

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

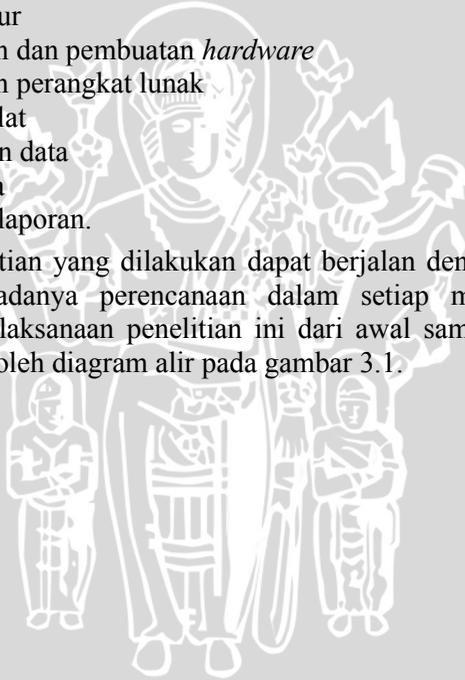
Penelitian ini dimulai pada bulan Juni 2012 sampai bulan Februari 2014. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran untuk perancangan alat dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

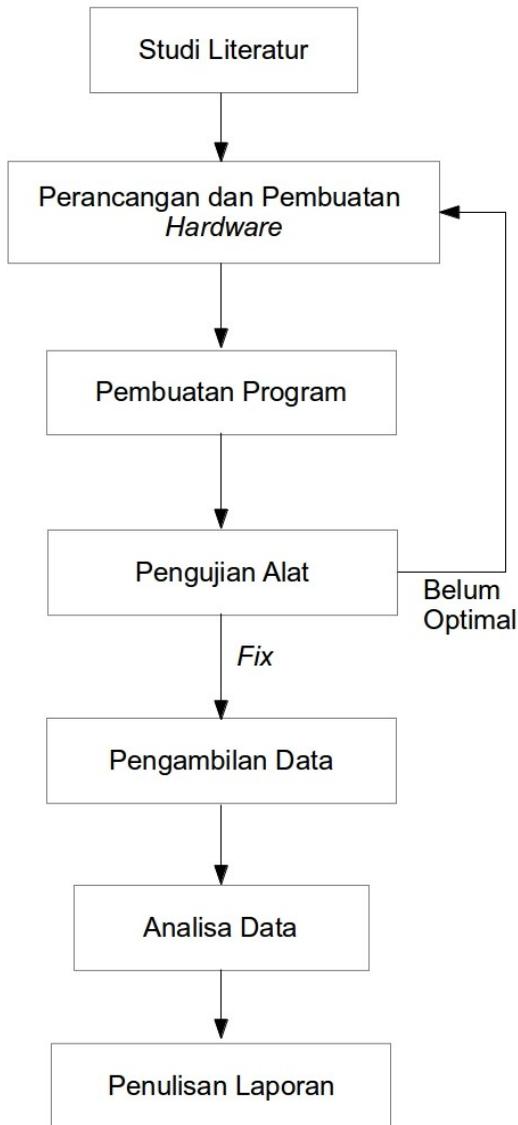
3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dikerjakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Perancangan dan pembuatan *hardware*
3. Perancangan perangkat lunak
4. Pengujian alat
5. Pengambilan data
6. Analisa data
7. Pembuatan laporan.

Agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan dengan baik, maka diperlukan adanya perencanaan dalam setiap melakukan kegiatan. Proses pelaksanaan penelitian ini dari awal sampai akhir dapat digambarkan oleh diagram alir pada gambar 3.1.



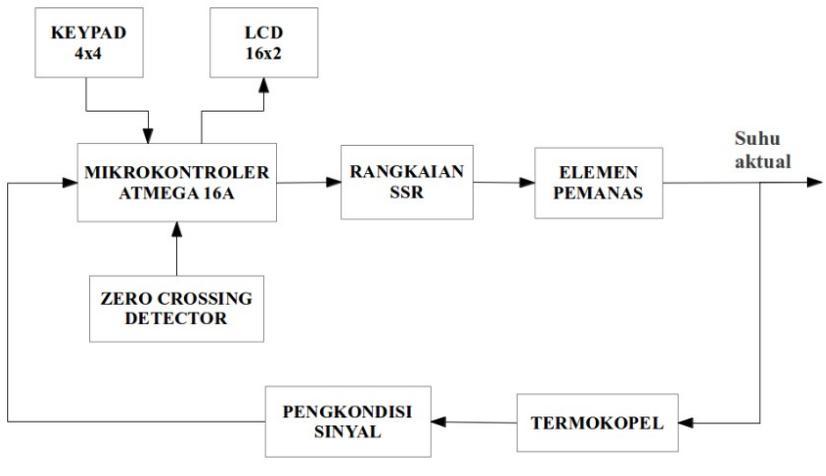


Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian.

