

Alat Penekuk Akrilik dengan Suhu yang dapat Dikontrol menggunakan Metode PID

Bayu Satriyo Prassojo¹, Bambang Priyadi², Muhamad Rifa' I³

[Submission: 05-05-2021, Accepted: 31-07-2021]

Abstract— Acrylic is a polymer material that is used for various purposes. In making acrylic to be a useful item, it takes several processes, one of which is acrylic bending. Many people use the conventional method of acrylic bending. This may be very troublesome, especially if the acrylic is desired to bend at a certain angle. The bending device with the thick adjustment is one of the tools designed to assist the bending process. Equipped with a DC motor as an actuator to move the benders, so that the desired bending angle can be placed more easily. This tool is also equipped with a temperature control equipped with an AC heating element. By providing the desired data input angle and the thickness of the acrylic that will be bent through the available menu, then the data will be processed by Arduino Mega, so the heating element will heat up according to the thickness of the acrylic and the motor will bend automatically to the desired angle. A tool used to bend acrylic mica with an angle of view of 30° 45° 60° 90°. From the results of several experiments, the best temperature and time were obtained so that the bent acrylic did not suffer damage. The temperature and time obtained are 1mm thick with a temperature of 110°C in 8.47 minutes, 2mm thick with a temperature of 115°C in 9.10 minutes, 3mm thick with a temperature of 120°C with a time of 9.29 minutes. By using the trial and error method to obtain the values of Kp, Ki, and Kd, the values of Kp = 2,3, Ki = 1,3 and Kd = 2,7 are obtained. The value obtained is the value that is closest to the ideal when the tool is working.

Intisari — Akrilik adalah bahan polimer yang dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan. Dalam pembuatan akrilik untuk menjadi barang berguna, dibutuhkan beberapa proses salah satunya penekukan akrilik. Banyak orang yang menggunakan cara konvensional untuk melakukan penekukan akrilik. Hal tersebut mungkin akan sangat merepotkan, terutama jika diinginkan akrilik menekuk dengan sudut lekukan tertentu. Alat penekuk dengan pengatur tebal merupakan salah satu alat yang dirancang untuk membantu proses penekukan. Dilengkapi dengan motor DC sebagai aktuator untuk menggerakkan penekuknya, sehingga sudut tekuk yang diinginkan dapat diproses dengan lebih mudah. Alat ini juga dilengkapi dengan pengaturan suhu yang dihubungkan dengan elemen pemanas AC. Dengan memberikan data input sudut yang diinginkan dan tebal akrilik yang akan ditekuk melalui menu yang tersedia, kemudian data tersebut akan diolah Arduino mega maka elemen pemanasan memanaskan sesuai tebal akrilik dan motor akan menekuk secara otomatis hingga sudut yang diinginkan. Alat ini

digunakan untuk menekuk mica akrilik dengan rentang sudut 30° 45° 60° 90°. Dari hasil beberapa percobaan didapatkan suhu dan waktu yang terbaik agar akrilik yang ditekuk tidak mengalami kerusakan. Suhu dan waktu yang didapatkan yaitu tebal 1mm dengan suhu 110°C dengan waktu 8,47 Menit, tebal 2mm dengan suhu 115°C dengan waktu 9,10 Menit, tebal 3mm dengan suhu 120°C dengan waktu 9,29 Menit. Dengan menggunakan metode trial and error untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd didapatkan nilai Kp = 2,3, Ki = 1,3 dan Kd=2,7. Nilai yang didapat tersebut merupakan nilai yang paling mendekati ideal saat alat berkerja.

Kata Kunci — Akrilik, Suhu, Motor DC, PID

I. PENDAHULUAN

Akrilik merupakan plastik yang menyerupai kaca, namun memiliki sifat-sifat yang membuatnya lebih unggul dari pada kaca salah satunya dari perbedaan sifatnya yaitu dari kelenturan dari akrilik. Kejernihan mica akrilik bisa bertahan lama tanpa berubah warna menjadi kekuningan atau menjadi kusam saat terpapar sinar matahari walaupun dalam jangka waktu lama. Kepadatan mica akrilik antara 1150-1190 kg / m³. Nilai kepadatan akrilik ini kurang lebih setengah dari kepadatan kaca, yang berkisar antara 2400 sampai 2800 kg / m³. Akrilik punya kekuatan tumbuk yang lebih besar dari kaca yang tidak mudah pecah. Sifat tahan pecah ini membuat material akrilik ideal untuk digunakan dibandingkan kaca yang mudah pecah. Karena sifat-sifatnya ini akrilik memiliki beragam manfaat dalam kehidupan sehari-hari ataupun di dunia industry seperti untuk membuat plang, *display*, *box control*, dan bermacam kegunaan lainnya [1].

