

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

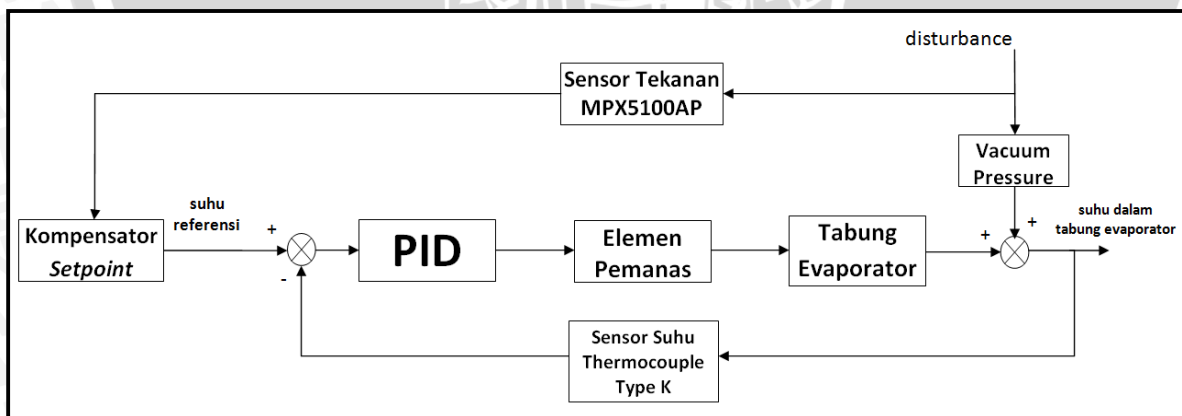
4.1 Perancangan Sistem

Pada skripsi ini perancangan dan pembuatan alat dibagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Hal-hal penting yang dibahas pada bab ini meliputi:

1. Perancangan blok diagram sistem
2. Spesifikasi alat
3. Prinsip kerja alat
4. Perancangan perangkat keras (rangkaiian pengondisi sinyal sensor suhu *Thermocouple Type K*, elemen pemanas, rangkaian *dimmer*)
5. Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma PID dan kompensator *setpoint*)

4.2 Perancangan Blok Diagram Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat bisa bekerja sesuai rencana.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem

Keterangan blok diagram sistem pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

1. Sensor suhu *Thermocouple Type K* berfungsi sebagai pendeteksi suhu dalam tabung evaporator.

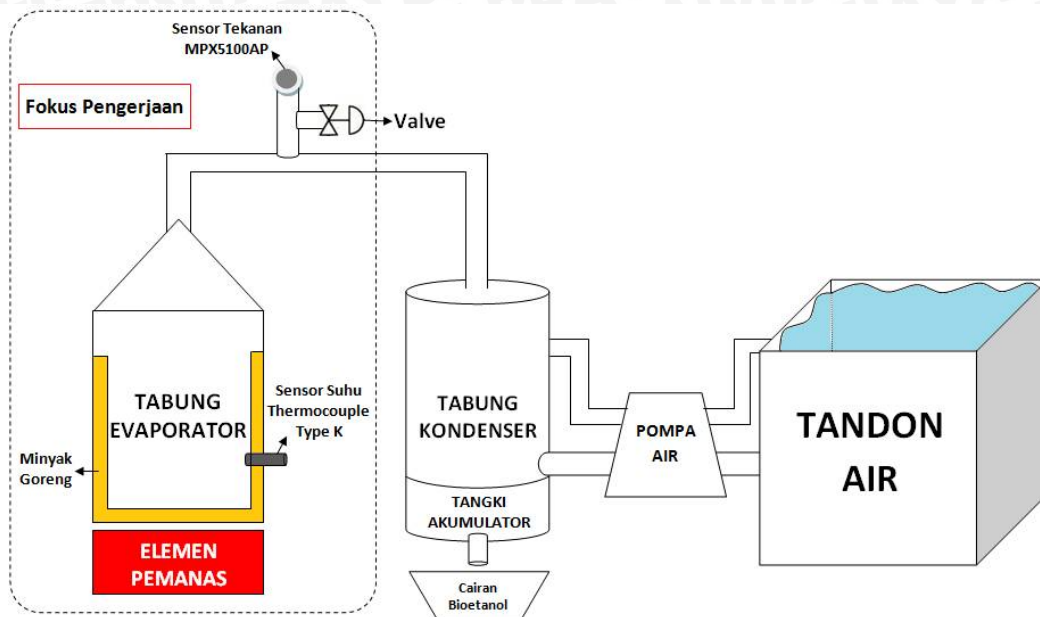
2. Kontroler yang digunakan adalah Proporsional, Integral dan Diferensial yang diprogram pada modul Arduino untuk mengolah nilai PID yang digunakan sebagai nilai kontrol untuk elemen pemanas.
3. Aktuator berupa 4 buah elemen pemanas dengan daya total 1200 W.
4. Tabung evaporator merupakan *plant* dari sistem.
5. *Disturbance* dari sistem ini adalah tekanan udara dalam tabung evaporator.
6. Kompensator *Setpoint* merupakan fungsi matematis yang diperoleh dari pembacaan *disturbance* (tekanan udara) oleh sensor tekanan MPX5100AP. Fungsi matematis dari kompensator *setpoint* adalah perubahan nilai *set point* terhadap perubahan nilai tekanan.

