

## Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Gerak Pahat pada Mesin Router NC 3-Axis untuk Kriya Seni Ukiran Kayu

Rachmad Hartono, Sugiharto\*, Bukti Tarigan, Toto Supriyono, Gatot Santoso

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan  
Jl. Dr. Setiabudhi No.193 Bandung 40153

\*E-mail: sugih.sugiharto@unpas.ac.id

### Abstract

The carving profiles on wood surfaces could be made automatically by feeding a cutting tool on the trajectory profile carving will be formed. The cutting tool motion trajectory adjusted to the desired profile path by controlling the tool motion in both rotational and translational motion in the x, y, and z-axis direction. The cutting tool placed on the tool post that can move in the z-axis, the tool post placed on the movable holder in the x-axis, the tool post and holder are placed on two movable support poles in the y-axis. The three-axis motion mechanism carried out by three servo motors. Motion control is done using pulse width modulation (PWM), by adjusting the number and frequency of pulses in each servo motor. The number of pulses and pulse frequency were controlled by a microcontroller that receives data from a computer by serial communication. The number of pulses and the frequency of pulses are determined based on the coordinates, and speed of motion that must be achieved by the cutting tool in a profile path will be formed.

**Key words:** servo motor, microcontroller, computer, PWM

### Abstrak

Profil ukiran pada permukaan kayu dapat dibuat secara otomatis dengan cara mengumpangkan pahat pemotong pada lintasan profil ukiran yang akan dibentuk. Lintasan gerak pahat pemotong disesuaikan dengan lintasan profil yang diinginkan dengan jalan mengendalikan gerak pahat tersebut baik dalam gerak rotasi maupun gerak translasi dalam arah sumbu x, y, dan z. Pahat pemotong ditempatkan pada *tool post* yang dapat bergerak dalam sumbu-z, *tool post* ditempatkan pada *holder* yang dapat bergerak dalam sumbu-x, *tool post* dan *holder* ditempatkan pada dua tiang penyangga yang dapat bergerak dalam sumbu-y. Mekanisme gerak tiga sumbu dilakukan oleh tiga buah motor servo. Pengendalian gerak dilakukan dengan menggunakan *pulse width modulation* (PWM), dengan mengatur jumlah dan frekuensi pulsa di setiap motor servo. Jumlah pulsa dan frekuensi pulsa diatur oleh mikrokontroler yang menerima data dari komputer melalui komunikasi serial. Jumlah pulsa dan frekuensi pulsa ditentukan berdasarkan koordinat dan kecepatan gerak yang harus dicapai oleh alat pemotong dalam suatu lintasan profil yang akan dibentuk.

**Kata kunci:** motor servo, mikrokontroler, komputer, PWM

### 1. PENDAHULUAN

Mesin router adalah mesin yang digunakan untuk membuat profil ukiran pada permukaan kayu dengan tujuan untuk memperbaiki tampilan kayu. Alat utama yang digunakan pada mesin router adalah pahat yang bentuknya sama dengan pahat yang dipasang pada mesin milling. Pahat berputar pada kecepatan tinggi dan memotong permukaan kayu hingga terbentuk lekukan yang diinginkan [1-2],[5-8]. Pada mesin router dibuat mekanisme yang dapat mengendalikan gerak pahat sehingga dapat berputar dan bergerak dalam ruang tiga dimensi dalam arah sumbu x, y, dan z.

Salah satu contoh mesin router dapat dilihat pada Gambar 1. Pemegang pahat dihubungkan dengan poros motor DC. Motor DC tersebut diletakkan pada suatu kedudukan yang dapat bergerak dalam arah sumbu z. Dudukan pemegang pahat diletakkan pada penopang yang dapat bergeser dalam arah sumbu x. Penopang dipasang pada dua buah tiang dapat bergeser dalam arah sumbu y [2].