Dalam pengolahannya dibutuhkan suhu dari 250 derajat fahrenheit hingga 300 derajat fahrenheit (dari 121 derajat celcius sampai 149 derajat celcius) untuk membengkokkan dan membentuk plastik akrilik. Akrilik lembaran yang ada di pasaran dijual dalam bentuk lembaran dan harganya relatif mahal, akibatnya tidak sedikit orang yang menggunakan cara konvensional. Penekukan menggunakan cara konvensional akan sedikit merepotkan selain itu, sulit untuk menentukan sudut lekukan yang diinginkan.

Pada penelitian yang membahas alat penekuk akrilik

¹Mahasiswa, D4 Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, e-mail: bsatriyo007@gmail.com

^{2,3} Dosen Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, e-mail: bambang.priyadi@polinema.ac.id, muh.rifai@polinema.ac.id



dengan metode penentuan nilai suhu dan sudut penekukan, hasilnya penekukan akrilik tersebut bekerja dengan mengatur nilai suhu dan sudut penekukan yang dilakukan secara manual sebelum alat mulai bekerja. Penelitian tersebut memiliki beberapa kekurangan seperti sudut yang kurang presisi dan suhu pemanas yang berlebih saat alat bekerja. Walaupun sudah ditentukan nilai awalnya, nilai suhu penekukan saat alat bekerja ini dapat sewaktu-waktu berubah karena nilai suhu ini tidak dikontrol. Jika suhu pemanasan akrilik tidak sesuai, maka saat ditekuk akan terjadi kerusakan akrilik. Selain itu untuk menentukan sudut lekukan yang diinginkan butuh ketelitian yang lebih agar sudut yang didapat presisi. Berdasarkan hal tersebut, alat penekuk akrilik otomatis ini menggunakan kontrol PID untuk memperbaiki kestabilan dan keakuratan suhu dan sudut tekuk akrilik. Alat ini diharapkan mampu mengatur suhu elemen pemanas untuk menekuk akrilik sesuai dengan tebal akrilik dan dengan sudut lekukan yang dapat ditentukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Akrilik

Akrilik merupakan plastik yang menyerupai kaca, namun memiliki sifat-sifat yang membuatnya lebih unggul dari pada kaca dalam banyak cara salah satunya dari perbedaan sifatnya yaitu dari kelenturan dari akrilik itu sendiri. Namun dahulu merek kelas tinggi akrilik dinamakan *Polycast*, *Lucite* dan *Plexiglas*. Di butuhkan suhu dari 250 derajat fahrenheit hingga 300 derajat fahrenheit (dari 121 derajat celcius sampai 149 derajat celcius) adalah semua yang diperlukan untuk membengkokkan dan membentuk plastik akrilik [2].

B. PID (*Proportional Integral Derivative*)

Pada suatu sistem kontrol dibutuhkan keberadaan *controller* yang memiliki peran besar terhadap perilaku dari sistem. Salah satu peran dari *controller* adalah untuk mengurangi kesalahan (*error*) yang merupakan perbedaan antara nilai yang diinginkan (*setpoint*) dengan nilai aktual yang didapatkan oleh sistem (*present value*). Semakin kecil kesalahan maka semakin bagus sistem kontrol yang diterapkan[3].

1) *Controler Proporsional*: Secara sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontrol proporsional merupakan perkalian dari konstanta proporsional dengan masukannya. Penggunaan *controler* proporsional harus memperhatikan ketentuan – ketentuan berikut ini:

- Jika nilai K_p kecil, *controler* proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- Jika nilai K_p dinaikan, respon sistem menunjukkan semakin

cepat mencapai keadaan mantabnya.

- Jika nilai K_p dinaikan mencapai harga yang berlebihan, sistem akan bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan beresilasi.

2) *Controller Integral*: *Controller* Integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Ketika digunakan, *controller* integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

- Keluaran *controller* membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga *controller* intergal cenderung memperlambat respon.
- Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran *controller* akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
- Konstanta Integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran *controller*.

3) *Controller Diferensial*: *Controller* Diferensial memiliki keluaran bersifat seperti suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan *controller*, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. *Controller* diferensial memiliki karakteristik sebagai berikut:

- *Controller* ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya.
- Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan *controller* tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- *Controller* diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga *controller* ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi *controller* diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

C. Sensor Suhu PT100

Sensor ini memiliki jangkauan suhu yang sesuai dengan alat yang akan dirancang. PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*temperature*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. RTD juga merupakan sensor pasif, karena sensor ini membutuhkan energi dari luar[4].

