

Pembuatan *Bending Machine* Akrilik Berbasiskan Kontroler Arduino

Christian Setiawan, Handry Khoswanto, Heri Saptono
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl.Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: christiansetiawan01@gmail.com ; handry@petra.ac.id ; herisw@petra.ac.id

Abstrak-- Teknologi mesin telah banyak membantu manusia dalam bekerja salah satunya adalah *bending machine* akrilik, tetapi selama ini hanya ada beberapa alat yang bisa digunakan untuk menekuk akrilik dan semuanya masih dikerjakan secara manual. Untuk mendukung hal tersebut dibutuhkan mesin akrilik yang bekerja secara otomatis.

Mesin ini menggunakan kontroler arduino. Arduino ini yang akan melakukan kontrol ke SSR pemanas, motor stepper, LCD, dll yang bisa membantu bekerjanya mesin tersebut. Mesin ini nantinya dapat menekuk beberapa akrilik bersamaan dengan batas maksimal penampang 80 cm dengan ketebalan hingga 4 mm

Berdasarkan hasil pengujian mesin ini dapat menekuk mendekati presisi. Mesin ini juga dapat memilih menekuk ketebalan akrilik yang akan ditekuk dimulai dari 1,5 mm, hingga 4 mm dengan nilai kesalahan maksimal 2,2% dari sudut 90 derajat. Suhu pemanas pada mesin dan delay di setiap ketebalan akrilik sudah ditentukan sesuai hasil pengujian yang telah dilakukan. Ketebalan 1,5 mm membutuhkan suhu 150 derajat celsius dengan delay 21 detik hingga 30 detik. Ketebalan 2 mm membutuhkan suhu 200 derajat celsius dengan delay 3 detik hingga 24 detik. Ketebalan 3 mm membutuhkan suhu 250 derajat celsius dengan delay 3 detik hingga 30 detik. Ketebalan 4 mm membutuhkan suhu 300 derajat celsius dengan delay 3 detik hingga 30 detik.

Kata Kunci-- *Bending machine*, akrilik, arduino

I. PENDAHULUAN

Akrilik adalah sebuah bahan yang terbuat dari bahan *Polymethyl methacrylate* (The Editors of Encyclopedia Britannica, 2017). *Polymethyl methacrylate* sendiri adalah sebuah bahan yang mudah dipotong dan ditekuk ketika dipanaskan (ADITYAPRODUCTION, 2016). Sering kita jumpai akrilik digunakan sebagai alat untuk membuat *prototype* atau *display*. Pemanfaatan akrilik sebagai *prototype* dan *display* ini digunakan mulai dari dunia wisata, industri sampai pendidikan. Selain mudah ditekuk, harganya yang tergolong murah dan menarik untuk dilihat membuat akrilik menjadi sebuah bahan yang digemari.

Akrilik di dunia wisata dijadikan sebagai cinderamata. Contohnya sebagai miniatur Candi Borobudur, miniatur Candi Prambanan, dan miniatur Menara Eiffel di Paris (AnneAhira, n.d.). Akrilik juga berperan besar dalam pengembangan akademik khususnya di laboratorium elektronika Universitas Kristen Petra Surabaya. Tak jarang akrilik digunakan untuk menunjang mata kuliah tertentu. Salah satunya *computer aided design* (CAD). Dimata kuliah CAD akrilik digunakan untuk membuat *hardcase* arduino, *prototype frame drone*, dan beberapa *frame robot*.

Hingga saat ini, alat menekuk akrilik yang ada di pasaran adalah alat menekuk yang dioperasikan secara manual. Jika ada yang bekerja secara otomatis produk ini adalah produk china bukan produk Indonesia. Alat menekuk yang beredar di masyarakat dalam waktu yang bersamaan hanya dapat menekuk 1 akrilik. Alat - alat ini juga memiliki pemanas dengan suhu yang tidak stabil. Alat menekuk bentuk catok memiliki kekurangan hanya dapat menekuk sesuai panjang dari catok. Alat menekuk bentuk blower. Alat menekuk bentuk blower ini memiliki kekurangan pemanasan akrilik yang tidak merata sehingga membuat hasil menekuk akrilik tidak rapi.

Untuk mengurangi kekurangan dari alat tekuk akrilik manual, dibutuhkan alat tekuk yang bekerja secara otomatis dapat menekuk akrilik dengan pemanasan kawat nikelin yang stabil dan merata dengan kapasitas lembar akrilik yang lebih panjang dan banyak.

