ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

PERANCANGAN MESIN *PLOTTER* BATIK BERBASIS *COMPUTER NUMERICAL CONTROL* (CNC)

Achmad Fauzan Hery Soegiharto[1] , Arif Tyan Prasetyawan[2], Afif Irsyad Zain[3], Bagus Setia Budi[4], Heni Hendaryati[5], Moh. Jufri[6]
[1,2,3,4,5,6] Universitas Muhammadiyah Malang, Malang

Kontak person:
Achmad Fauzan Hery Soegiharto[1]
Jl. Raya Tlogomas No.246, Malang 65144, Telp. (0341) 464318-128 Fax, (0341) 460782
e-mail: achmadfauzan@umm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah mesin plotter batik berbasis CNC dengan konstruksi yang kokoh, lebih presisi, berikut pena batiknya, dan menghasilkan pemrograman yang tepat untuk mengoperasikannya. Penelitian atau perancangan ini menggunakan metode Pahl and Beitz, metode pemrograman absolut dan metode research and development. Plotter batik berbasis CNC berdimensi 500 mm x 450 mm x 300 mm dengan luasan bidang gambar 300 mm x 300 mm, menggunakan rangka alumunium v-slot profile dan transmisi everman belt drive. Pena batik yang dihasilkan memiliki kapasitas tabung 34 cm3, menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, sensor suhu inframerah MLX90614, elemen pemanas tipe kabel, penstabil suhu, modul monitor LCD 16x2 dan modul I2C. Pemrograman penggerak motor stepper menggunakan aplikasi Universal G-Code Sender. Ploter batik ini menggunakan pena batik yang mampu mengalirkan lilin batik pada suhu yang tepat, tanpa terjadi luberan pada bagian akhir garis pola batik, ukuran garis bervariasi dari 0,98 hingga 4 mm. Torehan garis paling rapi terjadi pada variasi kecepatan 25,25,400 step/mm dengan variasi suhu 75°C dan 80°C serta ketebalan garis 1 mm.

Kata kunci: *batik tulis, plotter, CNC, pena batik elektrik, pemrograman*

1. Pendahuluan

Batik adalah istilah yang digunakan untuk menyebut kain bermotif yang dibuat dengan teknik *resist* menggunakan material lilin (lilin batik). Batik saat ini sudah ditetapkan UNESCO sebagai warisan khas Indonesia dan peminat kain batik tidak hanya konsumen dari Indonesia tetapi dari mancanegara. Hal ini tercermin dari nilai ekspor batik yang naik 14,7% dari tahun 2011 senilai Rp 43,96 triliun menjadi Rp 50,44 triliun pada 2015 (Data Kementerian Perindustrian, 2015) [1].

Proses pembuatan batik khususnya batik tulis di Indonesia meliputi proses pembuatan pola atau gambar pada media, pelapisan gambar dengan lilin batik, pencelupan dan pencucian. Proses ini dilakukan untuk tiap warna yang diinginkan. Batik tulis lebih diunggulkan dari segi kualitas, estetika, dan karya seni namun proses pembuatannya membutuhkan waktu yang lama. Tingginya tingkat kesulitan pada proses pelapisan dengan lilin, menyebabkan proses pelapisan dengan lilin menjadi proses terlama. Kesulitan ini menyebabkan semakin langkanya pengrajin batik tulis tradisional.

Berdasarkan uraian diatas, untuk mengatasi kelangkaan tukang tulis batik, maka dibutuhkan mesin tulis batik sehingga akan diperoleh batik dengan kualitas yang bagus namun dalam pembuatannya tidak memerlukan waktu yang lama untuk menggantikan peran manusia. Teknologi mesin yang mungkin diterapkan adalah teknologi mesin CNC dan juga *Plotter*. Mesin berbasis CNC (*computer numerical control*) yang dijual secara *online*, seperti mesin pemotong Laser (*Laser Engraving Machine*), mesin bubut ukir (*Drilling engraver machine*), 3D *printing machine*, *Plotter Drawing machine* dan *Water Jet Cutting*. Abdul Rahman Fauzi dan Hery Siswanto telah menghasilkan mesin plotter batik tulis berbasis CNC, yang dibuat dengan tujuan mempercepat waktu produksi dan mempermudah proses pembuatan batik tulis tanpa melepas unsur keunikan dari batik tersebut. Uji coba (*test drive*) terhadap mesin plotter batik tulis karya Abdul Rahman Fauzi dan Hery Siswanto, tersebut menemukan beberapa kelemahan. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kelemahan-kelemahan mesin plotter batik tulis tersebut yaitu ketidak presisian kontruksi, getaran berlebihan, ketidakkokohan konstruksi, melubernya cairan lilin batik [2].