3.3 Perancangan Alat

Secara umum, proses pengontrolan suhu pada temperatur

tinggi dapat digambarkan oleh diagram blok pada gambar 3.2 berikut.



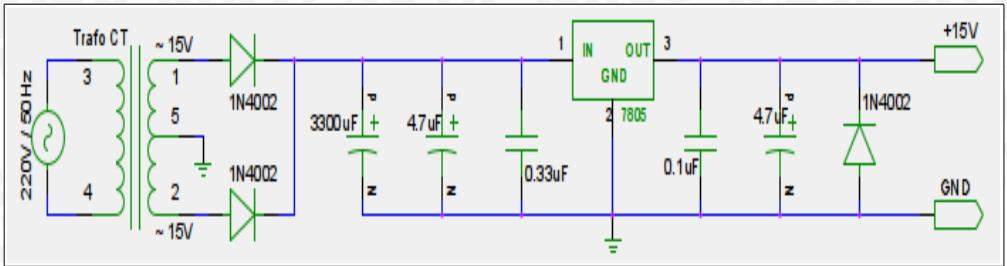
Gambar 3.2 Diagram blok alat pengontrol suhu pada tanur temperatur tinggi.

Proses yang digambarkan pada diagram blok di atas merupakan sistem pengontrolan lup tertutup, artinya dibutuhkan umpan balik dari *plant* menuju ke kontroler untuk menstabilkan keluaran suhu *plant* yang diinginkan. Proses dimulai dengan memberikan masukan suhu yang diinginkan ke dalam mikrokontroler ATmega16A melalui *keypad* 4x4. Nilai masukan suhu tersebut merupakan *set-point* bagi sistem pengontrol. Pada mikrokontroler, masukan suhu dikonversi menjadi nilai *timer/counter* yang akan menghasilkan sinyal PWM. Sinyal PWM dibangkitkan dengan menggunakan pemacu dari sinyal keluaran rangkaian *zero crossing detector*. Setiap terjadinya perubahan keadaan dari logika tinggi ke logika rendah atau sebaliknya pada sinyal tersebut akan memicu terjadinya dibangkitkannya sinyal PWM yang memiliki frekuensi 2 kali dari frekuensi tegangan jala-jala PLN. Persentase *duty cycle* sinyal PWM yang dihasilkan sebanding dengan besarnya nilai *timer* mikrokontroler. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler digunakan untuk mengatur tegangan yang masuk ke elemen pemanas. Untuk dapat mengatur tegangan masukan pada elemen pemanas, sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler harus melalui suatu perangkat yang

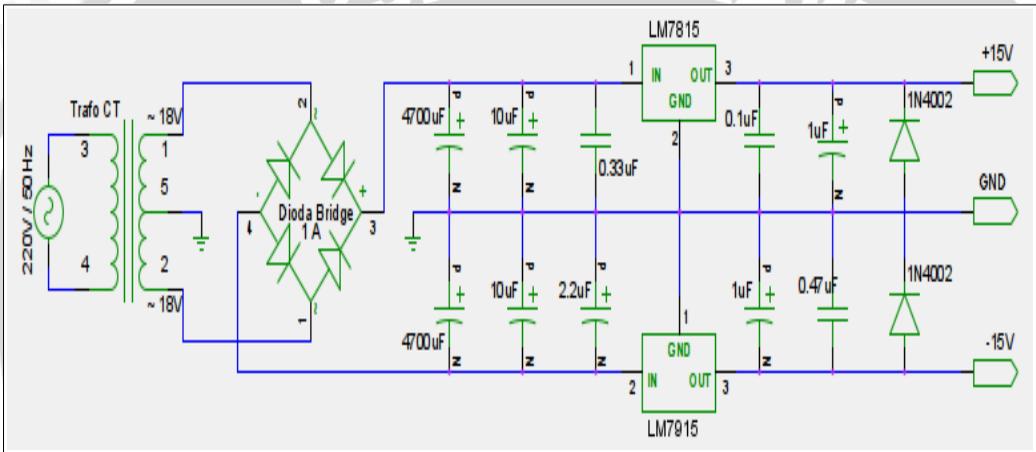
dapat mengatur tegangan AC yaitu rangkaian SSR. Besar tegangan bolak-balik yang keluar dari SSR dan terhubung dengan beban sebanding dengan *duty cycle* sinyal PWM dari mikrokontroler. Beban yang dipakai pada penelitian ini adalah elemen pemanas yang dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi panas. Ketika dialiri arus, elemen pemanas yang tertanam pada dinding-dinding tanur akan membuat suhu naik sesuai dengan *set-point* yang diinginkan. Suhu di dalam tanur dideteksi oleh termokopel yang menghasilkan keluaran tegangan searah. Kemudian tegangan keluaran dari termokopel dilewatkan pada rangkaian pengkondisi sinyal agar diperoleh sinyal yang sesuai dengan *range* masukan ADC mikrokontroler. Pada mikrokontroler tegangan masukan dari pengkondisi sinyal dikonversi menjadi nilai suhu aktual dan ditampilkan pada LCD 16x2. Selain itu tegangan masukan dari pengkondisi sinyal juga digunakan sebagai umpan-balik kepada pengontrol. Pada pengontrol, sinyal umpan balik digunakan menghitung sinyal *error*. Sinyal *error* yang dihasilkan diproses dengan menggunakan algoritma kontrol PID agar diperoleh keluaran yang disimpan pada register OCR1A. Nilai pada register OCR1A tersebut yang akan mengontrol besarnya *duty cycle* sinyal PWM.

