

Analysis of Frame Structure a Moving Gantry type NC Router Machine for Wood Carving

Rachmad Hartono¹, Sugiharto^{2,*}, dan Bukti Tarigan²

¹Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik, Universitas Pasundan – Bandung -Jawa Barat

*Corresponding author: sugih.sugiharto@unpas.ac.id

Abstract. Generally, wood-carving is still done manually so the low productivity and product quality is highly dependent on the skill of craftsmen maker. To improve the productivity and uniformity of the quality produced can be done using an auxiliary machine tool, one of the machines is a NC router machine. A router machine is a machine used to make wood carvings on a flat surface area where the cutting tool rotation mechanism is carried out by an electric motor drive system. The router machine model consists of two types of conventional and an automatic router machine. The difference of the two types of these machines is a motion control system of the cutting tools. This paper will discuss the process of analysis the frame structure of a router machine for wood carving of automatic type gantry. The results of analysis structure design has a maximum deflection of 22 μm and a personal frequency of 118 Hz with an amplitude of 1.6 mm.

Abstrak. Umumnya pembuatan ukiran kayu masih dilakukan secara manual sehingga produktivitas rendah dan kualitas produk sangat tergantung dari keahlian pengrajin pembuatnya. Untuk meningkatkan produktivitas dan keseragaman kualitas yang dihasilkan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin perkakas bantu, salah satu mesin tersebut adalah mesin *router*. Mesin *router* adalah mesin yang digunakan untuk membuat ukiran kayu pada bidang permukaan datar dimana mekanisme perputaran pahat dilakukan oleh sebuah sistem penggerak motor listrik. Model mesin *router* terdiri dari dua jenis yaitu mesin *router* konvensional dan mesin *router* otomatis. Perbedaan dari dua jenis mesin tersebut adalah pada sistem pengendalian gerak pahatnya. Pada paper ini akan dibahas proses analisis struktur rangka mesin *router* untuk ukiran kayu model otomatis jenis *moving gantry*. Hasil analisis struktur rangka memiliki defleksi maksimum 22 μm dan frekuensi pribadi sebesar 118 Hz dengan amplitudo sebesar 1.6 mm.

Keywords: router NC, moving gantry, ukiran kayu

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

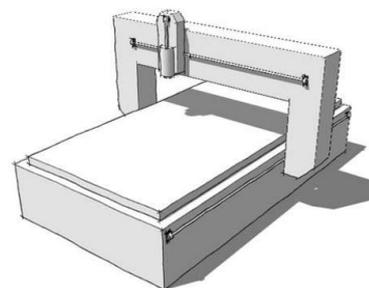
Pendahuluan

Mesin CNC mulai dikembangkan oleh John T. Parsons pada dekade tahun 1940-1950 [1,2]. Mesin dengan sistem kendali numerik ini dapat membuat suatu produk secara otomatis. Sistem kendali digunakan dalam pengendalian gerak pahat pemotong sesuai dengan gerakan pemotongan yang diinginkan.

Pada tahun 1970 an mulai dikembangkan NC sistem pada mesin CNC [3], dimana mesin dilengkapi mini komputer yang terintegrasi dengan mesin. Tiap perintah gerakan mesin tersimpan pada unit *microcontroller* yang sebelumnya dibuat dalam bentuk PLC (*Programmable Logic Controller*).

Konfigurasi mesin *router* terdiri dari beberapa jenis yaitu (1) *X-Y table*, (2) *cantilevered*, (3) *moving table*, (4) *Moving gantry*, (5) *pendulum*, (6) *5-axis*, dan (7) *industrial robot fitted with a spindle router* [1]. Pada konfigurasi mesin *router X-Y table* pengendalian dilakukan pada posisi meja dimana benda kerja disimpan. Meja penyimpan benda kerja dapat bergerak dalam arah x dan y.

