

Rancang-bangun prototipe mesin CNC laser *engraving* dua sumbu menggunakan *diode laser*

Munadi, Aulia Syukri, Joga Dharma Setiawan, Mochammad Ariyanto

Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang, Semarang, 50275
Email korespondensi: munadi@undip.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi industri dapat membantu industri manufaktur dalam menghasilkan produk yang berkualitas. Salah satu alat yang dapat membantu menghasilkan produk berkualitas tersebut adalah mesin CNC. Sebagaimana yang kita ketahui bahwa harga mesin CNC tidaklah murah. Oleh sebab itu dalam artikel ini, peneliti mengemukakan cara merancang-bangun sebuah prototipe mesin CNC laser engraving untuk benda kerja akrelik. Mesin dirancang semurah mungkin tetapi memberikan manfaat yang besar. Rangka mesin menggunakan bahan aluminium extrusion, laser menggunakan jenis diode laser, aktuator penggerak sumbu menggunakan motor stepper, dan software kontrol menggunakan USB CNC controller. Benda kerja yang mampu dikerjakan berdimensi 600 mm x 300 mm x 2 mm. Optimasi sistem pergerakan motor stepper dipilih 1/8 micro stepping setelah dilakukan pengujian metode full-step, half-step, 1/8 micro stepping, dan 1/16 micro stepping. Dengan menggunakan modul diode laser 2,5 watt, panas radiasi yang diterima benda kerja akrelik saat proses engraving sebesar $558,8 \times 10^{-5}$ kal/detik.

Kata kunci: mesin CNC, laser engraving, diode laser, akrelik, USB CNC controller.

Abstract

The development of industrial technology can help the manufacturing industry for producing quality products. One tool that can help produce such quality products is CNC machines. As we know that the price of CNC machines is not cheap. Therefore, in this article, the researchers suggest how to design a prototype CNC laser engraving machine for the acrylic workpiece. The machine is designed as cheaply as possible but provide great benefits. The machine frame is designed using aluminum extrusion, the laser uses a laser diode type, the actuators of axis uses the stepper motor, and the control software uses a USB CNC controller. The dimension of workpiece that can be machined is 600 mm x 300 mm x 2 mm. The optimization of the stepper motor movement system is chosen 1/8 micro stepping after testing full-step method, half-step, 1/8 micro stepping, and 1/16 micro stepping. Using a 2.5 watt diode laser module, the radiant heat received by the acrylic workpiece during the engraving process is 558.8×10^{-5} cal/sec.

Keywords: CNC machine, laser engraving, diode laser, acrylic, USB CNC controller.

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman, ilmu pengetahuan dan teknologi juga berkembang sangat pesat, diantaranya di bidang mekanika dan elektronika. Dahulu di dunia industri, sistem kerjanya masih menggunakan tenaga manual dimana peran manusia sangat dominan, namun pada saat ini sistem tersebut telah beralih ke sistem otomatis dengan penggunaan robot [1]. Oleh karena masyarakat di era modern ini ingin hal yang cepat dan praktis dengan kualitas bagus dalam menghasilkan sebuah produk, maka diperlukan dukungan dan ketersediaan peralatan pendukung kinerja di industri modern, antara lain mesin-mesin CNC (*Computer Numerical Control*) [2-4].

Awal lahirnya mesin CNC bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearson dari Institut Teknologi Massachusetts. Semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus

yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar. 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 mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas. Dewasa ini penggunaan mesin CNC hampir terdapat di segala bidang. Dari bidang pendidikan dan riset, dimana telah mempergunakan alat-alat demikian sehingga dihasilkan berbagai hasil penelitian yang bermanfaat. Hal ini tidak terasa sudah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat banyak.

Dalam industri otomotif, robotika, kapal, dan pesawat, sering kita jumpai suatu mesin yang digunakan untuk membuat suatu produk dengan cara

memotong, menggores, atau mengukir sebuah material, yang dikenal dengan CNC laser *engraving*. Selain untuk industri manufaktur seperti di atas, pemanfaatan mesin CNC *cutting* atau *engraving* tidak selalu untuk plat, tetapi juga merambah ke dunia industri kulit [5]. Selanjutnya, mesin CNC laser *engraving* memiliki berbagai keunggulan dibandingkan teknologi manufaktur lainnya karena dapat menerima data langsung dari komputer, sehingga otomatisasi penggoresan dapat berjalan dengan baik. Penggunaan mesin CNC pada sistem laser *engraving* sangat diperlukan, karena kita dapat memotong suatu bahan atau menggores atau mengukir bahan tersebut dengan bentuk desain sesuai dengan yang kita inginkan, dan dengan kualitas penggoresan yang bagus [6]. Hasil laser *engraving* dengan kualitas potongan pinggirnya dipengaruhi oleh kekuatan daya laser, kekasaran permukaan benda kerja, lebar goresan, dan kecepatan perpindahan gerakan sinar laser.

