

3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir dilaksanakan pada bulan Februari hingga Oktober 2015.

Perancangan dan pengerjaan perangkat keras (*hardware*) dan laporan dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung. Dengan jadwal kegiatan sesuai dengan tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan

No.	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
1	Studi Literatur	■	■																			
2	Membuat Hipotesis			■	■																	
3	Seminar Usul					■																
4	Penentuan Spesifikasi Sistem					■	■															
5	Pengumpulan Alat & Bahan							■	■													
6	Perancangan Alat									■	■	■										
7	Realisasi Alat													■	■	■	■	■	■	■	■	■

lanjutan

No	Kegiatan	Juli				Agustus				September				Oktober			
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
8	Pembuatan Program																
9	Pengujian/perbaikan Blok Sistem																
10	Pengujian/perbaikan Keseluruhan Sistem																
11	Pengambilan Data																
12	Melakukan Analisa																
13	Seminar Hasil																
14	Ujian Kompre																

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) sebagai berikut:

Perangkat keras yang digunakan, yaitu :

1. *Power Supply*

- a) *Transforamator*
- b) *IC Regulator (LM7805, 7812, 7824)*
- c) *Kapasitor*

2. *Microcontroller ATmega 2560*

3. *LM 35 DZ*

4. *Keypad matrix*

5. *LCD 16 x 2*

6. *Pengkondisi Sinyal*

- a) *LM 324*
- b) *Resistor*

7. *Zero Crossing Detector*

a) *Rectifier*

b) 4N35

a) Resistor

8. *Solid State Relay*

a) Dioda

b) Resistor

c) Optoisolator MOC 3020

d) PC 123

9. Pengontrol Tegangan AC

a) TRIAC

b) Resistor

10. Pemanas Lilit (*wiring heater*)

11. Kabel

12. PCB dan Pelarut

13. Solder dan Timah

14. *Personal Computer*

Sedangkan untuk perangkat lunaknya yaitu :

1. *Arduino Integrated Development Environment (IDE)*

2. *Eagle*

3.3 Spesifikasi

Spesifikasi dibagi menjadi 3 bagian, yakni proses kerja model pengolahan limbah B3, spesifikasi sistem yang akan dikembangkan serta spesifikasi peralatan yang akan digunakan.

3.3.1 Proses Kerja Sistem

Secara keseluruhan sistem pengolahan limbah B3 yang telah dibangun terdiri dari 3 bagian, yaitu :

1. Bagian Masukan

Bagian masukan terdiri dari tiga tabung, yaitu tabung A1, A2 dan A3. Tabung A1 merupakan penampungan limbah cair B3 yang akan diabsorpsi oleh biomassa, tabung A2 berisikan larutan penetral (*aquades*) untuk membersihkan logam yang tidak terikat secara kimia dan tabung A3 berisi larutan HCl yang digunakan sebagai pembersih logam yang terikat secara kimia pada biomassa.

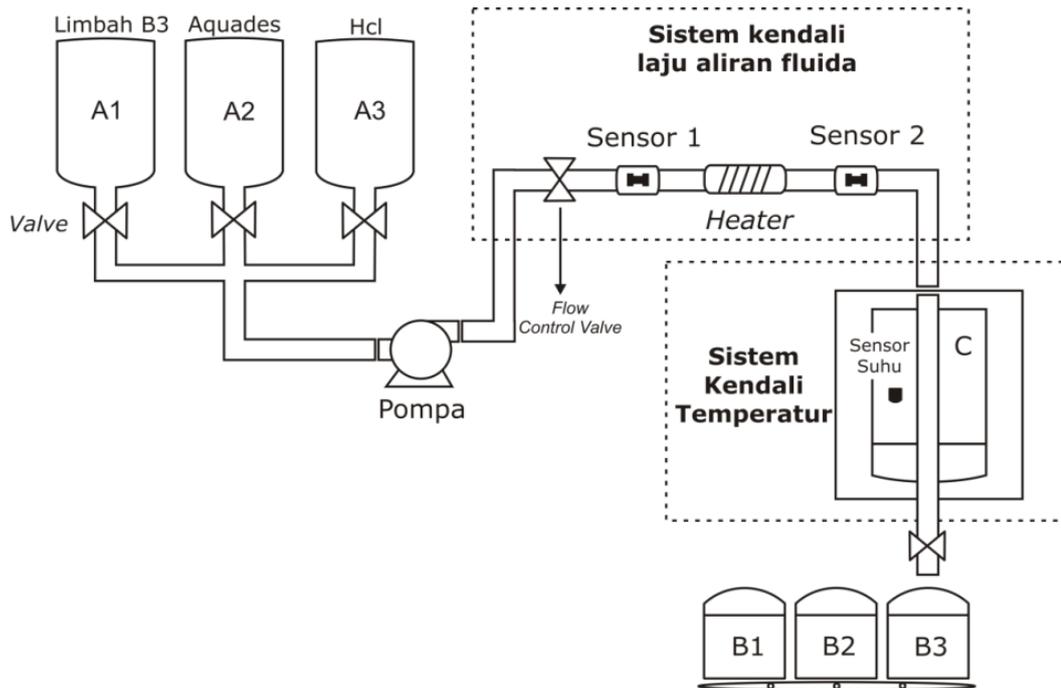
2. Bagian Proses

Masing-masing larutan di atas akan dilewatkan dengan kecepatan aliran yang telah ditetapkan oleh sistem kendali kecepatan aliran menuju tabung C (bioreaktor). Tabung C merupakan tempat terjadinya proses pengolahan limbah oleh biomassa. Biomassa akan mengadsorpsi polutan yang terdapat pada limbah, saat terjadi proses ini suhu pada ruang bioreaktor harus dijaga. Karena suhu merupakan salah satu faktor penentu tingkat keberhasilan biomassa dalam mengadsorpsi polutan pada limbah.

3. Bagian Keluaran

Bagian keluaran terdiri dari 3 tabung, yaitu tabung B1 sampai B3. Tabung ini akan menampung cairan hasil proses pengolahan limbah B3 yang berasal dari tabung A.

Proses kerja sistem ini secara keseluruhan adalah mengalirkan limbah cair B3 menuju tabung bioreaktor yang berisi biomassa. Pada bioreaktor akan terjadi sebuah proses sehingga ion-ion logam dalam limbah cair B3 dapat terabsorpsi. Setelah itu limbah cair yang telah terabsorpsi akan dimasukkan ke tabung B1. Setelah itu sistem akan mengalirkan *aquades* yang terdapat pada tabung B2 menuju kolom bioreaktor (tabung C) untuk membersihkan logam yang tidak terikat secara kimia, setelah proses selesai maka *aquades* akan dimasukkan ke tabung B2. Selanjutnya adalah mengalirkan HCl ke bioreaktor yang bertujuan untuk membersihkan logam yang terikat secara kimia oleh biomassa, setelah itu cairan HCl akan dimasukkan ke tabung B3. Rancangan sistem pengolahan limbah B3 ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rancang sistem pengolahan limbah cair B3

3.3.2 Spesifikasi Pengembangan Sistem

Spesifikasi sistem yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut :

Sistem mampu mempertahankan suhu ruang bioreaktor sesuai dengan *set point* meskipun terjadi perubahan karakteristik *plant* yang disebabkan oleh faktor luar.