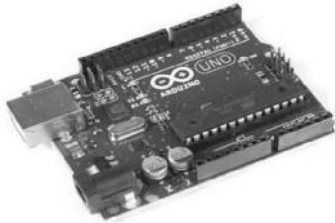


Gambar 1: Sensor Suhu PT100



D. Arduino Mega 2560

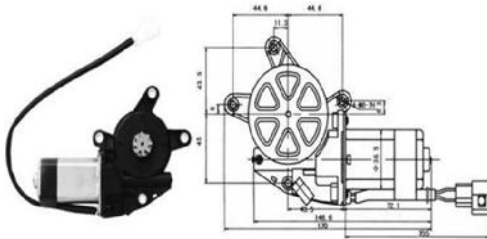
Arduino Mega 2560 adalah papan *microcontroller* berbasis Atmega 2560. Arduino Mega 2560 yang memiliki 54 pin digital *input / output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*, 16 pin sebagai *input analog*, dan 4 pin. sebagai *UART (portserial hardware)*, 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung *microcontroller*[5].



Gambar 2: Arduino Mega 2560

E. Motor DC Power Window

Motor DC (*Power Window*) pada prinsipnya sama dengan motor DC pada umumnya yaitu suatu motor yang dapat mengubah energi listrik searah menjadi mekanis yang berupa tenaga penggerak torsi, kecepatan motor DC dapat dikontrol putarannya sesuai torsi diperlukan untuk memenuhi kebutuhan, perputaran motor DC *power window* ini dapat diatur melalui driver motor DC. Motor ini memiliki *gear* yang dapat mengunci pergerakan, sehingga posisi putaran hanya akan terarah oleh motor DC itu sendiri. Pada alat ini motor DC (*Power Window*) difungsikan untuk menggerakkan meja penekuk yang akan menekuk akrilik di atasnya[6].



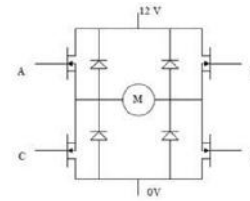
Gambar 3: Motor DC Power Window

F. Driver Motor IBT-2

Driver motor ini dapat mengeluarkan arus hingga 43A, dengan memiliki fungsi PWM. Tegangan sumber DC yang dapat diberikan antara 5.5V-27VDC, sedangkan tegangan input level antara 3.3V – 5V DC, *driver motor* ini menggunakan rangkaian *full H-bridge* dengan IC BTS 7690 dengan perlindungan saat terjadi panas dan arus berlebih.

H-Bridge adalah sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk penggerak motor. Rangkaian

ini di beri nama H-Bridge karena bentuk rangkaiannya yang menyerupai huruf H. Mosfet ini digunakan sebagai switching sehingga motor dapat berputar searah jarum jam (*clockwise*) dan berlawanan arah jarum jam (*counterclockwise*)[7].

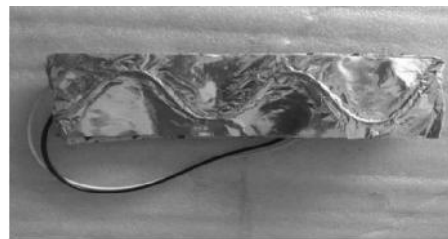


Gambar 4: Rangkaian driver mosfet

G. Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. 3 klas/tipe elemen pemanas yang umum dipakai adalah *metallic*, *silicon carbide* (SiC), dan *molybdenum disilicide* (MoSi₂).

Pada kelas *metallic*, sebagian besar elemen pemanas menggunakan bahan nichrome 80/20 (80% nikel, 20% kromium) dalam bentuk kawat, pita, atau strip. 80/20 nichrome merupakan bahan yang baik, karena memiliki ketahanan yang relatif tinggi dan membentuk lapisan kromium oksida ketika dipanaskan untuk pertama kalinya, sehingga bahan di bawah kawat tidak akan teroksidasi, mencegah kawat terputus atau terbakar [8].

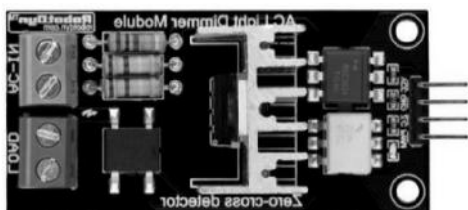


Gambar 5: Elemen Pemanas

H. Modul AC Light Dimmer

Modul AC light dimmer ini umumnya digunakan untuk mengatur kecerahan cahaya yang dipancarkan oleh lampu. Namun penggunaannya tidak terbatas pada kontrol lampu saja, akan tetapi dapat digunakan juga pada kontrol pemanas, smarthome, dan lain-lain. Modul AC *light dimmer* adalah *dimmer* buatan RobotDyn yang dapat dikendalikan oleh *microcontroller* seperti Arduino, Raspberry Pi dan sebagainya. Fitur pin zero crossing detector pada modul ini membuat *microcontroller* dapat mengetahui saat yang tepat untuk mengirim sinyal PWM [9].