2. Desain Mesin CNC Laser Engraving

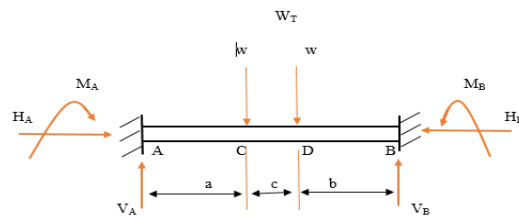
Mesin CNC laser *engraving* dalam penelitian ini didesain dengan perangkat lunak CAD/CAE, dimana mesin dirancang dengan penggerak dua sumbu. Penggerak mesin menggunakan motor stepper, rangka menggunakan *aluminum extrusion*, dan modul laser menggunakan jenis *diode laser*. Gambar 1 menunjukkan hasil desain 3D mesin CNC laser *engraving*. Sementara untuk sistem kontrol menggunakan *open-loop*. Beberapa peneliti ada yang mengembangkan dengan sistem *close-loop* [7]. Karena kami menggunakan *aluminum extrusion* pada prototipe mesin CNC laser *engraving* ini untuk bagian rangka, maka kami melakukan analisa pembebanan menggunakan *Finite Element Method* (FEM) secara sederhana. Hal ini karena kita tahu bahwa penggunaan *aluminum extrusion* dapat mengakibatkan terjadinya getaran pada saat proses permesinan [8, 9].



Gambar 1. Desain mesin CNC laser *engraving*.

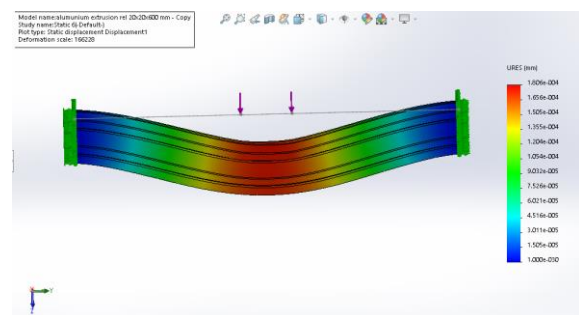
Selanjutnya, pada kedua sumbu, sumbu X dianggap paling besar menerima pembebanan karena beban kerja mesin langsung diterima sumbu X melalui benda kerja pada *fixture*. Bagian dari sumbu X yang

paling riskan ketika mengalami pembebanan adalah poros. Distribusi gaya yang terjadi pada waktu pembebanan akan diterima oleh *sliding*, yaitu tempat dimana roda berputar yang merupakan bagian yang pertama kali menyentuh batang *aluminum extrusion* tersebut, sehingga pada batang akan mengalami sebuah gaya terpusat yang diasumsikan di tengah-tengah dari batang *aluminum extrusion* tersebut. Untuk itu, yang harus dilakukan adalah menggambarkan diagram benda bebas batang (DBB). DBB didekati dengan analisis batang berongga. Nilai gaya total yang mempengaruhi batang pada sumbu X adalah $W_T = 17,6$ N. Gaya total tersebut didapatkan karena batang poros sumbu X menerima berat dari komponen-komponen mekanika yang terdiri dari massa plat (0,5 kg), massa motor stepper (0,7 kg) dan laser (0,15 kg), massa 4 buah roda (0,32 kg) dan massa 12 baut (0,125 kg), sehingga poros sumbu X menerima beban sebesar 17,6 N. Adapun diagram benda bebas pada satu poros ditunjukkan pada Gambar 2, dimana V_A : gaya *vertical* pada titik A, V_B : gaya *vertical* pada titik B, M_A : momen gaya pada titik A, M_B : momen gaya pada titik A, H_A : gaya *horizontal* pada titik A, dan H_B : gaya *horizontal* pada titik B.