Masing-masing mekanisme penggerak pahat dalam ketiga arah sumbu digerakkan oleh sebuah motor dapat menggunakan motor servo atau motor stepper. Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bekerja berdasarkan urutan pulsa yang diberikan ke kaki-kaki fungsional motor stepper. Untuk menggerakkan motor stepper diperlukan driver motor stepper yang berfungsi untuk mengubah pulsa elektrik menjadi urutan pulsa pada kaki-kaki fungsional motor stepper. Resolusi per langkah pada motor stepper sulit diubah sesuai dengan keinginan pemrogram. Resolusi per langkah pada motor stepper dapat diperkecil sesuai dengan resolusi dasarnya. Jika suatu motor stepper mempunyai resolusi  $1.8^\circ$ , maka resolusi dapat diperkecil menjadi  $0.9^\circ$ ,  $0.45^\circ$ ,  $0.225^\circ$  dan seterusnya [3].

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup, sehingga poros motor dapat diatur posisi sudutnya sesuai dengan input yang diberikan. Motor servo terdiri dari tiga bagian utama yaitu motor, sistem kontrol, dan encoder. Encoder berfungsi sebagai sensor yang memberikan sinyal umpan balik ke sistem kontrol apakah target yang diinginkan sudah benar atau belum. Resolusi per langkah pada motor servo dapat diatur sesuai dengan keinginan pemrogram dengan mengatur beberapa parameter tertentu. Kecepatan putar dan torsi poros motor servo lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan putar dan torsi pada poros motor stepper [4].

Merujuk para referensi diatas, untuk menggerakkan mekanisme gerak pahat dapat bergerak dalam ruang tiga dimensi, dapat menggunakan dua jenis motor diatas. Sistem pengendalian dibutuhkan untuk mengendalikan ketiga motor dimasing-masing sumbu gerak, motor dapat bergerak secara serempak dengan kecepatan dan jumlah putaran yang berbeda-beda untuk tiap sumbu gerakannya. Pengendalian motor dapat dilakukan dengan mengatur jumlah pulsa dan frekuensi pulsa yang diberikan ke masing-masing motor [9-11].

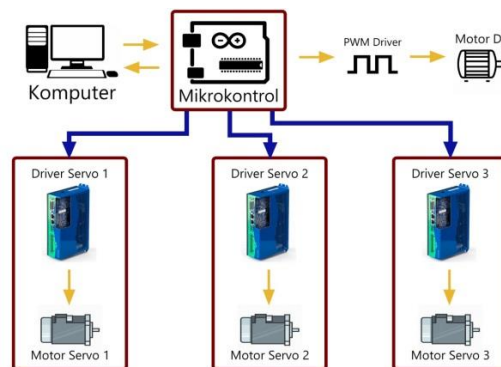
Pada paper ini motor yang digunakan untuk menggerakkan mekanisme gerak pahat adalah motor servo karena kecepatan putar dan torsi poros motor servo lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan putar dan torsi pada poros motor stepper.



Gambar 1. Mesin router pembuat ukiran kayu [2]

## 2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Mesin router yang dibuat supaya dapat beroperasi secara otomatis diperlukan sistem kendali. Sistem kendali yang dirancang mempunyai dua tugas utama yaitu mengatur kecepatan putar pahat dan mengatur gerakan pahat dalam ruang tiga dimensi. Skematik rancangan sistem kendali mesin router dapat dilihat pada Gambar 2.