Pada konfigurasi mesin *router* jenis *cantilever*, pengendalian dilakukan pada posisi pisau/pahat pemotong, pahat disimpan pada ujung *cantilever* yang dapat bergerak pada sumbu x dan y menuntun gerakan pisau/pahat pemotong.



Gambar 1. Konfigurasi mesin *router* NC jenis *moving gantry*

Pada konfigurasi mesin *router* jenis *moving table* pahat dapat bergerak pada sumbu y pada gantri dan meja dapat bergerak pada sumbu y.

Pada konfigurasi mesin *router* jenis *moving gantry* pisau/pahat pemotong dapat beregerak pada sumbu x dibatang gantri sedangkan gantri tempat pahat/pisau ditempatkan dapat bergerak pada

sumbu y. Konfigurasi mesin router jenis *pendulum* atau *dual table* router adalah konfigurasi yang digunakan untuk meningkatkan volume pemotongan. Pisau/pahat pemotong ditempatkan pada gantri dan dapat bergerak pada sumbu x dan meja dapat bergerak pada sumbu y. Konfigurasi mesin router jenis *5-axis* adalah jenis yang sudah cukup modern dimana pahat dapat bergerak pada 5 sumbu gerakan yang diinginkan. Konfigurasi yang terakhir adalah konfigurasi mesin router dimana pahat dapat bergerak pada 6 sumbu (*6-axis*). Mesin jenis ini dikenal dengan konfigurasi jenis *industrial robot*.

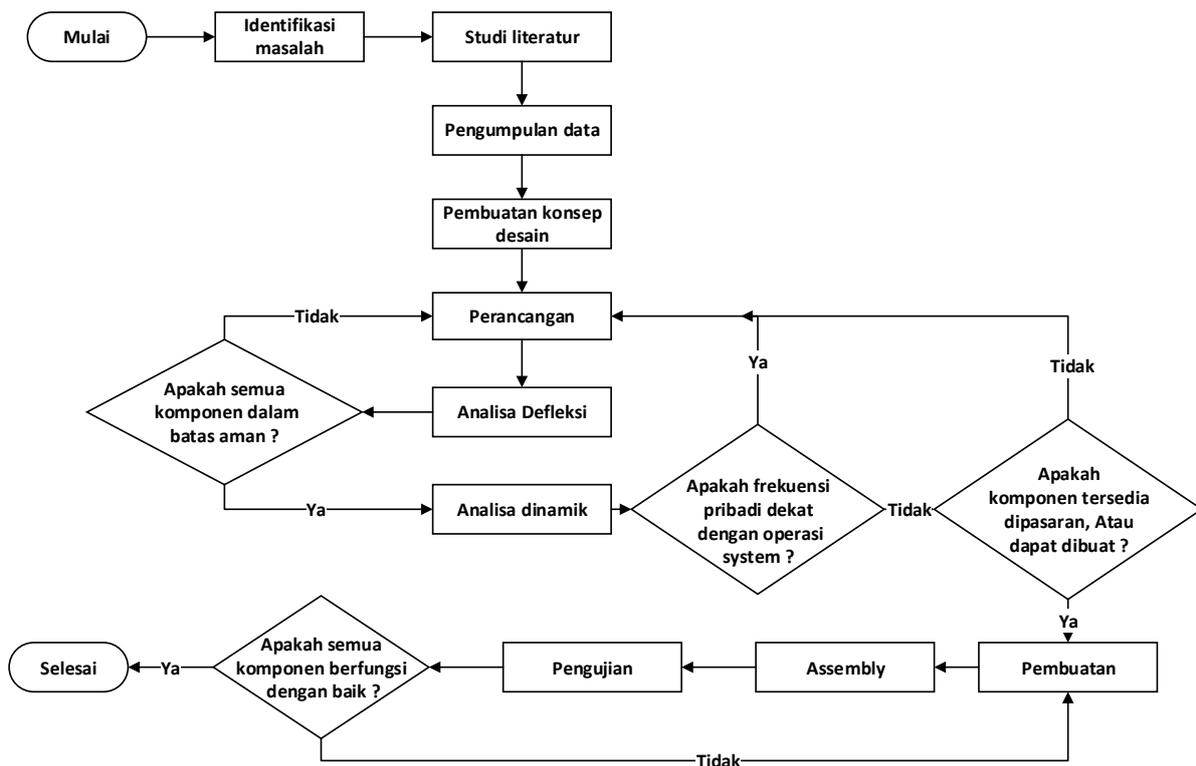
Dalam perkembangan desain sudah dilakukan beberapa perbaikan mulai dari desain sistem mekanik, mulai dari mekanika penuntun gerakan pahat, motor penggerak, material frame, dan sistem komunikasi *microcontroller* [1,2,4,5,6]. Jayachandraiah (2014) memberikan usulan desain dan pemilihan komponen untuk mesin *router* CNC 3-axis dengan biaya yang relatif murah [4]. Olufemi (2015) membuat *keypad* desain mesin *drill router* [5].