3.3.3 Spesifikasi Peralatan

Spesifikasi peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

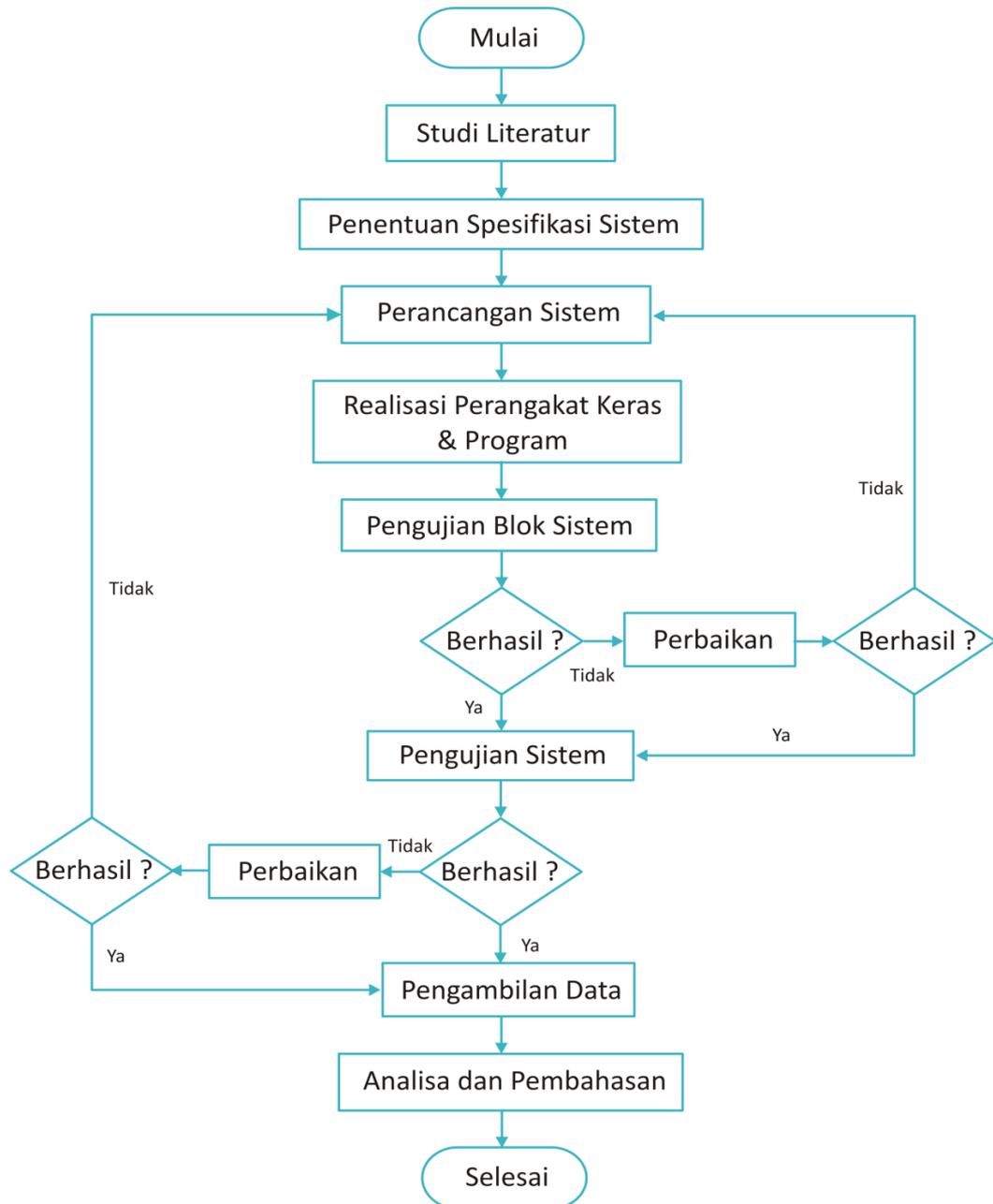
1. *Plant* yang akan dikendalikan berupa ruang bioreaktor.
2. Rangkaian catu daya +5 V_{DC}, +12 V_{DC} serta 220 V_{AC}.
3. Perangkat pengendali menggunakan *Microcontroller Atmega 2560* (kit arduino) dengan antarmuka keluaran (LCD) dan masukan (*keypad*).

4. Rangkaian *zero crossing detector* yang terdiri dari komponen penyearah dan IC 4N35, rangkaian ini digunakan untuk mendeteksi gelombang sinusoidal AC saat melewati titik tegangan 0 Volt.
5. Rangkaian pengontrol tegangan AC 1 fasa digunakan untuk mengatur besarnya tegangan yang masuk ke *wiring heater*.
6. *Solid State Relay* sebagai *interface controller* dengan *wiring heater*.
7. Menggunakan sensor LM 35 DZ sebagai pengukur suhu.
8. Menggunakan pemanas lilit (*wiring heater*) sebagai pemanas.

3.4 Metode Kerja

Diagram Alir Penelitian

Untuk mempermudah dalam pengerjaan , diperlukan suatu rencana atau langkah-langkah kerja yang jelas. Seperti ditunjukkan pada diagram alir Gambar 3.2 dibawah ini :



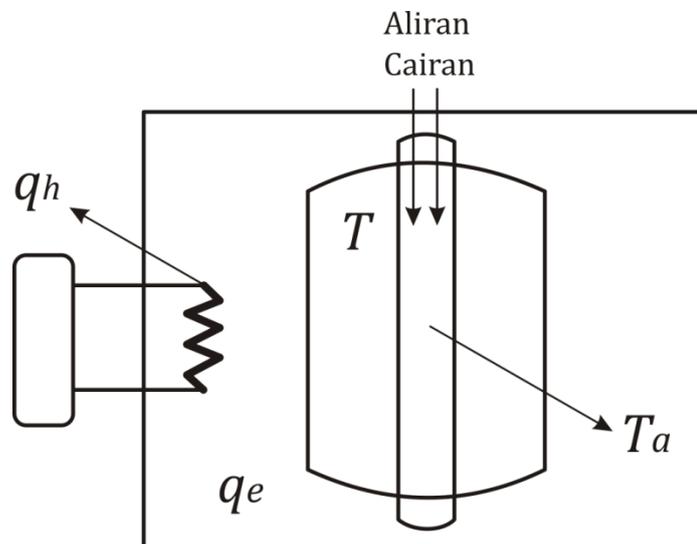
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

3.5 Perancangan

Terdapat beberapa tahapan perancangan sistem, yaitu :

3.5.1 Menentukan Fungsi Alih Proses

Penentuan fungsi alih diperlukan untuk mengetahui respon sistem (proses) terhadap sinyal masukan. Variabel *plant* yang akan dikendalikan adalah nilai suhu ruang bioreaktor. Gambar 3.3 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari *plant* yang akan dikendalikan nilai suhunya.



Gambar 3.3. Rangkaian ekuivalen dari *plant*

Definisi-definisi di bawah ini diperlukan untuk mendapatkan fungsi alih sistem :

$q_h(t)$ = aliran panas heater

$q_e(t)$ = aliran panas yang memasuki udara

$q_t(t)$ = aliran panas yang diberikan ke ruang bioreaktor

$q_a(t)$ = aliran panas pada tabung reaktor

Dengan menggunakan prinsip neraca panas maka di dapatkan persamaan 3.1 :

$$\text{Acc.} = (q)\text{input} - (q)\text{output}$$

$$q_r(t) = q_e(t) - q_a(t)$$

$$m \cdot C \frac{dT}{dt} = q_e - \left(\frac{T - T_a}{R} \right) \quad (3.1)$$

Keterangan :

m = Massa udara dalam tabung 1

C = Kapasitas termal udara dalam tabung 1

R = Tahanan termal

T = Suhu tabung 1

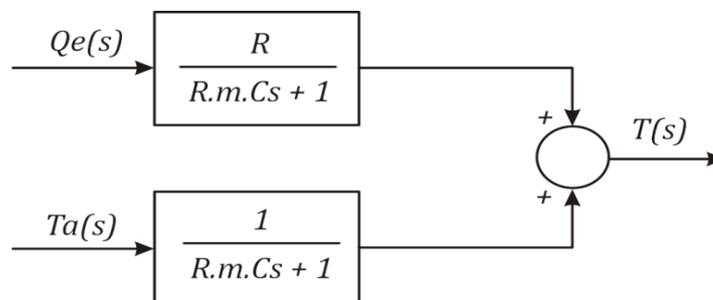
T_a = Suhu cairan masuk pada tabung 2

Dengan menggunakan transformasi Laplace dari persamaan 3.1 dan menyelesaikannya untuk suhu $T(s)$ maka akan dihasilkan persamaan :

$$T(s) = \frac{Q_e(s) \cdot R}{(R \cdot m \cdot Cs + 1)} + \frac{T_a(s)}{(R \cdot m \cdot Cs + 1)} \quad (3.2)$$

Dimana $Q_e(s)$ merupakan masukan sistem dan $T_a(s)$ ditentukan sebagai masukan gangguan.