4.3 Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat yang akan direalisasikan adalah sebagai berikut:

1. Tabung evaporator, merupakan tempat berlangsungnya proses penguapan larutan (bioetanol berkadar rendah).
2. Tabung Kondenser, merupakan tempat berlangsungnya proses kondensasi. Dilakukan dengan cara menurunkan suhu uap yang mengalir dari tabung evaporator.
3. Tangki akumulator, merupakan tempat untuk menampung cairan hasil kondensasi.
4. Elemen pemanas dengan daya total 1200 W digunakan untuk memanaskan minyak yang berada di lapisan jaket tabung evaporator.
5. Pompa air, digunakan untuk mensirkulasikan air dari tandon air ke tabung kondenser. Selain itu juga digunakan untuk menurunkan tekanan dalam sistem hingga di bawah 1 atm.
6. *Valve*, digunakan untuk mengatur tekanan secara manual.
7. Perangkat kontrol adalah Arduino Mega 2560.
8. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu *Thermocouple Type K* dan sensor tekanan MPX5100AP.

Skema keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem

4.4 Prinsip Kerja

Adapun variabel yang dikendalikan dalam sistem ini adalah suhu. Suhu dikendalikan melalui pengontrolan pada elemen pemanas. *Setpoint* diberikan sebagai masukan untuk kontroler, agar nantinya suhu yang berada di dalam tabung evaporator bisa sesuai dengan yang diinginkan. Nilai *setpoint* akan menyesuaikan terhadap besar tekanan udara di dalam tabung evaporator. Tekanan udara di dalam sistem dianggap sebagai *disturbance* yang nantinya akan dibaca oleh sensor tekanan MPX5100AP dan langsung dikoreksi oleh kompensator *setpoint*. Untuk cara kerja pemanasan yaitu elemen pemanas tidak secara langsung memanaskan bahan yang ada di dalam tabung evaporator, akan tetapi memanaskan minyak goreng yang berada di lapisan luar tangki.

4.5 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Pemilihan elemen pemanas.
2. Perancangan rangkaian *dimmer*.
3. Perancangan rangkaian sensor suhu *Thermocouple Type K*.
4. Perancangan I/O modul Arduino Mega 2560