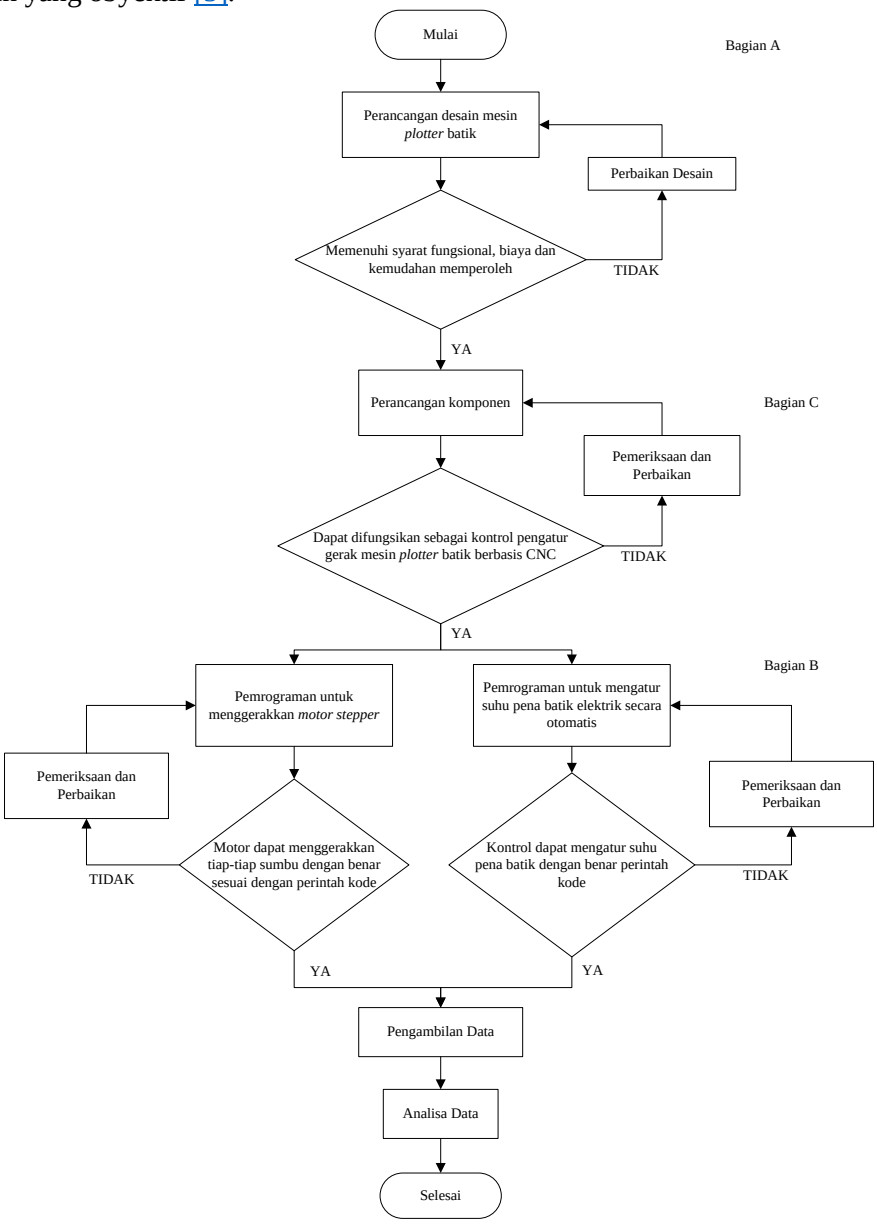
2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian mesin plotter batik berbasis CNC adalah sebagai berikut :

Metode Perancangan menggunakan metode *Pahl and Beitz*. Metode ini digunakan untuk merancang mesin plotter batik berbasi CNC dan canting elektrik (pena batik elektrik). Terdapat 4 tahapan perancangan yaitu perencanaan dan penjelasan tugas, perancangan konsep produk, perancangan bentuk, dan perencanaan detail [3].

Metode Pemrogaman menggunakan refrensi absolut. Metode ini lazim digunakan pada pemrograman CNC. Titik pertama yang dibuat, dijadikan referensi dimulainya pemrograman [4].

Metode *Research and Development Borg and Gall*, yaitu yang tersusun atas langkah langkah berikut: 1) pengkajian terhadap hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan validitas komponen-komponen pada produk yang akan dikembangkan, 2) pengembangan menjadi sebuah produk, 3) pengujian terhadap produk yang dirancang, 4) peninjauan ulang serta koreksi produk berdasarkan hasil uji coba. Hal untuk memastikan bahwa produk temuan dihasilkan dari kegiatan pengembangan yang obyektif [5].



Gambar 1 Diagram alir penelitian

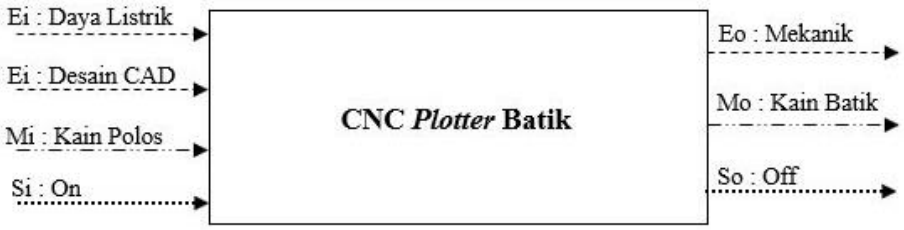
ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

3. Hasil dan Pembahasan

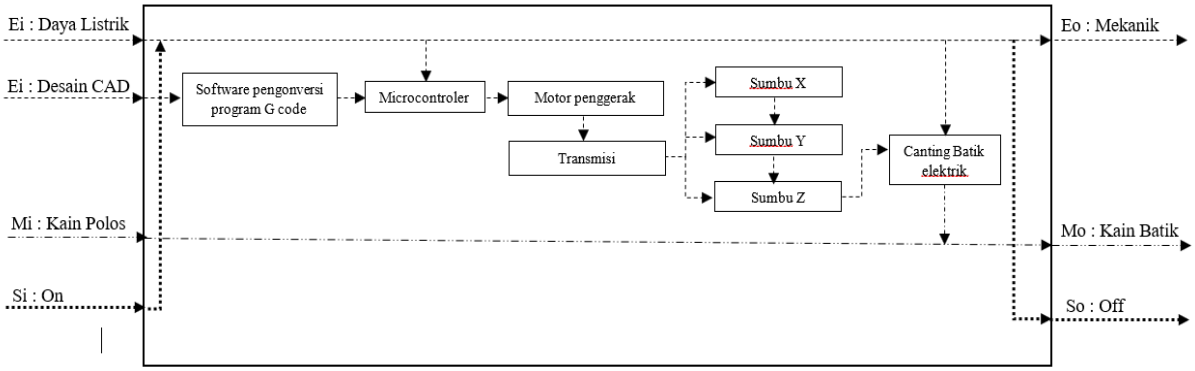
A. Perancangan Mesin *Plotter* Batik Berbasis CNC

Tahapan pertama untuk menghasilkan rancangan mesin yang optimal harus berdasarkan pada fase pertama dari metode *Pahl and Beitz*, yaitu dengan mengidentifikasi persyaratan teknis yang terdiri dari 2 persyaratan yaitu kebutuhan *(Demand)* dan keinginan *(wishes)*.