II. PERENCANAAN SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai desain sistem secara keseluruhan, desain *hardware* yang digunakan, beserta desain software

Bending machine Akrilik merupakan sebuah alat yang memiliki tujuan untuk membantu menekuk akrilik secara otomatis. Alat ini terdiri dari beberapa *input*, kontroler dan beberapa *output*.



Gambar 1. Desain Sistem

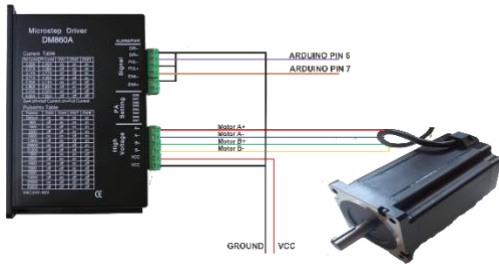
Terlihat pada Gambar 1. ada 4 *input* pada sistem ini. Dari *input* ini akan dikirim ke arduino yang akan mengontrol *output* dimulai motor *stepper* sebagai penggerak mesin, LCD sebagai tampilan, LED sebagai indikator, dan SSR yang akan mengontrol pemanas.

A. Desain Hardware

Rangkaian kontroler pada sistem ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai kontroler. *Input* berupa *keypad*, *push button*, *limit switch*, dan sensor yang terhubung dengan Arduino Mega. *Output* terdapat rangkaian motor, LCD, LED, dan SSR yang terhubung ke Arduino Mega.

Mesin ini menggunakan sebuah rangkaian *driver* untuk mengontrol motor *stepper* pada mesin. Rangkaian *driver* ini digunakan untuk menaikan arus yang dibutuhkan motor

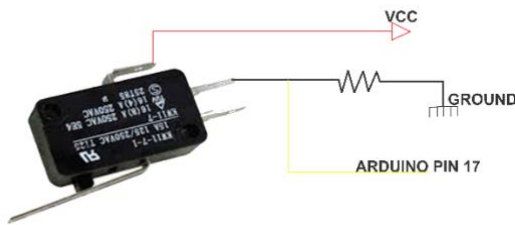
stepper untuk bergerak. Arus yang dibutuhkan motor *stepper* adalah 4,9 A, sedangkan arus yang dimiliki Arduino hanya mampu mengeluarkan 20mA. Sehingga digunakan *driver* DM860 yang mampu menghasilkan arus maksimal 7,8 A.



Gambar 2. Desain Sistem

menunjukkan *wiring driver motor stepper* ke motor dan ke arduino. Gambar tersebut juga menunjukkan pin DIR+ ke arduino pin 6 dan PUL+ ke arduino pin 7.

Pada mesin ini dibutuhkan *limit switch*. *Limit switch* ini berguna sebagai pemberi tanda ke kontroler apakah lempengan penggerak mesin sudah pada titik 0 atau belum. Rangkaian limit switch ke arduino akan ditunjukkan pada Gambar 3.

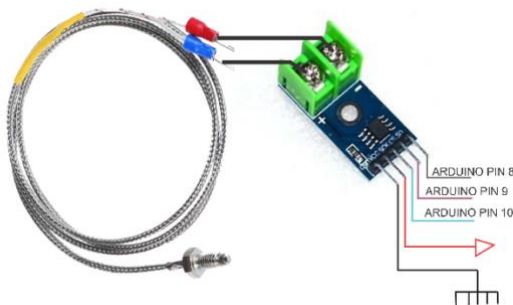


Gambar 3. Desain Sistem

Gambar 3. menunjukkan pada *limit switch* menggunakan rangkaian *pull down*. VCC menggunakan tegangan 5V. *limit switch* dihubungkan ke arduino di pin 17

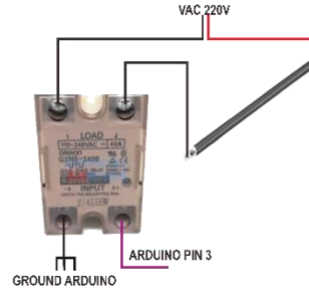
LCD yang digunakan pada alat ini adalah tipe LCD 2 X 16. LCD ini berguna menampilkan segala keterangan seperti berapa derajat akrilik ditekuk, dan berapa ketebalan akrilik. LCD juga menampilkan angka seperti sudut yang dimasukan. Proses hidupnya pemanas, *input* sudut, input ketebalan, dan perintah melepaskan akrilik yang dilakukan pada mesin akan ditampilkan pada LCD.