Persamaan 3.2 dapat dinyatakan dengan diagram blok gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4. Diagram blok fungsi alih sistem

Dari persamaan 3.4 dan diagram blok diatas diketahui fungsi alih sitem merupakan sistem orde-satu sehingga dapat dituliskan notasi umumnya, yaitu :

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b}{s+a} \quad (3.3)$$

Dalam bentuk lain dapat dituliskan sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\frac{b}{a}}{\frac{1}{a} \cdot s + 1} \quad (3.4)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui nilai gain statis $K = b/a$ dan konstanta waktu $\tau = 1/a$

3.5.2 Perancangan Pengendali

1. Kesalahan Keadaan Tunak

Sistem yang akan dikendalikan merupakan sistem orde-satu, sebelum memulai perancangan pengendali menggunakan *Lyapunov*, perlu ditentukan terlebih dahulu kriteria dari nilai parameter-parameter proses agar tidak terjadi kesalahan keadaan tunak (*offset* sama dengan nol). *Offset* $E(s)$ merupakan selisih antara nilai referensi $R(s)$ dengan nilai keadaan tunak respon sistem $C(s)$. Kesalahan keadaan tunak dituliskan pada persamaan 3.5 berikut :

$$E(s) = R(s) - C(s) \quad (3.5)$$

Persamaan 3.5 didistribusikan dengan persamaan 3.3 sehingga didapatkan persamaan 3.6 berikut :

$$E(s) = \left(1 - \frac{b}{s+a}\right) \cdot R(s) \quad (3.6)$$

Jika masukan sistem berupa sinyal step, maka kesalahan keadaan tunaknya dapat dituliskan oleh persamaan 3.7 berikut :

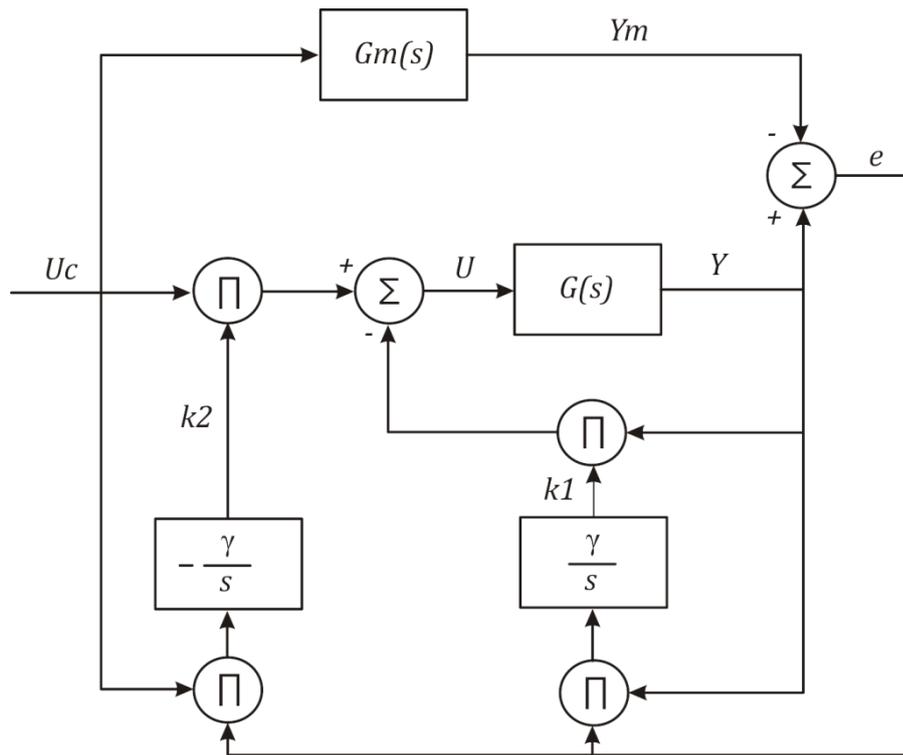
$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(1 - \frac{b}{s+a} \right) \cdot \frac{1}{s}$$

$$e(\infty) = 1 - \frac{b}{a} \quad (3.7)$$

Dari persamaan 3.7 dapat diketahui bahwa agar kesalahan keadaan tunak sama dengan nol, maka nilai b harus sama dengan a.

2. Perancangan Pengendali Menggunakan *Lyapunov*

Perancangan pengendali merupakan penentuan persamaan atau rumus mekanisme pengaturan untuk melakukan *update* terhadap parameter-parameter kendali ketika terjadi perubahan karakteristik *plant* karena faktor luar. Perancangan ini menggunakan metode *Lyapunov*. Berikut adalah diagram blok MRAC orde-satu dengan *Lyapunov*.



Gambar 3.5. Diagram blok MRAS orde-satu dengan Lyapunov.

Keterangan :

U_c = Sinyal Referensi

$G_m(s)$ = Fungsi alih model

$G(s)$ = Fungsi alih sistem

Y_m = Keluaran Model

Y = Keluaran sistem

γ = Gain Adaptasi

Sesuai dengan diagram blok diatas diketahui bahwa performasi keluaran proses (sistem) akan mengikuti performasi keluaran model sistemnya. Parameter-parameter kendali diatur berdasarkan error (e) yang merupakan selisih antara

keluaran proses (y) dengan keluaran model (y_m). Parameter-parameter yang akan diatur dinotasikan oleh k_1 dan k_2 . Persamaan *updating* parameter-parameter pengendali dapat dilihat pada persamaan 3.8 dan 3.9 berikut :

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma \left(\frac{a_m}{p+a_m} u_c \right) e \quad (3.8)$$

$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma \left(\frac{a_m}{p+a_m} u_c \right) e \quad (3.9)$$

Langkah pertama dalam perancangan pengendali adalah menentukan model dari proses sehingga sistem akan bekerja sesuai dengan karakteristik model yang telah ditentukan. Berdasarkan pemodelan secara matematis, sistem kendali suhu ruang tergolong sistem orde-satu, sehingga model yang digunakan adalah sistem orde-satu

Dari notasi umum fungsi alih orde satu maka dapat diketahui :

$$G_m(s) = \frac{Y_m(s)}{U_C(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.10)$$

$$G_m(s) = \frac{Y_m(s)}{U_C(s)} = \frac{b_m/a_m}{\frac{1}{a_m} \cdot s + 1} \quad (3.11)$$

Sedangkan persamaan fungsi alih sistem adalah :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U_C(s)} = \frac{b/a}{\frac{1}{a} \cdot s + 1} \quad (3.12)$$

Nilai konstanta waktu model adalah $\tau = 1/a_m$ dan gain statik $K = b_m/a_m$. Agar tidak terjadi kesalahan keadaan tunak (*offset* sama dengan nol) maka harus dipenuhi kriteria nilai a_m sama dengan b_m .