3.3.1 Catu Daya

Masukan tegangan AC 220 V dari PLN diturunkan tegangannya dengan trafo *step-down*. Keluaran tegangan dari trafo sebesar 18 V. Pada rangkaian catu daya tersebut digunakan dua buah dioda yang terpasang pada trafo CT secara paralel dengan arah yang sama sehingga dapat berperan sebagai penyearah gelombang penuh. Kemudian, tegangan 18 V AC dari trafo disearahkan oleh dua buah dioda tersebut sehingga keluarannya menjadi 18 V DC. Tegangan searah yang keluar dari dioda kemudian difilter dengan kapasitor untuk mereduksi riak yang terjadi akibat proses penyearahan. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil pada nilai tertentu digunakan regulator tegangan. IC regulator tegangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu IC 7805 untuk keluaran tegangan +5 V, IC 7815 untuk keluaran tegangan +15 V dan IC 7915 untuk keluaran tegangan -15 V.



Gambar 3.3 Rangkaian catu daya keluaran +5 V dan *ground*.



Gambar 3.4 Rangkaian catu daya keluaran +15 V, -15 V dan *ground*.

Pada penelitian ini catu daya +5 V digunakan untuk mencatu sistem minimum mikrokontroler, rangkaian penguat *non-inverting* pada pengkondisi sinyal, rangkaian LCD 16x2, rangkaian SSR dan IC komparator pada rangkaian *zero crossing detector*. Catu daya ±15 V digunakan untuk mencatu IC penguat instrumentasi AD595. Dan catu daya +12 V digunakan untuk menggerakkan kipas pendingin SSR. Skematik rangkaian catu daya +12 V sama dengan skematik rangkaian catu daya +5 V, namun IC regulator yang digunakan adalah L7812CV.

3.3.2 Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri dari 3 bagian utama, yaitu rangkaian *RC low pass filter*, rangkaian penguat instrumentasi dan rangkaian penguat tegangan *non-inverting*.

Rangkaian *RC low pass filter* berfungsi untuk melewatkan

sinyal frekuensi rendah yaitu tegangan yang dihasilkan oleh termokopel dan mereduksi *noise* yang berfrekuensi tinggi. Frekuensi *cut-off* yang diinginkan pada rangkaian ini sebesar 0,16 Hz, sehingga resistor dan kapasitor yang digunakan masing-masing bernilai 10 kΩ dan 100 uF.

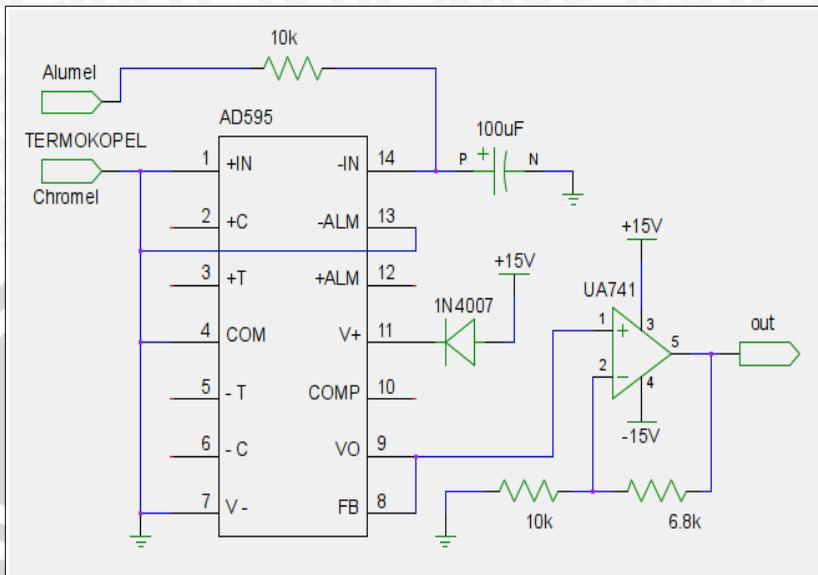
$$f_{cut-off} = \frac{1}{2\Omega RC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^4 \cdot 10^{-4}} = 0,16 \text{ Hz}$$

