

Pengaruh Aspek Desain *Leadscrew* Sebagai Komponen Mekanisme Gerak Modular Terhadap *Surface Finish* Produk Pemotongan

Susilo Adi Widyanto^{1, a *}, Achmad Widodo^{2, b} dan Sri Nugroho^{3, c}

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

^asusilo70@yahoo.com, ^bawid@undip.ac.id, ^csrinugroho@undip.ac.id

Abstrak

Leadscrew merupakan salah satu komponen gerak dalam mekanisme gerak sumbu mesin perkakas yang berfungsi untuk mengubah putaran motor menjadi gerak linier sistem *mover*. Paper ini membahas pengaruh aspek desain diameter minor *leadscrew*, arah gerakan *mover* dan posisi *mover* dalam mekanisme gerak modular terhadap kondisi permukaan produk pemotongan. Mekanisme sumbu gerak disusun dari dua batang baja silindris berdiameter 25 mm sebagai *slideway* dengan sistem *mover* yang menggunakan *ball bearing*. *Leadscrew* menggunakan ulir segitiga yang umum di pasaran. Sistem bantalan *leadscrew* menggunakan *double taper bearing* yang disusun secara *fixed-free*. Uji pemotongan dilakukan dengan mekanisme sumbu gerak tunggal yang dibautkan pada meja mesin *milling* konvensional. Gerakan pemakanan dilakukan secara independen dengan *stepping motor*, sedangkan gerak pemotongan dihasilkan oleh putaran spindel mesin *milling*. Benda kerja berupa bahan paduan aluminium (duralumin) dengan kecepatan potong konstan, yaitu 20 m/menit, kedalaman potong 0,7 mm dan kecepatan makan 60 mm/menit. Proses pemotongan dilakukan dalam kondisi kering tanpa cairan pendingin. Hasil pengujian pemotongan menunjukkan bahwa diameter minor *leadscrew* berpengaruh. Pada saat pemotongan, arah putaran *leadscrew* menentukan kondisi pembebanan aksial *leadscrew* yang berupa tekan atau tarik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembebanan tekan pada *leadscrew* menghasilkan kondisi permukaan yang lebih kasar dibandingkan hasil pembebanan tarik *leadscrew*.

Kata kunci: *Leadscrew*, Diameter minor *leadscrew*, Kekakuan aksial, Pembebanan *leadscrew*, Mekanisme gerak modular

Pendahuluan

Dari perhitungan ongkos produksinya, 80% harga mesin perkakas ditentukan oleh ongkos produksi struktur mekaniknya [1]. Dengan memodifikasi bahan yang mudah diperoleh dan mudah dibuat akan mampu menurunkan ongkos produksi mesin perkakas CNC secara signifikan.

Beberapa bahan lain telah diteliti dalam penggunaannya sebagai struktur utama mesin perkakas, antara lain menggunakan Epoxy Concrete [2], *steel-fiber Polymer Concrete* (SFPC) [3], *reinforced composite* [4]. Pada sisi lain kekakuan struktur mesin perkakas dapat diperbaiki dengan optimasi geometri yang diperoleh dengan analisis kekakuan statik dan dinamik struktur mesin dengan FEM [5,6], konsep analisis nodal untuk memperoleh modulus frekuensi getar yang terjadi pada saat mesin dioperasikan [7].

Penelitian tentang konsep internal *damping device* untuk meredam getaran mesin perkakas juga telah dilakukan. Metode tersebut menggunakan suatu internal beam yang dilingkupi cairan yang diletakkan di dalam struktur mesin

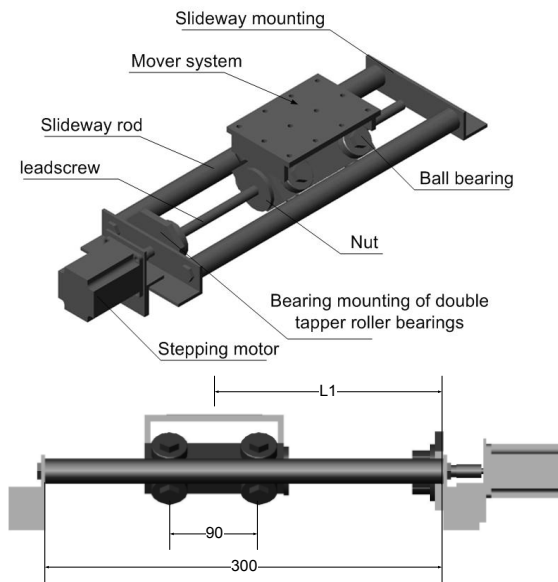
[8]. Sedangkan penelitian lainnya menggunakan *balls packing* untuk meningkatkan kapasitas peredaman struktur mesin perkakas [9].

