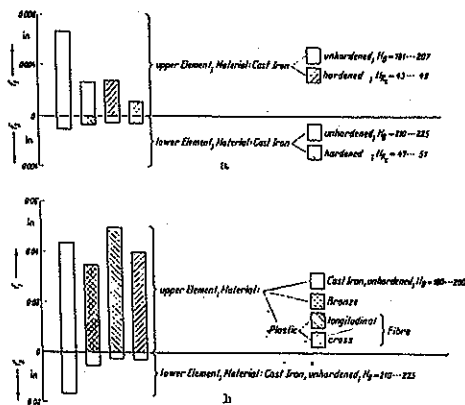
Gambar 2. Jenis rancangan slideways.

- a. Bentuk V.
- b. Bidang rata.
- c. Ekor burung.
- d. Silindrik.
- e. & f. kombinasi.

Masalah pelumasan dan keausan pada pemandu luncur mempengaruhi proses pemesinan (manufacturing) dan pemilihan material. Ilustrasi keausan pada pemandu luncur baik untuk bagian yang bergerak (f_1) maupun untuk bagian yang diam (f_2) diperlihatkan dalam gambar 3. Pada umumnya pemandu luncur merupakan bagian dari rangka mesin perkakas sehingga memiliki jenis material yang sama misalnya besi tuang atau baja.

Untuk mengurangi laju keausan maka permukaan pemandu luncur dikeraskan dengan proses laku panas (heat treatment) maupun proses pengerasan permukaan (case hardening). Dalam beberapa rancangan, pemandu luncur dibuat terpisah dan kemudian disatukan pada rangka dengan sekerup maupun metoda sambungan lainnya.

Berkaitan dengan keausan maka pelumasan adalah penting pada bidang gesek dari pemandu luncur. Di samping cara-cara pelumasan yang konvensional maka kantong-kantong pelumas mikro-skopik yang terbentuk sewaktu proses 'scraping' pemandu luncur berperan penting dalam membantu proses pelumasan yang baik. Usaha lain dalam mengatasi keausan adalah menggunakan rancangan khusus pemandu luncur, misalnya dipakai pada mesin gerinda, yaitu:



Gambar 3. Keausan pada slideways.

f_1 : bagian yang bergerak.

f_2 : bagian yang diam.

Tekanan permukaan: 0,97 MPa;

Kecepatan : 7 m/min.

Keausan setelah : 3048 m.

a. Pemandu luncur dengan 'anti friction bearing'.

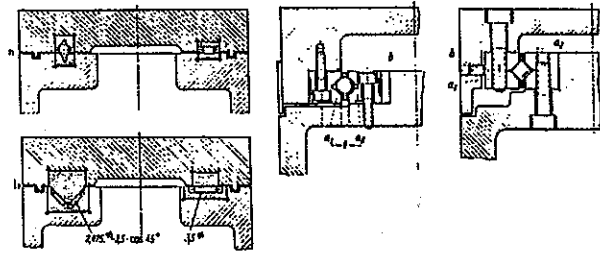
b. Pemandu luncur dengan pelumasan hidrostatik.

Jenis rancangan butir a di atas diperlihatkan dalam gambar 4.

2.3. Sub-struktur Spindel Utama.

Fungsi dari spindel utama adalah memegang dan mengarahkan benda kerja atau perkakas potong sedemikian rupa sehingga sumbu geometrik benda tersebut berimpit dengan sumbu putarnya. Dalam proses pemotongan, spindel utama menerima torsi dan gaya-gaya dari elemen sistem transmisi serta menahan gaya-gaya pemotongan. Berdasarkan fungsi di atas dalam rancangan spindel utama terdapat mekanisme untuk penyenteran (centering) yang biasanya berupa permukaan konus. Pertimbangan atas gaya-gaya yang bekerja menyebabkan spindel utama harus memiliki kekakuan torsi maupun ke-

kakuan lentur baik statik maupun dinamik yang cukup serta mampu menahan tekukan (buckling) seperti pada spindel mesin gurd.



Gambar 4. Rancangan slideways dengan 'anti-friction bearing'.

a. Bantalan rol & peluru.

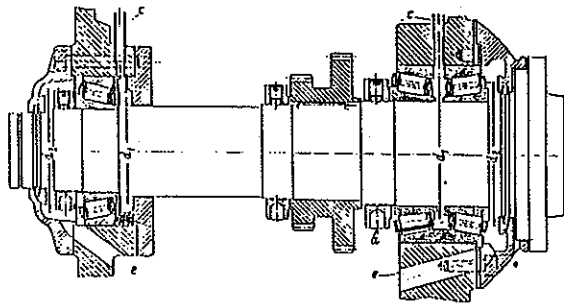
b. Bantalan jarum.

c. Bantalan peluru dan bantalan rol pada sisi luncur.

