

Mesin Gambar Otomatis Berbasis Mikrokontroler

Yusup Mulkan¹, Haura Fikriyah Hakimah², Mochammad Rizky Lazuardi³,
Rangga Vega⁴, Noor Cholis Basjaruddin⁵, Edi Rakhman⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : yusup.mulkan.tec417@polban.ac.id, ²E-mail : haura.fikriyah.tec417@polban.ac.id,

³E-mail : mohammad.rizky.tec417@polban.ac.id, ⁴E-mail : rangga.vega.tec417@polban.ac.id

⁵E-mail : noorcholis@polban.ac.id, ⁶E-mail : ediman27@gmail.com

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan akan alat-alat otomatis semakin banyak termasuk dalam bidang manufaktur. Sistem pengendalian otomatis sangat menguntungkan bagi manusia. Selain bisa membuat pekerjaan menjadi lebih mudah, pengendalian otomatis juga dapat mengurangi kesalahan yang dilakukan oleh manusia (*human error*) dan meningkatkan efektifitas kerja. Berdasarkan topik tersebut, dibuatlah suatu sistem mekatronika berbasis teknologi dengan judul “Mesin Gambar Otomatis Berbasis Mikrokontroler”. Pembuatan alat ini berdasarkan pada perancangan sistem mekatronika dengan Model V. Alat terdiri bagian mekanik dengan dimensi 30 cm × 50 cm × 15 cm. Bagian elektronika penyusun alat adalah Arduino Uno, 4 buah motor stepper, driver motor IC A4988, dan modul catu daya. Sebuah *embedded system* yang dikoordinasikan dengan Bahasa C pemrograman pada Arduino IDE, *software* desain gambar *Computer Aided Design* (CAD), dan *software* kendali CNCjs. Adapun sistem kendali yang digunakan adalah pengendali *on-off* pada konfigurasi *open loop*. Pada akhir penelitian, didapatkan Mesin Gambar Otomatis Berbasis Arduino Uno dengan ketahanan terhadap gangguan berupa pemberian beban 1kg, ketelitian 0.1 mm dan kecepatan gambar 0.75 cm/s.

Kata Kunci

Mekatronika, Open Loop, Arduino Uno, CNC, Pengendali On Off

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan akan alat-alat pengendali otomatis semakin banyak berkembang. Salah satunya dalam bidang manufaktur, dimana barang-barang di produksi secara otomatis bahkan sampai ke dalam produk-produk mikro atau keperluan pribadi dan rumahan agar menjadi efisien. Hal ini dikarenakan sistem pengendali otomatis sangat menguntungkan bagi manusia. Selain bisa membuat pekerjaan menjadi lebih mudah, pengendalian otomatis juga dapat mengurangi kesalahan yang dilakukan oleh manusia (*human error*) dan meningkatkan efektifitas kerja.

Salah satu pengendali otomatis yang dibuat untuk meningkatkan efektifitas kerja adalah penelitian Agustinus Adi Nugroho bersama dengan Leonardus Hero Pratomo. Adapun penelitian yang dibuat adalah pembuatan sebuah mesin gambar otomatis dengan judul “Mesin Gambar berbasis Arduino Uno R3 pada Desain Grafis” dengan tujuan mempermudah pekerjaan dalam bidang desain grafis. Dalam penelitian ini, digunakan 3 motor stepper untuk mengontrol gerakan kertas pada sumbu x dan y, serta satu motor stepper pada sumbu z untuk menggerakkan spidol. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno yang diprogram dengan menggunakan bahasa G-Code dengan bantuan *software* CNC untuk mengontrol pergerakan dan sinkronisasi motor. Hasil dari penelitian ini

adalah mesin gambar otomatis berukuran kecil dan mampu mencetak logo yang berisikan gambar dan tulisan pada kertas berukuran 180 mm × 120 mm [1].

Penelitian lainnya yang serupa adalah penelitian yang dilakukan oleh Mukhofidhoh dan Nur Kholis dalam membuat penelitian berjudul “Rancang Bangun Mesin Pengebor PCB Mini Otomatis Berbasis Arduino Uno”. Dalam penelitian ini dibuat mesin pengebor PCB mini otomatis yang dapat bergerak dengan 3 gerak yaitu arah x, y, dan z. Sistem ini menggunakan motor servo, *driver* motor L293D, serta motor stepper sebagai aksis x, y, dan z. Hasil akhir pengujian menunjukkan kemampuan sistem dapat melakukan 200 titik pengeboran dalam jangka waktu 1.770 detik dengan pergerakan jarak antar 2 titik dengan selisih 1 mm dan tingkat error rata rata sebesar 2% [2].