Penggunaan komponen modular dalam struktur mesin perkakas juga merupakan salah satu cara untuk menurunkan ongkos produksi mesin perkakas. Paper ini mengusulkan pengembangan struktur mekanis mesin perkakas untuk gaya pemotongan rendah dengan menggunakan komponen modular seperti baja poros, poros ulir dan bantalan bola sebagai komponen pengganti konstruksi *slideway* konvensional. Penelitian difokuskan untuk mengamati pengaruh aspek desain *leadscrew* pada kondisi permukaan produk pemotongan.

Metodologi

Penelitian diawali dengan proses rancang bangun mekanisme gerak tunggal yang menggunakan komponen-komponen modular. *Slideway* menggunakan batang baja poros berdiameter 25 mm yang dtumpu pada kedua ujungnya dengan sambungan baut. Sistem *mover* menggunakan 8 buah *ball bearing* sebagai elemen

berputar yang bergerak relatif terhadap *slideway*. *Ball bearing* diposisikan dalam formasi V terhadap poros *slideway* pada sisi kiri dan kanan sehingga gaya kontakannya terhadap *slideway* dapat diatur dengan mengatur jarak kesejajaran antar *slideway*. Desain mekanisme gerak tunggal seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



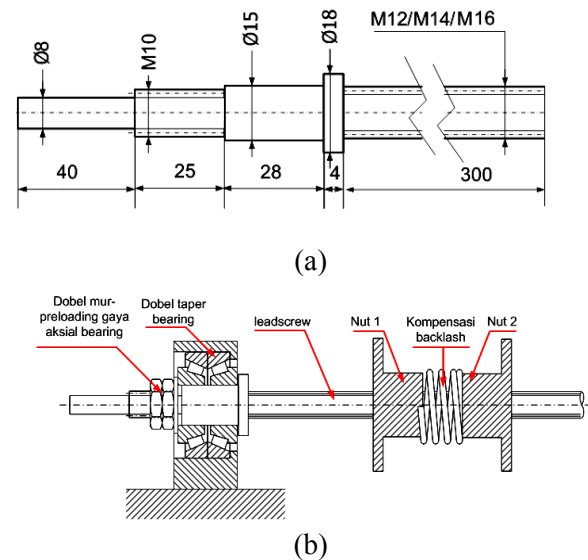
Gambar 1. Mekanisme gerak tunggal yang menggunakan *ball bearing* sebagai elemen gerak sistem *mover*.

Tabel 1. Spesifikasi *Linear Bearing* dan *Ball Bearing* yang Digunakan Dalam Mekanisme Gerak

	Linear bearing	Ball bearing
Basic dynamic load rating	1070 N	4200 N
Basic static load rating	1670	9700 N
Toleransi lubang poros	+11	-1

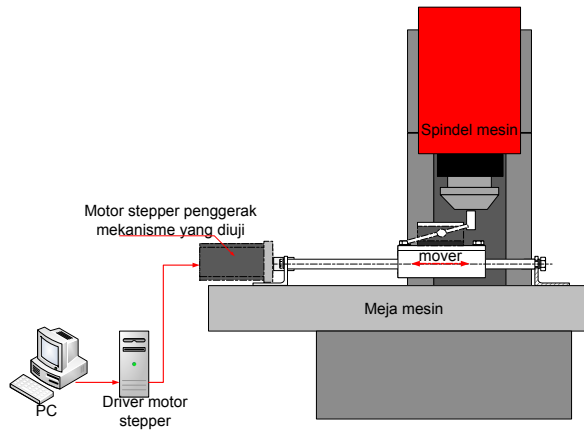
Dalam fungsinya sebagai sistem penggerak mesin perkakas, *leadscrew* menerima beban tarik atau tekan tergantung pada arah pemotongan. Dengan demikian kekakuan komponen *leadscrew* berpengaruh pada akurasi dimensi produk pemotongan. Untuk mengamati pengaruh dimensi *leadscrew* (diameter ulir dengan jenis ulir segitiga), diameter *leadscrew* divariasikan berdasarkan dimensi ulir yang digunakan. Ulir *leadscrew* yang digunakan meliputi: M12, M14 dan M16. Dimensi *leadscrew* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2a. Sistem dukungan bantalan *leadscrew fixed-free* dengan menggunakan dua bantalan taper (*taper roller bearing*, tipe 30202). Untuk mengatur kekakuan aksial sambungan

bearing, sistem *preloading* dibuat dengan menggunakan *double nut* seperti ditunjukkan dalam Gambar 2b. Sedangkan nut menggunakan bahan kuningan yang dibuat dengan proses *taping* yang diikat dengan 4 buah baut M5 dengan sistem *mover*.