Spindel utama mesin gerinda bekerja pada putaran yang relatif tinggi sehingga keadaan tidak balans pada sub-struktur ini mengakibatkan gaya 'unbalance' yang besar dan menjadi sumber eksitasi getaran. Keadaan ini mengakibatkan getaran pada mesin gerinda yang bisa merusak benda kerja. Karena itu pada spindel yang bekerja pada putaran tinggi perlu diperhatikan kemungkinan timbulnya gaya centrifugal atau perlu dilakukan proses 'balancing' terhadap spindel tersebut.

Gaya-gaya yang bekerja pada spindel utama diteruskan ke bagian rangka mesin perkakas tersebut. Karena rangka adalah diam sedang spindel utama berputar maka diperlukan bantalan sebagai 'interface' antara kedua sub-struktur ini sehingga masing-masing bisa berfungsi dengan baik. Dengan demikian bantalan dan rancangan rakitannya pada spindel maupun pada rangka sedemikian rupa sehingga menjamin ketelitian benda kerja yang dihasilkan. Mengingat variasi besar maupun arah gaya serta variasi kecepatan putar yang cukup lebar maka bantalan spindel utama adalah bantalan yang berkualitas khusus.

Pemasangan spindel utama beserta bantalan pada rumah spindel juga merupakan masalah rancangan yang tergantung pada jenis mesin perkakas di samping masalah manufacturing yang menyangkut konsentrisitas kedudukan bantalan pada rumah spindel. Dalam keadaan bekerja kenaikan temperatur menyebabkan pemuaian spindel dan keadaan ini mempengaruhi rancangan kedudukan rumah bantalan. Suatu ilustrasi rancangan sub-struktur spindel utama diperlihatkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Sub-struktur spindel utama suatu mesin bubut.

Posisi roda gigi penggerak sejauh mungkin ke kanan supaya kekakuan lentur maupun kekakuan torsinya tinggi. Cincin pengencang *a* untuk mengatur kelonggaran (play) bantalan rol pada kedudukan kanan. Dalam rancangan ini pemuaian spindel hanya mungkin pada arah kiri sehingga tidak mempengaruhi interaksi pahat dengan benda kerja. Pemuaian ini berakibat melonggarnya bantalan rol pada kedudukan kiri namun bisa dicegah oleh pegas *b*.

2.4. Sistem Transmisi Daya.

Dalam suatu mesin perkakas konvensional sistem transmisi dibedakan dalam: sistem transmisi putaran spindel utama dan sistem transmisi gerak makan (gerak insut). Kedua sistem transmisi bisa saling berhubungan seperti pada mesin bubut atau

tidak berhubungan seperti pada kelompok mesin freis. Dalam makalah ini penekanan pada pembahasan singkat beberapa hal pokok sistem transmisi spindel utama.

Pada mesin perkakas produksi, konsep rancangan sistem transmisi ini adalah untuk mencapai kecepatan potong yang optimal sehingga tersedia daerah putaran yang lebar. Kondisi ini bisa menampung interaksi antar parameter pemotongan seperti: material benda kerja maupun pahat, diameter benda kerja, bentuk geometrik pahat potong, kecepatan makan dan dalamnya pemotongan. Dalam hal ini daya motor listrik penggerak membatasi harga berbagai parameter pemotongan tersebut. Untuk memenuhi kondisi pemotongan optimal, secara teoritik mesin perkakas bisa dirancang dengan sistem transmisi tak-bertangga (stepless) tetapi pada umumnya memiliki sistem transmisi bertangga.

Tingkat kenaikan harga putaran yang tersedia dalam suatu sistem transmisi telah distandarkan dan bisa dilihat dalam tabel 1. Di samping masalah kinematikanya, rancangan sistem transmisi ini melibatkan faktor-faktor lain seperti: kekakuan statik maupun dinamik, pelumasan, getaran, kemudahan dalam perakitan dan perawatan, penyetelan posisi setiap komponen rotasi, manufacturing kedudukan-bantalan, maupun pertimbangan ekonomi.

Tabel 1. Standar kecepatan spindel utama menurut DIN-804 dalam keadaan berbeban.