AD595 adalah IC digunakan sebagai penguat instrumentasi. AD595 merupakan IC khusus untuk pengkondisi sinyal pada termokopel tipe-k karena sudah tersedia kompensator sambungan dingin dalam satu IC. Tegangan keluaran dari termokopel yang berasal dari chromel dihubungkan pada kaki nomor 1 dan alumel dihubungkan pada kaki nomor 14. Catu daya positif +15 V diberikan pada kaki nomor 7 dan kaki nomor 11 (V-) dihubungkan dengan *ground*. Untuk kaki-kaki nomor 1, 7, 4 dan 13 bersama-sama dihubungkan ke *ground*. Keluaran tegangan dari AD595 ada pada kaki nomor 9 yang terhubung dengan kaki nomor 8 sebagai umpan balik diteruskan pada masukan *non-inverting* pada rangkaian penguat tegangan.

Rangkaian penguat tegangan pada penelitian ini menggunakan op-amp UA741 yang dirangkai menjadi penguat *non-inverting*. Penguatan diatur sebesar 1,68 kali yang didapat dari nilai R1 sebesar 10 kΩ dan R2 sebesar 6,8 kΩ.

$$A = 1 + \frac{R1}{R2} = 1 + \frac{6,8}{10} = 1,68$$

Fungsi rangkaian penguat tegangan *non-inverting* untuk menyesuaikan level tegangan dari AD595 dengan *range* masukan ADC pada mikrokontroler. Rangkaian pengkondisi sinyal ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.5 Rangkaian pengkondisi sinyal.

3.3.3 Sistem Minimum ATmega16A

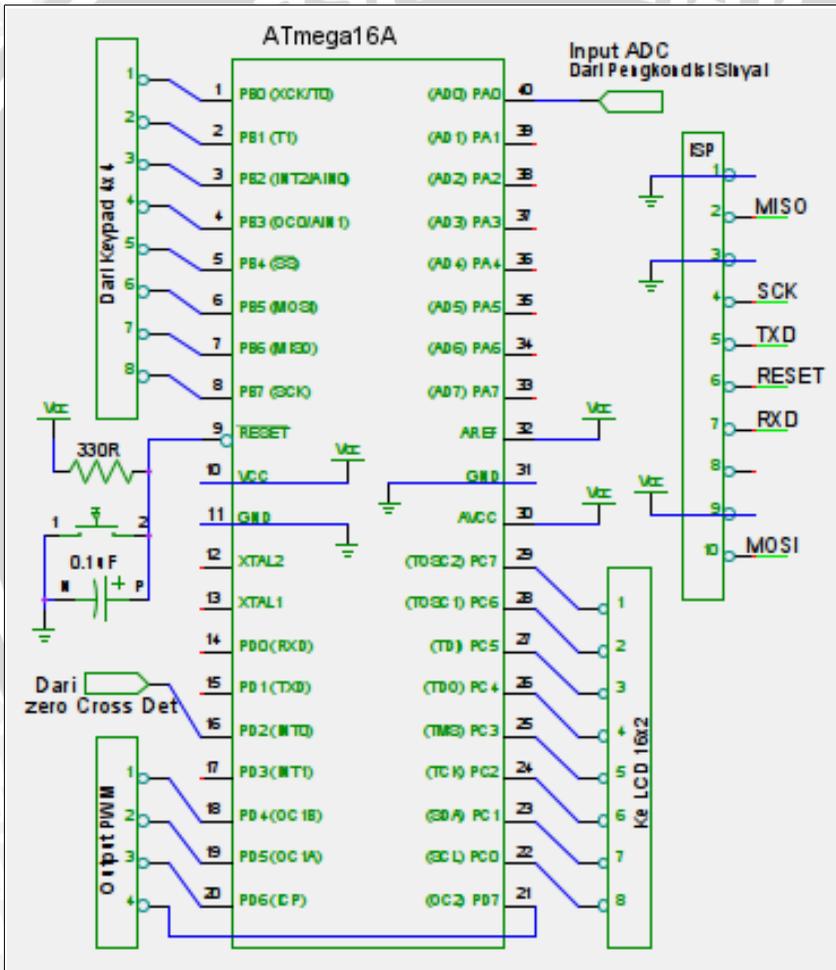
Rangkaian sistem minimum mikrokontroler adalah rangkaian elektronika yang terdiri dari komponen-komponen dasar yang dibutuhkan oleh suatu mikrokontroler untuk dapat berfungsi dengan baik. Pada umumnya, suatu mikrokontroler membutuhkan dua elemen (selain catu daya) untuk bekerja, yaitu kristal *oscillator* (XTAL) dan rangkaian *reset* (depokinstruments.com).