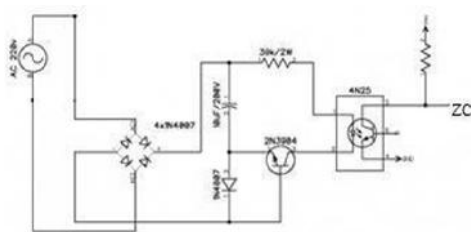




Gambar 6. Modul AC Light Dimmer
 Sumber:

I. Zero Crossing Detector

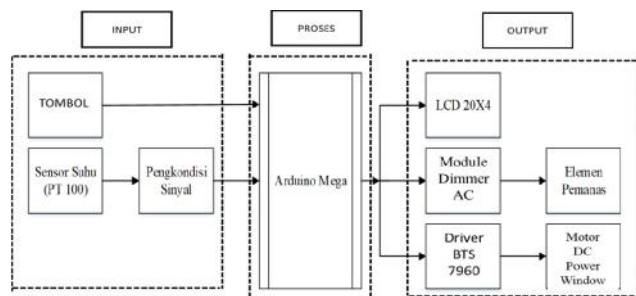
Rangkaian *Zero Crossing Detector* merupakan rangkaian yang berfungsi memfilter frekuensi dan periode dari suatu sinyal periodik. Metode ini berfungsi untuk menentukan frekuensi suatu gelombang dengan cara mendeteksi banyaknya zero point pada suatu rentang waktu. Dengan menggunakan rangkaian zero crossing detector ini, kita dapat mendeteksi zero point sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal (*sine wave*) menjadi sinyal kotak (*square wave*). Perpotongan titik nol yang terdeteksi adalah pada saat peralihan dari siklus positif menuju siklus negatif dan peralihan dari siklus negatif menuju siklus positif [9].



Gambar 7. Rangkaian Dasar Zero Crossing Detector

III. METODE PENELITIAN

A. Blok Diagram Sistem



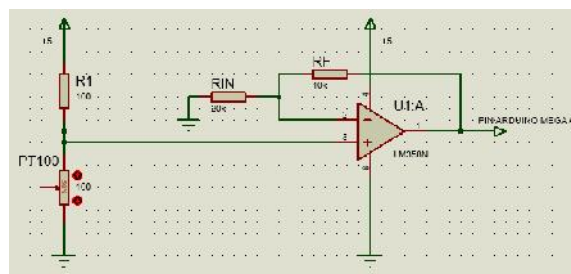
Gambar 8: Diagram Blok Sistem

Alat ini digunakan untuk menekuk sebuah akrilik yang dimana akrilik tersebut untuk ditebuk perlu dipanaskan terlebih dahulu. Ketika *Start* proses *setting set point* tebal, suhu dan sudut. Kemudian elemen pemanas akan menyala. Setelah itu Elemen pemanas akan memanaskan akrilik yang telah

disiapkan. Sensor PT 100 yang terpasang didekat elemen pemanas akan melakukan pembacaan suhu. Jika suhu yang terbaca oleh sensor PT 100 dengan suhu yg sesuai *set point*, maka motor bekerja sesuai sudut yg diatur, jika tidak elemen pemanas akan memanaskan akrilik sampai dengan *set point* yg ditentukan. Kemudian motor akan kembali pada posisi awal. Kestabilan suhu dalam memanaskan dan pengaturan sudut akan dikontrol dengan metode PID.

B. Perancangan Rangkaian Sensor Suhu PT100

Untuk membuat PT-100 terhubung dan dapat diproses oleh Arduino Mega diperlukan rangkaian pembagi tegangan dan penguat tegangan yang berfungsi untuk mendapat nilai tegangan tebaca pada PT-100. Penguatan tegangan yang digunakan adalah penguatan Non-Inverting. Pada prinsipnya penguatan Non- inverting adalah rangkaian elektronika yang berfungsi menguatkan sinyal dengan karakteristik dasar sinyal output yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal input. Dengan perubahan yang terjadi, maka tegangan output yang dikeluarkan oleh Op-amp juga akan berubah. Output dari op-amp itulah yang akan dibaca oleh mikrokontroler. Input dari Arduino adalah tegangan 0-5v. Maka pengkondisi sinyal dikondisikan agar tegangan keluaran tidak terlalu kecil dan tidak terlalu besar serta jarak tegangan perderajatnya mampu terbaca oleh ADC Arduino Mega.