Daerah Umum R 20 ϕ 1.12	Daerah R 20/2 ϕ 1.25	Daerah R 20/3 ϕ 1.4			Daerah R 20/4 ϕ 1.6			Daerah R 20/6 ϕ 2	
100 112 125 140 160	112 140	11.2 16	125	1000 1400	140	112 11.2		1400	
180 200 224 250 280	180 224 280	22.4	180 250	2000 2800	224 280	180 22.4	180		2800
315 355 400 450 500	355 450	31.5 45	355 500	4000	355 450	355 45	355		
560 630 710 800 900	560 710 900	63 90	710	5600 8000	560 900	710 90	710	5600	
1000			1000						

3. KONSTRUKSI MESIN PERKAKAS KONTROL NUMERIK (NC MACHINE TOOLS)

Konsep-konsep dasar tentang rancangan sub-struktur yang telah dikemukakan di atas tetap menjadi pedoman dalam proses pengembangan rancangan konstruksi sampai pada mesin perkakas NC. Seperti dalam bab terdahulu, maka pembahasan singkat konstruksi mesin perkakas NC terbatas pada hal-hal khusus tentang rancangannya.

3.1. Faktor Pendorong Perkembangan Konstruksi Mesin Perkakas.

Faktor dominan pendorong perkembangan konstruksi mesin perkakas adalah penekanan biaya produksi yang kemudian diterjemahkan dalam berbagai aspek dari proses produksi di antaranya adalah aspek penekanan waktu pemotongan dan konsistensi kualitas produk yang dihasilkan. Penekanan waktu pemotongan berarti peningkatan laju pembentukan geram (rate of metal removal) dan waktu 'idle' (misalnya: pergantian perkakas potong, pemasangan benda kerja, perpindahan pahat ke posisi pemotongan, dan lain-lain) ditekan semaksimal mungkin.

Dalam proses pemotongan dengan mesin perkakas konvensional peranan dan keterampilan operator mempengaruhi produktivitas dan ketelitian produk yang dihasilkan. Perkembangan mesin perkakas mengarah pada pengurangan interferensi operator dalam proses produksi sehingga konsistensi kualitas produk bisa dijaga. Dengan demikian beberapa informasi yang menyangkut proses pemotongan dipindahkan (ditransfer) kepada mesin perkakas dan ada pusat sistem kontrol dalam mesin itu yang mengatur semua aktifitas dan tahapan proses pemotongannya. Informasi-informasi tersebut adalah:

- a. Parameter proses pemotongan.
- b. Tahapan-tahapan pengerjaan.
- c. Gerakan berbagai komponen utama (misalnya: perkakas potong, meja, perkakas bantu) dan komponen penunjang (misalnya: peralatan klem-ping, penukar pahat, pembawa benda kerja).
- d. Kompensasi kesalahan berbagai komponen (misalnya: lead screw error compensation, thermal compensation).

Kelengkapan informasi ini, ditunjang lagi oleh adanya sistem monitoring untuk:

- a. Deteksi kerusakan pahat yang berkaitan dengan kelangsungan proses pemotongan.
- b. Spesifikasi geometrik benda kerja yang berkaitan dengan kualitas produk.
- c. Kondisi pelumasan pada slideways dan sistem transmisi.

Penggunaan mesin perkakas dengan ciri seperti di atas mengakibatkan dalam proses pengerjaan suatu produk yang teliti tidak lagi dibutuhkan operator dengan tingkat keterampilan tinggi.

Perkembangan yang pesat dari teknologi elektronik mikro membantu realisasi konsep di atas dalam bentuk mesin perkakas kontrol numerik atau NC yang menggunakan komputer sebagai pusat sistem kontrol dan sistem 'memory' elektronik untuk menyimpan semua informasi serta dibantu oleh sistem 'software' yang menerjemahkan semua perintah dalam bentuk yang dimengerti oleh komputer.

3.2. Tinjauan Khusus Mesin Perkakas Kontrol Numerik.

(1) Sub-struktur Rangka dan Slideways.

Laju pembentukan geram yang tinggi pada mesin perkakas ini mengakibatkan timbulnya gaya pemotongan yang relatif lebih besar daripada mesin perkakas konvensional dan dibatasi oleh daya motor listrik penggerak utama mesin tersebut. Volume geram yang terjadi menimbulkan hal-hal sebagai berikut:

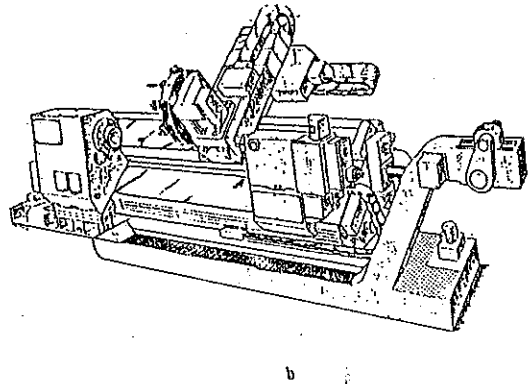
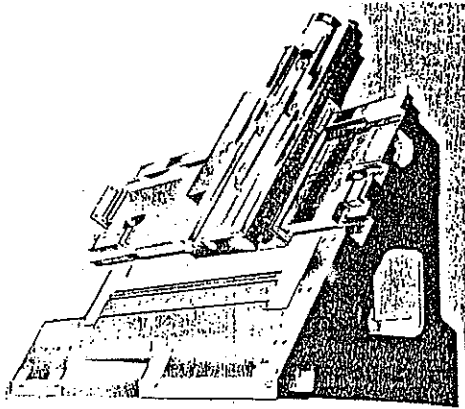
- (a) Geram merupakan sumber panas tersendiri bagi sub-struktur rangka dan distribusi temperatur yang tidak uniform menimbulkan deformasi thermal pada rangka. Untuk menghindari hal ini maka bentuk rangka terutama bed adalah sedemikian rupa sehingga memberi fasilitas sebaik mungkin bagi pembuangan geram.
- (b) Untuk mencegah penumpukan geram yang berlebihan pada bed yang bisa menghambat proses pemotongan, maka transportasi untuk pembuangan geram harus lancar.

Dengan demikian rancangan sub-struktur rangka memenuhi persyaratan yang di antaranya adalah:

- a. Kekakuan statik maupun kekakuan dinamik yang tinggi.
- b. Stabilitas thermal yang baik.
- c. Memiliki sistem conveyer untuk pembuangan geram.

Bentuk dasar sub-struktur ini serupa dengan mesin perkakas konvensional, bagian bed tempat slide-ways dirancang miring (slant-type) untuk kemudahan pembuangan geram tetapi rancangan yang revolusioner adalah posisi tempat pahat (tool post) seperti halnya pada mesin bubut NC dan penyimpanan pahat (tool-storage) pada 'machining center', mesin milling NC.

Rancangan pemandu luncur (slide ways) masih serupa dengan mesin perkakas konvensional hanya gaya-gaya normal yang bekerja pada bidang gesek relatif besar. Untuk memperkecil tegangan tekan pada permukaan maka geometri bidang gesek lebih besar dan rancangan sistem pelumasan yang lebih baik untuk memperkecil gaya gesek maupun rancangan yang menggunakan bantalan rol, peluru maupun hidrostatik. Ilustrasi dari uraian di atas diperlihatkan pada mesin bubut NC seperti dalam gambar 6.



Gambar 6. Rangka mesin bubut NC.

- a. Sub struktur rangka.
- b. Rangka dengan rakitan elemen.

(2) *Sistem transmisi daya dan gerak insut.*

Pemanfaatan kontrol elektronik dalam pengaturan putaran motor listrik menyederhanakan sistem transmisi daya mesin perkakas NC. Tidak lagi terdapat banyak roda gigi dan komponen rotasi dalam head-stock mesin perkakas NC sehingga rancangan spindel utama bisa lebih kompak dan sumber-sumber eksitasi getaran maupun panas yang biasanya berasal dari roda gigi dan bantalan bisa dihilangkan.

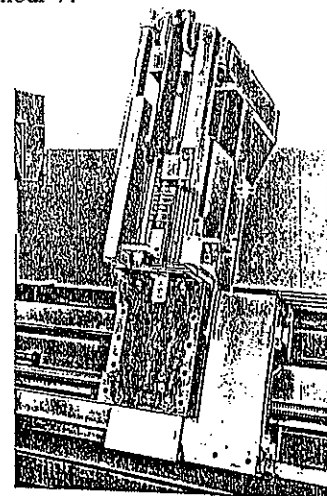
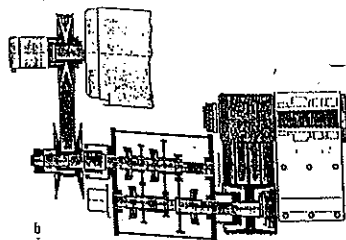
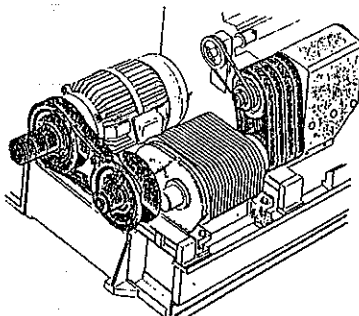
Pengaturan putaran tanpa tangga berlangsung pada motor listrik utama yang termasuk jenis motor listrik arus searah (DC) dan dilengkapi sistem kontrol elektronik SCR (Silicon Controlled Rectifier) atau dengan sistem 'thyristor'. Sistem lain adalah penggunaan 'frequency Converter' untuk mengatur putaran motor listrik arus bolak-balik. Untuk torsi yang besar akibat gaya-pemotongan yang besar masih digunakan pasangan roda gigi dalam bagian sistem transmisi tetapi jumlahnya terbatas serta pemindahan pasangan gigi dengan kopling magnetik. Sistem transmisi dengan kombinasi seperti di atas menghasilkan di antaranya dua sampai tiga daerah putaran yaitu: daerah putaran rendah, medium dan

tinggi yang dipilih dengan otomatis melalui software.