Pada mesin ini dibutuhkan sebuah pemanas yang digunakan untuk memanaskan akrilik. Pemanas ini tidak dapat diberi sumber tegangan secara terus menerus sehingga dibutuhkan sebuah sensor yang dapat menerima suhu tinggi sebagai *input* kontroler. Sensor yang digunakan adalah sensor *thermocouple*. Sensor ini menghasilkan tegangan (sinyal analog) sedangkan arduino menerima sinyal digital. Dalam hal ini dibutuhkan rangkaian MAX6675 yang digunakan untuk merubah sinyal analog menjadi sinyal digital.



Gambar 4. Desain Sistem

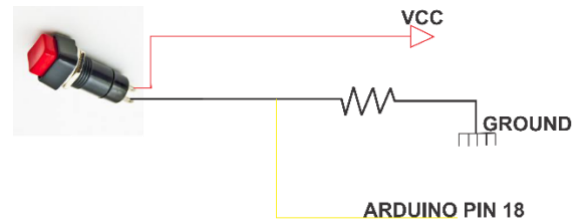
Di dalam mesin ini ada sebuah pemanas yang digunakan untuk memanaskan akrilik. Pemanas ini suhunya harus diatur dikarenakan jika suhu yang berlebihan dapat merusak dari pemanasnya dan struktur dari akrilik sendiri. Akrilik sendiri memiliki titik leleh pada 160 derajat celcius [1] Maka dari itu dibutuhkan *Solid State Relay* yang dapat menyambung atau memutuskan tegangan pada pemanas. Untuk Mengaktifkan *Solid State Relay* ini membutuhkan input tegangan sebesar 5V-24V DC. Tegangan yang dibutuhkan *Solid State Relay* sesuai dengan tegangan yang dihasilkan arduino adalah 5V DC. Untuk Pemanasnya sendiri menggunakan Tegangan AC 220 sehingga *Solid State Relay* pada output menggunakan spesifikasi bertegangan 110V – 240V AC. Rangkain *Solid State Relay* pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Sistem

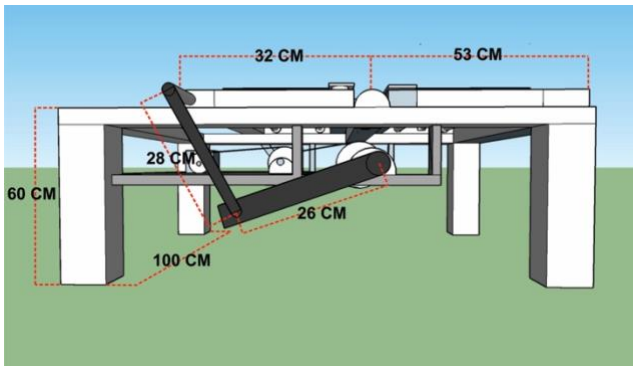
Driver kapasitor yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu dengan menggunakan *relay* dan metode TSC (*Thyristor-Switched Capacitor*). Pada rangkaian kontrol ini terdapat 7 buah *driver relay* yang digunakan pada kapasitor dengan kapasitansi 60µF, 35µF, 20µF, 10µF, 5µF 5µF, dan 3µF. Metode TSC pada umumnya digunakan sebuah kapasitor, sebuah *bidirectional thyristor*, dan sebuah *current limiting reactor*. Pada rangkaian kontrol ini dilakukan modifikasi dengan mengganti *thyristor* dan *current limiting reactor* dengan MOSFET yang didukung dengan *diode bridge* sehingga dapat dioperasikan pada besaran DC dan mudah dikontrol oleh Arduino. Metode TSC digunakan pada kapasitor 2µF dengan tujuan untuk *tuning* kebutuhan kapasitor sehingga nilai faktor daya acuan dapat tercapai.

Tombol *emergency* ini menggunakan tombol *push button*. tombol ini berfungsi ketika motor berputar. Ketika motor berputar dan tombol ini ditekan maka motor akan berhenti. Rangkain ditunjukkan pada Gambar 6.