Gambar 2. Diagram benda bebas satu poros terpusat.

Gaya total 17,6 N tersebut terdistribusi pada dua buah gaya tekan yang nilainya sama besar. Sehingga besar gaya tekan untuk satu gaya pada titik beban adalah 8.8 N. Kemudian yang harus diketahui lagi adalah jarak antara tumpuan ke titik yang menerima gaya tekan yang nilainya sama besar karena diasumsikan beban yang diterima terletak di tengah-tengah batang serta jarak antara dua buah gaya tekan tersebut, nilainya yaitu 0,13 m dan 0,04 m. Besarnya ketiga nilai tersebut dimasukkan sebagai parameter dalam FEM pada salah satu software CAD/CAE, sehingga didapatkan nilai defleksi pada poros sumbu X yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai defleksi pada poros sumbu X.

Berdasarkan Gambar 3, nilai defleksi terbesar pada poros sumbu X adalah 0,01806 mm dengan ukuran *fine mesh* sebesar 5,25 mm dan toleransi dari mesh-nya sebesar 0,2625 mm agar hasil yang didapatkan memiliki ketelitian yang tinggi. Berdasarkan standar ISO 7010, batas toleransi geometrik mesin perkakas adalah 0,025 mm. Maka dari itu desain prototipe mesin CNC laser *engraving* dapat dikatakan layak.

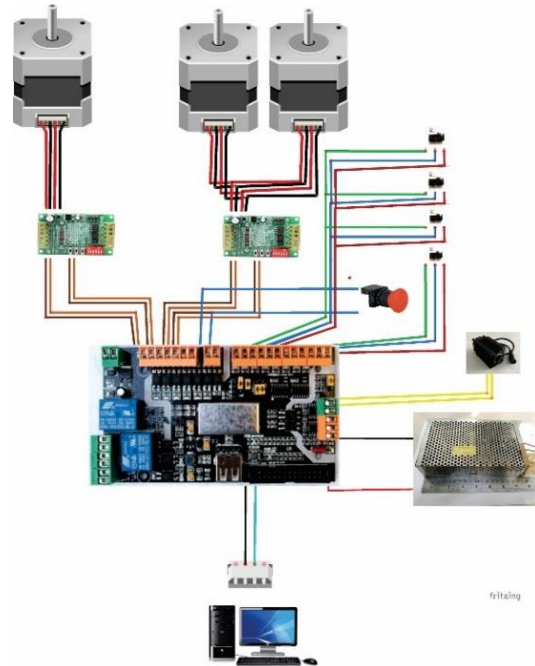
Laser merupakan mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya melalui proses pancaran terstimulasi. Ada empat jenis laser yang biasanya digunakan dalam mesin CNC, antara lain *diode laser*, *CO₂ laser*, *fiber laser*, dan *Yag laser* [10]. Bila dibandingkan hasil kualitas pemotongan, penggunaan *fiber laser* memiliki jaminan dibanding kedua jenis laser lainnya, akan tetapi dalam penelitian ini, kami memilih menggunakan *diode laser* karena faktor harga dan kemudahan mendapatkan modul laser, selain itu kualitas tidak berbeda terlalu jauh.

3. Hasil dan Pembahasan

Mesin CNC laser *engraving* ini menggunakan komponen utama yaitu aktuator sumbu berupa dua motor stepper, driver motor, modul laser 2,5 watt. Gambar 4 menunjukkan mesin CNC laser *engraving* untuk pengerjaan dimensi benda kerja maksimal ukuran 600 mm x 300 mm x 2 mm. Adapun *wiring diagram* mesin CNC laser *engraving* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Prototipe mesin CNC laser *engraving*.



Gambar 5. *Wiring diagram* mesin CNC laser *engraving*.

Selanjutnya, otak mesin CNC laser *engraving* ini adalah *interface board* yang terintegrasi dengan software *USB CNC controller* dimana software ini melakukan dua komunikasi yaitu menerima perintah dari operator secara langsung dengan cara konfigurasi software dan pemrograman serta mengirim perintah ke *driver*. Ada dua jenis software *USB CNC controller* yang beredar, yaitu versi 2.1 dan versi 2.10. Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan tampilan pembuka software *CNC USB controller* versi 2.1 dan 2.10 pada saat pertama kali dijalankan. Keduanya sama-sama dapat digunakan dalam mengontrol mesin CNC yang terhubung lewat *interface board* MK1. Namun hanya terdapat sedikit perbedaan mengenai kedua software.