Komponen yang digunakan untuk membangun sistem minimum Atmega16A antara lain mikrokontroler AVR Atmega16A; tombol *pushbutton*, kapasitor 0.1 μF dan resistor 330 Ω untuk rangkaian *reset*; *header* 8x1 untuk PORTA, PORTB dan PORTD; *header* 5x2 untuk PORTC dan ISP; *header* 4x2 dan *header* 2x1 untuk VCC dan *ground*; serta PCB sebagai papan rangkaian sistem minimum. Pada penelitian ini sistem minimum tidak menggunakan kristal eksternal sebagai sumber *clock* karena sumber *clock* internal dari mikrokontroler ATmega16A dengan frekuensi maksimum 8 MHz sudah mencukupi untuk mengerjakan program pengontrolan suhu.

Semua PORT yang ada pada sistem minimum ATmega16 digunakan antara lain PORTC digunakan untuk LCD, PORTB

digunakan untuk *keypad*, PORTA (PA0) digunakan sebagai masukan ADC dan PORTD digunakan sebagai masukan interupsi eksternal (PD2) dan keluaran dari sinyal PWM (PD6).

Program yang digunakan dibuat dalam bahasa pemrograman C dengan *compiler* WinAVR-GCC. Sedangkan untuk penulisan program dikerjakan pada IDE AVR Studio 4.16. Program yang telah dibuat ditanamkan ke mikrokontroler menggunakan *programmer* AVR ISP II melalui kabel *usb to serial* dan *downloader* yang terhubung ke *port* ISP pada sistem minimum ATmega16A.

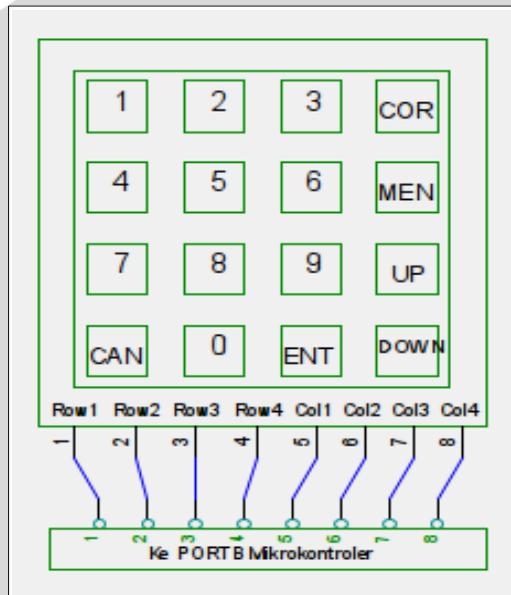


Gambar 3.6 Skematik sistem minimum ATmega16A.

3.3.4 Keypad 4x4

Keypad 4x4 adalah tombol-tombol yang disusun secara matriks (baris x kolom) sehingga dapat mengurangi penggunaan pin input. Misalnya, *keypad* matriks 4x4 cukup menggunakan 8 pin untuk 16 tombol. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena rangkaian tombol disusun secara horisontal membentuk baris dan disusun vertikal membentuk kolom (depokinstruments.com).

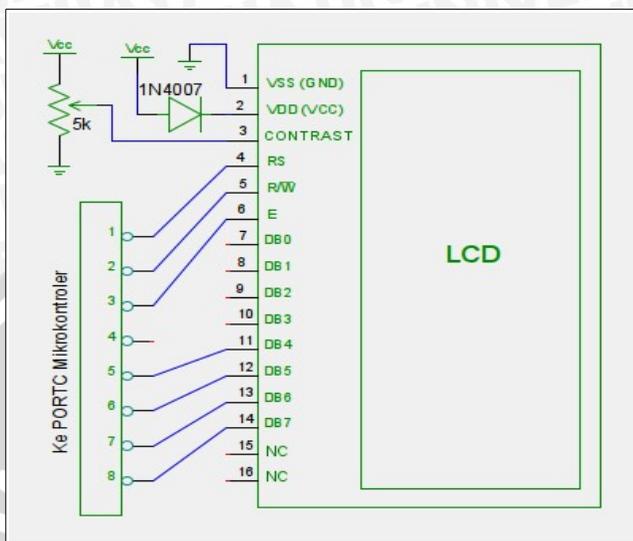
Pada penelitian ini keypad 4x4 dihubungkan pada PORTB mikrokontroler ATmega16A. Baris pada keypad 4x4 dihubungkan pada pin 5-8 PORTB dan kolomnya dihubungkan pada pin 1-4, seperti ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Rangkaian skematik keypad 4x4.