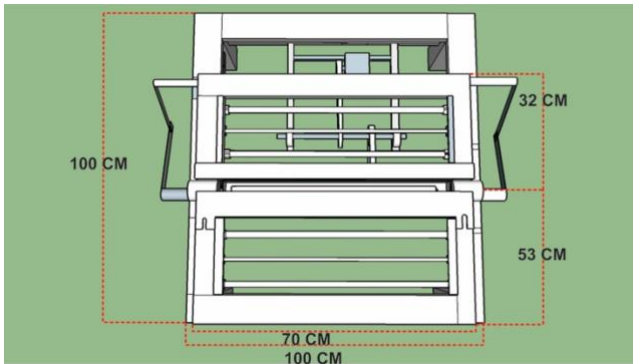


Gambar 6. Desain Sistem

Bending machine akrilik memiliki kerangka menggunakan bahan dasar besi dengan dimensi tinggi 60 cm x panjang 100 cm x lebar 100 cm Seperti pada Gambar 3.8. dan Gambar 3.9. Mesin ini didesain dapat menekuk akrilik dengan lebar penampang maksimal 80 cm. Mesin ini memiliki 2 lengan. Lengan yang sisi satu melekat pada kerangka dan lengan yang lain bisa bergerak. Lengan yang bergerak adalah lengan yang digunakan sebagai menekuk akrilik. Ditunjukkan pada Gambar 7. Dan Gambar 8



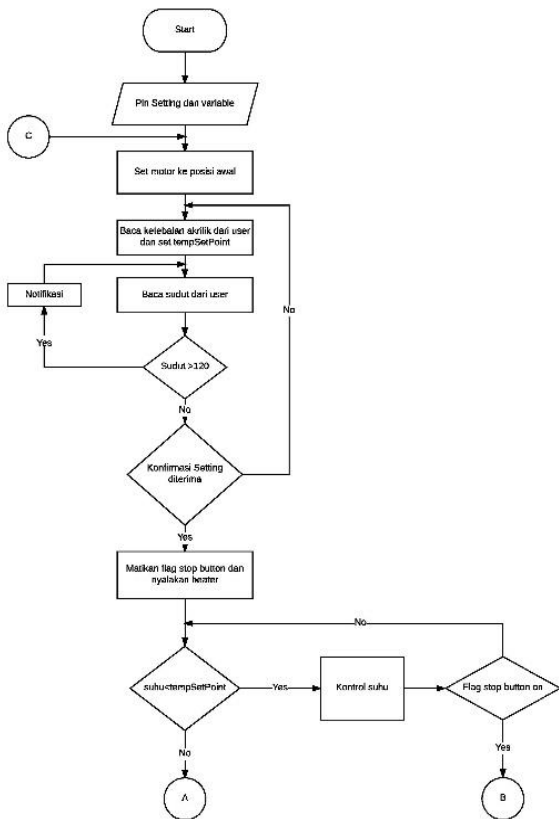
Gambar 7. Desain Sistem



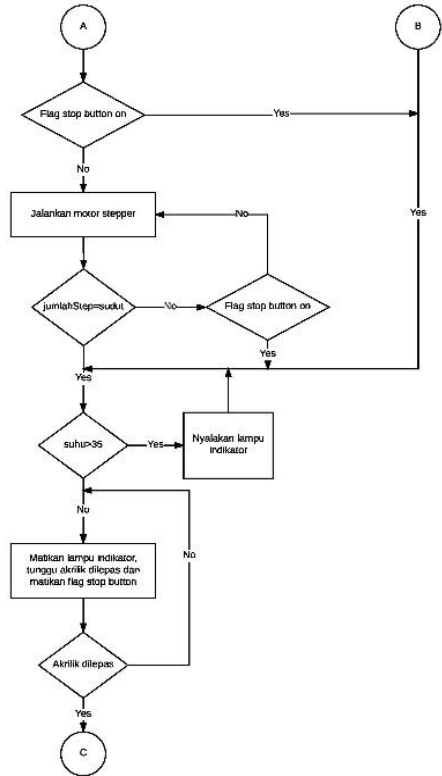
Gambar 8. Desain Sistem

B. Desain Software

Secara garis besar desain *software* dibagi menjadi tiga bagian yaitu pembacaan *input*, perhitungan, dan pengaturan *output*. Gambar 9. Dan Gambar 10. menunjukkan alur kerja program Arduino.