Setelah persyaratan utama diketahui, selanjutnya dibuatlah struktur fungsi secara keseluruhan dari CNC *plotter* batik. Penggambaran struktur fungsi ini digunakan diagram blok fungsi yang di dalamnya menunjukkan hubungan antara *input* dan *output*. *Input* dan *output* tersebut berupa energi ($E_{i/o}$), Material ($M_{i/o}$) dan Sinyal ($S_{i/o}$). Apabila diagram blok fungsi memiliki komponen-komponen yang lebih kompleks maka akan dibuat diagram blok subfungsi untuk lebih mendetailkan komponen-komponen kompleks tersebut. Diagram fungsi dan sub fungsi CNC *plotter* batik dapat dilihat pada gambar 2 dan 3 sebagai berikut:



Gambar 2 Blok fungsi CNC *plotter* batik



Gambar 3 Blok sub fungsi CNC *plotter* batik

Mesin CNC plotter batik berfungsi untuk menggambar corak atau pola dengan injeksi lilin pada kain polos menggunakan pena batik (canting batik). Hasil penggambaran pola ini selanjutnya diproses menjadi kain batik tulis. Pena batik elektrik yang dipasangkan pada CNC *Plotter* batik akan digerakkan menggunakan motor penggerak (motor stepper). Motor stepper ini menggerakkan transmisi pada sumbu x, sumbu y maupun sumbu z. Pergerakan dari motor stepper di atur oleh *microcontroller* yang terdiri dari Arduino Uno R3, CNC Shield dan Modul *Driver* A4988.

Pola gambar motif batik dari desainer batik di adaptasi ke aplikasi *Inkscape*. Gambar hasil aplikasi *Inkscape* kemudian diubah menjadi format *G-Code*. *G-Code* akan di proses oleh mikrokontroler. Mikrokontroler bertugas mengatur perintah pergerakan motor stepper. Perintah pergerakan motor *stepper* ini disalurkan ke transmisi yang menggerakkan modul pena batik sesuai sumbu x, y dan z. Pergerakan pena batik sesuai ketiga sumbu inilah yang akan mengatur pergerakan pena batik elektrik untuk melakukan pelapisan lilin sesuai pola batik tulis.

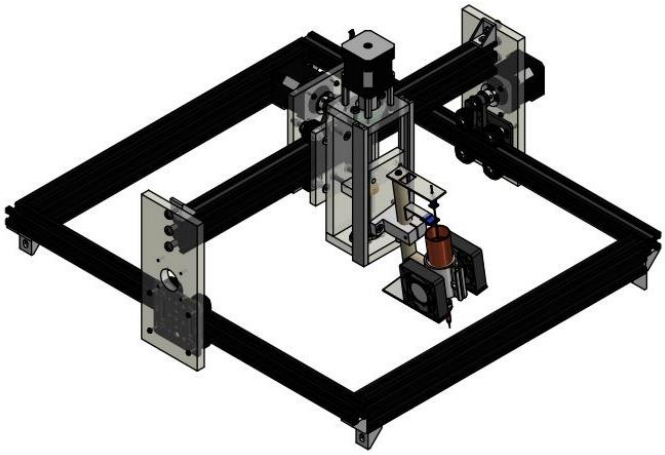
Fase perancangan konsep produk pada metode *Pahl and Beitz*, menghasilkan beberapa konsep untuk dijadikan solusi dan untuk memecahkan permasalahan-permasalahan pada fase pertama. Konsep alternatif akan disusun menggunakan *morpologycal chart*. Dalam penyusunan *morpologycal chart* opsi-opsi yang sudah dicantumkan disusun berbagai konsep-konsep alternatif yang dapat memenuhi persyaratan spesifikasi produk.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Terdapat beberapa varian konsep atau solusi yang ditawarkan pada tabel *morphologycal chart* perbedaannya hanya pada jenis rangka utama, bentuk rangka yang digunakan dan jenis sistem transmisinya saja. Varian-varian tersebut semuanya menggunakan motor *stepper* hal ini disebabkan spesifikasi dari motor *stepper* yang mudah didapatkan, dan harganya lebih terjangkau dari motor servo, dan sudah memenuhi kebutuhan *plotter* batik. Semua varian konsep menggunakan motor *stepper* sebagai motor penggeraknya.

Dari hasil pertimbangan melalui fase pembandingan kelemahan dan kelebihan juga dari skor pembobotan dari beberapa varian tersebut didapati bahwa varian ketiga adalah varian yang paling dirasa menjadi varian dengan rancangan terbaik. Oleh karena itu dipilihlah varian ke 3 sebagai desain yang akan digunakan pada CNC *plotter* batik.

Setelah melalui proses pembuatan alat, didapati beberapa kendala, sehingga desain yang dipakai terdapat beberapa perubahan dari desain awal, perubahan rancangan pada desain CNC *plotter* batik ditunjukkan pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 4 Gambar rancangan setelah perbaikan

Dari hasil perhitungan pada desain CNC *plotter* batik didapatkan:

B. Perhitungan di sumbu Z

Plotter batik ini menggunakan *lead screw* T8, dengan data spesifikasi: Diameter (d) 8 mm; *Pitch* (*p*) 2 mm; Konstanta gesek (tan φ) = 0.15 - 0.25 (diambil 0.15); *Stainless steel* 304; Beban yang ditanggung 3 N. Gaya pengangkat beban, dihitung menggunakan

$$F = W \tan(\alpha + \varphi) = 0.6970 \text{ N} \quad (1)$$

dimana

$$\tan \propto = \frac{p}{\pi.d} = \frac{2}{22/_7 \, x \, 8} = 0.0795 \quad (2)$$

Torsi yang diperlukan pada sistem gerak sumbu Z adalah:

$$T = F\frac{d}{2} = 0.6970 \text{ x } \frac{8}{2} = 2.7878 \text{ N.mm} = 0.027878 \text{ N.cm} \quad (3)$$

Motor *stepper* yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut adalah motor *stepper* nema 17 HS 4401, yang memiliki torsi kerja sebesar 40 N.cm.