Pada mesin perkakas konvensional umumnya terdapat hubungan transmisi tertentu antara sistem transmisi spindel utama dengan sistem transmisi untuk gerak insut (gerak makan). Realisasi hubungan ini melalui sistem roda gigi. Kombinasi antara pengaturan secara elektronik dan penggunaan motor listrik DC ataupun penggunaan 'Step-motor' mengakibatkan rancangan gerak insut bagian mesin perkakas NC menjadi kompak dan tidak berhubungan secara kinematik dengan sistem transmisi spindel utama.

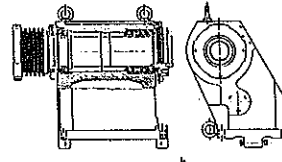
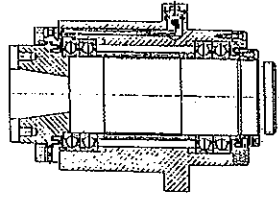
Konversi gerak rotasi menjadi gerak insut yang linier dengan menggunakan 'leadscrew'. Dalam mesin perkakas NC usaha penekanan waktu tanpa pemotongan (idle) pada elemen gerak insut adalah dengan penggunaan kecepatan linier yang tinggi (rapid movement). Untuk memperkecil kehilangan daya maupun gaya gesek maka lead screw dilengkapi dengan 'ball-screw'.

Sistem transmisi daya dan gerak insut diperlihatkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Penggerak utama, Carriage dan Cross slide pada mesin bubut NC.

- a & b. Sistem transmisi poros spindel.
- c. Elemen yang bergerak insut linier.



Gambar 8. Rancangan spindel utama dan bantalan.

- a. Untuk machining-centre.
- b. Untuk mesin bubut NC.

(3) *Spindel utama dan bantalannya.*

Rancangan sistem transmisi putaran yang kompak dengan pengaturan pada motor listrik penggerak mengakibatkan umumnya rancangan sub-struktur spindel utama mesin perkakas NC tidak terdapat roda gigi lagi sehingga kekakuan statik maupun dinamikanya menjadi tinggi. Gaya pemotongan yang terlibat umumnya besar, demikian pula dengan gaya aksial maupun radial dan gaya-gaya ini ditahan oleh sistem bantalan pada spindel utama. Gambar 8 memperlihatkan sistem bantalan untuk spindel utama mesin perkakas NC.

Rancangan dalam gambar 8.a. adalah sub-struktur spindel utama untuk machining-centre yang spesifikasi utamanya adalah: daerah putaran dari 40 sampai 3500 rpm, daya 25 kW, konsentrisitas dan 'run-out' aksial lebih kecil dari $2\ \mu\text{m}$. 'Angular contact ball bearing' yang digunakan pada rancangan ini untuk menahan gaya potong radial yang terjadi pada waktu side-cutting maupun face-cutting, di samping juga menahan gaya potong aksial yang terjadi pada waktu proses 'boring'.

Rancangan dalam gambar 8.b., tumpuan kiri menggunakan bantalan roll untuk menahan gaya radial yang berasal dari V-belt pada puli sedang gaya potong utama dalam arah radial dan gaya aksial untuk pemakanan ditahan oleh 'angular-contact ball bearing' pada tumpuan kanan. Spesifikasi rancangan ini adalah: daya 25 kW, daerah putaran 100 sampai 4800 rpm. Dalam rancangan di atas sistem pelumasan bantalan cukup penting, sehingga bisa dicegah terjadinya temperatur bantalan yang berlebih, misalnya dengan teknik pelumasan semprot.

3.3. Kaitan Sistem Pengaturan dengan Rancangan Elemen.

Secara global mesin perkakas NC merupakan suatu sistem pengaturan yang kompleks, melibatkan berbagai elemen di antaranya: tail stock, carriage, tool-post, cross-slide, meja, pengganti pahat, serta ditunjang oleh sistem elektro-hidraulik maupun elektro-mekanik secara intensif. Pertimbangan dari rancangan elemennya adalah berupa kekakuan statik maupun dinamik yang tinggi serta ringan sehingga nisbah kekakuan dengan berat adalah tinggi dan

demikian pula halnya dengan respon dinamikanya. Dalam proses pemotongan, beberapa elemen mengalami tingkat percepatan ataupun perlambatan yang tinggi sehingga terjadi gaya dinamik yang besar dan untuk mengimbangkan keadaan ini maka sistem pengaturan harus memiliki respon frekuensi maupun stabilitas yang baik.