router dengan biaya pembuatan murah dengan menggunakan gantri tunggal [7].

Siripen (2006) membuat investigasi kondisi pemotongan optimal pada mesin CNC *router* pada kayu [8]. Cammelia (2014) membuat investigasi kemungkinan Mesin CNC *router* digunakan untuk membuat beberapa ornamen kompleks pada kayu [9].

Irfan Hilmy (2014) membuat konsep pemilihan konfigurasi dalam desain mesin CNC *router* [10]. Dhruv H. Patel (2014), membuat investigasi parameter pemesinan pada mesin CNC *router* [11]. Takeshi Ohuchi, (2015), membuat analisis pada proses milling kayu dengan menggunakan CNC *router* [12]. Piotr Iskra (2012), membuat proses monitoring pada CNC *router* pada kayu pada kualitas permukaan hasil pemesinan [13]. Mehmet Emin Aktan (2016), membuat desain dan implementasi mesin CNC *router* 3 axis dengan CAM (*Computer Aided Manufacturing*) [10]

Dari beberapa penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa mesin *router* NC sangat dimungkinkan digunakan untuk proses manufaktur



Gambar 2. Diagram alir Perancangan

Mane (2016) membuat suatu review bahwa mesin *router* dengan konfigurasi jenis gantri akan memberikan biaya manufaktur lebih kecil dibanding dengan konfigurasi jenis lainnya.[6]. Alexander D. Sprunt (2000) membuat desain CNC

dari material kayu dan dapat digunakan untuk membuat beberapa ornamen kompleks. Harga mesin CNC *router* saat ini masih sangat mahal, sehingga penelitian yang dapat menghasilkan suatu mesin *router* NC dengan harga yang relatif murah masih sangat terbuka lebar. Turunnya harga

alat bantu untuk para pengrajin kriya seni kayu khususnya mesin *router* NC akan berdampak pada naiknya daya saing produk mereka di pasaran.

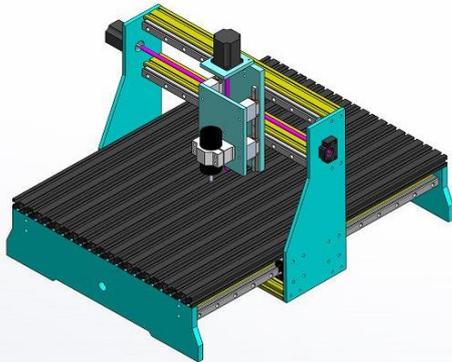
Pada paper ini akan dibahas proses analisis struktur rangka mesin *router* untuk ukiran kayu model otomatis jenis *moving gantry*

Metode Penelitian

Urutan perancangan dan pembuatan konstruksi mesin *router* NC digambarkan dengan diagram alir perancangan yang disajikan pada Gambar 1. Perancangan dimulai dari studi literatur, pengumpulan data, perancangan dan pembuatan.