4.5.1 Pemilihan Elemen Pemanas

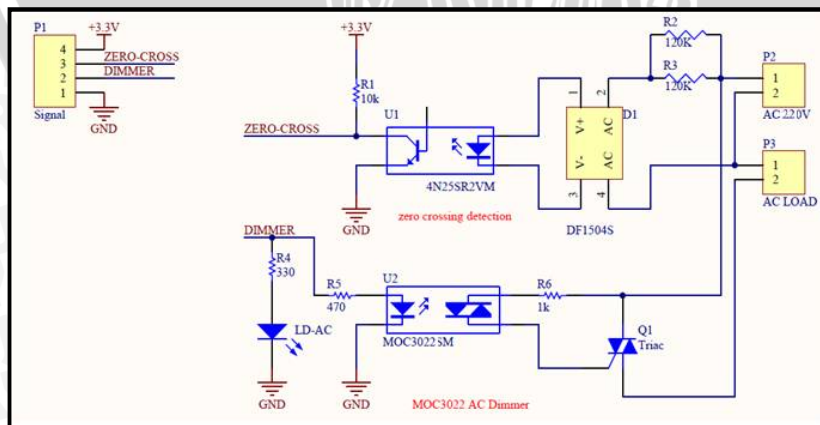
Sistem pemanasan yang digunakan pada skripsi ini yaitu dengan menggunakan 4 buah elemen pemanas dengan masing-masing daya sebesar 300W. Elemen pemanas diletakkan dibawah tabung evaporator yang akan memanaskan minyak goreng sebagai media pemanas yang berada di dalam lapisan jaket. Elemen pemanas ditempatkan terpisah dengan susunan 2 buah di sebelah kanan dan 2 buah di sebelah kiri (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Pemasangan Elemen Pemanas

4.5.2 Perancangan Rangkaian Dimmer

Untuk dapat mengendalikan elemen pemanas dengan catu daya AC, maka diperlukan *dimmer*. *Dimmer* digunakan untuk mengendalikan tegangan AC yang akan mencatu pada elemen pemanas. Pada *dimmer* ini didalamnya terdapat beberapa rangkaian seperti rangkaian pemucuan *gate* TRIAC dan rangkaian *zero cross detector*. Gambar 4.4 menunjukkan skema rangkaian *dimmer* dan Gambar 4.5 adalah modul *dimmer* yang digunakan.



Gambar 4.4 Skema Rangkaian Dimmer (Firsyari, 2013)



Gambar 4.5 Rangkaian Dimmer

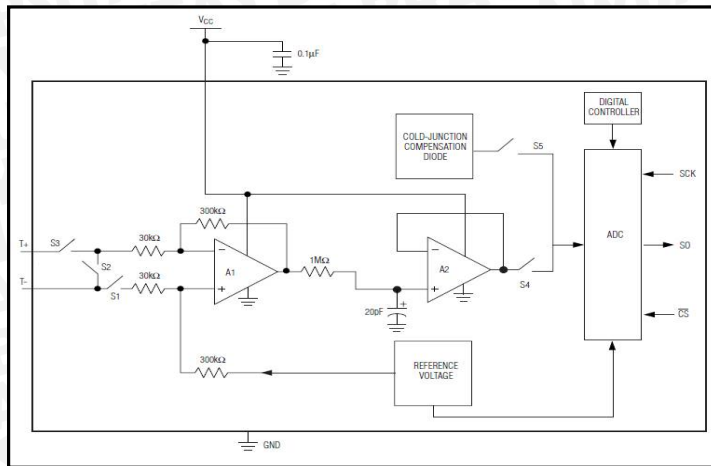
4.5.3 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu *Thermocouple Type K* (MAX6675)

Supaya *output* sensor suhu *Thermocouple Type K* dapat dibaca oleh arduino, maka diperlukan suatu rangkaian pengondisi sinyal yang juga dapat merubah sinyal analog menjadi sinyal digital. *Output* dari sensor suhu *Thermocouple Type K* berupa tegangan yang nilainya sangat kecil (milivolt), sehingga perlu dikondisikan agar sesuai dengan *input* mikrokontroler Arduino. Rangkaian pengondisi sinyal yang cocok adalah MAX6675.