Dari kedua penelitian tersebut, kedua sistem memiliki kekurangan dalam hal ukuran mesin yang kecil. Dalam penelitian Agustinus, sistem memiliki kemampuan untuk menggambar di media kertas berukuran 180 mm × 120 mm, sedangkan pada penelitian Mukhofidhoh sistem memiliki kemampuan mengebor papan PCB berukuran mini. Maka dari kedua penelitian tersebut, pengembangan sistem yang dapat dilakukan adalah dengan membuat mesin gambar otomatis berukuran besar agar mampu menggambar di media yang lebih besar namun tetap memiliki ketelitian yang baik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dibuatlah suatu alat berbasis teknologi dengan kendali *Open Loop* yang diberi judul “Mesin Gambar Otomatis Berbasis Mikrokontroler”. Alat yang terdiri dari komponen elektronika, *controller*, *driver*, aktuator, dan sebuah *embedded system* yang dikoordinasikan dengan Bahasa C pemrograman pada Arduino dengan menggunakan kendali *Open Loop*.

Artikel ilmiah ini adalah bagian dari tugas mata kuliah Teknik Mekatronika yang dilaksanakan dengan *Project Based Learning*. Penulisan artikel ini diawali dengan Deskripsi Alat, Perancangan dan Realisasi, Pengujian, dan Kesimpulan.

2. DESKRIPSI ALAT

Penelitian dan perancangan alat menggunakan metode perancangan sistem mekatronika berdasarkan model V. Seluruh langkah perancangan dapat dikelompokkan menjadi enam tahap yaitu: Tahap penentuan *requirement* dan *specification*; Tahap perancangan bagian mekanik, elektronik, dan komputer; Tahap realisasi dan pengujian bagian mekanik, elektronik, kendali, komputer; Tahap integrasi; Tahap pengujian secara menyeluruh; dan Tahap produksi [3].

Mesin Gambar Otomatis Berbasis Mikrokontroler yang akan dibuat ini merupakan sistem kendali konfigurasi *open loop*. Prinsip kerja alat ini adalah mengendalikan posisi motor stepper sesuai koordinat-koordinat yang membentuk sebuah gambar tertentu. Hasil pembacaan gambar dikonversi menjadi file G-code yang kemudian diupload pada *controller* sebagai *set point* dalam bentuk koordinat untuk menentukan posisi dan jalur yang akan dilewati gambar. Ketika *set point* sudah ditentukan maka motor stepper sebagai aktuator menerima perintah dari *controller* dan mengikuti posisi koordinat dan jalur yang sudah ditentukan sebelumnya.

3. PERANCANGAN DAN REALISASI

3.1. Perancangan Spesifikasi Sistem

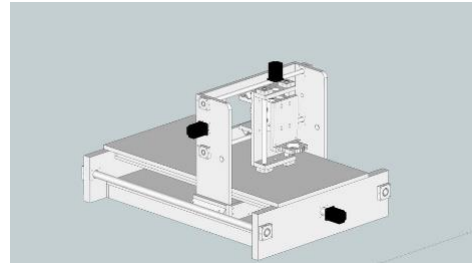
Spesifikasi sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

- *Input* Keseluruhan : 220 VAC ~ 12 VDC
- Dimensi Alat : 30 cm × 50 cm × 15 cm
- Mikrokontroler : Arduino Uno
- *Software* Kendali : CNCjs
- Metode Kendali : Pengendali *On-Off*
- Ketelitian Alat : 1 mm
- Kecepatan Alat : 0.5 cm/s
- Fungsi Alat : Menggambar secara otomatis sesuai gambar komputasi

3.2. Perancangan Sistem Mekatronika

3.2.1. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik pada alat ini dibuat menggunakan aplikasi Sketchup dan tampak seperti gambar berikut ini:

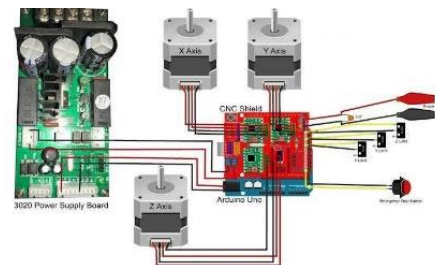


Gambar 1. Perancangan Mekanik

3.2.2. Perancangan Elektronika

Perancangan elektronika pada alat ini dibuat menggunakan 3 motor stepper sebagai komponen yang menggerakkan CNC agar dapat menggambar secara koordinat x, y, dan z sesuai koordinat gambar hasil *convert* ke G-Code. Limit switch berguna untuk membatasi gerak. *Power supply* berguna untuk memberikan sumber ke driver motor stepper. Arduino sebagai mikrokontroler atau hardware untuk mengupload program yang dibuat.