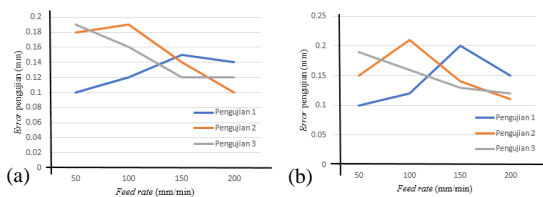
Gambar 6. *CNC USB controller* versi 2.1.



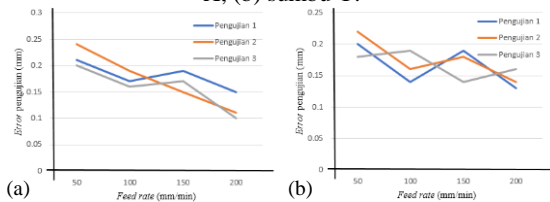
Gambar 7. *CNC USB controller* versi 2.10.

Untuk menghasilkan gerakan sumbu yang presisi, maka dilakukan optimasi sistem pergerakan sumbu yang dilakukan aktuator motor stepper pada mesin CNC laser *engraving* ini. Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah metode gerakan motor stepper dan kecepatan gerakan sumbu. Untuk metode gerakan motor stepper digunakan empat variasi yang berbeda sesuai dengan kemampuan dari driver yang digunakan, yaitu *full-step/whole-step*, *half-step*, *1/8 micro stepping*, dan *1/16 micro stepping*. Sedangkan untuk kecepatan gerakan sumbu digunakan 4 variasi kecepatan yang berbeda, yaitu 50; 100; 150; dan 200 mm/min.

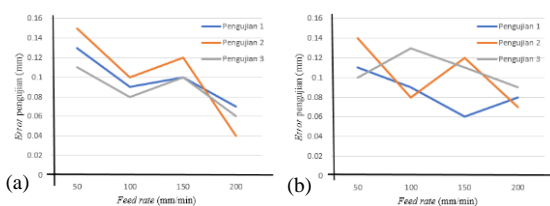
Nilai *error* pengujian diperoleh dengan cara menggerakkan sumbu-sumbu mesin pada software *USB CNC controller* sejauh 5 mm, kemudian membandingkan dengan real pergerakan sumbu pada mesin. Selisih nilai jarak pada program dengan realisasi dibandingkan dengan nilai pada program dinyatakan sebagai *error*. Adapun hasil pergerakan sumbu dengan empat variasi dari motor stepper ditunjukkan pada Gambar 8-11. Gambar 8 menunjukkan optimasi gerakan *full-step* untuk sumbu X dan sumbu Y. Gambar 9 menunjukkan optimasi gerakan *half-step* untuk sumbu X dan sumbu Y. Gambar 10 menunjukkan optimasi gerakan *1/8 micro stepping* untuk sumbu X dan sumbu Y. Gambar 11 menunjukkan optimasi gerakan *1/16 micro stepping* untuk sumbu X dan sumbu Y.



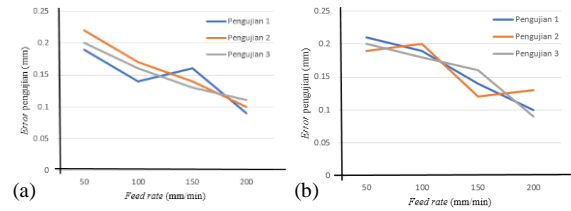
Gambar 8. Optimasi gerakan *full-step* untuk (a) sumbu X; (b) sumbu Y.



Gambar 9. Optimasi gerakan *half step* untuk (a) sumbu X; (b) sumbu Y.

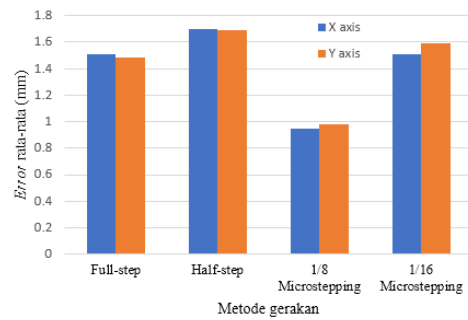


Gambar 10. Optimasi gerakan *1/8 micro stepping* untuk (a) sumbu X; (b) sumbu Y.