3.3.5 Modul LCD 16x2

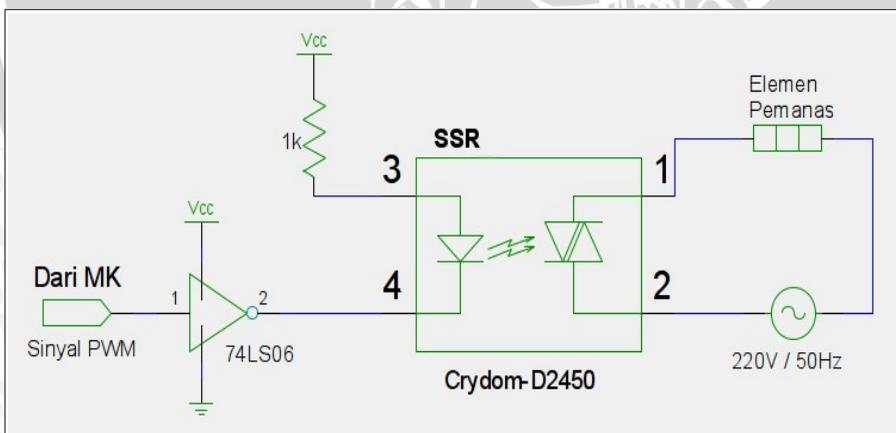
Pada penelitian ini *interface* antara LCD dengan mikrokontroler menggunakan mode 4 bit sehingga hanya menggunakan 1 port pada mikrokontroler. Trimpot 5 k Ω digunakan untuk mengatur *contrast* pada tampilan layar LCD yang dihubungkan pada kaki nomor 3. Modul LCD dihubungkan ke mikrokontroler melalui PORTC seperti ditunjukkan pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Rangkaian modul LCD 16x2.

3.3.6 Rangkaian *Solid State Relay (SSR)*

Pada penelitian ini SSR digunakan untuk mengatur daya yang akan diberikan pada elemen pemanas yang terpasang di dalam tanur temperatur tinggi. SSR yang digunakan adalah Crydom-D2450, yang memiliki spesifikasi antara lain tegangan maksimum 250 V dan arus maksimum sebesar 50 A.



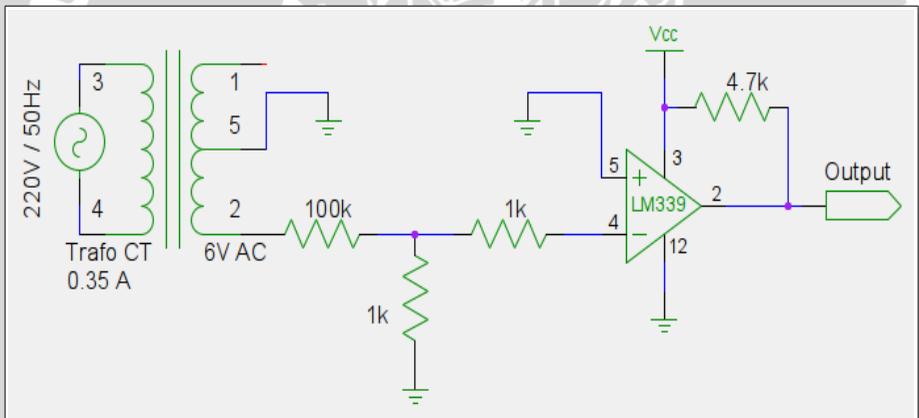
Gambar 3.9 Rangkaian *solid state relay*.

SSR Crydom-D2450 yang digunakan memiliki 4 terminal, 2

terminal masukan (kontrol) dan 2 terminal keluaran (*load*). Terminal 1 merupakan keluaran SSR yang dihubungkan pada beban (*load*), terminal 2 adalah keluaran yang dihubungkan pada sumber tegangan jala-jala dari PLN, terminal 3 (anoda) adalah masukan yang dihubungkan ke melalui resistor 1 k Ω , serta terminal 4 adalah katoda yang dihubungkan pada keluaran mikrokontroler (PORTD 6) yang menghasilkan sinyal PWM.

