

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini berisi pembahasan mengenai cara perancangan dan pembuatan alat kendali suhu pelelehan dengan plan pemanas (*heater*) Printer 3D menggunakan kontroler PID. Perancangan alat meliputi perancangan mekanik, elektrik, dan perangkat lunak. Perancangan perangkat elektrik terdiri dari rancang rangkaian catu daya dan sensor termokopel. Sementara perancangan perangkat lunak terdiri dari rancang diagram alir (*flowchart*) dan program mikrokontroler pada Arduino.

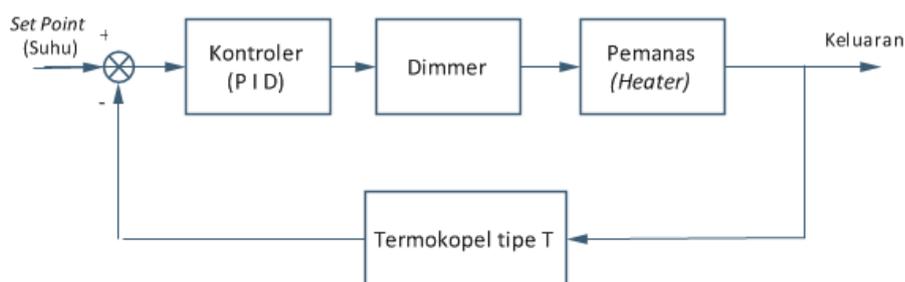
4.1. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem yang dirancang adalah:

1. Penelitian ini menggunakan seperangkat curat (*extruder set*) dengan pemanas (*heater*) bertipe J-Head Direct
2. Sensor yang digunakan adalah Termokopel TC47-MB bertipe T, yakni sensor Termokopel yang diperuntukkan sebagai pengukur suhu pelelehan
3. Konverter pembacaan Termokopel menggunakan MAX31855
4. Bahan plastik berjenis ABS
5. Mikrokontroler menggunakan Arduino UNO berbasis ATmega328 dengan perangkat lunak Arduino IDE.

4.2. Blok Diagram Sistem

Sebelum tahap merancang perangkat keras, terlebih dahulu disusun blok diagram yang merupakan bentuk awal serta acuan rancangan sistem dan asas kerja alat yang akan dibuat. Diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 4.1.



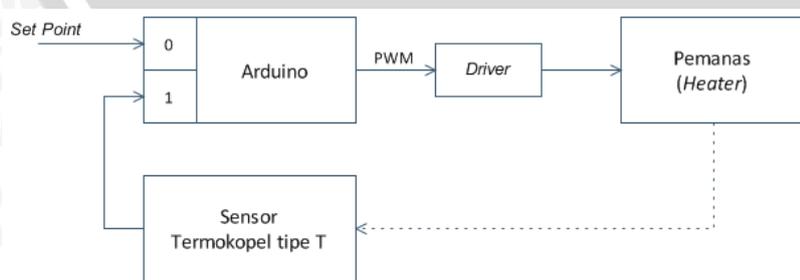
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Keterangan:

1. Masukan sistem berupa nilai suhu pelelehan pada bagian pemanas Printer 3D
2. Sinyal umpan balik (*feedback*) adalah nilai suhu yang dibaca oleh sensor Termokopel TC47-MB
3. Galat (*error*) merupakan selisih nilai antara nilai suhu yang diinginkan (*set point*) dengan nilai suhu yang terjadi pada saat sistem dijalankan
4. Kontroler yang digunakan berjenis Proportional, Integral dan Diferensial dengan Arduino Uno sebagai pengolah nilai PID yang kemudian dipakai untuk menstabilkan suhu pelelehan plastik ABS pada *extruder* Printer 3D
5. Plan sistem adalah bagian pemanas (*heater*) Printer 3D
6. Keluaran sistem adalah hasil kontrol suhu pelelehan bahan pada Printer 3D.

Prinsip kerja pengendalian suhu pelelehan dimulai dengan menentukan *set point* pada angka 230° Celcius. Bahan plastik jenis ABS akan dilelehkan dengan suhu tersebut. Jika terjadi gangguan pada sistem, dalam hal ini berarti berubahnya temperatur pelelehan, maka sensor Termokopel tipe T akan mendeteksi perbedaan suhu tersebut, kemudian mengumpan-balikkannya data pembacaan sebagai patokan bagi kontroler PID dalam menentukan nilai galat (*error*). Nilai galat (*error*) tersebut dibandingkan dengan *set point*, kemudian kontroler PID menentukan besarnya penyesuaian temperatur. Besarnya penyesuaian itu kemudian diarahkan ke mikrokontroler Arduino dan kemudian meneruskannya ke plan sistem, yakni bagian pemanas (*heater*), agar besaran suhu tetap stabil pada *set point* yang telah ditentukan di awal.