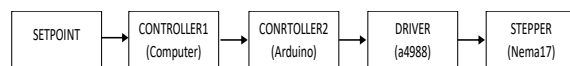
Dari komponen-komponen elektronika di atas, maka seluruh komponen diintegrasikan ke dalam sebuah rangkaian listrik atau biasa disebut sebagai *system wiring*. Adapun *system wiring* yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. System Wiring

3.2.3. Perancangan Kendali

Perancangan sistem kendali pada alat ini dijelaskan melalui diagram blok sebagai berikut:



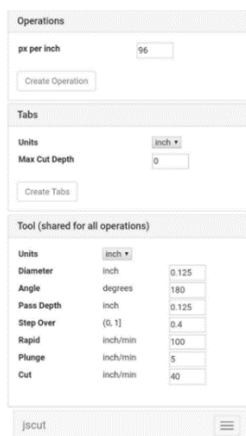
Gambar 3. Diagram Blok Sistem Kendali

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 4 maka sistem kendali yang akan dibuat pada Mesin Gambar Otomatis Berbasis Arduino Uno ini menggunakan sistem kendali dengan konfigurasi *open loop* dan jenis pengendali *on-off* yang secara garis besar memuat:

- *Set Point* → G-Code
Hasil pembacaan gambar yang akan dibuat dikonversi menjadi file G-Code yang kemudian di upload ke controller sebagai set point dalam bentuk koordinat untuk menentukan posisi dan jalur yang akan dilewati.
- *Controller 1* → *Personal Computer*
- *Controller 2* → *Arduino Uno*
- *Driver Motor Stepper* → *IC A4988*
- *Aktuator* → *Motor Stepper Nema 17*
Motor stepper akan menerima perintah dari controller dan mengikuti posisi koordinat dan jalur yang sudah ditentukan sebelumnya. Pada mesin ini akan digunakan 3 motor stepper, yaitu untuk sumbu x, sumbu y dan sumbu z.

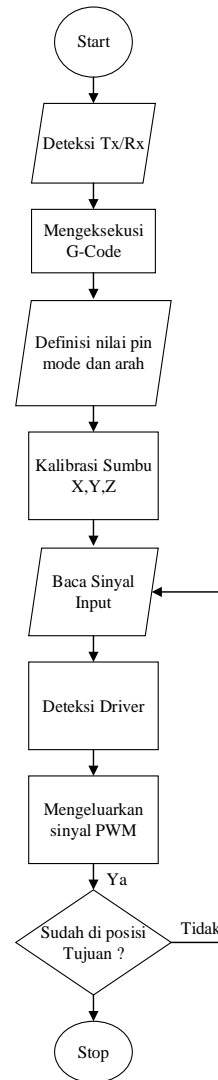
3.2.4. Perancangan Piranti Lunak

Perancangan piranti lunak pada alat yang akan dibuat yaitu menggunakan pemrograman bahasa C++ dengan *software* Arduino IDE dan *software* desain gambar *Computer Aided Design* (CAD), serta menggunakan *software* kendali CNCjs. *Software* desain gambar *Computer Aided Design* menghasilkan gambar yang kemudian dikonversi menjadi titik koordinat tertentu. Program untuk membuat gambar menjadi bentuk koordinat melalui converter G-Code tampak seperti gambar berikut:



Gambar 4. *Flowchart* Perancangan Program

Adapun untuk memudahkan pembuatan program yang akan dibuat, maka digunakan flowchart seperti gambar berikut dalam perancangan program:



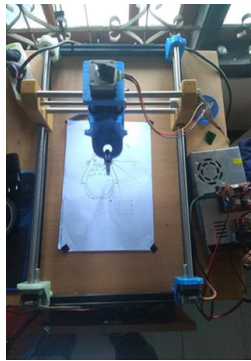
Gambar 5. *Flowchart* Perancangan Program

Realisasi dari perancangan yang telah dilakukan baik mekanik, elektronika, sistem kendali, maupun komputer akan dibahas dalam realisasi dan pengujian sistem.