Gambar 9. Alur Kerja Program Arduino



Gambar 10. Desain Sistem

Pada awal sistem dinyalakan akan langsung menuju pilih ketebalan akrilik. Ketebalan akrilik ini sendiri dapat dimasukan melalui *keypad* A, B, C, D. *Keypad* A mengisi ketebalan 1,5mm, B mengisi ketebalan 2mm, C mengisi ketebalan 3mm, dan D mengisi ketebalan 4mm. Pada Posisi ini *keypad* selain A, B, C, D dan tidak dapat digunakan. Di program ini menggunakan fungsi case sehingga saat melakukan pemilihan ketebalan maka kontroler akan langsung memasukkan suhu yang diperlukan dan delay yang dibutuhkan hingga akrilik siap ditekuk

Setelah sistem ketebalan berikutnya sistem akan meminta untuk memasukkan berapa sudut yang akan ditekuk pada akrilik. Pada *keypad* akan berubah tombol A, B, C, dan D tidak dapat ditekan tetapi tombol 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, *, dan # dapat ditekan. Sudut yang dimasukkan tidak lebih dari 120 derajat jika lebih dari 180 derajat maka akan muncul di LCD “sudut tidak bisa lebih dari 120 derajat” dan kembali ke pengisian sudut. Sedangkan * akan digunakan sebagai tombol oke jika tombol # akan menghapus 1 angka disebelah kiri kursor. pada *input* sudut sendiri dibatasi hanya 3 digit tidak dapat lebih dari 3 digit.

Setelah tombol oke ditekan maka program akan menuju ke konfirmasi. Konfirmasi ini digunakan untuk melihat kembali apakah ketebalan akrilik dan sudutnya sudah benar agar tidak terjadi kesalahan dalam menekuk. Pada layar LCD akan ditampilkan ketebalan akrilik dan sudut. Jika sudah sesuai yang diinginkan tombol * kembali berguna sebagai oke dan program akan berjalan ke program berikutnya. jika menekan tombol # maka akan kembali ke program untuk mengatur ketebalan.

Ketebalan dan sudut sudah dilakukan konfirmasi maka mesin berjalan menuju ke program selanjutnya. LCD akan menampilkan target suhu yang akan dicapai. Target suhu ini diambil dari *case* pada saat memilih ketebalan. Di bawah suhu target ditampilkan suhu pada pemanas saat itu. Suhu pemanas ini diambil menggunakan sensor *thermocouple* yang disambungkan melalui *driver* MAX6675 dan masuk ke arduino. Selain ditampilkan pada LCD, suhu pada pemanas digunakan sebagai *input* kontroler.

Suhu yang digunakan sebagai *input* kontroler dimasukkan menuju kontroler yang digunakan mengatur SSR untuk menentukan pemanas aktif atau tidak. Jika panas belum tercapai maka SSR akan terus aktif jika panas sudah tercapai maka panas akan stabil dan *delay* sesuai kebutuhan.

Ketika *delay* sudah selesai diharapkan akrilik sudah siap ditekuk. ketika *delay* ini berjalan LCD akan memunculkan "Menyiapkan Motor". Untuk menentukan *delay* berjalan berapa lama akan dilakukan pengambilan data *delay* yang dibutuhkan disetiap ketebalan akrilik

Setelah *delay* selesai berjalan maka motor akan mulai berputar. Motor stepper disini menggunakan *driver* dm860. Pada program untuk mengirim sinyal ke driver agar motor bergerak dilakukan pertama DIR diberi sinyal *LOW* tandanya arah motornya ke bawah jika diberi sinyal *HIGH* maka motor akan berputar kearah sebaliknya. Untuk *step* sinyal dari kontroler dikirim menuju *PULL*. 1 step adalah 1 kali *PULL LOW* dan 1 kali *PULL HIGH*. Jumlah *step* yang dibutuhkan adalah sesuai sudut yang ditargetkan.

Ketika motor sudah bergerak dan sudah berhenti pada targetnya maka pada LCD akan menampilkan "Mendinginkan" dan LED merah akan menyala. LED menyala hingga pemanas suhunya sudah kembali menjadi 35 derajat celsius setelah lampu LED mati maka akrilik dapat dilepas dan di LCD menampilkan "Lepaskan Akrilik" jika akrilik sudah dilepaskan maka tombol * bisa ditekan dan motor akan bergerak kembali ke titik awal. Disaat motor sudah sampai ke titik awal *limit switch* akan tersentuh akan menghentikan motor dan akan melakukan reset semua program dan mengulang program dari awal