MAX6675 dibentuk dari kompensasi *cold-junction* yang *output*-nya didigitalisasi dari sinyal *Thermocouple Type K*. Data *output* memiliki resolusi 12 - bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Untuk dapat melakukan pengukuran aktual, MAX6675 mengukur teegangan dari *output thermocouple* dan tegangan dari *sensing diode*. Fitur dari MAX6675 antara lain :

- Dapat membaca perubahan suhu setiap 0,25 °C
- Konversi digital langsung dari *output Thermocouple Type K*
- Kompensasi *cold-junction*
- *Open Thermocouple detection*

Skema rangkaian MAX6675 dapat dilihat pada Gambar 4.6. Sedangkan Rangkaian modul MAX6675 dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Skema Rangkaian MAX6675 (Datasheet)



Gambar 4.7 Rangkaian Modul MAX6675

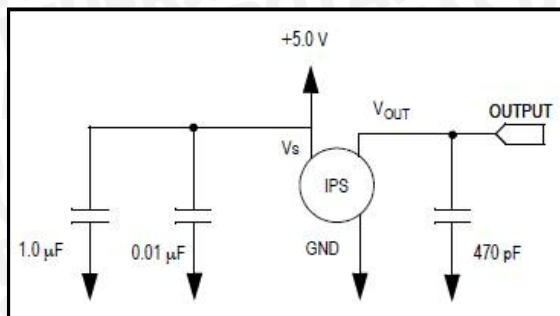
Keterangan:

1. GND : Ground
2. Vcc : Power supply
3. SO : Serial Data Output
4. CS : Chip select
5. SCK : Serial Clock Input
6. T- : Kutub negatif Thermocouple
7. T+ : Kutub positif Thermocouple

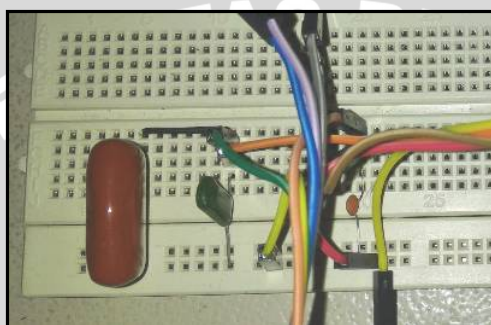
4.5.4 Perancangan Rangkaian Power Supply Decoupling dan Output Filtering Sensor Tekanan MPX5100AP

Supaya *output* sensor tekanan MPX5100AP dapat dibaca oleh Arduino Mega 2560 maka diperlukan rangkaian tambahan yaitu rangkaian *Power Supply Decoupling* dan *Output Filtering*. Rangkaian ini tersusun atas kapasitor 1μF, 0.01 μF dan 470pF. Skema rangkaian *Power Supply Decoupling* dan *Output Filtering* dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Sedangkan Rangkaian *Power Supply Decoupling* dan *Output Filtering* yang sudah dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Skema Rangkaian *Power Supply Decoupling* dan *Output Filtering* (Datasheet)



Gambar 4.9 Rangkaian *Power Supply Decoupling* dan *Output Filtering*

4.5.5 Perancangan I/O Modul Arduino Mega 2560

Untuk mengolah data dan program pada sistem pengendalian suhu ini digunakan modul Arduino Mega 2560 yang berbasis mikrokontroler ATmega 2560. Modul ini memiliki 54 pin *input* dan *output* digital, dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 16 pin *input* analog, 4 UART, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol reset. Tampilan Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Gambar 4.10. Sedangkan fungsi pin Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.10 Modul Arduino Mega 2560

Tabel 4.1 Fungsi Pin Arduino Mega 2560

No.	Pin	Fungsi
1	2	pin masukan <i>interrupt zero cross</i>
2	3	pin keluaran rangkaian <i>dimmer</i>
3	4	pin LCD 1 dan 2
4	5	pin LCD 1 dan 2
5	6	pin LCD 1 dan 2
6	7	pin LCD 1 dan 2
7	8	pin LCD 1 dan 2
8	9	pin LCD 1
9	10	pin LCD 2
10	45	pin <i>ground</i> RPS MAX6675
11	47	pin Vcc RPS MAX6675
12	49	pin SO RPS MAX6675
13	51	pin CS RPS MAX6675
14	53	pin SCK RPS MAX6675
15	A0	pin masukan sensor tekanan MPX5100AP
15	5V	pin catu daya 5V
16	GND	pin <i>ground</i>