Karena proses dikendalikan secara diskrit maka persamaan model harus dirubah kedalam bentuk diskrit. Persamaan model dalam bentuk differensial dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dy_m(t)}{dt(t)} = -a_m y_m(t) + b_m u_c(t) \quad (3.13)$$

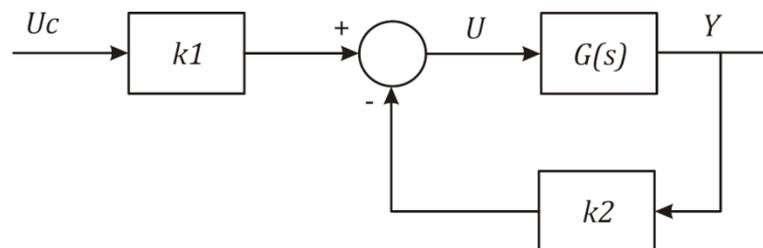
Jika dirubah kedalam bentuk laplace menjadi

$$s y_m(s) = -a_m y_m(s) + b_m u_c(s) \quad (3.14)$$

Persamaan diatas dengan metode *backward difference approximation* diubah kedalam persamaan diskrit menjadi :

$$y_m(k) = \left(\frac{1}{1+a_m T}\right) y_m(k-1) + \left(\frac{b_m T}{1+a_m T}\right) u_c(k) \quad (3.15)$$

Setelah mengetahui persamaan fungsi alih proses dan model proses, maka akan ditentukan mekanisme penentuan nilai $k1$ dan $k2$ untuk mengatur sinyal kendali (U). Pada perancangan ini digunakan algoritma penempatan *pole* (*Pole Placement*). Algoritma penempatan *pole* ditunjukkan pada blok diagram pada gambar 3.6 berikut :



Gambar 3.6. Blok diagram algoritma Pole Placement

Persamaan untuk menentukan besar sinyal kontrol adalah :

$$u(k) = k_1 u_c(k) - k_2 y(k) \quad (3.16)$$

Jika kedua parameter tersebut memenuhi persamaan

$$k_1 = \frac{b_m}{b} \quad (3.17)$$

$$k_2 = \frac{a_m - a}{b} \quad (3.18)$$

Maka hubungan masukan dan keluaran sistem dan modelnya akan sama.

Dengan mengubah persamaan ke dalam bentuk diskrit maka akan didapatkan parameter k_1 dan k_2 .

$$k_1(k) = k_1(k-1) - \gamma.T.U_c(k).e(k) \quad 3.19$$

$$k_2(k) = k_2(k-1) + \gamma.T.y(k).e(k) \quad 3.20$$

Keterangan :

$U_c(k)$ = Sinyal referensi dalam diskrit

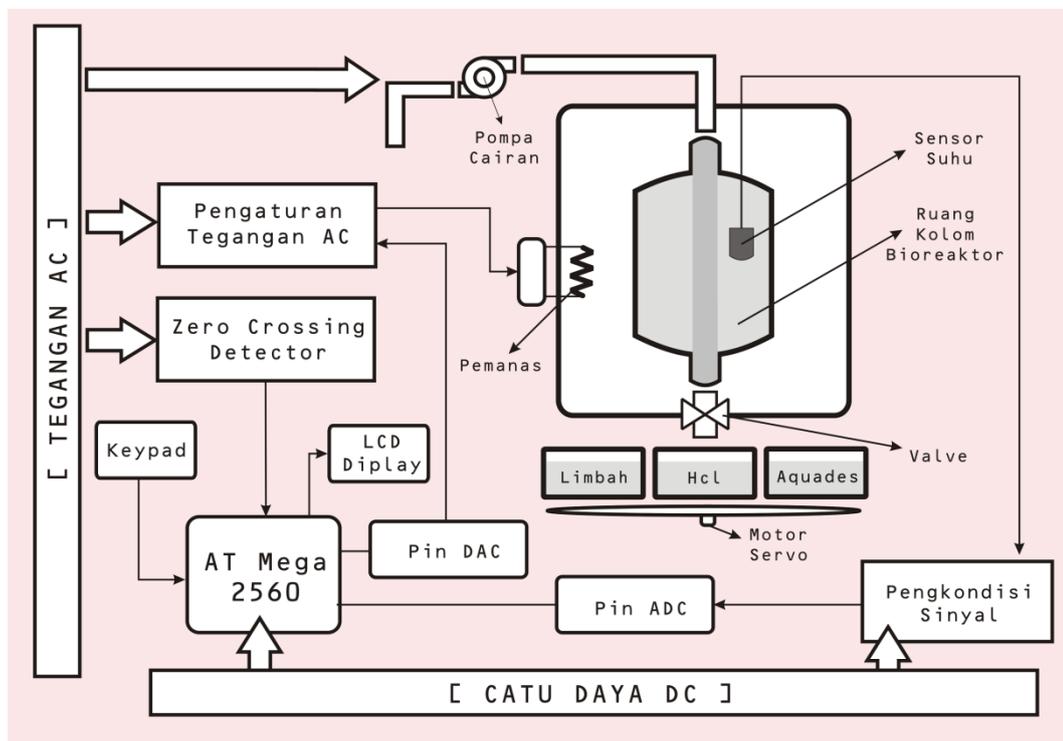
$e(k)$ = Nilai error dalam diskrit

T = Waktu Cacah

Dari persamaan 3.19 dan 3.20 diketahui bahwa parameter k_1 dan k_2 sangat dipengaruhi oleh *error* sistem $e(k)$, dimana $e(k)$ adalah selisih antara keluaran sistem $y(k)$ dan keluaran model $y_m(k)$. Sehingga dapat dikatakan bahwa sinyal kendali ditentukan oleh $e(k)$.

3.5.3 Perancangan Perangkat Keras

Rancangan sistem kendali suhu ruang bioreaktor diperlihatkan oleh blok diagram pada gambar 3.7. Sistem ini terdiri dari beberapa rangkaian, yaitu rangkaian pengendali *Microcontroller AT Mega 2560*, rangkaian pengendali tegangan AC 1 fasa, rangkaian *zero crossing detector*, *Wiring Heater*, rangkaian sensor suhu LM 35, rangkaian pengkondisi sinyal, serta *keypad* sebagai input suhu referensi dan *LCD display* sebagai penampil nilai suhu.



Gambar 3.7. Diagram blok sistem kendali suhu

Dari blok diagram Gambar 3.7 dapat dijelaskan urutan kerja dari sistem kendali suhu ruang kolom bioreaktor, yaitu:

Masukan sistem berupa nilai suhu referensi yang diinginkan untuk proses adsorpsi limbah, nilai referensi dimasukkan dengan menggunakan keypad. *Microcontroller*

AT Mega 2560 akan membaca nilai referensi suhu yang ditetapkan (masukan *keypad*) dan akan menghasilkan sinyal kendali.

Microcontroller AT Mega 2560 sebagai pusat pengolahan data akan membandingkan peformasi keluaran proses (y) dengan peformasi keluaran model (y_m) menghasilkan nilai *error* (e). Nilai *error* (e) digunakan untuk menentukan besarnya sinyal kendali dengan merubah parameter-parameter pengendali. Sinyal kendali yang diberikan ke *wiring heater* sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan untuk memenuhi nilai referensi (*set point*). Sinyal kendali ini berupa sinyal PWM yang akan mengatur sudut penyalaan TRIAC yang digunakan untuk mengatur tegangan yang akan masuk ke *wiring heater*. *Wiring heater* yang dikendalikan bekerja dengan menggunakan tegangan AC, sehingga untuk mengaplikasikan sistem kendali adaptif dibutuhkan rangkaian pengontrol tegangan 1 fasa. Prinsip dari pengaturan tegangan ini adalah mengatur sudut penyalaan tegangan AC sehingga nilai tegangan dapat bertambah maupun berkurang sesuai dengan persamaan 3.21 berikut :

$$V_o(\text{RMS}) = V_s \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]} \quad (3.21)$$

Keterangan :