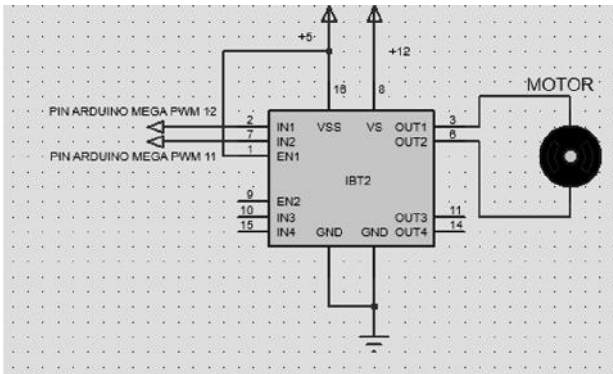
Gambar 9: Rangkaian Pengkondisi Sinyal PT-100

C. Perancangan Driver Motor DC

Gambar di bawah adalah skema rangkaian driver motor IBT-2 dengan H-Bridge sebagai rangkaian dasarnya. Dalam penggunaan driver H-Bridge sebagai driver motor DC *geared* untuk mengatur kecepatan Motor, bisa dioperasikan sebagai *half bridge* (motor DC hanya dapat berputar satu arah CW atau CCW) maupun *full bridge* (motor DC dapat diatur menjadi 2 arah yaitu CW dan CCW).

Pada pengoperasian driver dengan dua arah putar motor, maka dibutuhkan 2 pin sebagai pengatur arah putaran. Berikut pin yang dibutuhkan untuk menghubungkan driver H-Bridge IBT-2 ke Arduino Mega 2560:



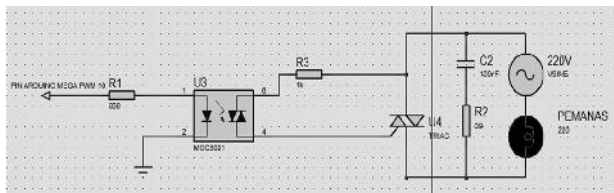


Gambar 10: Skematik Diagram IBT-2 ke Arduino Mega 2560

Data 1 H-Bridge : Pin Arduino PWM 10
 Data 2 H-Bridge : Pin Arduino PWM 11
 VCC : VCC Pin Arduino
 Ground : GND Pin Arduino

D. Rangkaian Driver Pemanas

Rangkaian *driver heater* berfungsi untuk mengatur penyalaan pada heater dengan cara mengatur daya heater sesuai dengan yang dihasilkan oleh Arduino mega. Rangkaian dimmer ini terdiri dari beberapa komponen yang dijadikan menjadi satu modul. Komponen-komponen tersebut diantaranya terdapat 3 buah resistor, 1 kapasitor, 1 buah triac, 1 buah optocoupler, 2 pin untuk LOAD dan 2 pin untuk AC-IN. Modul ini dapat bekerja dengan menerima tegangan AC dari 110 V sampai 220 V.



Gambar 11: Rangkaian Driver Pemanas

Rangkaian Dimmer digunakan sebagai driver beban elemen pemanas. Kendali TRIAC menggunakan MOC3021. Digunakannya MOC3021 ini agar rangkaian (mikrokontroler LCD, dll) terisolasi dengan rangkaian power. Sehingga apabila saat rangkaian power meledak, rangkaian kontrol tetap aman. Proses pengaturan daya dilakukan dengan mengatur tegangan masukan 1-5V untuk memproses pengendali 0-100%.

E. Perancangan Sistem Kontrol PID pada Arduino Mega

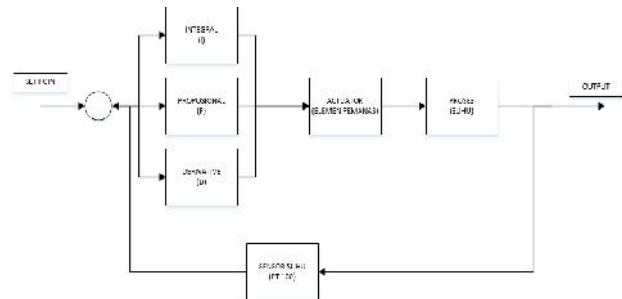
Sensor suhu PT 100 pada penelitian ini digunakan sebagai umpan balik yang mendeteksi elemen pemanas, kemudian dikirim ke Arduino Mega 2560. Rumus perhitungan yang digunakan adalah rumus perhitungan metode kurva reaksi [10]

Pengujian kontrol PID dilakukan untuk mengetahui prinsip kerja dari kontrol PID serta memastikan kontrol bekerja sesuai dengan yang ditentukan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengambil sampel data dari pengujian respon suhu terhadap waktu menggunakan controller PID dengan metode menggunakan controller fine tuning PID. Kemudian dilakukan pengujian kontrol PID dengan cara memberikan beberapa set point.