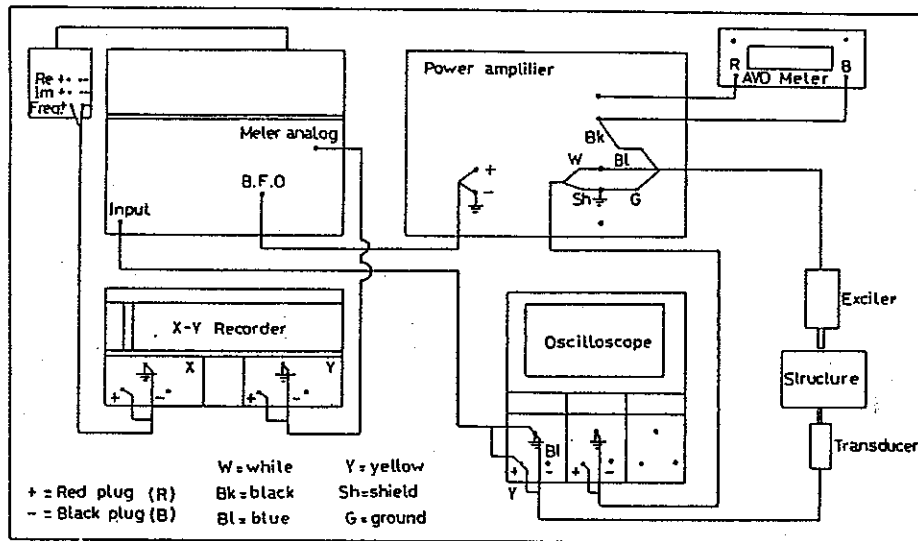
4. PENELITIAN BIDANG KONSTRUKSI MESIN PERKAKAS.

Uraian secara global di atas memperlihatkan wawasan penelitian yang bisa dilakukan pada bidang konstruksi mesin perkakas. Suatu bentuk penelitian pada umumnya melibatkan dana yang relatif besar dan waktu yang lama, demikian pula halnya pada bidang mesin perkakas. Salah satu usaha untuk mengatasinya adalah dengan kerja sama yang baik antara Perguruan Tinggi sebagai salah satu wadah untuk kegiatan penelitian dengan industri pembuat mesin perkakas.

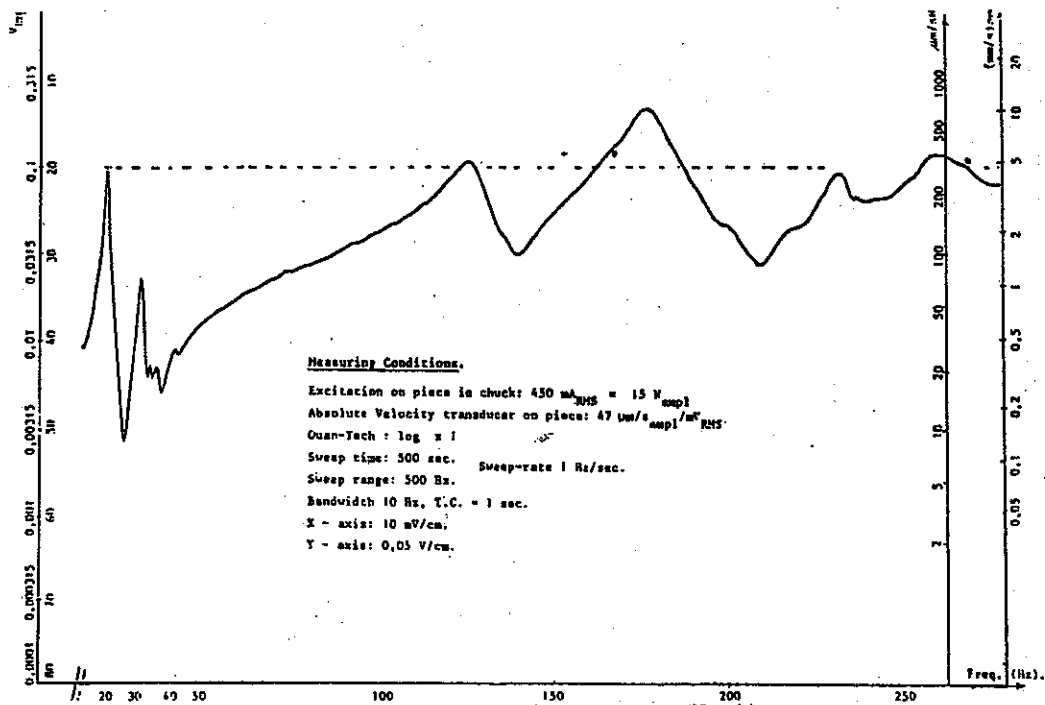
Sehubungan dengan ini Laboratorium Teknik Produksi, Jurusan Teknik Mesin-ITB, sebagai salah satu laboratorium penelitian dalam bidang mesin perkakas, dengan berbagai keterbatasannya, telah mengadakan kaji eksperimental maupun teoritik pada bidang tersebut.