Diameter solid baut M5 setelah dikurangi ulir adalah 4.20 mm, luas penampang efektif adalah 13.86 mm^2. Kekuatan tarik nominal baut dihitung berdasar

$$Rn = fu \, . \, Ab \quad (4)$$

Jika *tensile Strength* (kekuatan tarik) baut adalah 400 N/mm^2, maka kekuatan tarik nominal berdasar jumlah baut disajikan pada tabel 1.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Tabel 1 Hasil perhitungan kekuatan tarik nominal berdasar jumlah baut

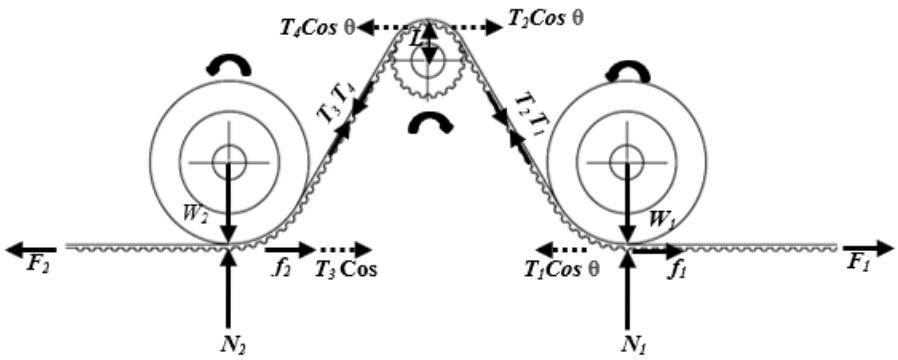
	Baut M5			
Jumlah baut	**6 buah**	**4 buah**	**2 buah**	**1 buah**
Rn	33264 N	22176 N	11088 N	5544 N
Safety factor 2	16632 N	11088 N	5544 N	2772 N

Berdasarkan analisa di atas, dengan beban total dari seluruh komponen yang terdapat pada sistem gerak sumbu z, yaitu sebesar 9.7321 N, disimpulkan bahwa jumlah baut minimum yang dapat digunakan untuk menahan beban tersebut adalah berjumlah 1 buah baut M5. Berdasarkan pertimbangan tersebut dan kekakuan *join* yang diharapkan, maka digunakan 2 buah baut M5 sebagai sambungan antara sistem gerak sumbu Z ke sumbu Y.

C. Perhitungan di sumbu Y

Perhitungan transmisi *everman belt drive* dan penentuan motor *stepper* menggunakan konsep seperti ditunjukkan gambar 5.

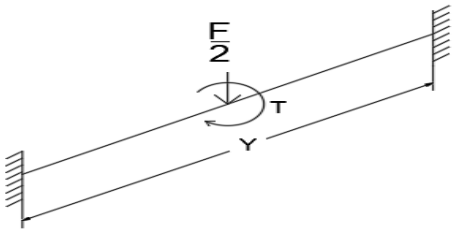
Apabila *timing belt* ditarik dengan gaya sebesar 1 N ke kanan dan ke kiri hingga *belt* mengencang dan melekat dengan *timing pulley*, sehingga dalam keadaan setimbang.



Gambar 5 Tinjauan transmisi pada sumbu Y

Berdasarkan perhitungan didapatkan Torsi pada motor adalah **0.013908 N.cm.** Pada transmisi *everman belt drive* di sumbu y, motor *stepper* yang dapat memenuhi spesifikasi tersebut adalah motor *stepper* nema 17 HS 4401.

Pembebanan pada sumbu Y digambarkan sebagai diagram benda bebas yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut:

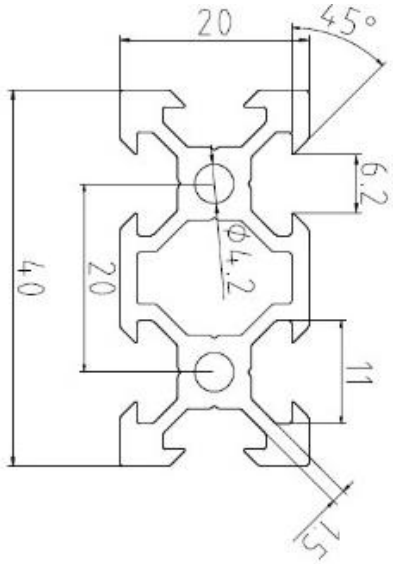


Gambar 6 Diagram benda bebas sumbu Y

Dimana: Beban (F) adalah 1.5769 kg atau 15.4534 N. Panjang Profil (Y) = 450 mm atau 45 cm.

Pertimbangan ketersediaan di pasaran, dipilih *profile alumunium v-slot* 2040, berbahan Alumunium 6061, dengan modulus elastisitas (*modulus young*) sebesar 68.9 GPa, 68900 MPa atau 68900 N/mm^2. Penampang *profile alumunium v-slot* 2040 ditunjukkan pada gambar 7.

Nilai inersia penampang dari *profile alumunium v-slot* 2040 dihitung dengan *software* Autodesk Inventor, menggunakan perintah *Region Properties*, dan perhitungan diperoleh 54335.615 mm^4.



Gambar 7 *Drawing* penampang *profile alumunium v-slot* 2040

Jenis tumpuan yang digunakan dalam kasus ini adalah tumpuan jepit, lendutan (defleksi) yang terjadi pada *alumunium profile v-slot* 2040. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Gupta (2005) diperoleh lendutan (δ) sebesar 0.001959 mm. Lendutan tersebut sangat kecil sehingga dinyatakan bahwa penggunaan profil *alumunium v-slot* 2040 adalah aman.

Sambungan *profile v-slot alumunium* ke sistem gerak sumbu Y, digunakan baut ukuran M5. Luas efektif penampang baut M5 adalah 27.72 mm2. Jika *Tensile Strength* (kekuatan tarik) baut adalah 400 N/mm2, maka kekuatan tarik nominal disajikan pada tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan kekuatan tarik nominal berdasar jumlah baut

	Baut M5	
Jumlah baut	**4 buah**	**2 buah**
Rn	22176 N	11088 N
Safety factor 2	11088 N	5544 N

Berdasar analisa di atas, dengan beban total dari seluruh komponen yang di tanggung yaitu sebesar 18.7080 N, dapat disimpulkan bahwa secara matematis penggunaan 2 buah baut M5 adalah sudah cukup. Pada perancangan ini digunakan 4 buah baut M5.

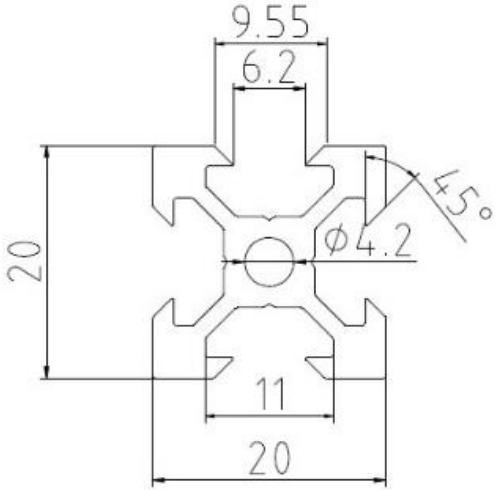
D. Perhitungan di sumbu X

Sistem penggerak pada sumbu X menggunakan konsep sistem serupa gambar 5. Berdasarkan perhitungan didapatkan torsi dibutuhkan pada motor *stepper* adalah 0.02425 N.cm. Pada transmisi *everman belt drive* sumbu x, motor stepper yang dapat memenuhi spesifikasi tersebut adalah dengan menggunakan motor *stepper* nema 17 HS 4401.