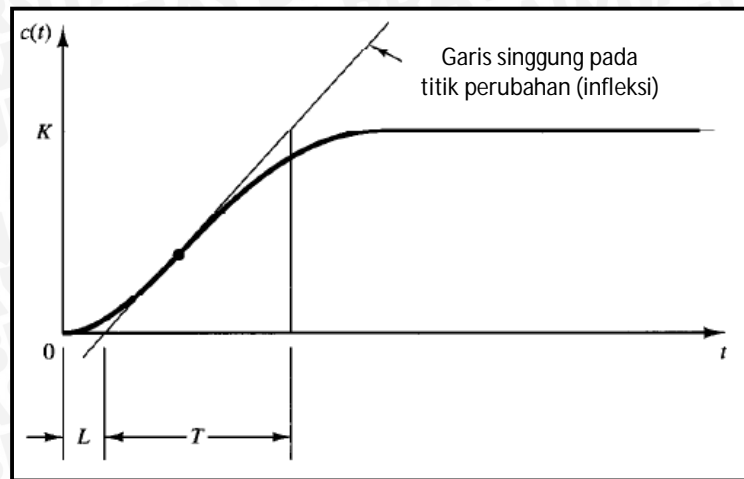
4.6 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Perancangan Kontroler PID
2. Perancangan kompensator *setpoint*
3. *Flowchart* sistem

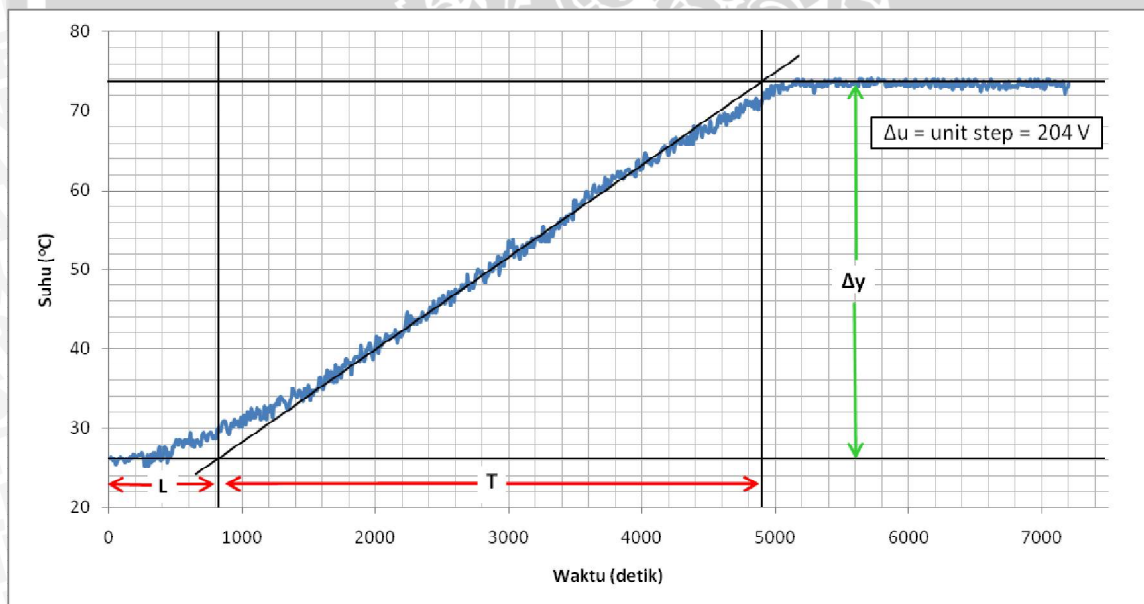
4.6.1 Perancangan Kontroler PID

Untuk menentukan besar gain Proporsional (K_p), waktu integral (T_i) dan waktu derivatif (T_d) maka perlu dilakukan pemberian sinyal *unit step* untuk mengetahui karakteristik respon transien dari *plant*. Pada skripsi ini digunakan metode pertama Ziegler Nichols di mana kurva respon *unit step* berbentuk seperti huruf S (Gambar 4.11).