4.1. Tinjauan Kaji Eksperimental Perilaku Dinamik Mesin Perkakas.

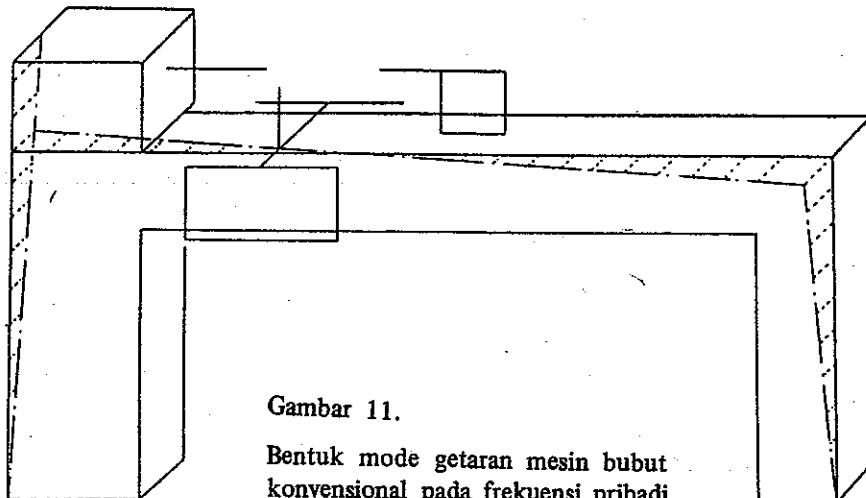
Pengkajian dinamika mesin perkakas di Laboratorium Teknik Produksi pertama kali dikerjakan oleh B. Oedy Promoedyo dalam tahun 1977. Dengan perangkat instrumentasi analog dilakukan eksitasi harmonik terhadap mesin bubut maupun mesin freis konvensional sehingga fungsi transfer dan parameter dinamik mesin perkakas tersebut bisa diketahui. Dari fungsi transfer ini bisa diketahui frekuensi-frekuensi pribadi (natural-frequency) dan dengan menggetarkan mesin perkakas itu pada salah satu frekuensi pribadinya maka mode getarannya bisa diketahui (modal Analysis). Blok skema perangkat pengujian dan hasil kaji eksperimental diperlihatkan dalam gambar 9, 10 dan 11.



Gambar 9. Blok skema peralatan analog eksitasi harmonik.



Gambar 10. Fungsi transfer mesin bubut konvensional.



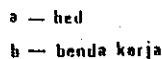
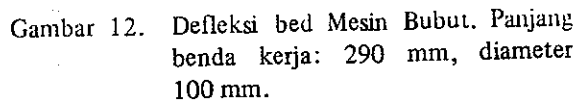
Gambar 11.

Bentuk mode getaran mesin bubut konvensional pada frekuensi pribadi 32 Hz.

Teknik Produksi dikembangkan pula program komputer untuk analisa statik struktur mesin perkakas. Analisa struktur ini menggunakan metoda kekakuan (Stiffness method) untuk mengetahui defleksi pada elemen kritis mesin perkakas yang mempengaruhi ketelitian benda kerja yang dihasilkan. Penggunaan program komputer ini memungkinkan mensimulasi defleksi pada elemen kritis mesin perkakas untuk berbagai gaya pemotongan.

Ilustrasi hasil yang diperoleh dari analisa struktur ini diperlihatkan dalam gambar 12. Analisa struktur dilakukan pada mesin bubut yang spesifikasinya: daya 3,2 kW, putaran spindel 40-2500 rpm. Kondisi pemotongan kasar adalah: gerak makan = 0,4 mm/putaran, dalamnya pemotongan = 2,2 mm dan pahat potong adalah Carbide P.25. Gaya pemotongan utama = 1707 N, aksial = 597,45 N, radial = 512,1 N dan daya pemotongan yang besarnya diperkirakan: 1,6 kW. Defleksi bed dalam arah Z = 75 μ m dan arah y = 13 μ m. Di samping itu baik tool-post maupun benda kerja juga mengalami defleksi sehingga terjadi kesalahan ukuran diameter sebesar: 42 μ m seperti terlihat dalam gambar 13.