Sumbu X memiliki panjang 500 mm dan menanggung beban F seberat 14.8295 N. Pada perancangan ini digunakan alumunium 6061, dengan modulus elastisitas (*modulus young*) sebesar 68.9 GPa, dengan *profile v-slot* 2020. Penampang *profile v-slot* 2020 ditunjukkan pada gambar 10.

Inersia penampang *profile alumuium v-slot* 2020, dihitung dengan memanfaatkan *software* autodesk inventor, menggunakan perintah *Region Properties*, dan perhitungan diperoleh 13326.99 mm^4.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

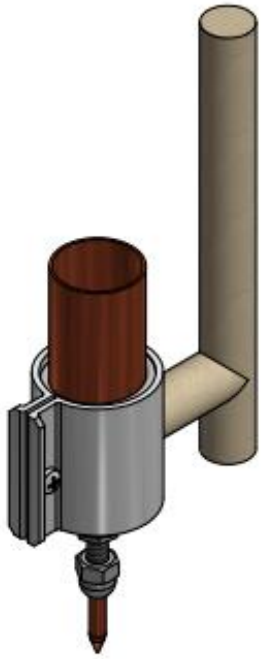


Gambar 8 *Drawing* penampang *profile alumunium v-slot* 2020

Perhitungan lendutan menggunakan metode Gupta (2005) diperoleh lendutan (δ) sebesar 0.01051 mm. Lendutan hitung tersebut sangatlah kecil sehingga dapat dinyatakan bahwa penggunaan *profil alumunium v-slot* 2020 adalah aman.

E. Perancangan Pena Batik Elektrik

Setelah melakukan berbagai pertimbangan dari berbagai fase dengan menggunakan metode *Pahl and Beitz*, rancangan desain yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 11 seperti di bawah ini.

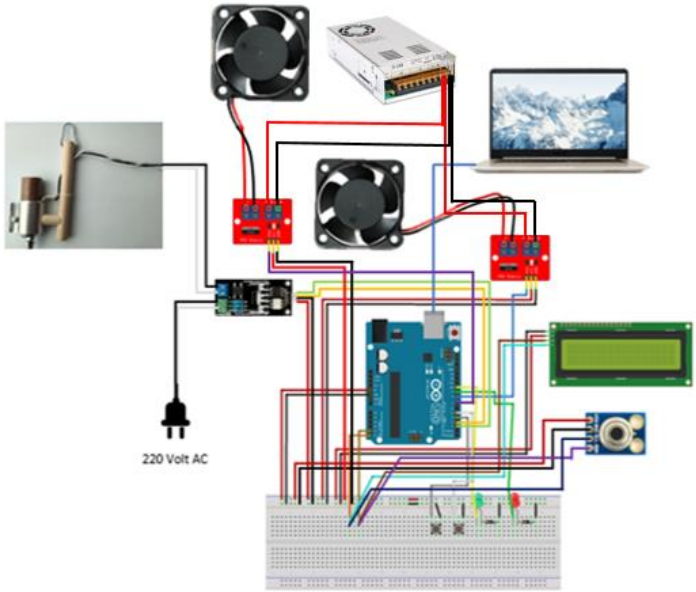


Gambar 9 Desain pena batik elektrik yang akan dibuat

Pada rancangan desain ini menggunakan pena batik elektrik yang telah beredar di pasaran dengan kapasitas sekitar 34 cm^3. Sensor suhu yang digunakan ialah sensor suhu inframerah MLX90614 sehingga tidak perlu bersentuhan langsung dengan objek [6][7]. Pendinginan dilakukan oleh *fan DC* ketika terjadi panas berlebih pada tabung pena batik [8]. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino UNO R3 guna mengontrol komponen elektronika pada pena batik elektrik [9][10].

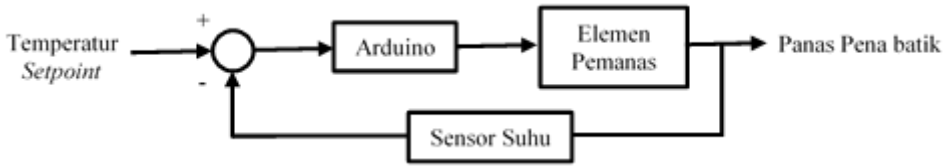
F. Perancangan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat keras meliputi skema rangkaian *wiring* pada pena batik elektrik seperti yang diperlihatkan pada gambar 12 di bawah ini. Perancangan perangkat lunak atau *coding* program dengan *Software* Arduino IDE. Perangkat lunak tersebut di-*upload* pada papan Arduino UNO. Perintah-perintah pada program tersebut kemudian akan dieksekusi oleh perangkat keras pada pena batik elektrik.



Gambar 10 Skematik rangkaian *wiring* pena batik elektrik

Cara kerja dari sistem kontrol ini adalah dengan memasukkan suhu *setpoint* yang merupakan suhu llilin yang diinginkan. Kemudian controler akan mengaktifkan elemen pemanas, sehingga tabung pena batik menjadi panas. Jika nilai suhu lilin batik yang terukur oleh sensor bukan nilai suhu yang diinginkan, maka selisih nilai suhu yang terukur dengan nilai suhu yang diinginkan akan menghasilkan *error*. Nilai *error* ini kemudian diumpanbalikkan ke Arduino sebagai kontroler dan menjadi acuan apakah elemen pemanas tetap dihidupkan atau dimatikan. Jika terdapat nilai *error* yang cukup tinggi, maka kontroler akan terus menghidupkan elemen pemanasnya. Sebaliknya, ketika suhu yang terukur oleh sensor mencapai suhu yang diinginkan, maka tidak didapatkan nilai *error*. Alhasil kontroler akan mematikan elemen pemanasnya. Proses ini akan terus menerus berputar hingga mencapai suhu yang diinginkan dan tetap stabil di suhu tersebut [11][12]. Sistem kontrol ini dapat digambarkan juga pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 11 Sistem kontrol umpan balik pena batik elektrik

G. Pengujian Suhu

Akurasi deteksi suhu divalidasi dengan percobaan terhadap suhu cairan lilin batik. Percobaan ini dilakukan dengan cara membandingkan suhu hasil pembacaan sensor yang ditampilkan pada LCD dengan termometer digital TP101 yang dimasukkan ke dalam tabung pena batik. Selain itu percobaan juga dilakukan dengan membandingkan pembacaan suhu tanpa menggunakan kipas dan menggunakan

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

kipas. Hasil analisa percobaan suhu tersaji dalam tabel yang dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 di bawah ini.