III. PENGUJIAN RANGKAIAN KONTROL

A. Pengujian Step Motor

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui jumlah step yang diperlukan mesin menuju ke sudut yang ditentukan. Pengujian step motor ini dengan cara memasukan jumlah *step* pada kontroler yang kemudian menggerakan mesin hingga mesin sesuai derajat yang diinginkan. Jumlah *step* sendiri didapatkan melalui uji coba *step per step*. Pengujian yang dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Motor *stepper* digerakkan menggunakan *driver* dan dikontrol menggunakan arduino
 2. Pengukuran sudut pada mesin dilakukan menggunakan busur yang ditempel pada sisi samping mesin.
- Hasil dari pengujian step sebagai berikut:

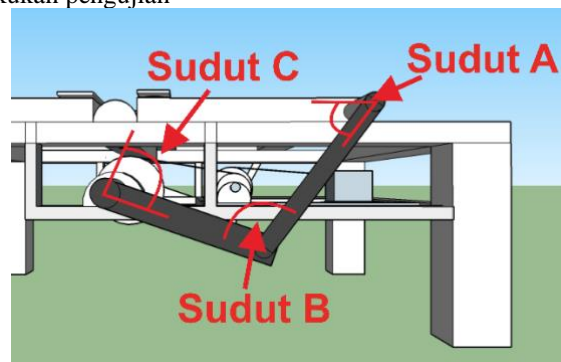
Tabel 1. Tabel Perbandingan Sudut Dengan Step Motor

Sudut (°)	Step	Sudut (°)	Step	Sudut (°)	Step	Sudut (°)	Step
0	0	32	25600	64	46700	96	62200
1	900	33	26200	65	47300	97	62500
2	1800	34	26900	66	47900	98	62800
3	2700	35	27600	67	48250	99	63100
4	3600	36	28300	68	48500	100	63400
5	4500	37	29000	69	49100	101	63550
6	5400	38	29700	70	49700	102	63700
7	6300	39	30400	71	50300	103	63775
8	7200	40	31100	72	50900	104	63850
9	8100	41	31800	73	51500	105	64150
10	9000	42	32500	74	52100	106	64550
11	9900	43	33200	75	52700	107	64650
12	10800	44	33900	76	53300	108	64850
13	11700	45	34500	77	53900	109	65100
14	12600	46	35550	78	54500	110	65500
15	13300	47	36400	79	55100	111	65650
16	14200	48	37100	80	55700	112	65800
17	14900	49	37700	81	55900	113	65950
18	15600	50	38300	82	56300	114	66100
19	16000	51	38900	83	56900	115	66300
20	16600	52	39500	84	57500	116	66650
21	17200	53	40100	85	57900	117	66900
22	17800	54	40700	86	58100	118	67200
23	19000	55	41300	87	58700	119	67500
24	20000	56	41900	88	59300	120	67650
25	20900	57	42500	89	59600	121	67800
26	21500	58	43100	90	59900	122	67950
27	22100	59	43700	91	60200	123	68100
28	22700	60	44300	92	60500	124	68250
29	23300	61	44900	93	61000	125	68400
30	24100	62	45500	94	61600		
31	24900	63	46100	95	61900		

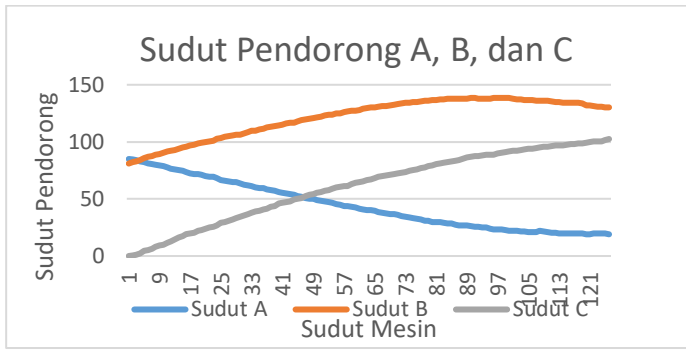
B. Pengujian Sudut Pada Pendorong

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar sudut pada masing-masing besi pendorong. Besar sudut pada masing-masing besi pendorong yang didapatkan digunakan untuk mencari sudut teta 1 dan teta 2. Sudut teta 1 dan teta 2 ini dipergunakan untuk menghitung gaya dorong maksimal yang dikeluarkan besi pendorong.