$V_o(\text{RMS})$ = tegangan keluaran

V_s = tegangan input AC

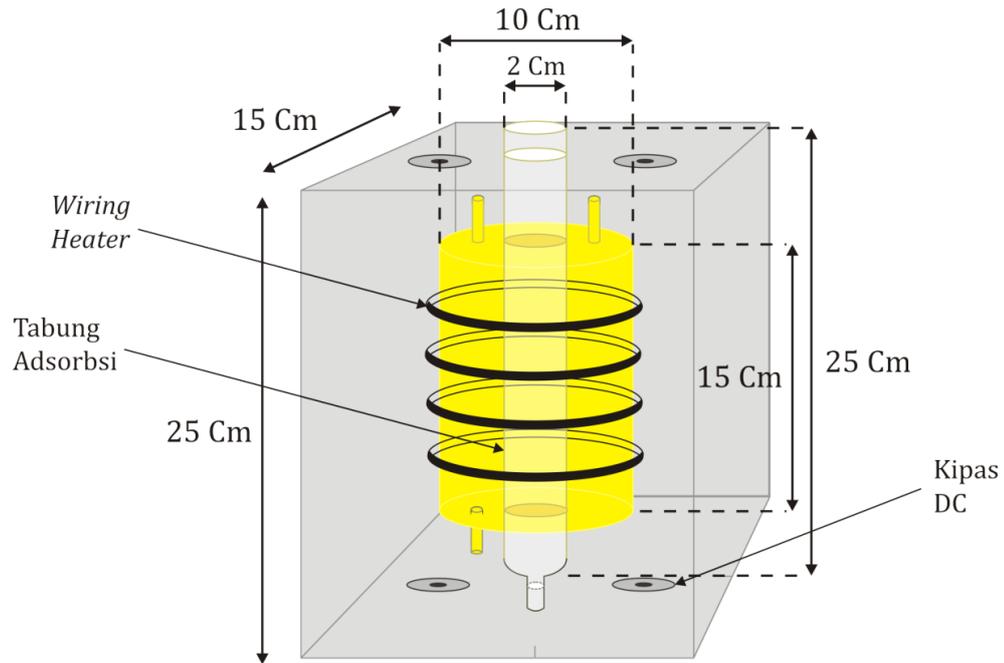
α = sudut penyalaan

Agar sudut penyalaaan dapat sefasa dengan tegangan AC maka dibutuhkan rangkaian *zero crossing detector* . *Zero crossing detector* merupakan rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinusoida AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol (0 volt). Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif . Seberangan-seberangan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemicuan TRIAC.

Penggunaan rangkaian *zero crossing detector* bertujuan agar sistem bisa mendeteksi *zero point* sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal menjadi sinyal kotak. Sinyal keluaran rangkaian *zero cross detector* ini akan dimasukkan ke *microcontroller*.

3.5.4 Detail Rancangan

1. *Plant* (ruang adsorbsi)



Gambar 3.8. Plant (ruang adsorpsi)

Plant pada sistem ini adalah ruang bioeraktor yang merupakan sebuah ruang tempat terjadinya proses adsorpsi polutan limbah oleh biomassa. *Plant* terdiri dari ruangan berbentuk kotak yang terbuat dari mika bening yang di dalamnya terdapat tabung yang terbuat dari kaca, yang disebut tabung adsorpsi. Pada kotak ini diletakkan *wiring heater*.

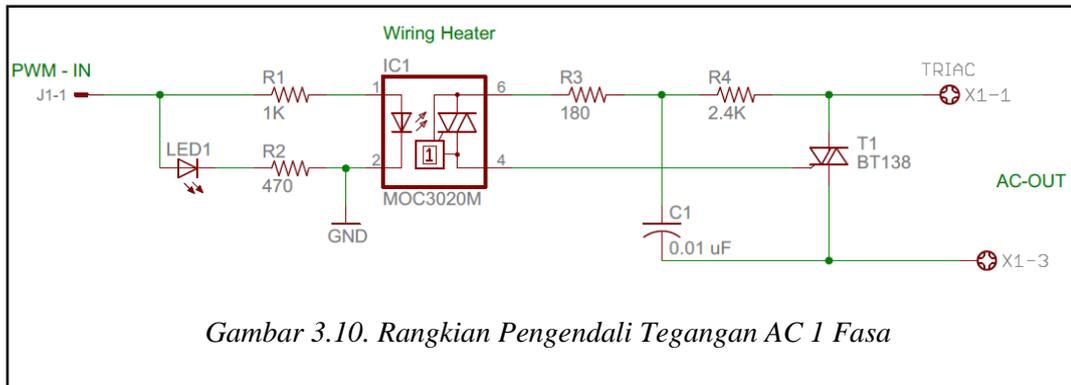
2. Rangkaian Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan pada sistem ini adalah LM 35DZ yang memiliki tegangan *output* yang *linier proporsional* dengan suhu derajat celcius. Sinyal keluaran sensor sangat kecil sehingga sinyal perlu dikondisikan terlebih dahulu agar memudahkan pengolahan ADC yang terdapat pada *controller*. Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri atas rangkaian *buffer* dan rangkaian *non-inverting*

Rangkaian ini berfungsi untuk menguatkan sinyal dengan keluaran yang tetap sefasa dengan sinyal masukan. Komponen yang digunakan adalah IC LM 324 dan resistor.

3. Rangkaian Pengendali Tegangan AC 1 Fasa

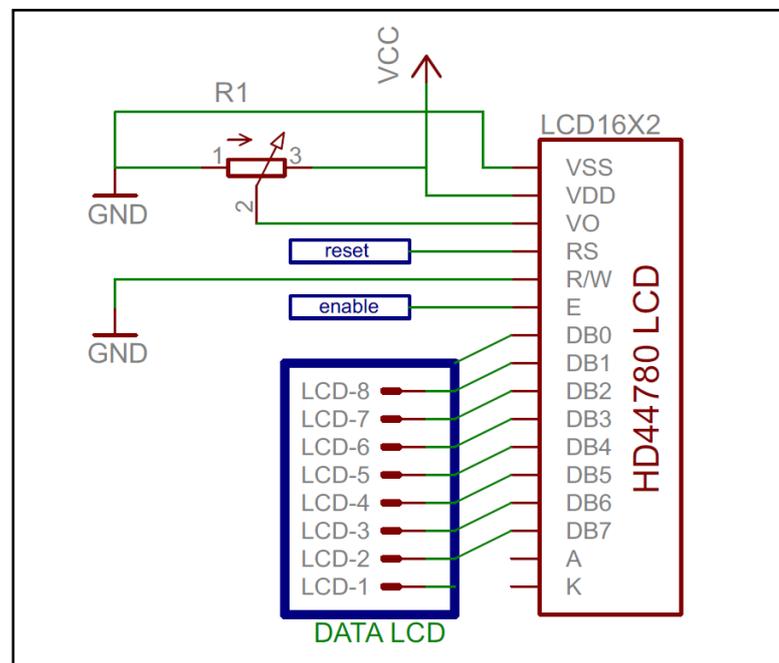
Wiring heater menggunakan sumber tegangan AC. Sehingga diperlukan suatu rangkaian yang dapat mengatur besarnya tegangan yang diberikan ke *Wiring heater*. Rangkaian pengendali tegangan AC 1 fasa ditunjukkan pada gambar 3.10 berikut :



Pada rangkaian ini digunakan *Solid State Relay* (SSR) yang terdiri dari komponen utama optoisolator IC MOC 3020. IC MOC 3020 digunakan untuk meneruskan sinyal keluaran *microcontroller* dengan menggunakan *transmitter (infra red)* yang akan dikirimkan ke *photo transistor*, pengiriman ini berdasarkan komunikasi optik, sehingga rangkaian DC aman dari tegangan AC. Sedangkan TRIAC BT 138 digunakan untuk mengendalikan *wiring heater* yang bekerja menggunakan tegangan 220 V_{AC} dengan cara mengatur waktu konduksi sinyal AC berdasarkan waktu penundaan yang dikirimkan *controller* yang sudah melewati optoisolator.