Sistem kendali suhu pelelehan bahan pada Printer Tiga Dimensi ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram Sistem

Keterangan:

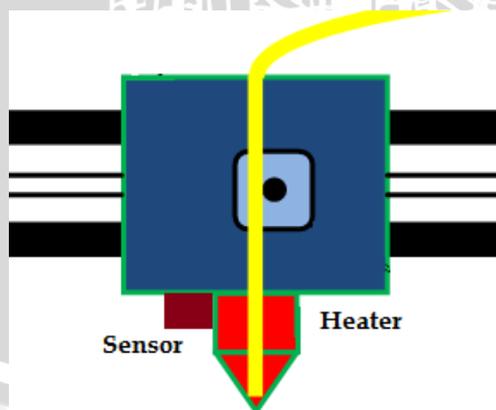
1. Sensor Termokopel tipe T memberikan nilai pembacaan berupa suhu pelelehan bahan ke gerbang 1 mikrokontroler Arduino
2. Oleh mikrokontroler Arduino, pembacaan sensor tersebut akan dibandingkan dengan *Set Point* (SP) untuk menentukan besarnya nilai galat (*error*). Kemudian hasilnya diolah untuk menghasilkan sinyal kontrol yang diarahkan menuju bagian Pemanas (*Heater*)
3. Karena sinyal kontrol keluaran Arduino berupa PWM dan masukan bagian Pemanas adalah besaran suhu, diperlukan pemasangan *driver* yang berfungsi sebagai penyelaras kedua hal tersebut.

4.3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi rancang mekanik rangka Printer Tiga Dimensi, perancangan rangkaian dimmer, rangkaian sistem secara keseluruhan, serta perangkaian bagian penyensoran suhu.

4.3.1. Perancangan Mekanik Printer Tiga Dimensi

Perancangan mekanik dilakukan sebagai dasar peletakan bagian-bagian pada Printer Tiga Dimensi. Mekanik perangkat tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.3.



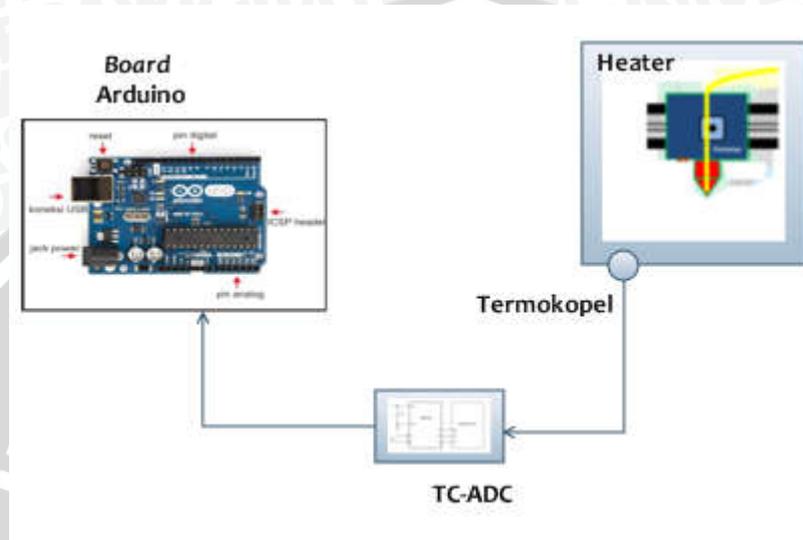
Gambar 4.3 Perancangan Mekanik Printer Tiga Dimensi

4.3.2. Rangkaian Dimmer

Elemen pemanas yang digunakan adalah elemen pemanas dengan catu daya AC. Rangkaian Dimmer digunakan sebagai pengendali besarnya tegangan yang melewati