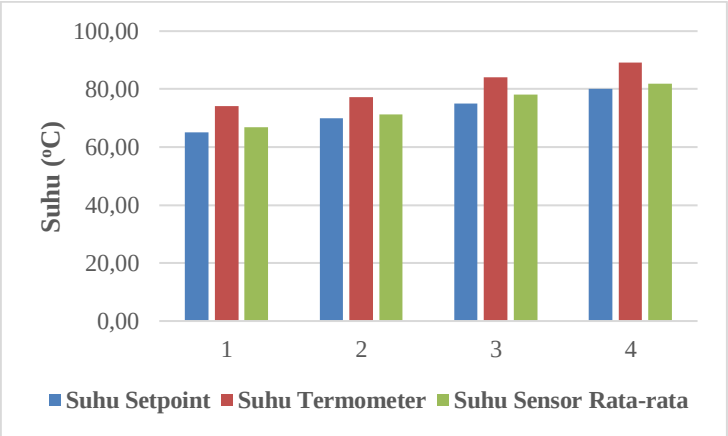
Tabel 3 Hasil analisa percobaan suhu tanpa menggunakan kipas

No	Suhu *Setpoint* (ºC)	Suhu Termometer (ºC)	Suhu Sensor (ºC) Data I	Data II	Data III	Data IV	Data V	Rata-rata Suhu Sensor (ºC)	Selisih (ºC)	*Error* (%)
1	65	74.10	66.15	66.49	67.11	67.25	67.49	66.90	7.20	9.72
2	70	77.30	71.09	70.61	70.67	71.77	72.33	71.29	6.01	7.77
3	75	84.10	76.31	78.59	79.25	78.21	77.69	78.01	6.09	7.24
4	80	89.20	82.75	81.85	81.59	81.73	81.51	81.89	7.31	8.20
			Jumlah *Error* Rata-rata							8.23

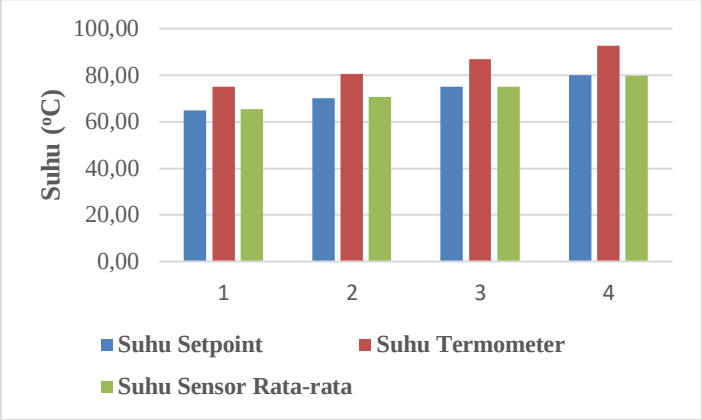
Tabel 4 Hasil analisa percobaan suhu menggunakan kipas

No	Suhu *Setpoint* (ºC)	Suhu Termometer (ºC)	Suhu Sensor (ºC) Data I	Data II	Data III	Data IV	Data V	Rata-rata Suhu Sensor (ºC)	Selisih (ºC)	*Error* (%)
1	65	75.50	64.87	65.35	65.61	66.01	65.69	65.51	9.99	13.24
2	70	81.90	71.27	70.59	70.21	70.65	71.23	70.79	11.11	13.57
3	75	88.30	75.29	74.83	75.29	76.41	75.97	75.56	12.74	14.43
4	80	94.60	79.87	79.63	79.49	80.33	80.79	80.02	14.58	15.41
			Jumlah *Error* Rata-rata							14.16

Dari tabel 1 dan tabel 2, maka dapat disajikan juga dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 1 dan grafik 2 di bawah ini.



Grafik 1 Grafik perbandingan suhu tanpa menggunakan kipas



Grafik 2 Grafik perbandingan suhu menggunakan kipas

Hasil percobaan yang ditampilkan pada tabel 1 di atas menunjukkan bahwa hasil pengukuran suhu sensor pada pena batik elektrik dapat dikatakan bekerja cukup baik. Hasil *error* rata-rata yang didapatkan sebesar 8.23% pada percobaan suhu tanpa menggunakan kipas. Hal ini dapat dikatakan bekerja cukup baik dikarenakan nilai *error* yang didapatkan termasuk dalam rentang nilai yang diijinkan yakni 0-10% [13]. Dari hasil *error* yang didapatkan ini terjadi karena adanya perbedaan pembacaan sensor suhu dengan termometer digital. Sensor suhu hanya dapat mendeteksi suhu pada bagian permukaan cairan lilin batik, sedangkan termometer mendeteksi suhu hingga kedalaman cairan lilin batik. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya selisih suhu sebesar 6 ^{o}C hingga 7 ^{o}C.

Pada hasil percobaan yang ditampilkan tabel 2 di atas menunjukkan nilai *error* rata-rata didapatkan sebesar 14.16% pada pengujian suhu menggunakan kipas. Ini disebabkan pembacaan sensor terganggu oleh aliran udara yang saling turbulensi dan bergerak mengarah ke bagian sensor. Hal ini membuat suhu yang tertampilkan pada LCD seakan-akan mendekati suhu *setpoint*. Sehingga menyebabkan pendinginan yang dilakukan terlalu cepat serta suhu panas pada elemen pemanas juga belum menurun. Ketika suhu panas sudah di atas suhu *setpoint*, maka saat itu juga elemen pemanas akan mati dan kipas akan hidup. Kemudian suhu panas yang tertampil pada LCD kembali turun di bawah suhu *setpoint* akibat pendinginan tersebut, lalu elemen pemanas kembali hidup serta kipas kembali mati. Proses ini berlangsung tidak begitu lama dan menyebabkan suhu yang ditampilkan pada termometer digital memberikan selisih suhu yang begitu besar. Bedasarkan *datasheet* dari sensor MLX90614 disebutkan bahwa keakurasian sensor dapat dicapai ketika sensor berada dalam kesetimbangan termal [14]. Maka dari itu perlunya menggunakan sensor suhu yang dapat dicelupkan pada cairan lilin batik sehingga mendapatkan suhu cairan lilin batik yang lebih akurat.