3.3.7 Rangkaian Pembanding *Zero Crossing Detector*

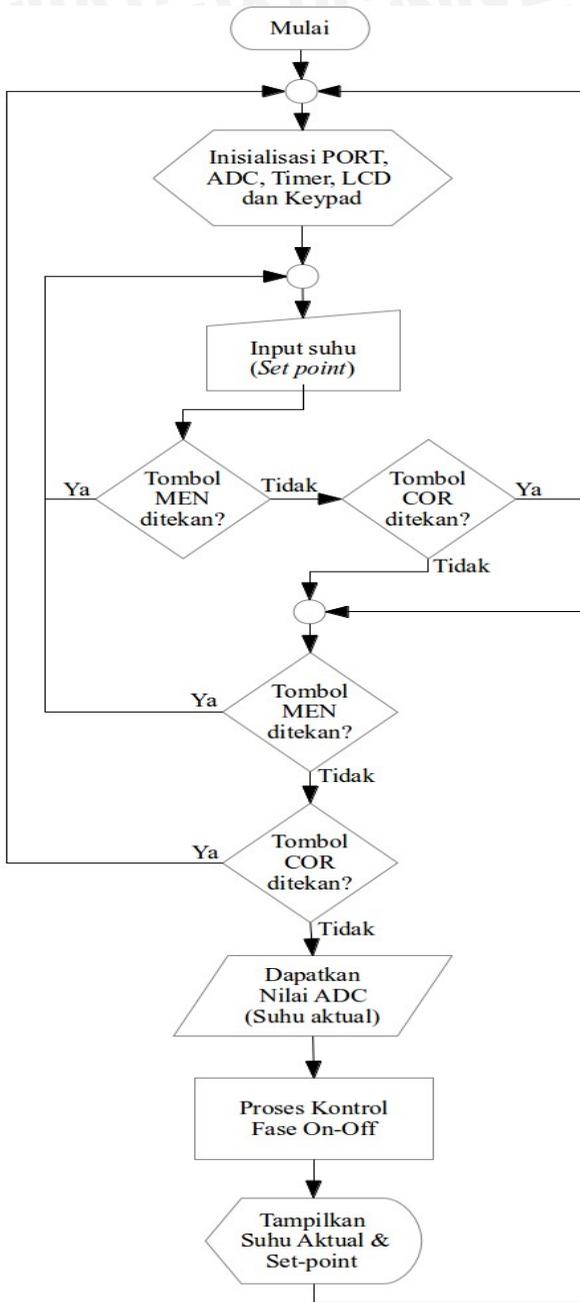
Pada penelitian ini rangkaian pembanding *zero crossing detector* digunakan untuk memicu terjadinya sinyal PWM. Hal ini dilakukan agar frekuensi sinyal PWM sinkron dengan frekuensi tegangan jala-jala dari PLN sehingga dihasilkan keluaran tegangan AC yang optimal. Rangkaian *zero crossing detector* menggunakan IC LM339 sebagai *comparator* dengan menggunakan masukan pada *inverting input* seperti ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Rangkaian pembanding *zero crossing detector*.

3.4 Perancangan Kode Program Mikrokontroler

Kode program mikrokontroler pada penelitian ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman C dengan *compiler* WinAVR. Kode program dibuat sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.11. Berikut adalah algoritma kode program yang digunakan pada penelitian ini:



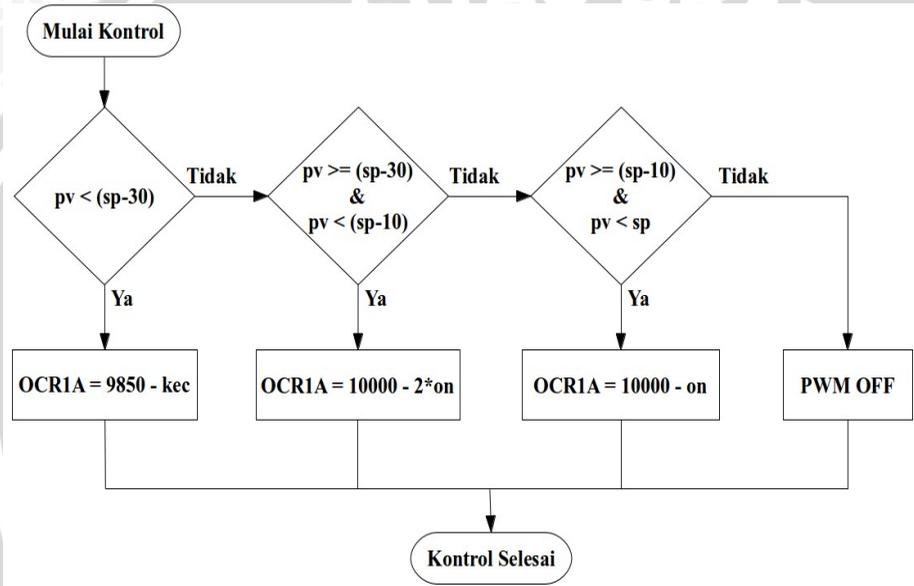
Gambar 3.11 Diagram alir program pada mikrokontroler.

Diagram alir pada gambar 3.11 menunjukkan proses pengontrolan suhu pada program mikrokontroler. Penjelasan dari diagram alir tersebut sebagai berikut:

1. Memulai program
2. Inisialisasi PORT yaitu pemilihan dan pengaturan PORT yang akan digunakan, antara lain PORTC digunakan untuk LCD, PORTB digunakan untuk *keypad*, PORTA digunakan untuk ADC dan PORTD digunakan untuk interupsi eksternal dan PWM.
3. Inisialisasi LCD dilakukan untuk mengantarmuka antara LCD dengan mikrokontroler.
4. Inisialisasi *keypad* dilakukan dengan mengatur nilai register DDRB dan PORTB.
5. Inisialisasi ADC dilakukan untuk mengaktifkan fungsi ADC dengan mengatur register ADMUX dan ADCSRA.
6. Inisialisasi *timer* dilakukan untuk mengaktifkan fungsi *timer/counter* yang akan menghasilkan sinyal PWM dengan mengatur nilai register TCCR1A, TCCR1B dan TIMSK.
7. Masukan suhu melalui *keypad* 4x4 sebanyak 4 digit. Masukan ini adalah *set point* bagi sistem kontrol PI.
8. Kondisi dimana masukan suhu yang diinginkan telah sesuai maka pengguna dapat menekan tombol ENT untuk melanjutkan ke instruksi selanjutnya. Namun jika masukan suhu tidak sesuai atau terjadi salah tekan tombol maka pengguna dapat mengulangi proses memasukkan suhu melalui *keypad* 4x4 dengan menekan tombol MEN.
9. Mendapatkan nilai ADC sebagai variabel proses (PV) bagi sistem kontrol. Nilai ADC juga mengindikasikan suhu aktual dari *plant* tanur.
10. Proses perhitungan algoritma kontrol fase on-off.
11. Membangkitkan sinyal PWM dengan *duty cycle* yang bergantung pada nilai *timer* OCR1A.
12. Menampilkan suhu aktual dan suhu yang ingin dicapai (*set point*) pada LCD 16x2.
13. Kembali ke tahap pembacaan nilai ADC dan dilanjutkan ke tahap-tahap selanjutnya. Proses perulangan ini dilakukan selama mikrokontroler dalam keadaan bekerja (*power on*). Jika power mikrokontroler dimatikan maka program selesai.

3.4.1 Perancangan Sistem Kontrol Fase On-Off

Sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah kombinasi kontrol on-off dan kontrol fase. Secara garis besar struktur sistem kontrol tersebut yang terdiri dari 4 tahapan. Untuk lebih mudah memahami algoritma sistem kontrol yang dipakai pada penelitian ini, maka algoritma sistem kontrol fase on-off digambarkan dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram alir program kontrol fase on-off.

Berikut adalah penjelasan diagram alir program kontrol fase on-off yang ditunjukkan pada gambar 3.12:

1. Tahap pertama ($pv < (sp-30)$) merupakan tahap pemanasan yang dilakukan mulai dari awal (suhu ruang) hingga mencapai $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebelum *set-point*. Besarnya kecepatan tahap pemanasan bergantung pada tegangan yang diberikan pada elemen pemanas. Kecepatan tahap pemanasan dapat diatur oleh pengguna yang dimasukkan melalui *keypad* 4x4.
2. Tahap kedua ($(pv \geq (sp-30)) \ \& \ (pv < (sp-10))$) adalah tahap transisi antara tahap pemanasan dan tahap kontrol fase.

Tahap ini berlangsung mulai dari 30 °C sebelum *set-point* hingga 11 °C sebelum *set-point*. Tegangan yang diberikan pada elemen pemanas pada tahap ini besarnya 2 kali dari tegangan yang diberikan pada elemen pemanas saat tahap kontrol fase.

3. Tahap ketiga ($(pv \geq (sp-10)) \ \& \ (pv < sp)$) adalah tahap kontrol fase. Tahap ini berlangsung mulai dari 10 °C sebelum *set-point* hingga 1 °C sebelum *set-point*. Tegangan yang diberikan pada elemen pemanas pada tahap ini besarnya proporsional sebanding dengan besar nilai *set-point* yang ditetapkan.
4. Tahap keempat ($pv \geq sp$) adalah tahap kontrol off. Tahap ini terjadi jika suhu aktual sama dengan atau lebih besar dari *set-point*. Pada tahap ini tidak ada arus yang mengalir pada elemen pemanas. Hal ini dilakukan untuk segera menurunkan suhu dalam tanur jika telah melewati *set-point*.

3.5 Prosedur Penggunaan Alat

1. Langkah pertama penggunaan alat pengontrol suhu pada tanur temperatur tinggi ini yaitu kabel catu daya dihubungkan dengan sumber tegangan PLN dan kabel *power* untuk beban dihubungkan dengan sumber tegangan PLN yang ditandai dengan berputarnya kipas pendingin untuk SSR. Kemudian saklar *power* ditekan untuk mengaktifkan catu daya, sehingga membuat LCD menyala. Secara otomatis akan memulai proses inialisasi hingga berhenti pada mode *input* suhu.
2. Setelah sampai pada mode *input* suhu, suhu yang diinginkan dimasukkan melalui *keypad* 4x4 sebanyak 4 digit. Jika terjadi kesalahan penekanan tombol, maka tombol MEN dapat digunakan untuk memulai lagi proses *input* suhu.
3. Setelah 4 digit terpenuhi, tombol ENT ditekan untuk memulai proses pengontrolan suhu. Suhu akan naik sampai tercapai suhu yang diinginkan (*set-point*) pengguna.
4. Jika ingin merubah suhu yang diinginkan, tombol MEN dapat ditekan untuk kembali ke mode *input* suhu. Sedangkan tombol COR dapat ditekan jika pengguna ingin memulai kembali dari tampilan awal (*restart*).
5. Jika terjadi gangguan pada alat saat dijalankan, tombol reset

dapat ditekan. Posisi tombol reset berada di sebelah kiri saklar *power*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