Pengujian fine tuning PID dilakukan pada 3 set point yang berbeda yaitu pada tebal akrilik 1mm dengan suhu 110°C, tebal akrilik 2mm dengan suhu 115°C dan tebal akrilik 3mm dengan suhu 120°C. Ketiga set point tersebut dipilih sesuai dengan titik leleh akrilik dengan range di atas 100 °C. Perubahan set point ini juga berfungsi untuk mengetahui pengaruh respon dari parameter PID terhadap setiap set point yang diberikan dan mengetahui pengaruh kenaikan suhu yang dihasilkan untuk pemanasan akrilik.

Rumus pada program Arduino IDE:

```
last_error = error;
error = var_suhu - temperature;
delta_error = error - last_error;
sigma_error = sigma_error + error;
value_pemanas = error*kp + (delta_error*kd)/ts + (sigma_error*ki) * ts
```



Gambar 12: Diagram Blok Kontrol Suhu dengan PID

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Sensor PT 100

Pengujian pada sensor ini dilakukan dengan membandingkan kenaikan nilai resistansi terhadap kenaikan suhu dengan datasheet sensor PT-100. Selain itu, pengujian dilakukan dengan membandingkan suhu yang terbaca pada serial monitor dengan suhu pada *thermoGun*. Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah sensor ini bekerja dengan akurat sesuai dengan nilai suhu aktual atau tidak.

TABEL 1
 HASIL PERBANDINGAN NILAI RESISTANSI SENSOR PT100



No.	Suhu (°C)	Pengukuran ()	Datasheet ()	Error (%)
1.	30	111,2	111,67	0,421
2.	40	116,4	115,54	0,744
3.	50	119,8	119,40	0,335
4.	60	123,7	123,24	0,373
5.	70	127,0	127,08	0,063
6.	80	130,7	130,90	0,153
7.	90	134,2	134,71	0,379
8.	100	137,1	138,51	1,018
9.	110	142,0	142,29	0,204
10.	120	146,2	146,07	0,089
11.	130	149,7	149,83	0,087
Error Rata-Rata				0,351

Dari hasil perbandingan nilai resistansi sensor suhu PT100 yang ditunjukkan pada tabel 2, diperoleh hasil yang cukup akurat dan sesuai dengan nilai yang ada pada *datasheet*. Hal ini dapat dilihat dari persentase nilai *error* rata-rata dan nilai *error* setiap pengujian, yaitu dengan nilai *error* minimal sebesar 0,063% dan *error* maksimal sebesar 1,018% dengan nilai *error* rata-rata sebesar 0,351%. Nilai *error* setiap pengujian dan nilai *error* rata-rata yang didapat tidak lebih besar dari 5% sehingga dapat ditoleransi dan tidak mengganggu kinerja sistem.

B. Pengujian Driver dan Motor DC

Pengujian pada motor DC bertujuan apakah putaran motor dapat stabil atau dapat bekerja dengan baik. Motor DC digunakan sebagai penekuk akrilik. Pengujian pada motor DC perlu diuji, dikarenakan pada sistem ini, dibutuhkan kecepatan pada proses penekukan yang stabil.

TABEL 2
 DATA PENGUJIAN PWM MOTOR DC

PWM (%)	Vin (V)	Vout (V)	Rpm (tanpa beban)	Rpm (dengan beban)
0	0	0,5	0	0
10	1,1	2,4	491	66
20	1,37	3,7	531	86
30	1,6	4,8	568	95
40	1,97	5,9	609	117
50	2,55	6,6	654	137
60	3,14	7,8	679	151
70	3,53	9,1	686	160
80	4,2	10,05	701	168
90	4,5	11,2	704	172
100	5	11,9	713	178

Berdasarkan tabel 3 bahwa PWM dapat mempengaruhi kecepatan dan torsi suatu motor DC. Dan dari hasil percobaan kecepatan dan torsi yang cocok untuk sebuah proses penekukan yaitu di PWM 50%.

TABEL 3
 DATA MENENTUKAN SUDUT LEKUKAN

No	Sudut (°)	Pwm(%)	Delay(ms)
1	30	50	990
2	30	50	990
3	30	50	990
4	30	50	980
5	30	50	980
			990
No	Sudut (°)	Pwm(%)	Delay(ms)
1	45	50	970
2	45	50	970
3	45	50	970
4	45	50	960
5	45	50	960
			970
No	Sudut (°)	Pwm(%)	Delay(ms)
1	60	50	950
2	60	50	950
3	60	50	950
4	60	50	950
5	60	50	960
			950
No	Sudut (°)	Pwm(%)	Delay(ms)
1	90	50	930
2	90	50	930
3	90	50	930
4	90	50	940
5	90	50	940
			930

Berdasarkan hasil pengujian percobaan untuk mencari sudut lekukan akrilik dengan beban lekukan yang sama dapat dilihat pada table 4.