H. Pemrograman untuk Menggerakkan Motor *Stepper* pada Mesin *Plotter* Batik Berbasis CNC

Proses pemrograman untuk menggerakkan motor *stepper* pada mesin *plotter* batik berbasis CNC dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Universal G-Code Sender*. Aplikasi tersebut akan membaca *G-Code* dari gambar yang telah dikonversikan terlebih dahulu menggunakan aplikasi *Inkscape*.

Pada gambar batik yang akan diubah menjadi *G-Code* harus disesuaikan terlebih dahulu dengan area kerja maksimal dan kecepatan motor *stepper* dalam membaca 1 mm garis. Dengan mengetahui nilai kecepatan maka dapat diketahui pola gambar garis atau batik harus diperkecil berapa kali. Area kerja penggambaran maksimal dari mesin *plotter* batik berbasis CNC yaitu 300 mm x 300 mm. Hal ini bertujuan untuk mencegah pena batik elektrik tidak keluar dari area kerja penggambaran yang diinginkan atau menabrak bagian rangka mesin. Sehingga nilai sumbu X, Y, dan Z yang mewakili kecepatan motor *stepper* ditentukan sebagai berikut.

Pada perancangan ini digunakan motor stepper dengan diameter poros D_1 = 5 mm, dan diameter pulley motor D_2 = 12,5 mm. Agar mesin plotter batik berbasis CNC mampu membaca pergeseran pena batik sebesar 1 mm, maka maksimal *step* pada pada motor stepper adalah 9°.

Pemrograman pergerakan motor stepper terkait mempertimbangkan faktor kecepatan pena batik, panjang lintasan, manipulasi program dan pengaturan programan menggunakan *G-Code*. Hasil perhitungan terkait dengan hal ini disajikan pada tabel 5.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Tabel 5 Motor *stepper* pada sumbu Z

No	Kecepatan Motor Stepper (step)	Mesin Membaca (mm)	Panjang Jarum pada Pena batik Elektrik (mm)	Yang diatur pada *G-Code* (mm)
1.	100	1	4,6	4,6
2.	200	2		2,3
3.	300	3		1,5333
4.	400	4		1,15

Tabel 6 Skala gambar pada mesin plotter batik berbasis CNC

No	Kecepatan yang diatur pada control	Skala gambar pola garis dan pola batik
1.	5,5,400 step/mm	1 : 1
2.	25,25,400 step/mm	1 : 5
3.	50,50,400 step/mm	1 : 10

a) Gambar Batik

Dibawah ini merupakan gambar batik yang dihasilkan oleh mesin *plotter* batik berbasis CNC dengan kecepatan yang diatur pada kontrol 25,25,400 step/mm dan suhu 75°C serta ketebalan garis 1 mm dengan durasi pengerjaan 9 menit 29 detik, atau lebih cepat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mencapai waktu 11 menit. Perbedaan lainnya yaitu hasil gambar batik ini lebih halus pada bagian sudut hasil pena batik (tidak meluber) dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Gambar batik dapat dilihat pada gambar 12.

(a) (b)

Gambar 12 Gambar Batik (a) Sebelum (b) Sesudah

4. Kesimpulan

1. Hasil akhir perancangan mesin *plotter* batik berbasis CNC sebagai berikut :
   Dimensi mesin : 500 x 450 x 300 mm
   Dimensi kerja alat : 300 x 300 mm
   Jenis *frame* poros : Alumunium 6061, *alumunium profile* v-slot 2040 (20 x 40mm), *alumunium profile v-slot* 2020 (20 x 20 mm)
   Frame support : Plat *Acrylic* ketebalan 10 mm
   Jenis *lead screw* : *Stainless steel 304*, T8 (Ø 8 mm x 170 mm)
   Jenis *bearing* : KLF08 pada sumbu Z , *ball bearing* 625ZZ 16mm pada sumbu X dan Y
   Holder pena batik : *Linear Rail Shaft* SH16 16 mm
   Timing pulley : 2 GT 20 T *bore* 6.35 mm

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Motor : Motor *Stepper* Nema 17 HS 4401

Dari hasil perhitungan didapatkan:

a. Kebutuhan torsi minimum pada transmisi gerak sumbu Z adalah 0.027878 N.cm sehingga pada penggunaan motor *stepper* Nema tipe 17 HS 4401 dengan torsi kerja 40 N.cm dinyatakan memenuhi syarat.
b. Untuk beban total komponen pada sumbu z yaitu sebesar 9.7321N dengan menggunakan sambungan baut M5 sebanyak 2 buah dinyatakan aman.
c. Kebutuhan torsi minimum pada transmisi gerak sumbu Y adalah sebesar 0.013908 N.cm sehingga untuk penggunaan motor *stepper* Nema 17 HS 4401 dengan torsi kerja 40 N.cm dinyatakan memenuhi syarat.
d. Penggunaan profil penahan *alumunium profile v-slot* 2040 pada sumbu Y yang menahan beban sebesar 15.4534 N mengalami lendutan sebesar 0.001959 mm, dengan angka lendutan yang sekecil ini yaitu mendekati nol dapat dinyatakan penggunaan *alumunium profile vslot* 2040 dinyatakan aman.
e. Untuk sambungan antara *alumunium profile v-slot* di sumbu Y yang menanggung beban sebesar 18.70080 N dengan menggunakan sambungan baut M5 sebanyak 4 buah dinyatakan aman.
f. Untuk kebutuhan torsi minimum pada transmisi gerak sumbu X adalah 0.02425 N.cm sehingga untuk penggunaan motor *stepper* Nema 17 HS 4401 dengan torsi kerja 40 N.cm dinyatakan memenuhi syarat.
g. Penggunaan profil penahan *alumunium profile vslot* 2020 pada sumbu X yang menahan beban sebesar 14.8295 N mengalami lendutan sebesar 0.01051 mm, dengan angka lendutan yang sekecil ini yaitu mendekati nol dapat dinyatakan penggunaan *alumunium profile v-slot* 2020 dinyatakan aman.