3.3. Realisasi Sistem Mekatronika

3.3.1. Realisasi Mekanik

Diperlukan desain mekanik yang kokoh agar sinyal respon dari mikrokontroler ini dapat menggerakkan motor stepper sesuai dengan nilai koordinat x, y, dan z yang telah ditentukan. Berikut ini adalah gambar mekanik keseluruhan sistem yang telah dibuat.



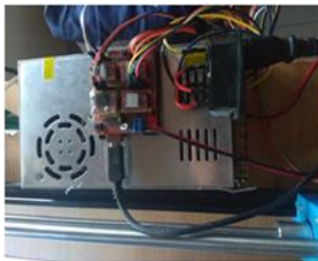
Gambar 6. Realisasi Mekanik

3.3.2. Realisasi Elektronika

Realisasi elektronika dari sistem yang telah dibuat menggunakan 4 motor stepper sebagai komponen yang menggerakkan CNC agar dapat menggambar secara koordinat x, y, dan z sesuai koordinat gambar hasil *convert* ke G-Code. 4 motor stepper yang digunakan diletakkan 1 motor di sumbu x, 2 motor di sumbu y, dan 1 motor di sumbu z. Dimana motor stepper y1 dibuat agar ekuivalen terhadap motor stepper y2.

Elemen elektronika selanjutnya yang direalisasikan adalah menggunakan limit switch yang berguna untuk membatasi gerak. *Power supply* digunakan untuk memberikan sumber ke driver motor stepper. Arduino sebagai mikrokontroler atau hardware untuk mengupload program yang dibuat.

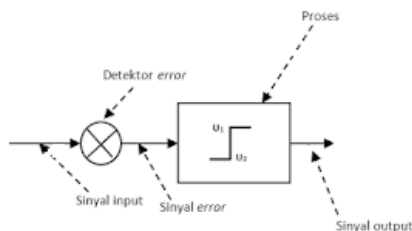
Realisasi elektronika sistem yang dilihat dari rangkaian elektronika dan rangkaian modul *power supply* berikut ini:



Gambar 7. Realisasi Elektronika

3.3.3. Realisasi Sistem Kendali

Realisasi sistem kendali pada alat yang dibuat adalah Pengendali *On-Off*. Dengan diagram blok kendali *on-off* berikut:



Gambar 8. Realisasi Sistem Kendali *On-Off*

File G-Code yang kemudian di upload ke controller sebagai sinyal input dalam bentuk koordinat akan diproses pada Arduino, dimana jika error = 1 maka arduino akan memberikan MV sebesar 225 (logika 1) untuk memberi perintah kepada aktuator untuk menentukan posisi motor dan jalur yang akan dilewati. Kemudian jika error = 0 maka arduino akan memberikan MV sebesar 0 (logika 0) dan memberi perintah kepada aktuator untuk off.

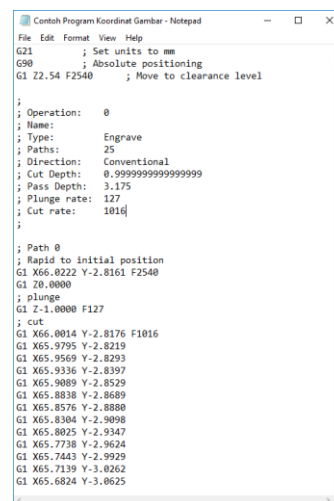
3.3.4. Realisasi Piranti Lunak

Alat ini sudah bekerja sesuai dengan *flowchart* yang direalisasikan dalam bahasa C untuk pemrograman Arduino Uno sebagai bagian sistem pengatur pergerakan motor stepper. Berikut program untuk mengupload file *grbl* pada Arduino:



Gambar 9. Realisasi Program untuk Mengupload Grbl pada Arduino

Adapun berikut ini adalah contoh potongan program yang di upload pada aplikasi HMI (CNCjs) untuk mengendalikan koordinat motor stepper:



Gambar 10. Contoh Potongan Program Pengendali Koordinat Gambar

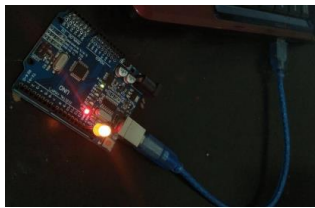
4. PENGUJIAN

4.1. Pengujian Komponen

Pengujian komponen dilakukan diantaranya untuk Arduino Uno, motor stepper Nema17 dengan driver A4988, dan interkoneksi antar komponen.