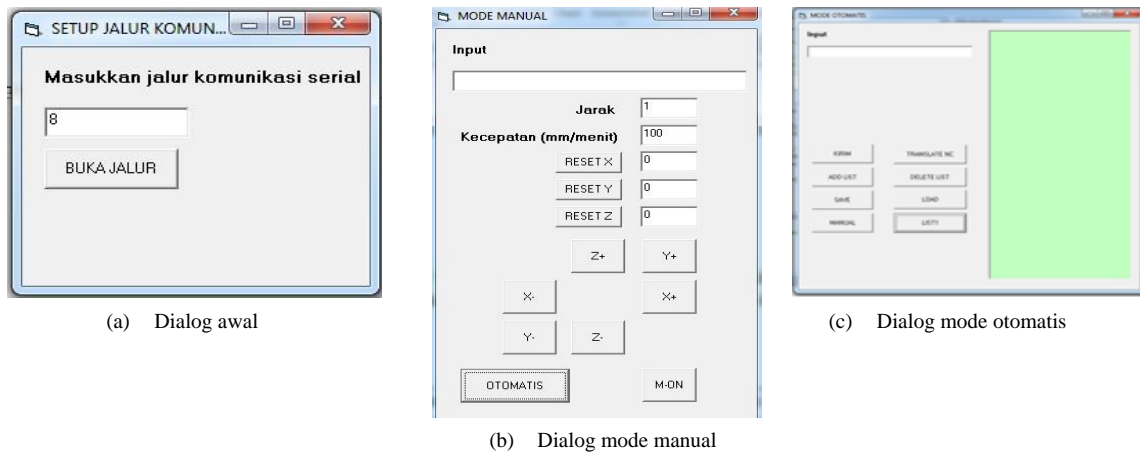


Gambar 2. Skematik sistem kendali mesin router

Secara umum data gerakan yang dituliskan di komputer dikirimkan oleh komputer ke mikrokontroler melalui komunikasi serial. Data gerakan tersebut oleh mikrokontroler digunakan untuk mengatur kecepatan putar dan gerakan pahat. Ketika gerakan pahat telah selesai dilakukan, mikrokontroler akan mengirim sinyal ke komputer bahwa perintah kendali yang telah dikirim oleh komputer telah selesai dieksekusi. Komputer segera mengirim instruksi berikutnya.

Komputer berfungsi untuk menuliskan data kendali yang digunakan untuk mengendalikan mesin router. Tampilan program pada komputer terdiri dari tampilan awal, tampilan mode otomatis, dan tampilan mode manual. Tampilan awal muncul ketika aplikasi program dijalankan. Tampilan awal dapat dilihat pada Gambar 3(a).

Tampilan awal ini digunakan untuk menentukan jalur komunikasi serial yang akan digunakan untuk transfer data dari komputer ke mikrokontroler atau sebaliknya. Jalur komunikasi serial yang digunakan akan terdeteksi secara otomatis ketika tampilan awal tersebut muncul. Pengguna perlu mengkonfirmasi jalur komunikasi serial yang digunakan dengan me-klik tombol BUKA JALUR.



**Gambar 3.** Dialog pada program sistem kendali

Bila tombol MANUAL pada mode otomatis di-klik, tampilan mode manual akan muncul. Tampilan mode manual dapat dilihat pada Gambar 3 (a) dan 3 (b). Tampilan mode manual digunakan untuk mengatur posisi pahat sebelum proses pemotongan dilakukan. Untuk kembali ke mode otomatis, tombol OTOMATIS di-klik.

Mikrokontroler yang digunakan untuk menerjemahkan data gerakan menjadi gerakan adalah Atmega328 yang sudah terangkai pada papan kontrol Arduino Uno. Papan kontrol Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 4. Papan kontrol ini mempunyai jalur I/O digital sebanyak 13 buah dan beberapa di antara jalur tersebut dapat digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC dengan memanfaatkan fasilitas *pulse width modulation* (PWM). PWM driver adalah penguat sinyal pwm yang berasal dari mikrokontroler. Bagian input pwm driver menerima sinyal pwm dari mikrokontroler. Bagian output pwm driver mengeluarkan sinyal pwm dengan nilai tegangan yang lebih besar sesuai dengan tegangan eksternal yang diberikan ke pwm driver. Bentuk pwm driver dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 4.** Papan Arduino Uno [12]

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup sehingga kecepatan putar dan jumlah putaran sudut poros motor dapat diatur. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor AC tiga fasa, serangkaian roda gigi, rangkaian kontrol, dan potensiometer. Motor servo dilengkapi dengan driver motor servo. Driver motor servo mempunyai dua kaki input. Kaki input pertama digunakan untuk menentukan arah putaran poros motor servo sedangkan kaki input yang kedua digunakan untuk mengatur jumlah putaran motor servo.