Gambar 2. a. Dimensi *leadscrew*, b. Sistem bantalan *fixed-free* yang digunakan dalam pemasangan *leadscrew*.

Setelah dilakukan pengujian ketelitian berdasarkan standar Schlesinger [10], uji pemotongan dilakukan dengan menggunakan mekanisme gerak tunggal yang telah dirancang bangun. Mekanisme gerak diletakkan pada mesin mesin *milling* manual dengan sambungan baut. Proses pemotongan dilakukan dengan memanfaatkan gerak potong spindel mesin *milling*, sedangkan gerak makan diatur secara independen dengan menggunakan *stepping motor* yang dikendalikan oleh perangkat computer. Benda kerja yang digunakan adalah paduan aluminium (*duralumin*) dengan kecepatan potong dan kecepatan makan ditetapkan masing-masing 20 m/min dan 60 mm/min. Kedalaman potong diatur pada 0,7 mm. Setup pengujian pemotongan seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Set-up uji pemotongan.

Hasil Dan Pembahasan

Dalam teknik pemotongan, gerak pemotongan terjadi akibat gerakan relatif pahat terhadap benda kerja. Pada proses *milling* gerak pemotongan dilakukan oleh putaran pahat, sedangkan gerak makan dihasilkan oleh gerakan sistem *mover* (konstruksi dudukan meja mesin) yang terjadi akibat putaran *leadscrew*. Mengacu pada arah gerakan sistem *mover*, *leadscrew* mengalami beban tarik atau beban tekan, sedangkan posisi relatif *mover* terhadap sistem dudukan bantalan (*bearing mounting*) *leadscrew* mempengaruhi tingkat kekakuan aksial *leadscrew* ybs. Untuk model dudukan *bearing fixed-free*, formulasi empiris yang menggambarkan kondisi kekakuan aksial *leadscrew* dinyatakan dalam Persamaan 1[11].

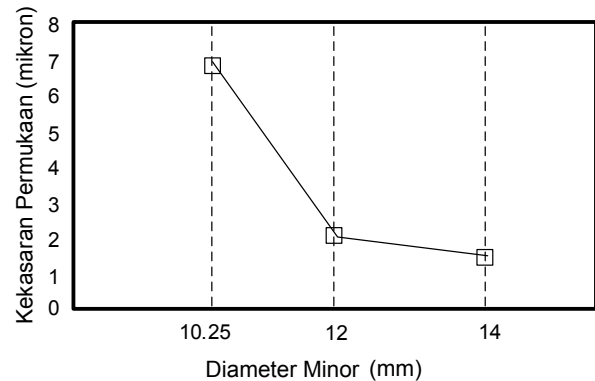
$$Ks = \frac{A.E}{1000.L} \quad (1)$$

dimana, A adalah diameter minor *leadscrew*, (mm^2), E modulus Young ($2,06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$), L posisi sistem *mover* terhadap dudukan bantalan (mm).

Adanya korelasi langsung antara gaya aksial *leadscrew* dengan gaya pemakanan, gaya dinamik proses *milling* menyebabkan siklus defleksi pada *leadscrew*. Sekalipun dari analisis gerakan dominan kekasaran permukaan produk dipengaruhi oleh fluktuasi gaya aksial pemotongan, tetapi siklus pembebanan *leadscrew* juga berpengaruh pada kondisi permukaan produk pemotongan.