Tahapan awal perancangan konstruksi mesin *router* NC diawali dengan membuat konsep perancangan struktur mesin. Struktur mesin yang dirancang harus memiliki kekakuan yang tinggi dan memiliki redaman yang cukup untuk mencegah getaran yang berlebihan.

Konsep perancangan bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk mesin atau konstruksi mesin *router* NC yang akan dibuat. Konsep perancangan konstruksi mesin *router* NC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsep perancangan mesin *router* NC jenis *moving gantry*

Mesin *router* yang dirancang adalah mesin *router* jenis *moving gantry*. Mesin *router* jenis *moving gantry* secara teoritis dapat mengerjakan benda kerja dengan ukuran tak berhingga secara bertahap. Mesin jenis ini mempunyai sepasang tiang (*gantry*) yang dapat bergerak pada suatu lintasan pada arah sumbu-y. Pada *gantry* tersebut dipasang konstruksi spindel yang dapat bergerak pada suatu lintasan pada arah sumbu-x. Pada pemegang pahat tersebut terdapat pemegang pahat yang dapat bergerak pada suatu lintasan pada arah sumbu-z. Mesin *router* yang dirancang mempunyai meja kerja berukuran 60 cm x 80 cm.

Mesin *router* yang dirancang sedapat mungkin menggunakan komponen-komponen utama yang telah tersedia di pasaran. Beberapa komponen-

komponen yang tersedia di pasaran adalah *ballscrew*, *linear guide*, motor spindel, motor servo, dan batang aluminium profil.

Ball screw adalah aktuator linier yang bertindak untuk mengubah gerak putar menjadi gerak lurus dengan gesekan kecil. Gesekan yang terjadi bisa kecil dikarenakan antara nut dengan boltnya terdapat bola baja yang berfungsi untuk mengurangi koefisien gesek.

Linear guide merupakan komponen mesin perkakas yang berfungsi untuk mengarahkan gerakan meja atau pahat pada suatu lintasan berupa garis. *Linear guide* terdiri dari *guide* dan *linear bearing*. Beberapa jenis *linear guide* yang tersedia di pasaran adalah *linear guide hiwin*, *linear guide rail*, dan *linear guide shaft*.

Motor spindel merupakan motor listrik DC yang porosnya sudah dilengkapi dengan pemegang pahat *router*. Motor spindel yang tersedia di pasaran sudah dilengkapi dengan pemegang motor dan rangkaian kontrol pengendali putaran motor spindel.

Aluminium profil merupakan batang aluminium hasil proses ekstrusi yang mempunyai bentuk penampang tertentu. Aluminium profil yang dapat digunakan untuk rangka mesin *router* adalah aluminium profil yang bentuk penampangnya sesuai dengan bentuk tempat kepala baut.

Kriteria utama mesin perkakas adalah defleksi yang terjadi pada setiap komponen harus sekecil mungkin dan mesin perkakas tidak mengalami resonansi ketika mesin tersebut dioperasikan. Rancangan yang telah dibuat perlu dianalisa kekakuannya akibat beban beratnya sendiri beban dari gaya-gaya pemotongan.

Analisa dinamik perlu dilakukan untuk menentukan frekuensi pribadi mesin *router*. Frekuensi pribadi mesin *router* perlu diketahui untuk memastikan apakah frekuensi operasi nilainya dekat dengan frekuensi pribadi sistem.