4.3.4. Perancangan Rangkaian Sensor

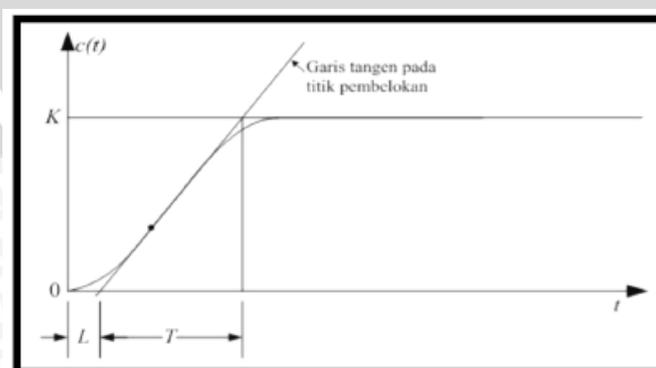
Sensor suhu Termokopel berfungsi membaca suhu pelelehan pada bagian Pemanas (*Heater*) Printer Tiga Dimensi. Pembacaan tersebut akan mempengaruhi logika yang kemudian akan diterima oleh perangkat Arduino untuk kemudian dikonversi menjadi nilai derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$). Skema perancangan rangkaian sensor dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Skema Pemasangan Termokopel

4.4. Penalaan Parameter Kontrol

Pemakaian kontroler PID dipilih karena karakteristik plan yang memerlukan kontrol cepat dan meminimalkan *overshoot* sehingga dapat menghasilkan suhu yang mantap. Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan penentuan nilai gain proporsional (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu derivatif (T_d) berdasarkan karakteristik respon transien dari plan. Menurut Ogata (1997), penalaan parameter tersebut dilakukan dengan bereksperimen terhadap plan.



Gambar 4.7 Kurva Tanggapan yang berbentuk S

(Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997)

Penelitian ini menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols karena karakteristik tanggapan berbentuk kurva S, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8. Dari kurva tersebut dapat ditakik dua tetapan atau konstanta, yakni waktu tunda (L) dan waktu konstan (T). Langkah penalaan parameter kontrol dengan metode pertama Ziegler-Nichols adalah sebagai berikut.

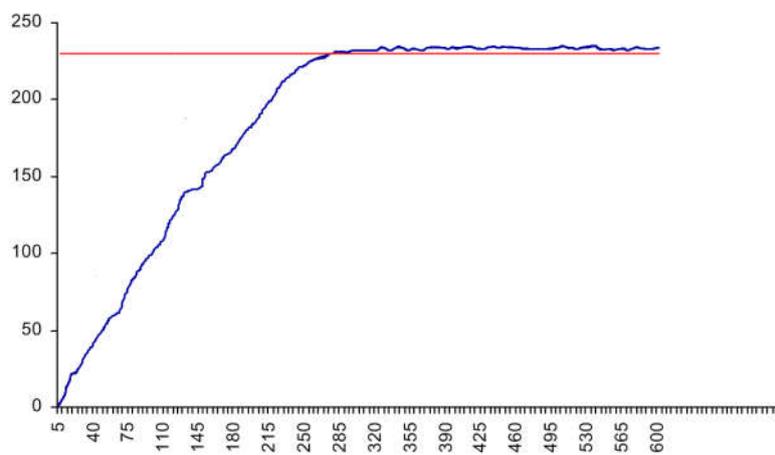
1. Menarik garis tangen pada titik infleksi grafik karakteristik plan
2. Menentukan perpotongan garis tangen tersebut terhadap sumbu waktu (t) untuk mendapatkan nilai L .
3. Menentukan perpotongan garis tangen terhadap sumbu tunak (*steady*) untuk mendapatkan nilai T .
4. Nilai L dan T tersebut kemudian dipakai untuk menentukan besarnya parameter K_p , K_i , dan K_d , dengan rumusan yang telah dipaparkan oleh Ziegler-Nichols, seperti pada Gambar 4.8.

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

Gambar 4.8 Aturan Penalaan Parameter Kontrol dengan Metode Pertama Ziegler-Nichols

(Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997)

Pada penelitian ini, nilai L yang didapatkan adalah sebesar 9 detik dan nilai T adalah sebesar 320 detik. Lihat Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Karakteristik PID

Data yang didapatkan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam aturan penalaan yang telah dirumuskan oleh Ziegler-Nichols. Nilai K_p , K_i , dan K_d yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{320}{9} = 35,56$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{35,56}{2 \times L} = \frac{35,56}{18} = 1,975$$

$$K_d = K_p \times T_d = 35,56 \times (0.5 \times L) = 35,56 \times 4,5 = 160,02$$

Persamaan Transformasi Laplace yang didapatkan dari perolehan nilai tersebut adalah sebagai berikut.