4.1.1. Pengujian Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet) yang memiliki 14 pin input dari output digital. Dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset [4]. Berikut ini adalah rangkaian yang digunakan dalam pengujian atau pengetesan Arduino Uno:



Gambar 11. Rangkaian Pengujian Arduino Uno

Pengujian Arduino Uno dengan gambar rangkaian di atas menggunakan program blink sederhana Berikut ini listing kode programnya menggunakan Arduino IDE:

```
pengujian_arduino | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
Upload
pengujian_arduino $
void setup() {
  // initialise digital pin 13 as an output
  pinMode(13, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(13, LOW);
  delay(1000);
}
```

Gambar 12. Program Pengujian Arduino Uno

Hasilnya adalah LED berkedip *on-off* dengan delay 1 s. Dengan demikian Arduino Uno berhasil diidentifikasi dalam keadaan baik.

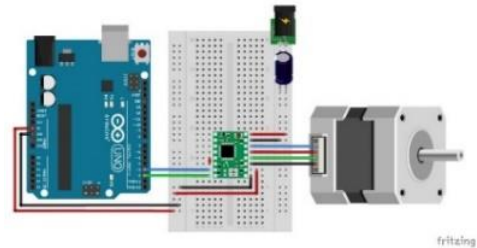
4.1.2. Pengujian Motor Stepper dan Driver A4988

Motor Stepper adalah motor listrik DC tanpa sikat dimana untuk memutarinya kita butuh pulse listrik setahap demi setahap, berbeda dengan motor DC biasa yang hanya perlu power supply tanpa adanya pulse kontrol. Dengan pulse kita bisa mengontrol derajat putaran [5].

Adapun IC A4988 adalah driver microstepping motor yang lengkap dengan built-in penerjemah untuk mengarahkan setiap motor stepper. Stepper motor banyak digunakan untuk CNC dan proyek mesin otomatis lainnya. Dengan bantuan A4988

stepper modul driver motor ini, setiap stepper motor dapat diarahkan dengan hanya bantuan dua pin dari setiap mikrokontroler [6].

Berikut ini adalah rangkaian yang digunakan dalam pengujian atau pengetesan Motor Stepper dan Driver A4988:



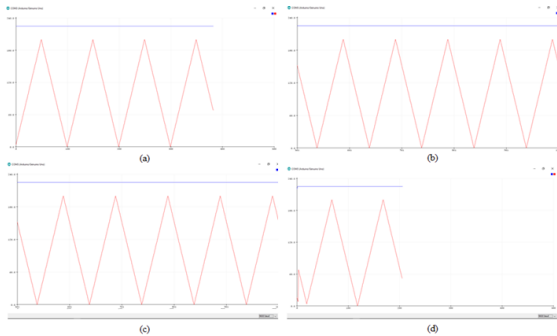
Gambar 13. Rangkaian Pengujian Motor Stepper

Pengujian motor stepper dengan rangkaian pada Gambar 13 menggunakan program dengan *source code* Arduino IDE berikut:

```
Cek_stepper | Arduino 1.8.7
File Edit Sketch Tools Help
Cek_stepper
// Include the AccelStepper Library
#include <AccelStepper.h>
// Define pin connections
const int dirPin = 2;
const int stepPin = 3;
// Define motor interface type
#define motorInterfaceType 1
// Creates an instance
AccelStepper myStepper(motorInterfaceType, stepPin, dirPin);
long a;
void setup() {
  // set the maximum speed, acceleration factor,
  // initial speed and the target position
  myStepper.setMaxSpeed(1000);
  myStepper.setAcceleration(50);
  myStepper.setSpeed(200);
  myStepper.moveTo(200);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Change direction once the motor reaches target position
  if (myStepper.distanceToGo() == 0)
    myStepper.moveTo(-myStepper.currentPosition());
  // Move the motor one step
  myStepper.run();
  a = myStepper.currentPosition();
  Serial.print(a);
}
```