Gambar 4.11 Kurva Respon Berbentuk S (Ogata K., 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$. Kurva respon *unit step* yang diberikan pada plant terlihat pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Kurva Karakteristik Plant

Tegangan masukan yang diberikan sebesar 204 V. Dari kurva karakteristik *plant* di atas didapatkan:

$$L = 805 \text{ detik}$$

$$T = 4145 \text{ detik}$$

$$\Delta y = 73,85 - 26,05 = 47,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Gain } K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{47,8^\circ\text{C}}{204\text{V}} = 0,2343^\circ\text{C/V}$$

Sehingga didapatkan fungsi alih *plant* sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} = \frac{0,2343e^{-805s}}{4145s+1} \quad (4-1)$$

Dan didapatkan parameter K_p , K_i dan K_d sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_p &= 1,2 \frac{T}{L} \\ &= 1,2 \times 5,1491 = 6,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_i &= 2L & K_i &= \frac{K_p}{T_i} \\ &= 1610 & &= \frac{6,18}{1610} \\ & & &= 0,00384 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0,5L & K_d &= K_p \times T_d \\ &= 402,5 & &= 6,18 \times 402,5 \\ & & &= 2487,01 \end{aligned}$$

Dari perolehan nilai K_p , K_i , K_d maka di dapatkan persamaan transformasi Laplace kontroler PID sebagai berikut :

$$C(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (4-2)$$

Supaya persamaan (4-2) yang berupa persamaan kontinyu dapat dimasukkan ke dalam mikrokontroler maka harus dirubah menjadi persamaan diskrit melalui transformasi Z. Dalam Transformasi Z dibutuhkan waktu sampling (T_s). Dengan menggunakan metode *Backward Difference* nilai notasi s pada Laplace setara dengan:

$$s = \frac{1-z^{-1}}{T_s} \quad (4-3)$$

Jika persamaan (4-3) disubstitusikan ke dalam persamaan (4-2) menjadi:

$$\begin{aligned} C(z) &= \left[K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + K_d \frac{1-z^{-1}}{T_s} \right] E(z) \\ &= \left[K_p + \frac{K_i \times T_s}{1-z^{-1}} + \frac{K_d}{T_s} (1-z^{-1}) \right] E(z) \end{aligned} \quad (4-4)$$

$$\text{Kontroler Proporsional} \quad : C_p(z) = K_p E(z) \quad (4-5)$$

$$\text{Kontroler Integral} \quad : C_i(z) = \frac{K_i T_s}{1-z^{-1}} \times E(z)$$

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

$$C_i(z) = C_i(z)z^{-1} + K_i T_s \times E(z) \quad (4-6)$$

$$\begin{aligned} \text{Kontroler Diferensial} \quad : C_d(z) &= \frac{K_d}{T_s} (1 - z^{-1}) \times E(z) \\ &= \frac{K_d}{T_s} [E(z) - E(z)z^{-1}] \end{aligned} \quad (4-7)$$

Dari persamaan (4-5), (4-6) dan (4-7) kemudian diubah kedalam persamaan beda sehingga didapatkan:

$$\text{Kontroler Proporsional} \quad : C_p(k) = K_p \times E(k)$$

$$\text{Kontroler Integral} \quad : C_i(k) = C_i(k - 1) + K_i T_s \times E(k)$$

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

Jika digabungkan menjadi :

$$C(k) = C_p(k) + C_i(k) + C_d(k) \quad (4-8)$$

$$C(k) = [K_p \times E(k)] + [C_i(k - 1) + K_i T_s \times E(k)] + \left[\frac{K_d}{T_s} [E(k) - E(k - 1)] \right] \quad (4-9)$$