$$C(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) e(s) \quad (1)$$

Agar dapat dijadikan masukan mikrokontroler, persamaan kontinyu di atas perlu diubah ke bentuk diskrit melalui Transformasi Z. Dalam Transformasi Z, dibutuhkan waktu *sampling* (T_s). Metode *Backward Difference* dipakai, sehingga nilai notasi s pada Transformasi Laplace di atas setara dengan persamaan berikut.

$$s = \left(\frac{1-z^{-1}}{T_s} \right) \quad (2)$$

Persamaan (2) tersebut disubstitusikan ke persamaan (1), sehingga menghasilkan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} C(z) &= \left[K_p + \frac{K_i}{\frac{(1-z^{-1})}{T_s}} + K_d \frac{(1-z^{-1})}{T_s} \right] E(z) \\ &= \left[K_p + \frac{K_i \times T_s}{(1-z^{-1})} + \frac{K_d}{T_s} (1-z^{-1}) \right] E(z) \end{aligned}$$

Kontroler Proporsional: $C_i(z) = K_p E(z)$

Kontroler Integral: $C_i(z) = \left(\frac{K_i T_s}{1-z^{-1}} \right) x E(z)$

$$C_i(z) = C_i(z)z^{-1} = K_i T_s x E(z)$$

$$C_i(z) = C_i(z)z^{-1} + K_i T_s$$

Kontroler Derivatif:

$$\begin{aligned} C_d(z) &= \frac{K_d}{T_s} (z - z^{-1}) x E(z) \\ &= \frac{K_d}{T_s} [E(z) - E(z)z^{-1}] \end{aligned}$$

Persamaan di atas kemudian diubah ke dalam bentuk Persamaan Beda (*Difference Eq.*), sehingga didapatkan persamaan

Kontroler Proporsional : $C_p(k) = K_p x E(k)$

Kontroler Integral : $C_i(k) = C_i(k-1) + K_i T_s x E(k)$

Kontroler Derivatif : $C_d(k) = \frac{K_d}{T_s} [E(k) - E(k-1)]$

yang jika digabungkan maka menjadi persamaan

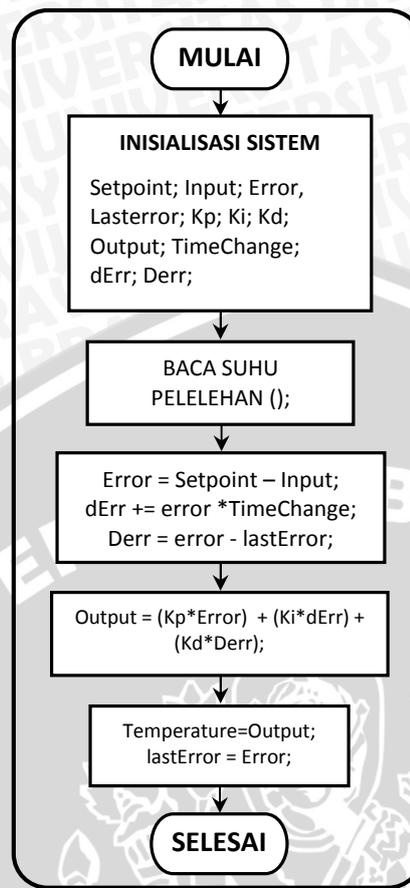
$$C(k) = [K_p x E(k)] + [C_i(k-1) + K_i T_s x E(k)] + \left[\frac{K_d}{T_s} [E(k) - E(k-1)] \right]$$

di mana $(k-1)$ adalah kondisi yang terjadi sebelumnya.

Persamaan tersebut merupakan persamaan diskrit, sehingga dapat menjadi masukan mikrokontroler Arduino.

4.5. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini menggunakan *compiler* Arduino IDE. Sebelum menulis program pada perangkat tersebut, terlebih dahulu dilakukan perancangan diagram alir (*flowchart*) sistem. Diagram alir sistem pada penelitian kali ini tertera pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram Alir Sistem

Yang pertama kali dilakukan adalah Inisialisasi Variabel. Setelah itu program akan mulai membaca suhu pelelehan bahan, kemudian hasilnya menjadi umpan balik sistem yang akan dibandingkan dengan *Set Point* (SP), nilai yang sudah ditentukan. Dari situ diperoleh nilai galat (*error*) yang kemudian diolah dengan algoritma PID. Hasil proses tersebut berupa nilai kontrol yang akan digunakan untuk mempertahankan besaran suhu pelelehan bahan pada bagian Pemanas (*Heater*) Printer 3D.