C. Pengujian Heater

Untuk mendapatkan nilai yang sesuai dengan keinginan maka harus dilakukan beberapa kali percobaan. Untuk setiap percobaan dilakukan 5 kali percobaan dengan suhu yang berbeda.

TABEL 4
 PERCOBAAN PENEKUKAN AKRILIK

Tebal (mm)	Suhu (°C)	PWM (%)	Waktu (Menit)	Hasil
1	100	75	8,32	Buruk
	110	78	8,47	Baik
	113	80	8,55	Buruk
	115	82	9,06	Buruk

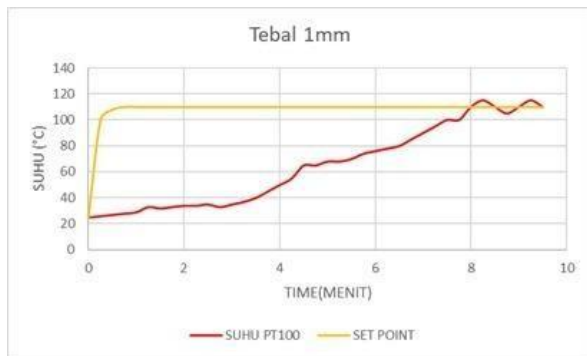


	120	86	9,14	Buruk
2	110	75	8,47	Buruk
	112	78	8,55	Buruk
	114	81	9,06	Buruk
	115	83	9,10	Baik
	118	85	9,22	Buruk
3	114	67	9,06	Buruk
	116	69	9,14	Buruk
	118	71	9,22	Buruk
	120	73	9,29	Baik
	122	75	9,35	Buruk

Berdasarkan hasil pengujian percobaan untuk mencari suhu lekukan akrilik dengan beban lekukan yang sama dapat dilihat pada table 5.

D. Pengujian Kontrol PID

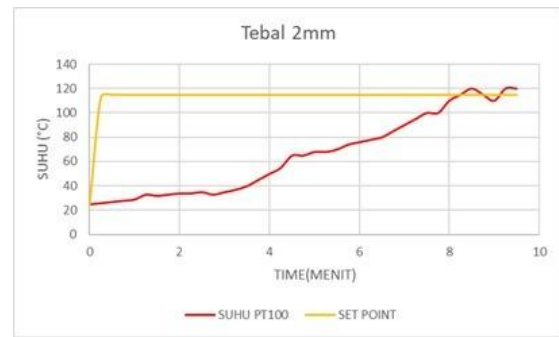
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kontrol PID dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan nilai K_p , K_i dan K_d pada sebuah control dengan metode *trial error*. Respon dari sistem ini adalah kecepatan nilai PV untuk mencapai SP. Dimana nilai PV merupakan nilai dari pembacaan sensor PT 100 ke pemanas secara langsung, dan nilai SP merupakan pembacaan nilai suhu sensor dengan tebal akrilik yang telah disetting.



Gambar 13: Hasil Percobaan pada tebal akrilik 1mm

Pada gambar diatas dapat dilihat dan dianalisa bahwa:

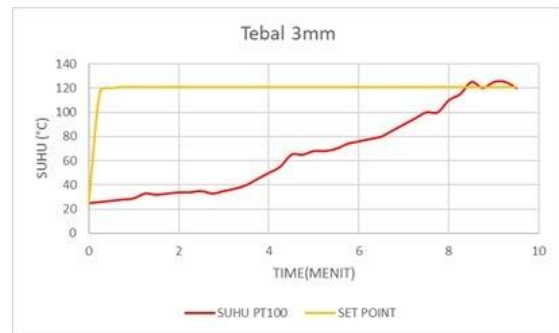
- *Risetime* (T_r) = merupakan lama waktu yang diperlukan respon menuju *setpoint* mulai dari $t=0$ sampai dengan respon menyentuh sumbu *setpoint* yang pertama nilai $T_r = 480s$.
- *Peaktime* (T_p) = waktu yang diperlukan respon menuju titik puncak pertama dari *overshot*. Pada gambar waktu yang diperlukan adalah 500s.



Gambar 14: Hasil Percobaan pada tebal akrilik 2mm

Pada gambar diatas dapat dilihat dan dianalisa bahwa:

- *Risetime* (T_r) = merupakan lama waktu yang diperlukan respon menuju *setpoint* mulai dari $t=0$ sampai dengan respon menyentuh sumbu *setpoint* yang pertama nilai $T_r = 490s$.
- *Peaktime* (T_p) = waktu yang diperlukan respon menuju titik puncak pertama dari *overshot*. Pada gambar waktu yang diperlukan adalah 510s.