Gambar 14. Program Pengujian Motor Stepper

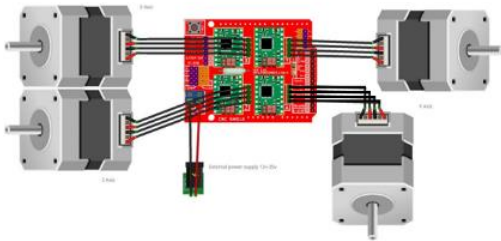
Kode pemrograman diatas bekerja dengan memberikan sinyal kepada motor stepper sampai dengan motor stepper mencapai tujuannya yaitu 200 pulsa, setelah motor stepper mencapai 200 pulsa motor stepper akan berputar berlawanan sampai mencapai 200 pulsa berikutnya, dan kembali berputar berlawanan proses ini terus berulang. Posisi motor stepper akan diamati melalui serial plotter Arduino. Dari hasil running program di atas, didapatkan data respon pengetesan aktuator dan mikrokontroler pada sistem seperti gambar berikut:



Gambar 15. Respon Hasil Pengujian Motor Stepper Sumbu x (a), Sumbu y1 (b), Sumbu y2 (c), dan Sumbu z (d)

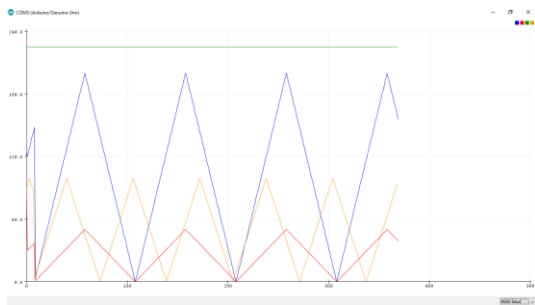
4.1.3. Pengujian Interkoneksi

Berikut ini adalah rangkaian yang digunakan dalam pengujian atau pengetesan interkoneksi dari sistem:



Gambar 16. Rangkaian Pengujian Interkoneksi

Dari rangkaian pengetesan interkoneksi di atas kemudian dilihat responnya apakah dari seluruh bagian yang ada dapat saling terintegrasi. Dalam pengujian ini, motor stepper y1 ekuivalen terhadap motor stepper y2. Hasil pengetesan dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 17. Respon Hasil Pengujian Interkoneksi

Dari pengujian interkoneksi ini dapat disimpulkan bahwa kondisi komponen adalah:

Tabel 1. Kondisi Komponen Hasil Pengujian

Komponen	Kondisi
Arduino Uno	Baik
Driver A4988 dan Motor Stepper Sumbu x	Baik
Driver A4988 dan Motor Stepper Sumbu y	Baik
Driver A4988 dan Motor Stepper Sumbu z	Baik
Interkoneksi	Baik

Pada Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa Arduino Uno memiliki kondisi baik, hal ini dikarenakan Arduino Uno dapat mentransfer program ke aktuator sehingga aktuator bekerja sesuai dengan program yang diinput. Kemudian Driver A4988 dan motor stepper Nema17 dalam kondisi baik karena dapat merespon program dengan baik dan sesuai input yang dimasukkan dari program. Adapun interkoneksi dikatakan baik karena aktuator dapat bergerak sesuai data yang dikirimkan dari mikrokontroler.

4.2. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan cara menjalankan sistem dalam beberapa kondisi.

4.2.1. Pengujian Kondisi Normal

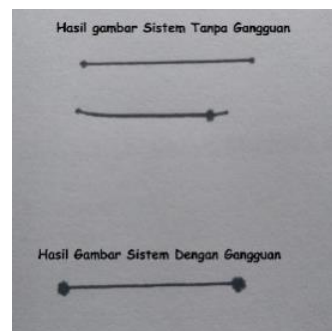
Pengujian kondisi normal menghasilkan gambar akhir hasil mesin sebagai berikut:



Gambar 18. Respon Pengujian Kondisi Normal

Respon pengujian kondisi normal menghasilkan gambar yang sesuai dengan hasil komputasi dengan goresan dan garis gambar yang rapih dan detail.

Kemudian alat diuji coba dengan diberi gangguan berupa pemberian beban 1 Kg yang disimpan pada mekanik sumbu Z. Pemberian beban 1 Kg ini bertujuan untuk menguji ketahanan dan program dari pengendali motor stepper terutama pada sumbu z. Adapun hasil dari pemberian gangguan berupa beban seperti gambar di atas, menghasilkan perbandingan gambar hasil akhir berikut:



Gambar 19. Perbandingan Respon Kondisi Normal dan Pemberian Gangguan

Dari Gambar 19 di atas, dapat dilihat bahwa baik pada kondisi normal ataupun diberi gangguan, sistem dapat menggambar garis dengan panjang 3 cm secara lurus dan tepat.