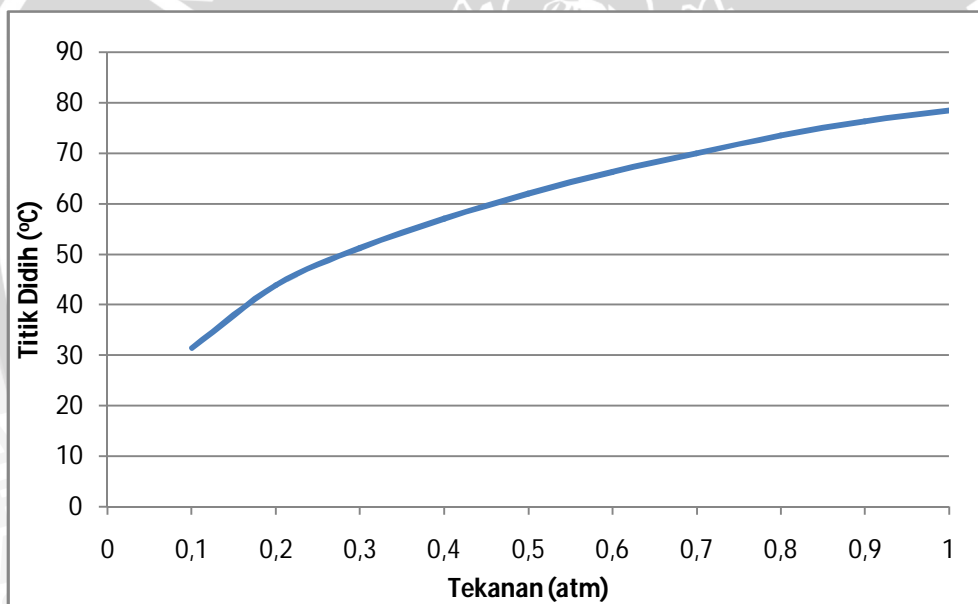
Dimana (k - 1) adalah kondisi sebelumnya. Persamaan (4-9) telah berupa persamaan diskrit sehingga dapat dimasukkan ke dalam mikrokontroler.

4.6.2 Perancangan Kompensator *Setpoint*

Untuk menentukan besar perubahan *setpoint* yang terjadi akibat adanya perubahan tekanan, maka diperlukan kompensator *setpoint* yang berupa fungsi persamaan matematis antara tekanan vakum dan titik didih etanol. Tabel 4.2 memperlihatkan hubungan antara tekanan vakum dengan titik didih etanol.

Tabel 4.2 Titik Didih Etanol pada Tekanan Vakum

Tekanan Vakum (atm)	Titik Didih Etanol (°C)
1	78,5
0,9	76,3
0,8	73,5
0,7	70
0,6	66,35
0,5	62
0,4	57
0,3	51,2
0,2	43,9
0,1	31,5



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Titik Didih Etanol dengan Tekanan Vakum