**Gambar 5.** PWM Driver [13]

Komunikasi antara komputer dengan mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan komunikasi serial. Data yang mampu dikirimkan melalui komunikasi serial adalah data 8 bit. Dengan demikian apabila data yang dikirimkan mempunyai nilai lebih dari 255 maka data tersebut perlu dipecah menjadi dua bagian data. Data kendali mesin router terdiri dari dua jenis data yaitu data kendali untuk mengatur kecepatan putar pahat dan data kendali untuk mengatur gerakan pahat. Format data kendali untuk mengatur mesin router dapat dilihat pada Tabel 1.

Pola pengiriman data gerakan pahat pada dasarnya adalah mengirimkan data gerakan pahat untuk menggerakkan pahat dengan lintasan pahat berupa garis dengan kecepatan yang dapat diatur. Bila kode yang digunakan adalah kode G0, maka kecepatan pahat sudah ditentukan oleh program. Bila kode yang digunakan adalah kode G2 atau G3, maka lintasan busur diubah menjadi beberapa segmen garis kemudian dikirim satu per satu ke mikrokontroler.

Strategi pengiriman data dari komputer ke mikrokontroler harus diatur sedemikian rupa agar data gerakan yang dikirim komputer mampu diterjemahkan menjadi gerakan oleh mikrokontroler. Data yang pertama dikirimkan adalah data kode gerakan. Bila komputer ingin mengendalikan gerakan pahat maka komputer akan mengirimkan angka 255. Bila komputer ingin mengendalikan putaran pahat maka komputer mengirimkan angka 254. Data selanjutnya adalah data yang terkait dengan data gerakan pahat atau data kecepatan putar. Data yang dikirimkan maksimum bernilai 245.

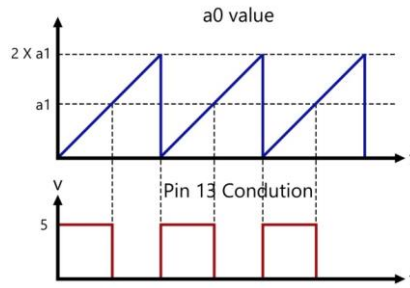
Data yang terkait dengan gerakan berjumlah 15 buah sedangkan data yang terkait dengan kecepatan putar pahat berjumlah satu buah. Data yang terkait dengan gerakan adalah arah putaran motor, nilai kelipatan 245 dari jumlah putaran motor, nilai sisa bagi 245 dari jumlah putaran motor, nilai kelipatan 245 dari delay pulsa, dan nilai sisa bagi 245 dari delay pulsa. Karena jumlah putaran motor ada tiga maka data gerakan pahat berjumlah 15 data. Data yang terkait dengan putaran pahat adalah kecepatan putar pahat.

**Tabel 1.** Sintaks kode G untuk mengatur mesin router

Sintaks	Keterangan
G0 Xa Yb Zc	Menggerakkan pahat dengan lintasan berupa garis dengan kecepatan yang telah ditentukan
G1 Xa Yb Zc Fd	Menggerakkan pahat dengan lintasan berupa garis dengan kecepatan yang dapat diatur
G2 Xa Yb Zc Id Je Ff	Menggerakkan pahat dengan lintasan berupa busur lingkaran dengan arah putaran sesuai arah putaran jarum jam dengan kecepatan yang dapat diatur
G3 Xa Yb Zc Id Je Ff	Menggerakkan pahat dengan lintasan berupa busur lingkaran dengan arah putaran berlawanan arah putaran jarum jam dengan kecepatan yang dapat diatur
Sx	Menentukan putaran pahat dengan kecepatan putar yang dapat diatur