2. Secara umum, pena batik elektrik ini dapat dikatakan bekerja dengan baik. Meskipun perlunya melakukan pembaruan khususnya pada penggunaan sensor suhu. Sensor suhu inframerah dinilai masih belum mendapatkan suhu cairan lilin batik yang akurat dikarenakan hanya mendeteksi suhu bagian permukaan cairan lilin batik. Rancangan sistem pengendali suhu yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik. Bedasarkan pengujian sensor suhu didapatkan nilai *error* rata-rata sebesar 8.23% pada pengujian suhu sensor tanpa menggunakan kipas. Namun pada pengujian menggunakan kipas nilai *error* rata-rata yang didapatkan sebesar 14.16%. Dari pola batik yang telah dibuat, tidak ditemukannya luberan cairan lilin batik yang berlebih pada bagian akhir garis pola batik. Hal ini menandakan rancangan penambahan sistem pegas pada jarum katup dapat dikatakan berfungsi dengan baik.
3. Pemrograman untuk menggerakkan motor stepper pada mesin *plotter* batik Berbasis CNC dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Universal G-code Sender*. Aplikasi ini akan membaca *G-Code* dari gambar yang telah dikonversikan terlebih dahulu menggunakan aplikasi *Inkscape*. Gambar yang akan dikonversikan harus diperkecil dengan skala tertentu sehingga dilakukan perhitungan nilai kecepatan motor *stepper*. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, gambar pada aplikasi *Inkscape* harus diperkecil 5 kali ketika menggunakan kecepatan motor steper sebesar 25 step dan diperkecil 10 kali ketika menggunakan kecepatan 50 step. Untuk menggerakkan motor *stepper* pada mesin *plotter* batik berbasis CNC perlu juga dilakukan kalibrasi aplikasi *Universal G-Code Sender*. Pengkalibrasian dilakukan dengan mengatur nilai X,Y,Z pada menu *Console* dimana $100 menunjukkan nilai sumbu X, $101 menunjukkan nilai sumbu Y, dan $102 menunjukkan nilai sumbu Z.
4. Pengujian mesin *plotter* batik berbasis CNC menggunakan media kertas HVS dengan pena batik *nozzle* 0,7 mm, ketebalan jarum 0,3 mm, dan kedalaman tekan 4,6 mm dilakukan bertahap setiap variasi kecepatan dan suhu yang diberikan. Pengujian ini menggunakan ukuran gambar yang berbeda sesuai dengan kecepatan yang diberikan. Pengujian hasil pena batik diperoleh hasil terbaik pada variasi kecepatan 25,25,400 step/mm dengan variasi suhu 75°C dan 80°C serta ketebalan garis 1 mm.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Daftar Notasi

Rn	= Kekuatan tarik nominal baut
fu	= Kuat tarik putus baut (N/mm^2).
Ab	= Luas penampang baut pada daerah tak berulir (mm^2).
d	= Diameter
p	= Pitch
tan φ	= Konstanta Gesek
F	= Gaya Beban
T	= Torsi

Referensi

[1] K. Perindustrian, "Ekspor Batik Sentuh US$ 3,1 M," 2016. [Online]. Available: https://kemenperin.go.id/artikel/15317/Ekspor-Batik-Sentuh-US$-3,1-M. [Accessed: 22-Mar-2019].

[2] A. R. Fauzi, *Perancangan Mesin Plotter Batik Berbasis CNC*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, 2018.

[3] G. Pahl, W. Beitz, J. Felhusen, and K.-H. Grote, *Engineering Design A Systematic Approach*, 3rd ed. London: Springer, 2017.

[4] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 edisi kedua*. Jakarta: Erlangga, 1996.

[5] M. D. Gall, W. R. Borg, and J. P. Gall, *Educational Research : An Introduction, Fifth Edition*. New York: Longman, 1983.

[6] N. P. Y. N, J. Pebralia, Y. C. Dewi, and Hendro, "Studi Penerapan Sensor MLX90614 Sebagai Pengukur Suhu Tinggi secara Non-kontak Berbasis Arduino dan Labview," *Pros. Simp. Nas. Inov. dan Pembelajaran Sains 2015*, pp. 89–92, 2015.

[7] G. Jin, X. Zhang, W. Fan, Y. Liu, and P. He, "Design of Non-Contact Infra-Red Thermometer Based on the Sensor of MLX90614," *Open Autom. Control Syst. J.*, no. 7, pp. 8–20, 2015.

[8] B. Nurcahya, I. W. Widhiada, I. D. Gede, and A. Subagia, "SISTEM KONTROL KESTABILAN SUHU PADA INKUBATOR BAYI BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN MATLAB / SIMULINK," *J. METTEK*, vol. 2, no. 1, pp. 35–42, 2016.

[9] S. W. Fitri, Harmadi, and Wildian, "Rancang Bangun Sistem Pegontrolan Temperatur dan Waktu untuk Proses Heat Treatmet," *J. Fis. Unand*, vol. 6, no. 3, pp. 283–289, 2017.

[10] L. Louis, "WORKING PRINCIPLE OF ARDUINO AND USING IT AS A TOOL FOR STUDY AND RESEARCH," *Int. J. Control. Autom. Commun. Syst.*, vol. 1, pp. 21–29, 2016.

[11] P. Supriatna, Nurhanan, R. Dj., B. H. K., and E. Karyanta, "SISTEM KONTROL TEMPERATUR UNTUK TERMOKOPEL CHROMEL ALUMEL," *Pros. Present. Ilm. Teknol. Keselam. Nukl. VIII*, pp. 155–161, 2003.

[12] R. G. Suseno, "Kendali Elemen Pemanas Resistor dengan Algoritma P, Pake Arduino! (Part 1)," 2016. [Online]. Available: http://nika2elektronika.blogspot.com/2016/04/kendali-elemen-pemanas-resistor-dengan.html. [Accessed: 27-Sep-2019].

[13] I. E. Dewanti, J. Arifin, and D. Kurnianto, "Rancang Bangun Pendingin Perangkat Telekomunikasi Otomatis Berbasis Arduino UNO," pp. 18–24, 2016.

[14] Melexis, *MLX90614 Family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39*. 2009.