Pengujian ini dilakukan dengan menjalankan mesin setiap derajat. Setiap mesin bergerak 1 derajat dilakukan pengukuran di 3 sudut yang berbeda pada besi pendorong. Pada Gambar 11. akan menunjukkan sudut – sudut yang akan dilakukan pengujian



Gambar 11. Desain Sistem



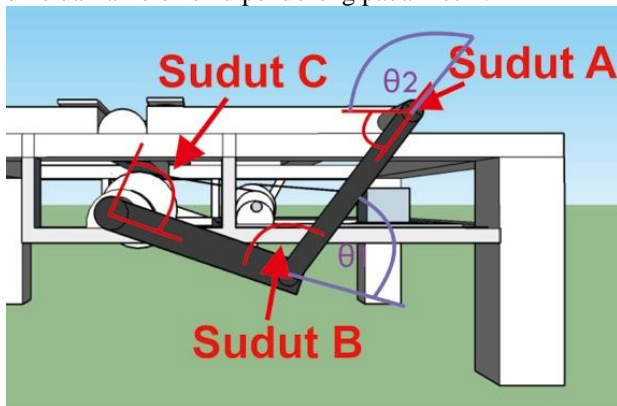
Gambar 12. Desain Sistem

Pada Gambar 12. berwarna biru akan ditunjukkan hasil pengujian pada sudut pendorong A. Letak sudut pendorong A ditunjukkan pada Gambar 11. Sudut pendorong A ini akan digunakan untuk mencari sudut teta 1 yang akan digunakan pada Gambar 14.

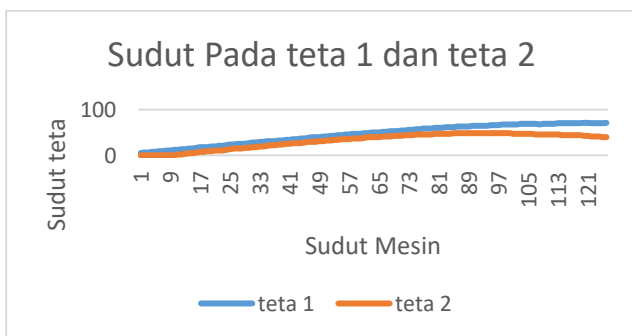
Pada Gambar 12. Berwarna orange akan ditunjukkan hasil pengujian pada sudut pendorong B. Letak sudut pendorong B ditunjukkan pada Gambar 11. Sudut pendorong B ini akan digunakan untuk mencari sudut teta 1 yang akan digunakan pada Gambar 14.

Pada Gambar 12. Berwarna orange akan ditunjukkan hasil pengujian pada sudut pendorong C. Letak sudut pendorong C ditunjukkan pada Gambar 11. Sudut pendorong C ini akan digunakan untuk mencari sudut teta 1 yang akan digunakan pada Gambar 14.

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 12. dapat ditemukan sudut teta 1 dan teta 2 pada Gambar 13. Sudut teta 1 dan teta 2 akan digunakan untuk menghitung gaya yang dapat dikeluarkan oleh siku pendorong pada mesin.



Gambar 13. Desain Sistem

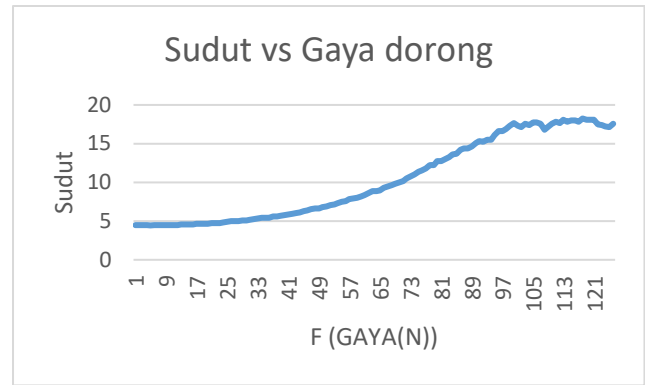


Gambar 14. Desain Sistem

Gambar 14. Adalah grafik pada teta 1 dan teta 2 yang hasil perhitungannya adalah gaya dorong. Mesin disitu menunjukkan disetiap sudut maksimal gaya dorong yang dimiliki berbeda- beda. Perhitungan diatas didapatkan dari rumus[2] :

$$T = F \cos\theta_1 \cos\theta_2 \quad (1)$$

$$F = T / \cos\theta_1 \cos\theta_2 \quad (2)$$



Gambar 15. Desain Sistem

Pada Gambar 15. dapat dilihat hasil dari perhitungan. bahwa setiap derajat memiliki besar gaya yang berbeda - beda. Semakin besar sudut akan membuat gaya semakin besar meskipun ada beberapa sudut yang gaya dorongnya mengalami penurunan.