Pada mesin perkakas kriteria yang penting adalah akurasi dan presisi dari hasil pemotongan, sehingga frekuensi pribadi merupakan hal penting dalam merancang mesin perkakas. Jika mesin perkakas beroperasi pada frekuensi pribadinya maka akan sangat mudah terjadi vibrasi dan menghasilkan produk dengan penyimpangan yang besar. Persamaan frekuensi pribadi didefinisikan dengan persamaan;

$$f_n = \frac{\sqrt{k/m}}{2\pi} \quad (1)$$

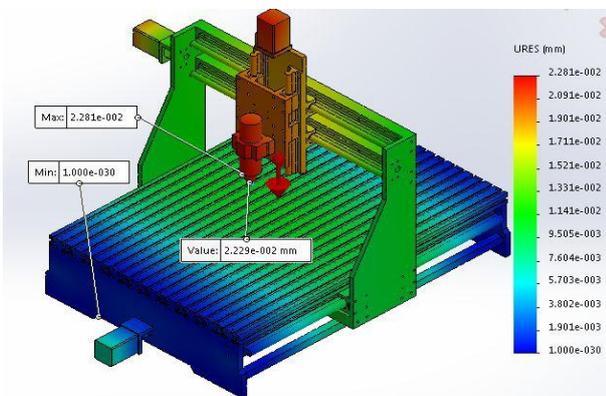
Dimana k adalah kekakuan sistem (N/m) dan adalah massa sistem (kg).

Analisis defleksi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Solidworks* dan analisis frekuensi pribadi dengan menggunakan *software ansys*.

Hasil dan Pembahasan

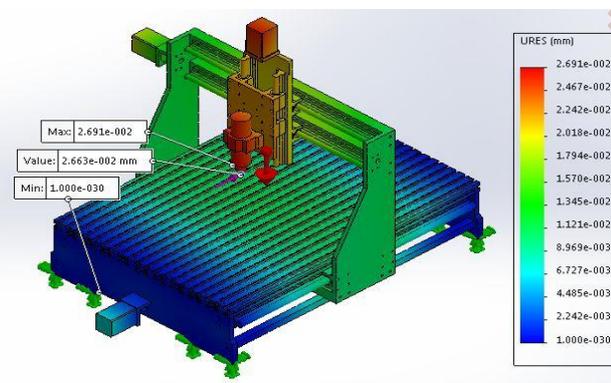
Defleksi adalah perubahan bentuk pada struktur rangka mesin router NC akibat adanya pembebanan yang diberikan pada ujung spindle. Analisa defleksi dilakukan pada konstruksi mesin router NC dengan menggunakan simulasi analisis statik pada *software solidwork*.

Analisis defleksi akibat beban sendiri bertujuan untuk mengetahui nilai defleksi keseleuruhan pada komponen konstruksi mesin router NC. Hasil analisis, defleksi terjadi sebesar 22 μm . Defleksi terbesar terjadi pada bagian *spindel holder*.



Gambar 4. Defleksi struktur rangka mesin router NC akibat beban sendiri

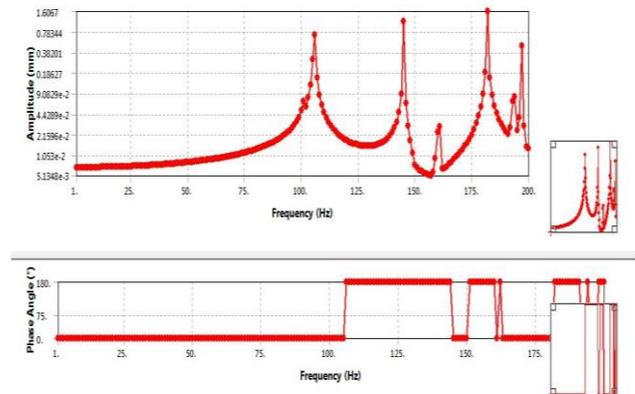
Analisa defleksi akibat beban dari luar dengan asumsi besar gaya yang bekerja pada ujung spindle sebesar 75 N adalah sebesar 26 μm . Defleksi terbesar terjadi pada bagian spindle.



Gambar 5. Defleksi struktur rangka mesin router NC akibat gaya luar

Frekuensi pribadi yang terjadi sebesar 118 Hz dengan amplitudo sebesar 1.6 mm. Struktur mesin harus dicegah untuk bekerja pada daerah

frekuensi pribadinya karena akan menyebabkan peningkatan amplitudo getaran yang berkali lipat.