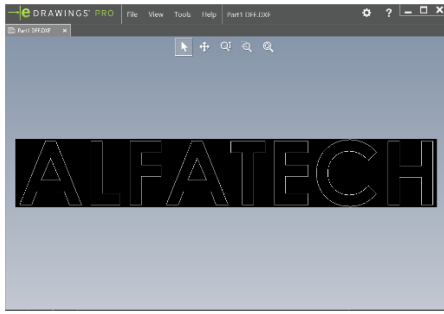
Gambar 11. Optimasi gerakan *1/16 micro stepping* untuk (a) sumbu X; (b) sumbu Y.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan Gambar 8-11, maka diperoleh perbandingan hasil *error* dari masing-masing metode gerakan. Akan tetapi pengecualian dilakukan pada metode gerakan *full-step* dan *half-step*. Walaupun pada bagian sumbu Y dan sumbu X *error* yang terjadi lebih kecil daripada *error* pada pergerakan lainnya, tetapi getaran dan bunyi akibat pergerakan yang dihasilkan sangatlah besar. Sehingga pergerakan tersebut tidak optimal untuk dipilih. Dengan demikian kita dapat memilih jenis pergerakan yang paling optimal adalah optimasi gerakan *1/8 micro stepping* yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik perbandingan metode gerakan.

Tahap berikutnya adalah uji coba mesin ini untuk melakukan proses *engraving*. Peneliti mencoba mengaplikasikannya terhadap kerja kertas karton, papan triplek, dan akrilik yang masing-masing tebalnya 2 mm. Objek benda kerja berbeda bertujuan untuk mengetahui kemampuan laser dalam melakukan penggoresan atau *engraving* pada benda kerja tersebut dan waktu yang diperoleh saat mesin selesai melakukan proses pemesinan. Dalam hal ini peneliti mencoba mendesain sebuah kata "ALFATECH" dengan menggunakan *software CAD*. Selanjutnya file tersebut disimpan dalam format file *.dxf* yang nantinya akan dioperasikan pada *software CNC USB controller* dalam bentuk *G code* yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Desain file dalam .dxf.

Parameter pengujian yang dilakukan pada mesin terhadap ketiga objek benda kerja adalah kecepatan pemakanan dan *plunge* (kecepatan pindah untuk melakukan proses pemakanan selanjutnya). Setelah melakukan pengujian dengan variasi kecepatan pemakanan dan *plunge* yang masing-masing divariasikan 50; 100; 150; dan 200 mm/min, maka diperoleh hasil yang ditabelkan pada Tabel 1, dimana rata-rata waktu permesinan yang dibutuhkan 90 detik.

Tabel 1. Hasil yang paling optimal dari pengujian pada masing-masing benda kerja.

Benda kerja	Kecepatan pemakanan (mm/min)	Speed (mm/min)	Hasil
Kertas karton	200	100	Bagus
Triplek	200	100	Baik
Akreliek	200	50	Bagus

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa semakin rendah kecepatan pemakanan akan membuat benda kerja termakan sempurna dan sebaliknya. Dan khusus untuk akrilik membutuhkan kecepatan pemakanan yang lebih rendah dari benda kerja yang lain dikarenakan akrilik itu sendiri memiliki struktur yang sulit untuk tergores. Sehingga proses pemesinan untuk akrilik butuh 100 detik sedikit lebih lama dibanding dua jenis material yang lain. Adapun hasil proses engraving ditunjukkan pada Gambar 14.



(a)



(b)



(c)

Gambar 14. Hasil akhir pada benda kerja: (a) Kertas karton, (b) Papan triplek, dan (c) Akreliek.