C. Pengujian Sudut Pada Akrilik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah mesin dapat menekuk akrilik sesuai sudut yang diinginkan. Pengujian ini akan diuji menggunakan 4 akrilik dengan ketebalan yang berbeda, dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm. Langkah – langkah pengujian adalah sebagai berikut :

1. Akrilik ditebuk menggunakan mesin dengan sudut yang diinginkan
2. Setelah akrilik dingin dapat dilepas dari mesin dan dilakukan pengukuran sudut menggunakan busur

Pada pengujian ini dilakukan 2 kali pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.25 terdapat pengujian 1 dan pengujian 2

Tabel 2. Tabel Perbandingan Sudut Dengan Step Motor

sudut	1,5 mm		2 mm	
	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 1	pengujian 2
15°	15,5°	15°	15°	15°
30°	30°	30,75°	30,25°	30°
45°	45,25°	45°	45°	45°
60°	60,25°	60°	60°	60,75°
75°	75°	75,75°	74,5°	75°
90°	91°	90°	90°	92°
105°	105,75°	105,5°	105°	105°
120°	121,75°	121,5°	119°	118,75°
sudut	3 mm		4 mm	
	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 1	pengujian 2
15°	15,25°	15°	15°	15°
30°	30°	29,75°	30°	30°
45°	45°	45,25°	45°	45°
60°	60,5°	60,5°	61,25°	60,5°
75°	75,25°	75,25°	75,25°	76°
90°	90°	90°	89,5°	91,25°
105°	106°	106,25°	103,25°	103,75°
120°	121°	121,5°	118°	120°

dapat dilihat dari menekuk akrilik berbagai macam sudut dapat ditebuk meskipun memiliki kesalahan beberapa derajat. Kesalahan dari pengujian akrilik diatas memiliki maksimal kesalahan 2 derajat . Semakin tebal akrilik dan semakin besar sudut penekukan akan membuat kepresisian semakin berkurang.

D. Pengujian Lebar Akrilik

Pengujian Lebar ini dilakukan untuk mengetahui mesin penekuk akrilik ini dapat menekuk dengan lebar penampang akrilik maksimal (80 cm). Pengujian ini menggunakan akrilik 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm, dan 80 cm dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, 3 mm, dan 4 mm

Tabel 3. Tabel Perbandingan Sudut Dengan Step Motor

lebar akrilik	1,5 mm 90°	2 mm 90°	3 mm 90°	4 mm 90°
10 cm	90°	89,75°	89,5°	90°
20 cm	90°	90°	90°	90,5°
30 cm	90°	90°	89,75°	90,75°
40 cm	90°	90,5°	90,25°	91,25°
50 cm	90,5°	90,75°	90,75°	91,25°
60 cm	90,75°	90,5°	91°	91°
70 cm	90,5°	89,75°	90,75°	91,75°
80 cm	91°	91°	91,5°	92°

Hasil tabel 3. dapat dilihat dari menekuk akrilik berbagai macam lebar penampang akrilik dapat ditebuk dengan sempurna . Meskipun ada kesalah 1 hingga 2 derajat adalah hal yang wajar. Kesalahan terjadi karena gear pada motor terdapat yang kurang presisi sehingga berputar oval.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari perancangan, pembuatan desain dan pengujian rangkaian kontrol ini dapat disimpulkan dalam beberapa poin berikut:

- *Bending machine* akrilik dapat bekerja pada sudut 1 derajat hingga 120 derajat.
- Setiap ketebalan akrilik membutuhkan suhu dan delay yang berbeda – beda hingga akrilik siap ditebuk.
- Semakin tebal akrilik dan semakin besar sudut penekukan akan membuat kepresisian semakin berkurang. Terdapat kesalahan maksimal 2 derajat.
- Mesin dapat menekuk akrilik dengan lebar penampang akrilik 10 cm hingga 80 cm terdapat kesalahan maksimal 2 derajat dengan persentasi kesalahan maksimal 2,2% pada sudut 90 derajat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] The Editors of Encyclopædia Britannica. (2017, 1 24). *encyclopaedya britannica*. Retrieved from Polymethyl methacrylat (PMMA): <https://www.britannica.com/science/polymethyl-methacrylate>.
- [2] teknik otomotif. (2016, 11 15). *TORSI*. Retrieved from teknik otomotif: <http://www.teknikotomotif.com/2015/12/ini-cara-yang-benar-menghitung-torsi.html>.