Jika mikrokontroler menerima angka 255 maka variabel angka2 diberi nilai 0. Jika mikrokontroler menerima angka 245 maka variabel angka2 diberi nilai 16. Jika mikrokontroler menerima angka kurang atau sama dengan 245 maka variabel angka2 ditambah dengan 1. Variabel angka2 dalam hal ini menunjukkan data ke berapa yang sedang diterima oleh mikrokontroler. Data yang diterima oleh mikrokontroler akan dimasukkan ke variabel yang sesuai dengan data gerakan yang diterima oleh mikrokontroler. Bila variabel angka2 sama dengan 15 maka semua data gerakan telah diterima secara lengkap oleh mikrokontroler. Mikrokontroler akan menggerakkan ketiga motor servo sesuai dengan data gerakan yang telah diterima dari komputer. Bila angka 2 sama dengan 17 maka data yang terkait dengan kecepatan putar telah diterima secara lengkap oleh mikrokontroler. Mikrokontroler akan mengaktifkan putaran motor DC dengan kecepatan putar sesuai dengan data yang diterima.

Pengaturan gerakan motor dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas timer pada mikrokontroler. Timer merupakan suatu interupsi yang akan dieksekusi setiap selang waktu tertentu. Periode interupsi timer diatur selama 10 mikro detik. Setiap selang waktu 10 mikro detik suatu variabel tertentu di dalam mikrokontroler (a0) akan ditambah satu. Ketika nilai a0 < a1 (setengah dari periode clock), pin 13 mikrokontroler diberi nilai HIGH. Ketika nilai a0 >= a1 pin 13 mikrokontroler diberi nilai LOW. Ketika nilai a0 >= 2\*a1 nilai a0 dikembalikan lagi ke nol. Grafik nilai a0 dan kondisi pin 13 terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 6.

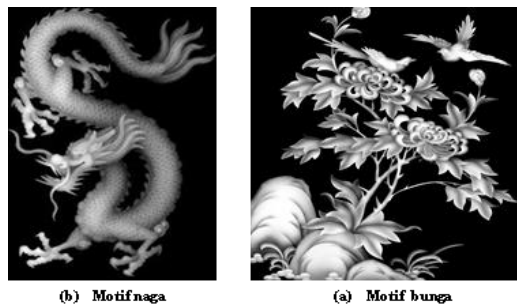


**Gambar 6.** Grafik nilai a0 dan kondisi pin 13

Setiap kali nilai  $a_0 \geq 2 \times a_1$  nilai variabel  $a_4$  ditambah satu. Nilai variabel  $a_4$  menyatakan jumlah pulsa yang telah disampaikan ke motor servo. Ketika jumlah pulsa telah mencapai jumlah pulsa yang telah ditentukan, mikrokontroler akan menyampaikan sinyal ke komputer bahwa eksekusi gerakan telah selesai. Pengendalian motor servo yang lain serupa dengan pengendalian motor servo yang pertama. Variabel  $a_x$  diganti dengan  $b_x$  untuk motor servo yang kedua. Variabel  $a_c$  diganti dengan  $c_x$  untuk motor servo yang ketiga. Dengan cara seperti ini motor servo dapat dikendalikan secara serempak.

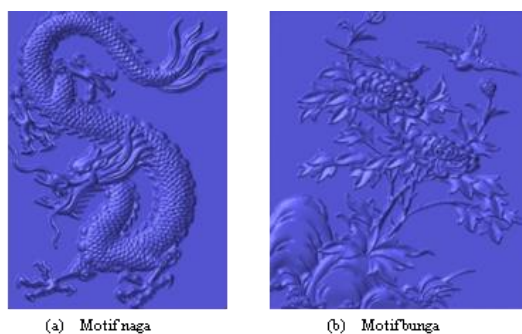
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem mekanik dan sistem kendali mesin router yang telah dibuat perlu diuji untuk memastikan apakah mesin tersebut mampu membuat pola ukir kayu yang diinginkan. Pola ukiran diperoleh dari file dengan format bmp yang secara khusus dapat dibaca oleh program CAD/CAM. File dengan pola ukir yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 7. File tersebut diimport ke perangkat lunak CAD/CAM sehingga diperoleh model ukiran seperti dapat dilihat pada Gambar 8. Dimensi model ukiran dapat disesuaikan dengan keinginan pembuat. Setelah model ukiran berhasil dibuat, langkah selanjutnya adalah mensimulasikan proses pengukiran kasar dan proses pengukiran halus. Hasil simulasi dapat dilihat untuk menentukan apakah parameter pengukiran yang dilakukan untuk pengukiran kasar dan pengukiran halus telah mampu memberikan hasil ukiran yang diinginkan. Dari simulasi dapat dihasilkan program NC untuk melakukan pengukiran yang sebenarnya. Program NC tersebut dibuka di aplikasi yang telah dibuat untuk melakukan pemotongan yang sebenarnya.