Selain dari uji gangguan adalah pengujian ketelitian dari alat. Hal ini dilakukan dengan mencoba mesin menggambar bentuk lingkaran. Berikut ini adalah hasil dari test ketelitian:



Gambar 20. Pengujian Ketelitian Sistem

Dimana dari Gambar 20 di atas dapat dilihat bahwa gambar yang dihasilkan berakhir di titik awal lingkaran. Maka hal ini membuktikan bahwa ketelitian alat telah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dalam perancangan awal yaitu 1 mm, bahkan lebih baik dari perancangan awal, yaitu mencapai 0.1 mm.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian kecepatan mesin gambar otomatis dalam menggambar. Pengujian ini dilakukan dengan menggambar garis lurus sepanjang 3 cm. Diketahui bahwa mesin gambar otomatis memerlukan waktu 4 detik dalam menggambar garis lurus dengan panjang 3 cm. Hal ini berarti kecepatan mesin gambar otomatis dapat ditentukan melalui rumus kecepatan:

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

$$v = \frac{3 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = 0.75 \text{ cm/s} \quad (2)$$

Dari rumus kecepatan di atas, maka kemampuan mesin gambar otomatis yang telah dibuat memiliki kecepatan 0.75 cm/s. Hal ini telah memenuhi spesifikasi awal yang telah ditentukan yaitu 0.5 cm/s.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, perancangan dan pembuatan alat ini, dapat disimpulkan bahwa Mesin Gambar Otomatis Berbasis Arduino Uno berhasil direalisasikan sesuai dengan perancangan sistem

mekatronika dengan model V yang telah dilakukan dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Dimana alat ini memenuhi spesifikasi dimensi 30 cm × 50 cm × 15 cm dan dapat bekerja jika diberikan *input* 220 VAC yang kemudian dikonversikan menjadi 12 VDC. Dengan bagian elektronika penyusun alat berupa Arduino Uno, 4 buah motor stepper yang diletakkan 1 di sumbu x, 2 di sumbu y, dan 1 di sumbu z lengkap dengan driver IC4988, serta modul catu daya.

Mesin Gambar Otomatis Berbasis Arduino Uno yang dibuat ini bekerja dengan jenis pengendali *on-off* pada konfigurasi *open loop* dan dengan sebuah *embedded system* yang dikoordinasikan dengan Bahasa C pemrograman pada Arduino IDE, *software* desain gambar *Computer Aided Design* (CAD), dan *software* kendali CNCjs. Pada akhir pengujian, didapatkan Mesin Gambar Otomatis Berbasis Arduino Uno dengan ketahanan terhadap gangguan berupa pemberian beban 1kg, ketelitian 0.1 mm, dan kecepatan mesin gambar 0.75 cm/s.

Berdasarkan penelitian, perancangan dan pembuatan alat ini, untuk proses pengembangan proyek yang serupa dapat dikembangkan sistem dengan kecepatan mesin gambar yang lebih baik lagi. Kemudian sistem juga dapat dikembangkan menjadi mesin yang menghasilkan seni rupa 3 dimensi, seperti mesin ukir atau mesin pencetak 3D.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho, Agustinus Adi. Pratomo, Leonardus Heru. 2020. Mesin Gambar Otomatis Berbasis Arduino Uno R3 pada Desain Grafis. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*. Vol 5: 41 – 46.
- [2] Mukhofihoh. Kholis, Nur. 2018. Rancang Bangun mesin Pengebor PCB Mini Otomatis Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol 07 (01): 9 – 16.
- [3] Basjaruddin, NC. 2015. Pembelajaran Mekatronika Berbasis Proyek. Deepublish: Yogyakarta.
- [4] Ayu, Rahmasari. 2016. Prototype Alat Pemilah dan Penghitung Bola Berwarna Menggunakan LDR dengan Tampilan LCD Berbasis Arduino Uno. [Tesis]. Palembang (ID): Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [5] Yusuf, Muhammad. 2017. *Motor Stepper*. <http://sorayakit.blogspot.com/2017/01/motor-stepper.html>. [Diakses pada 10 Maret 2020]
- [6] Shet, Jay. *A4988 Stepper Motor Driver with Arduino Tutorial*. <https://iknowvations.in/arduino/a4988-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>. [Diakses pada 10 Maret 2020]