Laser yang digunakan pada penelitian ini adalah laser jenis *diode laser* dengan daya 2,5 watt atau setara dengan 5,97 kalor/detik. Kemudian dengan mengacu kepada panjang gelombang dari laser tersebut yaitu 450 nm, kita juga dapat menghitung nilai kalori berdasarkan rumus radiasi yang dihasilkan laser. Berdasarkan *mechanical properties* akrilik, nilai konduktivitas thermal akrilik sebesar 0,19 W/m °K, *density* sebesar 2,04 kg/cm³, dan emisivitas akrilik (*e*) sebesar 0,94. Kemudian dimasukkan ke dalam persamaan perpindahan panas radiasi yang diterima akrilik yang dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$Q_{rad} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (1)$$

Berdasarkan Persamaan (1), dimana konstanta Boltzman (σ) sebesar 5,67 x 10⁻⁸ W/m²K⁴, luasan yang terkena sinar laser (*A*) sebesar 5,024 x 10⁻⁵ m², serta temperatur ketika terjadi radiasi sebesar 33⁰ C atau setara dengan 306⁰ K, maka nilai radiasi yang diterima akrilik sebesar 0,0234 watt atau setara 558,8 x 10⁻⁵ kal/detik. Dengan cara yang sama, berdasarkan material properties kertas karton dan papan triplek, maka nilai radiasi yang diterima saat proses engraving dinyatakan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan panas radiasi bahan.

Benda kerja	Emisivitas bahan	Q _{radiasi} x 10 ⁻⁵ (kal/detik)
Kertas karton	0,93	549,34
Triplek	0,95	561,28
Akreliek	0,94	558,80

Dengan demikian, modul laser 2,5 watt hanya dapat digunakan untuk proses engraving, sehingga bila akan digunakan untuk material yang lebih keras atau proses cutting, maka modul laser pada mesin CNC laser engraving dapat diganti dengan modul laser yang memiliki daya yang lebih tinggi sesuai dengan kebutuhan.

4. Kesimpulan

Artikel ini memaparkan proses rancang-bangun prototipe mesin CNC laser engraving dengan dimensi maksimal benda kerja 600 mm x 300 mm x 2 mm. Berdasarkan analisa pembebanan menggunakan metode FEM diperoleh nilai defleksi terbesar pada poros sumbu X sebesar 0,01806 mm dengan ukuran *fine mesh* sebesar 5,25 mm. Toleransi ini sangat diijinkan karena batas toleransi geometrik mesin

perkakas sebesar 0,025 mm. Adapun metode pergerakan sumbu mesin yang terbaik berdasarkan kecepatan pemakanan dipilih metode 1/8 *micro stepping*. Hasil pengujian untuk material benda kerja kertas karton, papan triplek, dan akrelik telah menunjukkan hasil yang baik untuk proses *engraving*.

Daftar Pustaka

- [1] K. Wu, C. Krewet, B. Kuhlenkotter. 2017, "Dynamic performance of industrial robot in corner path with CNC controller", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1-6.
- [2] G.M. Martinova, A.I. Obuhova, L.I. Martinovaa, A.S. Grigoriev. 2014, "An approach to building specialized CNC systems for non-traditional processes", *Procedia CIRP*, Vol. 14, 511–516.
- [3] L. Li, C. Li, Y. Tang, Q. Yi. 2017, "Influence factors and operational strategies for energy efficiency improvement of CNC machining", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 161, 220-238.
- [4] Z. Yuan J., J. Wei M., D. Ning S., F. Ji W., W. Liu. 2018, "A review of contouring-error reduction method in multi-axis CNC machining", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 125, 34-54.
- [5] A. Stepanov, M. Manninen, I. Parnanen, M. Hirvimaki, A. Salminen. 2015, "Laser cutting of leather: Tool for industry or designers?", *Physics Procedia*, Vol. 78, 157-162.
- [6] G.M. Martinov, A.I. Obuhov, L. I. Martinova, A.S. Grigoriev. 2016, "An approach to building a specialized CNC system for laser engraving machining", *Procedia CIRP*, Vol. 41, 998-1003.
- [7] I. Syukran H., Syafri, A. Prayitno. 2017, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan *Close Loop System*", *JOM FTEKNIK*, Vol. 4, No. 2, 1-8.
- [8] J. Pandremenos, C. Doukas, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris. 2013, "Machining with robots: a critical review, in: 7th International Conference on Digital Enterprise Technology, 2011.
- [9] Y. Chen, F. Dong. 2013, "Robot machining: recent development and future research issues", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 66, No. 9–12, 1489–1497.
- [10] N. Hidayanti, A. Farooqi, O.I. Alsultan, N.B. Yusoff. 2017, "Design and development of CNC robotic machine integrate-able with Nd-Yag laser device", *Procedia Engineering*, Vol. 184, 145 – 155.