**Gambar 7.** Motif ukiran yang akan dibuat dalam format bmp

Hasil pengukiran dengan menggunakan program NC yang dihasilkan dari perangkat lunak CAD/CAM dapat dilihat pada Gambar 9. Ukiran naga berukuran  $18 \times 28 \text{ cm}^2$  sedangkan ukiran bunga dan burung berdimensi  $35 \times 29 \text{ cm}^2$ . Ukiran naga diselesaikan dalam waktu dua hari, sedangkan ukiran bunga dan burung diselesaikan dalam waktu empat hari.



**Gambar 8.** Motif ukiran setelah diimport ke perangkat lunak CAD/CAM



**Gambar 9.** Hasil ukiran dengan menggunakan mesin router



**Gambar 9.** Proses pembuatan ukiran dengan menggunakan mesin router

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem kendali mesin router mampu melakukan pengukiran berdasarkan program NC yang telah dihasilkan oleh perangkat lunak CAD/CAM. Pola ukiran yang dihasilkan merupakan pola yang cukup rumit. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu pola ukiran masih cukup lama. Masih perlu dilakukan percobaan pengukiran untuk mengetahui parameter-parameter pengukiran yang optimum.

Penggunaan motor servo sebagai motor penggerak memberikan hasil yang lebih baik, dalam kemudahan pengendalian dan hasil pekerjaan yang diperoleh dari mesin router NC yang dikendalikan, jika dibandingkan dengan penggunaan motor stepper sebagai motor penggerak seperti yang digunakan oleh para peneliti sebelumnya [9-11].

#### Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada DRPM Kemenristek Dikti RI yang telah membiayai penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Samah Mochtar, (2013), *Design and Structural analysis of a CNC Router*, Final year project mechanical engineering Department faculty of engineering, Lebanese University.
- [2] Rachmad Hartono, et al, (2018), *Analisis Struktur Rangka Mesin Router NC Jenis Moving Gantry Untuk Ukiran Kayu*, Prosiding SNTTM 2018.
- [3] V. V. Athani, (2005), *Stepper Motors: Fundamentals, Applications And Design*, New Age International limited Publishing, New Delhi, India
- [4] Riazollah Firoozian, (2008), *Servo Motors and Industrial Control Theory*, Springer Cham Heidelberg, New York USA
- [5] 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.
- [6] Benhabib, Beno., (2003). *Manufacturing: Design, Production, Automation, and Integration*. New York: Marcel Dekker.
- [7] 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.
- [8] Olufemi B. Akinnuli, et al (2015), *Design of a Keypad Operated CNC Drilling Router*, International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, ISSN 2091-2730.

- [8] 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 (IOSRJMCE), e-ISSN: 2278-1684, pp 23-28.
- [9] 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.
- [10] Camelia Cosoreanu, (2014), *Complex ornament machining process on CNC Router*, Pro Ligno, Vol 10 No 2014 pp 22-30.
- [11] Agus Kurniawan, (2017), *Arduino Programming with .NET and Sketch*, Springer Science + Business Media New York, 233 Spring Street, 6th Floor, New York, NY 10013, pp 2-19.
- [12] Fahmi Addinul Haq, (2017), *Mengatur Kecepatan Motor DC Spindle Berbasis PWM (Pulse Width Modulation) pada Mesin CNC Portable*, Tugas Akhir – TE 145561, Prodi Komputer Kontrol Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, ITS, pp 5-14