Gambar 6. Frekuensi pribadi struktur rangka mesin router NC akibat gaya luar

Mesin perkakas umumnya mempunyai penyimpangan geometris maksimum antara 20 μm – 50 μm dan frekuensi pribadi sistem sebesar 145 Hz [1]. Maka dari hasil analisa struktur rangka mesin router NC dapat digunakan sebagai mesin perkakas karena sesuai dengan penyimpangan yang diijinkan.

Dengan demikian model desain struktur rangka mesin bisa dilanjutkan untuk proses pembuatan prototipenya.

Kesimpulan

Hasil analisis struktur rangka memiliki defleksi maksimum akibat beratnya sendiri sebesar 22 μm dan akibat gaya luar sebesar 26 μm , defleksi tersebut masih berada dalam rentang penyimpangan geometri maksimum mesin perkakas [1]. Frekuensi operasi saat putaran spindle maksimum sebesar terjadi 118 Hz dan ini masih dibawah frekuensi operasi mesin perkakas.

Dengan demikian konsep desain struktur rangka mesin router NC dapat dilanjutkan ketahap proses pembuatan prototipe.

Penghargaan

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi RI yang telah membiayai penelitian ini.

Referensi

- [1] Samah Mochtar, (2013), *Design and Structural analysis of a CNC Router*, Final year project mecahical engineering Department faculy of engineering, Lebanese University.
- [2] Wei Qin, (2013), *Design and Analysis of Small Scale Cost Effective CNC Milling,,* These, Master of Science in Mechanical Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [3] Benhabib, Beno. (2003). *Manufacturing: Design, Production, Automation, and Integration*. New York: Marcel Dekker
- [4] B.Jayachandraiah, (2014), *Fabrication of Low Cost 3-Axis Cnc Router*, International Journal of Engineering Science Invention, ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726.
- [5] Olufemi B. Akinnuli, et all (2015), *Design of a Keypad Operated CNC Drilling Router*, International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, ISSN 2091-2730
- [6] Y. L. Mane, B. B. Deshmukh, (2016) *A Review on Retrofit Design and Static Analysis of 3-Axis Gantry System*, IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering (IOSRJMCCE), e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, pp 23-28.
- [7] Alexander D. Sprunt (2000), *A three axis CNC Router Design*, Final Project at Bachelor of Science at The Massachusetts Institute Of Technology
- [8] Siripen Supadarattanawong (2006), *An Investigation of the Optimal Cutting Conditions in Parawood (Heavea Brasiliensis) Machining Process on a CNC Wood Router*, Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 : 311 – 319.
- [9] Camelia Cosereanu (2014), *Complex ornament machining process on CNC Router*, Pro Ligno, Vol 10 No 2014 pp 22-30.
- [10] Irfan Hilmy (2014), *Development of Design Structure Matrix of Product Architecture Case Study: Multi Purpose CNC Router*, Proceeding ICAMME 2014
- [11] Dhruv H. Patel (2014), *An Investigation Effect of Machining Parameters on CNC Router*, IJEDR, Volume 2, Issue 2.
- [12] Takeshi Ohuchi, (2015), *Milling of wood and wood-based materials with a computerized numerically controlled router*
- IV: development of automatic measurement system for cutting edge profile of throw-away type straight bit, J Wood Sci (2005) 51:278–281.
- [13] Piotr Iskra (2012), *Toward a process monitoring of CNC wood router. Sensor selection and surface roughness prediction*, Wood Sci Technol 46:115–128
- [14] Mehmet Emin Aktan (2016), *Design and Implementation of 3 Axis CNC Router for Computer Aided Manufacturing Courses*, MATEC Web of Conferences 45, 05002 DOI:10.1051/mateconf/20164505002.