Gambar 15: Hasil Percobaan pada tebal akrilik 3mm

Pada gambar diatas dapat dilihat dan dianalisa bahwa:

- *Risetime* (T_r) = merupakan lama waktu yang diperlukan respon menuju *setpoint* mulai dari $t=0$ sampai dengan respon menyentuh sumbu *setpoint* yang pertama nilai $T_r = 500s$.
- *Peaktime* (T_p) = waktu yang diperlukan respon menuju titik puncak pertama dari *overshot*. Pada gambar waktu yang diperlukan adalah 520s.

Respon sinyal yang didapat terlihat bahwa saat awal-awal suhu pemanas masih terjadi osilasi tetapi berjalannya waktu akan menuju titik setpoint.

Dari hasil *trial error* untuk mendapatkan nilai K_p , K_i , dan K_d didapatkan nilai $K_p = 2,3$, $K_i = 1,3$ dan $K_d = 2,7$. Nilai yang didapat tersebut merupakan nilai yang paling mendekati ideal saat alat berkerja.



V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang saya kerjakan dapat disimpulkan kesimpulan sebagai berikut:

- A. Alat penekuk akrilik dapat menekuk akrilik sesuai dengan sudut yang ditentukan yaitu $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$. Alat penekuk akrilik dapat memanaskan akrilik dengan suhu *set point* yang sudah ditentukan sesuai dengan ketebalan akrilik. Diketahui setiap perbedaan tebal akrilik mempengaruhi suhu yang dibutuhkan untuk menekuk akrilik. Semakin tebal akrilik maka panas yang dibutuhkan semakin tinggi.
- B. Dari hasil beberapa percobaan didapatkan suhu dan waktu yang terbaik agar akrilik yang ditebuk tidak mengalami kerusakan. Suhu dan waktu yang didapatkan yaitu tebal 1mm dengan suhu 110°C dengan waktu 8,47 Menit, tebal 2mm dengan suhu 115°C dengan waktu 9,10 Menit, tebal 3mm dengan suhu 120°C dengan waktu 9,29 Menit.
- C. Implementasi penggunaan metode PID pada Alat Penekuk Akrilik sesuai dengan yang diharapkan. Dari hasil pengujian nilai $K_p = 2,3$, $K_i = 1,3$, dan $K_d = 2,7$. Konstanta tersebut dihasilkan respon sistem yang sesuai dengan harapan. Untuk mengatur kecepatan dan torsi motor dapat diatur melalui PWM pada *microcontroller*. Untuk *end user* tidak dapat mengubah setting yang terdapat pada alat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Tim Jurnal Elkolind yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini sehingga penulis mendapat referensi dalam menulis jurnal yang baik dan benar.

REFERENSI

- [1] Setiawan, Christian, " *Pembuatan Bending Machine Akrilik Berbasiskan Controller Arduino*," Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, 2017.
- [2] Hongge Ru, Jian Huang, "Design and Control of a Soft Bending Pneumatic Actuator Based on Visual Feedback", pada IEEE Proceedings of the 2018 13th World Congress on Intelligent Control and Automation July 4-8, 2018, Changsha, China, 2018.
- [3] Pothorajoo, Satishrao, and Hamdan Daniyal. "PID bidirectional speed controller for BLDC with seamless speed reversal using Direct Commutation Switching Scheme." Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), 2017 IEEE 8th. IEEE, 2017.
- [4] Priya, Aldiansyah, " *Alat Penekuk Dan Pemotong Akrilik Dengan Ketebalan Dan Sudut Yang Dapat Diatur*," pada Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, 2018.
- [5] Artanto, Dian, " *LCD (Liquid Crystal Display)*" pada Laporan Akhir Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya, 2012.
- [6] Priya, Aldiansyah, " *Alat Penekuk Dan Pemotong Akrilik Dengan Ketebalan Dan Sudut Yang Dapat Diatur*," pada Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, 2018.
- [7] Adityaproduction, " *Pengertian jenis-jenis akrilik*" Jurnal kelompok gramedia, 2016.
- [8] Urwatal, Robith, " *Rancang Bangun Acrylic Machine Dengan Sudut Yang Dapat Ditentukan*," Jurnal Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, 2013.
- [9] A. G. Ekayana, A. A. R. Rakasiwi, "Rancang Bangun Pengaman Power Supplay Berbasis Zero Crossing Detector Pada Laboratorium Komputer," Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Fakultas Teknik dan Kejuruan Universitas Ganesha, Vol. 15, No.1, 2018.
- [10] Ali, Muhammad, " *Pembelajara Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software MATLAB*," Jurnal Teknik Elektro Universitas Yogyakarta, 2014.