Selaras dengan perkembangan teknik komputasi dan analisa numerik maka di Laboratorium



11

4.3. Prototyping.

Di samping aktifitas penelitian di atas, berdasarkan hasil-hasil kaji eksperimental maupun teoritik yang dikemukakan di atas, maka dilakukan pula kegiatan pembuatan prototype di antaranya:

- a. Prototype mesin gurdi bangku.
- b. Prototype batang bor berperedam dinamik.
- c. Prototype mesin gurdi dari beton epoksi.

Aktifitas ini melibatkan aspek manufacturing, uji ketelitian geometrik, analisa dinamik dan simulasi dengan komputer.

5. KESIMPULAN DAN SARAN.

Berdasarkan pembahasan singkat di atas bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Bahwa mesin perkakas secara umum merupakan induk dari mesin-mesin yang ada.
- b. Bahwa kualitas produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh ketelitian mesin perkakas yang digunakan dalam proses produksi.
- c. Bahwa perkembangan mesin perkakas menuntut rancangan yang memiliki kekakuan statik, kekakuan dinamik yang tinggi serta stabilitas thermal yang baik. Khusus pada mesin perkakas NC di samping persyaratan di atas dibutuhkan lagi respons-dinamik yang baik.

Beberapa saran bisa dikemukakan sebagai berikut:

- a. Dalam rangka menunjang pemerintah untuk program industrialisasi maka penguasaan teknologi mesin perkakas yang menjadi tulang punggung kegiatan manufacturing dan proses produksi segera dilaksanakan sedini mungkin, sehingga alih teknologi dalam bidang ini bisa dipercepat.
- b. Perlu adanya koordinasi dan kerja sama yang baik antara Perguruan Tinggi yang mengembangkan penelitian mesin perkakas dengan kelompok industri mesin perkakas serta lembaga penelitian lainnya yang bergerak dalam bidang ini. Hal ini dimaksudkan untuk optimalisasi penggunaan potensi daya manusia, sarana maupun dana sehingga dicapai program-program penelitian yang terarah dengan hasil maksimal serta menghindari tumpang tindih antar kegiatan dalam bidang mesin perkakas.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. F. Koenigsberger, 'Design Principles of Metal-Cutting Machine Tools', A Pergamon Press Book, 1964.
2. UMIST, Machine Tool Eng. Division, 'Specifications and Tests of Metal Cutting Machine Tools', Vol. 1 & 2, Proceeding of the Conference, February 19, 20th, 1970.
3. B. Oedy Pramoedyo, 'Dynamic Analysis of Machine Tools', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1977.
4. Tri Muhatta Kartodirdjo, 'Pengukuran Kebisingan dan Penggunaannya sebagai suatu Metoda Analisa Kerusakan dari sebuah Mesin Bubut', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1980.
5. Wien Hermantio, 'Analisa Kebisingan Secara Digital dan Penggunaannya Untuk Mengetahui Kerusakan Komponen Rotasi dari sebuah Mesin Bubut', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1982.
6. Agus Suhartono, 'Analisa Kebisingan Dengan Teknik Koherensi untuk mendeteksi Kerusakan Rumah Transmisi Mesin Bubut', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1984.
7. Bambang Utomo, 'Pengujian Statik dan Dinamik Prototipe Mesin Gurdi Bangku Beton Epoksi', Lap. Kerja Praktek di Lab. Teknik Produksi, Jur. Mesin-ITB, 1983.
8. Bambang Utomo, 'Optimasi Perencanaan Peredam Dinamik untuk Batang Koter dengan Simulasi pada Komputer Digital', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1984.
9. Kurner Sianipar, 'Penerapan Metoda Kekakuan Pada Analisa Statik Struktur Mesin Frais Dengan Menggunakan Bantuan Komputer', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1984.
10. Zainal Abidin, 'Pengembangan Program Komputer Dalam Analisa Sub-struktur dengan Metoda Matriks Kekakuan dan Penerapannya pada Struktur Mesin Bubut', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1984.
11. Hono Suhartono, 'Pengaruh Penambahan Komponen Rotasi Terhadap Perilaku Dinamik Mesin Gurdi Bangku', Tugas Sarjana, Jur. Mesin-ITB, 1985.
12. Prof. J. Peters: 'Inleiding tot de Numerieke Besturing van Gereedschaps Werktuigen', K.U. Leuven, Belgie, 1979.

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@