Korelasi antara kekasaran permukaan produk pemotongan dengan diameter minor *leadscrew* yang mewakili kondisi kekakuannya ditunjukkan dalam Gambar 4. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar diameter *leadscrew* semakin halus permukaan pemotongan yang dihasilkan. Namun berapa besar pengaruh diameter *leadscrew* pada kekasaran permukaan

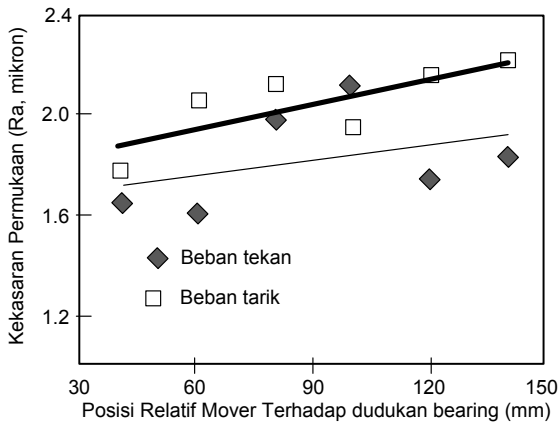
belum tergambar dengan jelas. Kekasaran permukaan produk pemotongan merupakan dampak gabungan dari komponen-komponen di dalam mekanisme gerak. Dari hasil analisis dampak kekakuan masing-masing komponennya, pengaruh terbesar terhadap kondisi permukaan produk pemotongan berasal dari kondisi kekakuan *slideway*. Dalam mekanisme gerak yang diteliti, *slideway* terbuat dari batang baja silindris (diameter 25 mm) yang ditumpu pada kedua ujungnya.



Gambar 4. Hubungan kekasaran permukaan dengan diameter minor *leadscrew* ($a = 0,7 \text{ mm}$, posisi relatif pahat dengan dudukan poros pembimbing 130/170 mm, pembebanan tekan) [12].

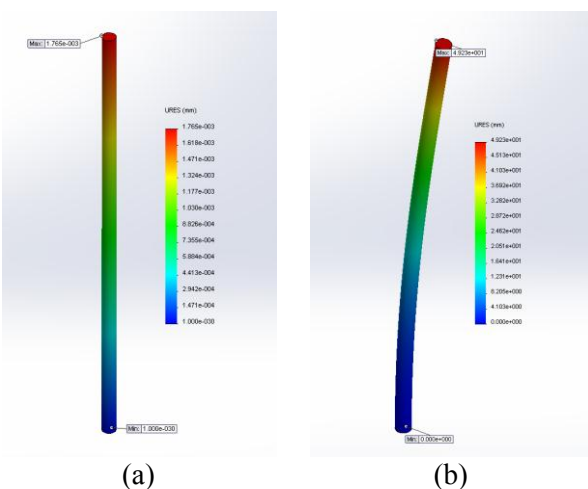
Pada saat pemotongan berlangsung, *leadscrew* dibebani gaya tarik atau tekan tergantung pada arah pemotongannya. Besar gaya tersebut sama dengan gaya pemakanan ditambah gaya gesek kinetik untuk menggerakkan sistem *mover*. Pengaruh arah gaya pembebanan *leadscrew* pada kualitas permukaan produk pemotongan ditunjukkan dalam Gambar 5 yang menjelaskan bahwa permukaan produk pada kondisi *leadscrew* dikenai beban tekan cenderung lebih kasar dibandingkan pada kondisi *leadscrew* terkena beban tarik.

Slope peningkatan kekasaran permukaan produk sebagai fungsi posisi *mover* baik untuk hasil pembebanan tarik maupun tekan pada *leadscrew* menunjukkan pengaruh defleksi *slideway* akibat gaya potong aksial (searah sumbu z).



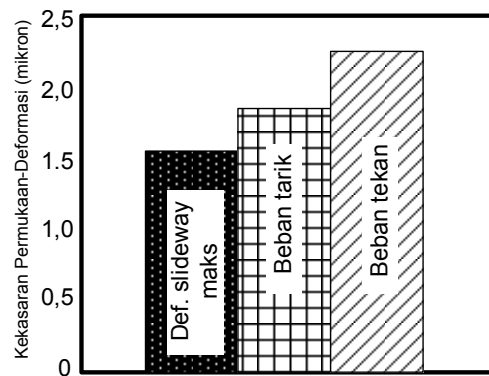
Gambar 5. Kondisi kekasaran permukaan pada kondisi *leadscrew* terkena beban tarik dan beban tekan (diamater minor *leadscrew* = 12 mm)

Bila dikenai beban tekan, *leadscrew* mengalami fenomena *buckling* yang besarnya tergantung pada posisi tumpuan terhadap titik beban. Untuk beban yang sama (tetapi arahnya berbeda sehingga menghasilkan gaya tarik dan tekan), simpangan yang dihasilkan karena fenomena *buckling* lebih besar dibandingkan deformasi yang terjadi akibat beban tarik seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Hal tersebut menjelaskan bahwa kekakuan aksial akibat beban tarik lebih tinggi daripada beban tekan yang menyebabkan kondisi *buckling*. Bila diterapkan pada mekanisme gerak mesin perkakas fenomena tersebut dapat menjelaskan mengapa pengaruh pembebanan tekan pada *leadscrew* mengakibatkan permukaan produk yang lebih kasar dibandingkan pembebanan tarik.