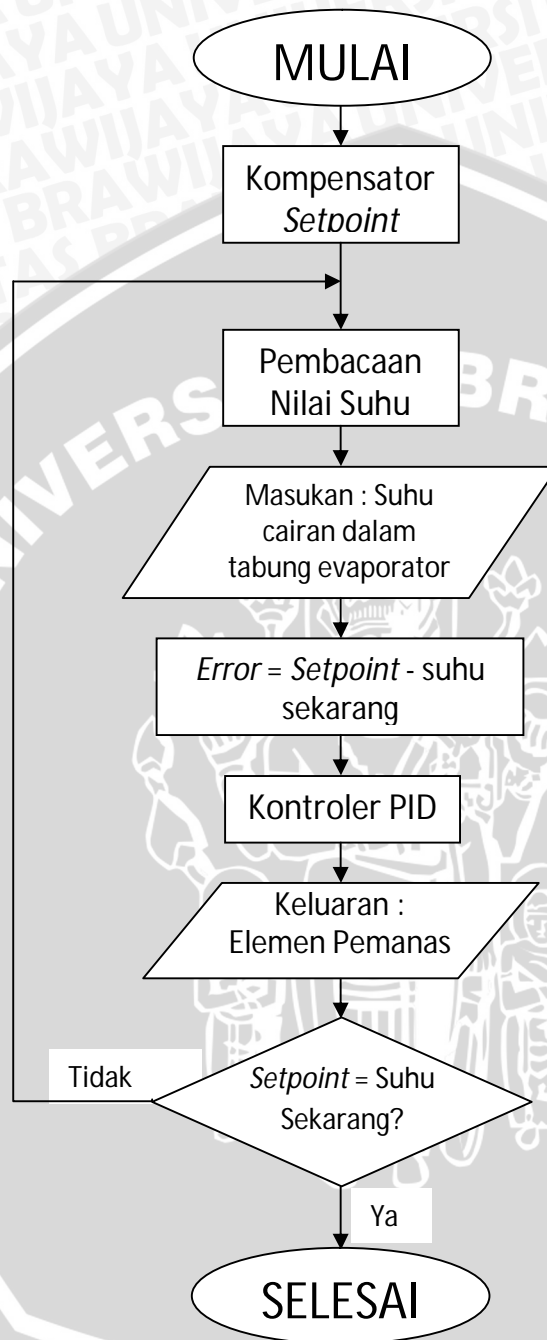
Sesuai grafik pada gambar 4.13 diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y(x) = 253,8x^5 - 833,5x^4 + 1055x^3 - 668,4x^2 + 259,7x + 11,28 \quad (4-10)$$

di mana y adalah titik didih etanol dan x adalah tekanan vakum. Persamaan (4-10) digunakan sebagai perhitungan kompensator *setpoint* sehingga setiap perubahan tekanan vakum akan berpengaruh terhadap titik didih etanol yang dijadikan sebagai *setpoint*.

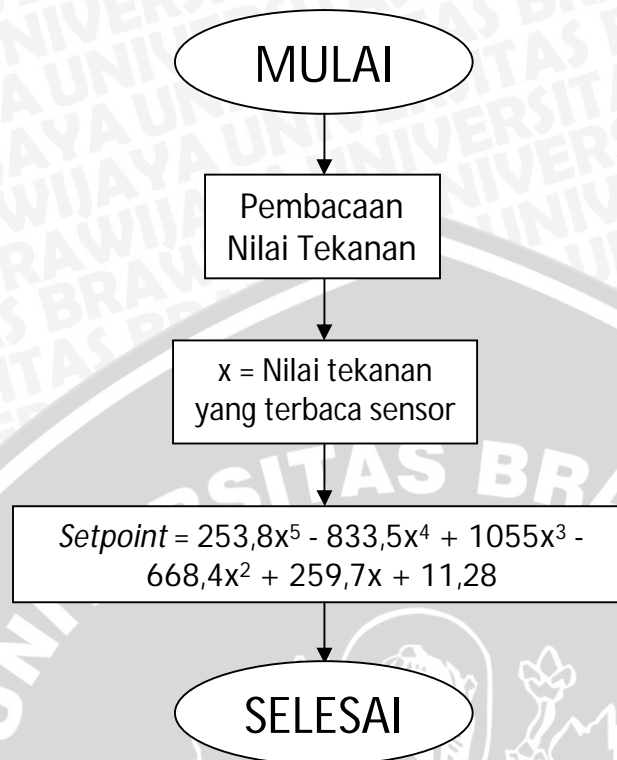
4.6.3 Flowchart Sistem

- Flowchart Sistem Keseluruhan



Gambar 4.14 Flowchart Sistem Keseluruhan

- *Flowchart Kompensator Setpoint*



Gambar 4.15 *Flowchart Kompensator Setpoint*