4. Rangkaian Penampil (LCD)

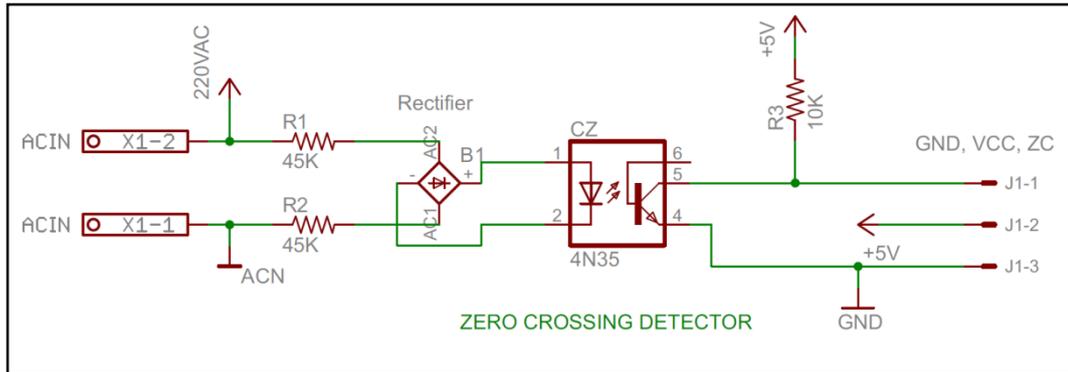
Modul tampilan yang digunakan berupa LCD (*Liquid Crystal Display*). Informasi yang ditampilkan berupa karakter huruf dan angka yang dapat menampilkan karakter sebanyak 2 x 16 digit. Tampilan LCD digunakan sebagai penampil informasi untuk *set point* uhu dan informasi nilai suhu aktual pada ruang bioreaktor. Rangkaian tampilan LCD dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.11. Rangkaian penampil LCD

5. Rangkaian Zero Crossing Detector

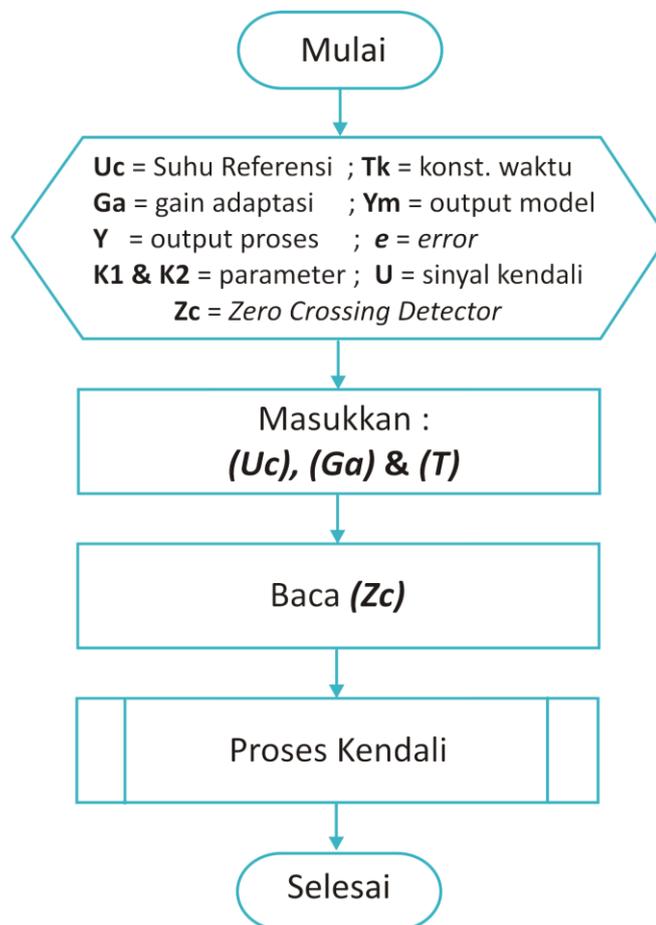
Rangkaian *zero crossing detector* digunakan untuk menentukan seberangan-seberangan titik nol (*zero point*) sinyal AC yang akan menjadi acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemicuan TRIAC. Rangkaian ini menggunakan IC 4N35 sebagai komponen utamanya. Gambar 3.12 menunjukkan rangkaian *zero crossing detector*.



Gambar 3.12. Rangkaian zero crossing detector

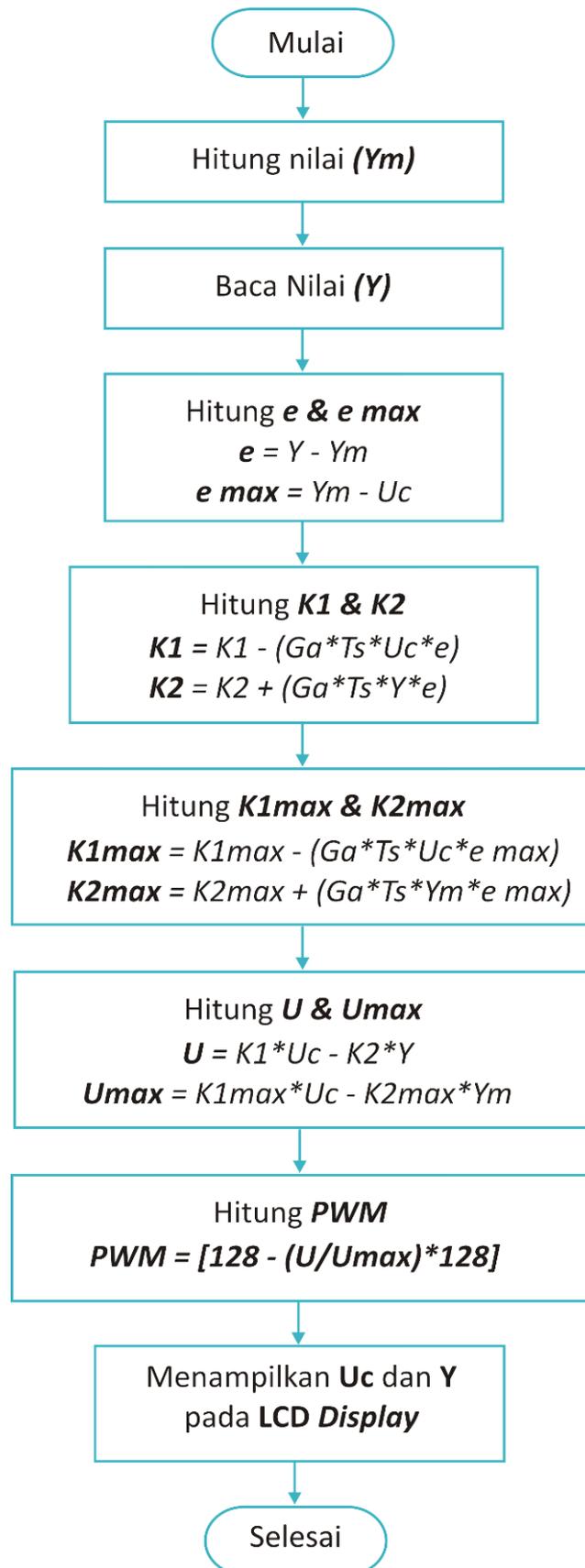
3.5.5 Perancangan Program

Program sistem kendali suhu ditulis dengan bahasa C menggunakan *software* arduino IDE. Gambar 3.13 menunjukkan algoritma program.



Gambar 3.13. Algoritma program proses kendali suhu

Berikut ini merupakan algoritma yang menerangkan proses kendali pada algoritma program proses pengendalian suhu gambar 3.13.



Gambar 3.14. Algoritma proses kendali

3.6 Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan untuk melihat kinerja alat sehingga diketahui apakah rangkaian yang telah dibuat sesuai dengan hasil yang diharapkan. Berikut ini adalah tahapan pengujian :

1. Pengujian rangkaian
 - a. Rangkaian *zero crossing detector*
 - b. Rangkaian pengatur tegangan AC
 - c. Rangkaian sensor suhu
2. Pengujian variabel kendali
 - a. Nilai fungsi alih proses
 - b. Gain Adaptasi
3. Pengujian unjuk kerja sistem
 - a. Pemberian gangguan

Hasil dari pengujian ini juga diambil sebagai data hasil penelitian, yang akan digunakan untuk analisa dan pembahasan.