Gambar 6. Pemodelan Simpangan yang terjadi pada batang baja ST-37 a. Akibat beban tarik 12 kg, simpangan maksimum $1,77 \times 10^{-3}$ mm, b. Akibat beban tekan 12 kg, simpangan maksimum 0,492 mm.

Bila kondisi kekasaran permukaan produk pada posisi relatif *mover* terhadap dudukan bearing adalah 130/70 dibandingkan dengan defleksi *slideway* yang terjadi, maka kekasaran produk yang dihasilkan oleh pembebanan *leadscrew* baik berupa beban tarik maupun tekan lebih besar daripada defleksi *slideway* (Gambar 7). Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi kekasaran permukaan produk tidak semata-mata hanya ditentukan oleh aspek desain *leadscrew*, tetapi beberapa faktor lain turut menentukan yang dinyatakan dalam aspek kekakuan dan kemampuan peredaman struktur mekanisme gerak.



Gambar 7. Perbandingan kekasaran permukaan produk pemotongan akibat gaya pembebanan *leadscrew* dan simulasi defleksi *slideway* akibat beban aksial gaya pemotongan (sumbu z) pada parameter pemotongan yang ditentukan (6,7 kg).

Kesimpulan

Semakin kecil diameter minor *leadscrew* kekakuan aksialnya semakin menurun yang berdampak pada peningkatan kekasaran produk pemotongan, Pada saat pemotongan arah putaran *leadscrew* menentukan kondisi pembebanan aksial *leadscrew* yang berupa tekan atau tarik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembebanan tekan pada *leadscrew* menghasilkan kondisi permukaan yang lebih kasar dibandingkan pembebanan tarik *leadscrew*.

Pustaka

- [1] E. Kushnir, T. Sheehan, Development of machine tool structure at the early stages of design process, Proceeding of ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition November. (2003) 15-21.
- [2] K.P. Roysarkar, Banerjee, Designing Machine Tool Structures With Epoxy Concrete, Buletin of Rapid prototyping and tolling group of Central Mechanical

- Engineering Research Institute, Durgapur-713, 2003, pp. 209.
- [3] X. Ping, Y.U.Y. Hua, Research on steel-fiber polymer concrete machine tool structure, *J. of Coal and Engineering*, 14(4), 2008, pp. 689-692.
- [4] D.G. Lee, J.G. Suh, H.S. Kim, J.M. Kim, Design and manufacture of composite high speed machine tool structures, *Composites Science and Technology*. 64 (2004) 1523–1530.
- [5] M. Nakaminami, T. Tokuma, K. Matsumoto, S. Sakashita, T. Moriwaki, K. Nakamoto, Optimal Structure Design Methodology for Compound Multiaxis Machine Tools, *Int. J. of Automation Technology*. 1/2 (2007) 87.
- [6] P. Koci, Assessment of machine tool dynamic properties. *Acta Montanistica Slovaca*. 8/4 (2003).
- [7] A. Harms, Increasing the dynamic stiffness of Machine tools by means of Modal Analysis, *Proceeding of Machine Tool Construction Conference 23th March 2006, Munich, Germany, (2006)*.
- [8] H.S. Alexander, R.M. Eric, H.S. Douglas, A new damper design for machine tool structures: the replicated internal viscous damper, *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2003*.
- [9] W. Yasunori, H. Masatoshi, M. Etsuo, The damping capacity improvement of machine tool structures by balls packing, *Int. J. of Machine tools and Manufacture*, 44 (2004) 1527-1536.
- [10] G. Schlesinger, *Testing Machine Tools*, Pergamon Press in Oxford [Eng.], New York, 1978.
- [11] THK, *Linear Motion System Catalog*, 100-1AE.
- [12] S.A. Widyanto, A. Widodo, S. Nugroho, Surface Roughness Identification of Cutting Product on Design Aspect Variation of Modular Axis Mechanism, *Proceeding 5th International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering (ICME2014), October 2014, Bandung, Indonesia, (2014)*