3.6.1 Pengujian Rangkaian

1. Pengujian rangkaian *zero crossing detector*

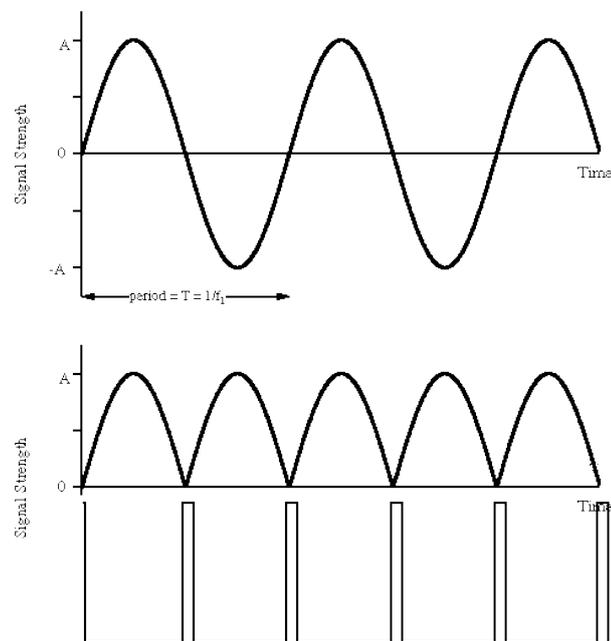
a) Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan rangkaian dalam mendeteksi sinyal (gelombang sinusoidal) AC 1 fasa saat melewati titik tegangan nol. Hal ini perlu diuji karena keluaran rangkaian ini akan menjadi titik awal penyulutan TRIAC. Penyulutan

TRIAC menjadi dasar pengaturan tegangan yang akan mengendalikan *wiring heater*.

b) Hasil yang Dinginkan

Pada pengujian ini diharapkan rangkaian dapat mendeteksi titik tegangan nol sinyal AC 1 fasa seperti pada gambar 3.15, apabila rangkaian belum berhasil mendeteksi titik nol sinyal AC maka akan dilakukan perbaikan.



Gambar 3.15. Sinyal keluaran ideal rangkaian zero crossing detector

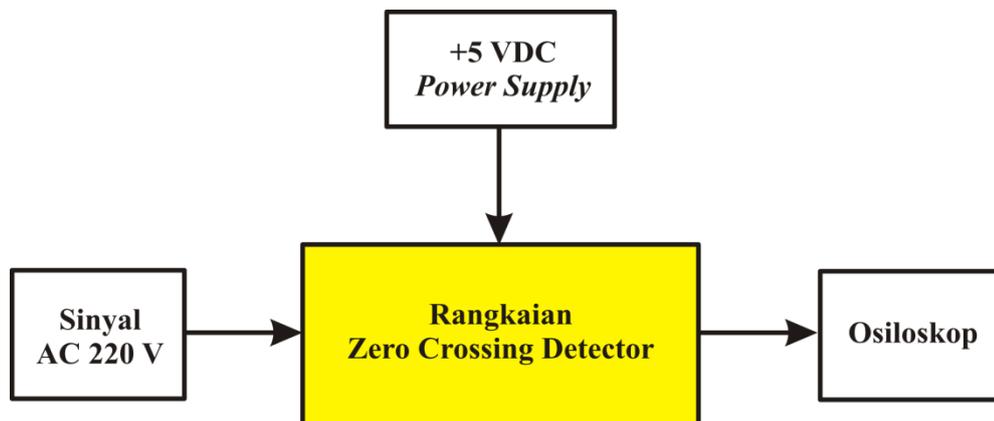
c) Peralatan yang Digunakan

- Rangkaian *zero crossing detector*
- Catu daya +5 V_{DC} dan 220 V_{AC}
- Osiloskop

d) Prosedur Pengujian

- Merangkai rangkaian percobaan seperti gambar 3.16.
- Menyalakan catu daya +5 V_{DC} sebagai sumber MOC 3020.

- Menyalakan catu daya 220 V_{AC} sebagai sumber yang akan dideteksi titik nol nya.
- Mengamati dan menyimpan bentuk sinyal keluaran *zero crossing detector* pada osiloskop.



Gambar 3.16. Blok diagram rangkaian pengujian zero crossing detector

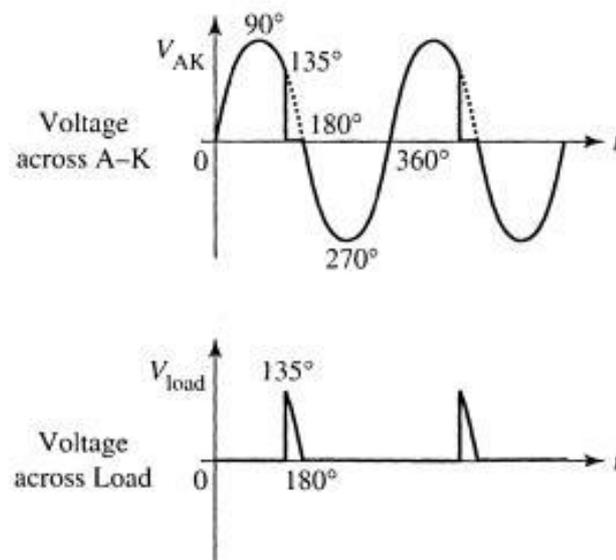
2. Pengujian Rangkaian Pengaturan Tegangan AC

a) Tujuan

Mengetahui besarnya nilai tegangan yang dihasilkan rangkaian untuk dibandingkan dengan nilai tegangan idelanya (hasil perhitungan). Apabila hasil pengujian menunjukkan besarnya tegangan keluaran rangkaian mendekati tegangan idealanya maka rangkaian dapat digunakan untuk mengendalikan *wiring heater*.

b) Hasil yang Diinginkan

Rangkaian dapat mengatur besarnya tegangan sinyal AC 1 fasa dengan cara mengatur sudut fasa sinyal tersebut, seperti yang diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 3.17. Sinyal keluaran pengatur tegangan AC 1 fasa dengan metode penundaan sudut fasa

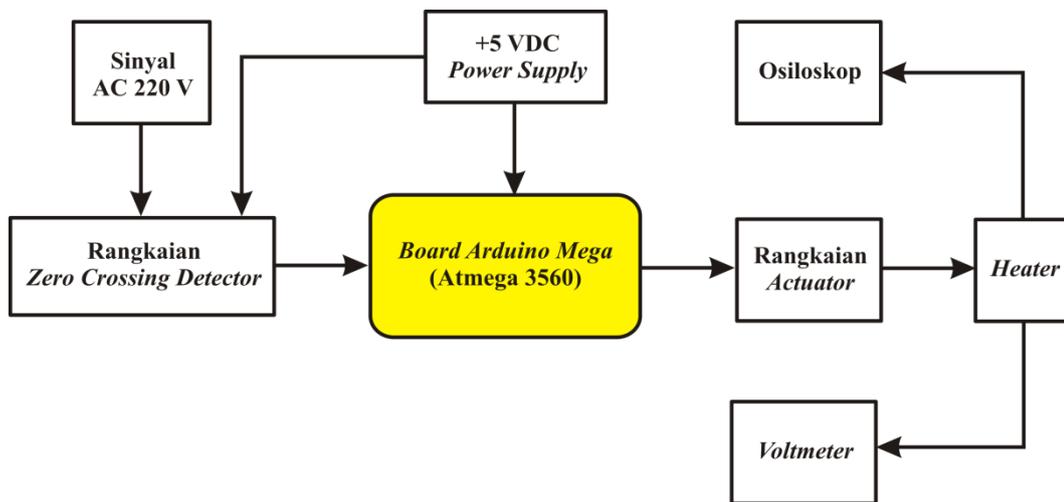
c) Peralatan yang Digunakan

- Rangkaian *zero crossing detector*
- Rangkaian pengendali tegangan AC
- Catu daya $+5V_{DC}$ dan $220 V_{AC}$
- *Board Arduino Mega (Atmega 2560)*
- Osiloskop
- Voltmeter

d) Prosedur Pengujian

- Merangkai rangkaian seperti pada blok diagram
- Mengaktifkan rangkaian *zero crossing detector*
- Mengatur keluaran Atmega 2560 (sudut penyalaan)
- Menghubungkan sumber daya $220 V_{AC}$

- Mencatat nilai tegangan keluaran pada Voltmeter
- Mengapati dan menyimpan bentuk sinyal pengatur tegangan AC
- Mengatur sudut penyalan TRIAC



Gambar 3.18. Blok diagram pengujian rangkaian pengatur tegangan AC 1 fasa

3. Pengujian Rangkaian Sensor Suhu LM35 DZ

a) Tujuan

Memastikan ketepatan sensor dalam mengukur suhu ruang bioreaktor.

b) Hasil yang Diinginkan

Besarnya suhu pembacaan rangkaian sensor suhu sesuai dengan (terkalibrasi) dengan termometer digital, sehingga rangkaian dapat digunakan untuk membaca nilai suhu ruang bioreaktor.

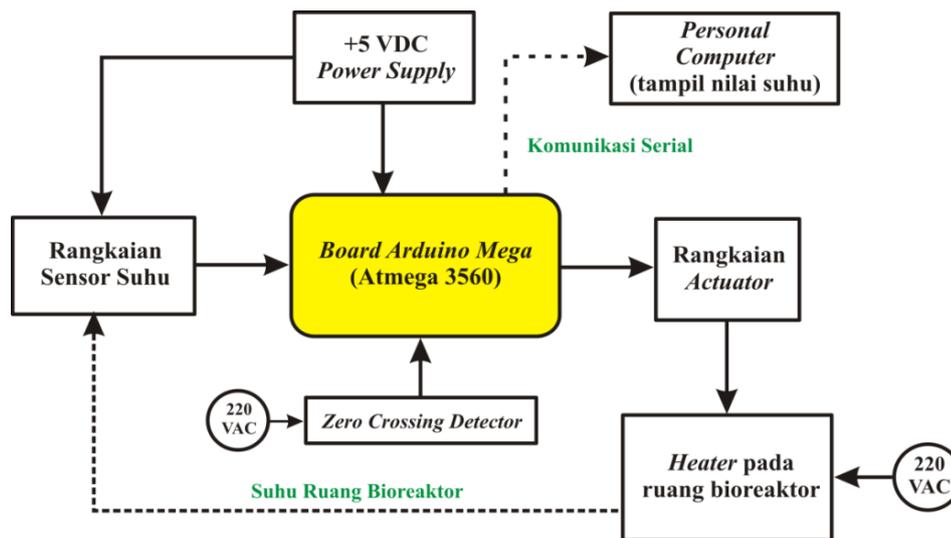
c) Peralatan yang Digunakan

- Rangkaian sensor suhu
- *Wiring Heater*
- Catu daya +5 V_{DC} dan 220 V_{AC}
- Termometer Digital : 1 buah

- *Arduino Board*
- 1 Buah PC

d) Prosedur Pengujian

- Merangkain rangkaian pengujian sesuai gambar 3.19
- Mengaktifkan Arduino board dan rangkaian sensor suhu
- Menampilkan data pada *serial monitor*
- Mencatat nilai suhu pada *serial monitor* dan termometer digital
- Membandingkan nilai pembacaan *serial monitor* dengan termometer digital



Gambar 3.19. Blok diagram pengujian rangkaian sensor suhu

3.6.2 Pengujian Variabel Kendali

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai konstanta waktu model dan gain adaptasi yang sesuai dengan karakteristik plant.

1. Pengujian Nilai Fungsi Alih Ruang Bioreaktor

a) Tujuan

Pengujian nilai fungsi alih bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanggapan suhu pada ruang bioreaktor terhadap besarnya nilai tegangan yang diberikan kepada *wiring heater*. Besarnya nilai dari karakteristik tanggapan proses digunakan untuk menentukan model dari sistem.

b) Peralatan yang Digunakan

- Catu daya +5 VDC dan 220 VAC
- *Arduino Board*
- Rangkaian Sensor Suhu
- Rangkaian *zero crossing detector*
- Rangkaian pengendali tegangan AC
- *Wiring Heater*
- *Personal Computer*

c) Metode Pengujian

Pengujian ini menggunakan metode *BumpTest*, yaitu dengan cara memberi tegangan/sinyal kendali (CO) sebesar 35% dari nilai maksimumnya, Nilai tegangan maksimum apabila CO 100% (maksimum) adalah sebesar 110 VAC. Sinyal CO diberikan pada sistem saat keadaan tetap suhu 30,05°C. Respon sistem akan diamati melalui *Personal Computer*, apabila sistem telah menempati keadaan

tunaknya maka selanjutnya adalah membuat grafik dari data hasil tersebut.

d) Prosedur Pengujian

- Merangkain rangkaian pengujian seperti pada gambar 3.19
- Menyalakan catu daya +5 VDC untuk *arduino board*, rangkaian sensor dan rangkaian *zero crossing detector* (menyalakan sistem)
- Memberikan 35% tegangan sumber 220 V_{AC} pada *wiring heater*
- Menampilkan data perubahan suhu ruang bioreaktor pada *Personal Computer* dan menunggu hingga proses mencapai keadaan tunaknya
- Membuat grafik karakteristik perubahan suhu terhadap sinyal masukan yang diberikan ke *heater*
- Menentukan nilai parameter-parameter berdasarkan respon sistem

2. Pengujian Nilai Gain Adaptasi

a) Tujuan

Mengetahui nilai gain adaptasi yang sesuai dengan karakteristik plant ruang bioreaktor.

b) Peralatan yang Digunakan

- Catu daya +5 VDC dan 220 VAC
- *Arduino Board*
- Rangkaian Sensor Suhu
- Rangkaian *zero crossing detector*
- Rangkaian pengendali tegangan AC

- *Wiring Heater*
- *Personal Computer*

c) Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan variasi gain adaptasi sebesar 0,005; 0,01 dan 0,015. Dari ketiga variasi gain adaptasi ditetapkan selisih antara set point (U_c) dengan keadaan suhu awal (Y_0) yang sama yaitu sebesar 4,8 °C serta waktu sampling (T) 2 detik. Dari masing-masing hasil yang didapat dari variasi gain adaptasi akan ditentukan nilai gain yang paling sesuai karakteristik plant. Terdapat 2 parameter yang akan dibandingkan antara peformasi keluaran sistem (proses) dengan keluaran model, yaitu nilai konstanta waktu dan *error steady state* (ESS).

d) Prosedur Pengujian

- Merangkain rangkaian pengujian seperti pada gambar 3.19
- Menghidupkan sistem
- Menampilkan data perubahan suhu ruang bioreaktor pada *Personal Computer* dan menunggu hingga proses mencapai keadaan tunaknya
- Membuat grafik dari data yang didapatkan
- Mengulangi langkah-langkan diatas dengan memvariasikan gain adaptasi

3.6.3 Pengujian Unjuk Kerja Sistem

a) Tujuan

Mengetahui unjuk kerja sistem yang ditandai dengan kecepatan sistem dalam mengatasi gangguan.

b) Hasil yang Diinginkan

Hasil yang diharapkan padaa pengujian ini adalah peformasi keluaran suhu (proses) yang dapat mengikuti peformasi kelauran modelnya.

c) Peralatan yang Digunakan

- Catu daya +5 VDC dan 220 VAC
- *Arduino Board*
- Rangkaian Sensor Suhu
- Rangkaian *zero crossing detector*
- Rangkaian pengendali tegangan AC
- *Wiring Heater*
- *Personal Computer*
- Kipas DC

d) Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberikan gangguan pada saat respon sistem mencapai keadaan tunaknya. Pemberian gangguan dilakukan dengan memasukkan udara luar melalui kipas inlet.

e) Prosedur Pengujian

- Merangkain rangkaian pengujian seperti pada gambar 3.19
- Menghidupkan sistem
- Menampilan data perubahan suhu ruang bioreaktor pada Personal Computer dan menunggu hingga proses mencapai keadaan tunaknya
- Menghidupkan kipas inlet sebagai bentuk gangguan pada sistem
- Membuat grafik dari data yang didapatkan