

50

PENGENDALIAN TEMPERATUR BERBASIS MIKROKOMPUTER

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

TJIE TJIN TJEN

Nomor Pokok : 011840132

NIRM : 873206710250295



**INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
SERPONG
1990**

INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

PENGENDALIAN TEMPERATUR BERBASIS MIKROKOMPUTER

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

TJIE TJIN TJEN

Nomor Pokok : 011840132

NIRM : 873206710250295

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi
persyaratan kurikulum sarjana strata satu (S1)


Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Industri

Serpong

Serpong, 28 April 1990

Mengetahui Oleh :

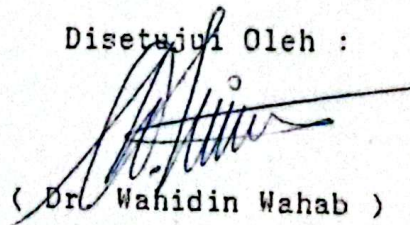


H. Lumbantoruan

(Hn. H. Lumbantoruan)

Jurusan Teknik Elektro

Disetujui Oleh :



(Dr. Wahidin Wahab)

Dosen Pembimbing

KATA PENGANTAR

Sebagai suatu persyaratan kurikuler yang berlaku di Jurusan Elektro Institut Teknologi Indonesia Serpong, maka tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akhir tahap pendidikan S-1.

Tugas akhir ini membahas persoalan pengendalian temperatur dengan menggunakan komputer digital. Persoalan semacam ini sangat menarik mengingat pesatnya perkembangan penggunaan komputer digital dalam bidang industri.

Dengan selesainya penulisan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada,

1. Dr. Wahidin Wahab, sebagai pembimbing, atas segala kesabaran dan perhatiannya dalam membimbing, menyusun dan memeriksa tugas akhir ini.

2. Kepada Ayah, Ibu serta saudara-saudaranya atas perhatian mereka sehingga terselesaikan tugas akhir ini.

Akhirnya perlu dikemukakan, bahwa tulisan ini masih banyak memiliki kekurangan, segala saran yang diberikan akan diterima dengan senang hati.

Jakarta, April 1990

T.T.T.

DAFTAR SIMBOL

Pada perangkat lunak pengendalian dipakai variabel-variabel berikut ini.

- b adalah penampungan hasil konversi masukan.
- a adalah faktor multiplikasi hasil konversi masukan.
- T adalah waktu cuplik.
- k_p adalah penguatan proporsional.
- k_i adalah penguatan integral.
- k_d adalah penguatan diferensial.
- c adalah nilai temperatur dalam derajat Celsius
- K_p adalah faktor proporsional.
- K_i adalah faktor integral.
- K_d adalah faktor diferensial.
- du adalah selisih keluaran pengendali.
- r adalah masukan acuan.
- cc adalah array temperatur.

DAFTAR ISI

BAB I.	PENDAHULUAN	1
BAB II.	PEMODELAN SISTEM KENDALI	4
2.1.	PEMODELAN SISTEM PEMANAS	5
2.2.	PEMODELAN RELAY	6
2.3.	PERCOBAAN LOOP TERBUKA	8
2.4.	ANALISIS PENGENDALI	10
2.4.1.	ANALISA DENGAN METODE TEMPAT KEDUDUKAN AZAR	11
2.4.2.	ANALISA DENGAN DIAGRAM POLAR	13
BAB III.	PERANCANGAN SISTEM KENDALI	16
3.1.	PERANGKAT KERAS	17
3.1.1.	DEKODER	18
3.1.2.	TEGANGAN ACUAN	19
3.1.3.	PPI	20
3.1.4.	ADC	22
3.1.5.	CLOCK	22
3.1.6.	RELAY	23
3.1.7.	SENSOR	24
3.2.	PERANGKAT LUNAK	25
BAB IV.	UJI COBA SISTEM KENDALI	31
BAB V.	KESIMPULAN	35

DAFTAR ACUAN	37
LAMPIRAN I : RANGKAIAN PENGENDALI TEMPERATUR	38
LAMPIRAN II : PERANGKAT LUNAK PENGENDALI	39

BAB I

PENDAHULUAN

Penggunaan komputer digital sebagai alat kendali proses industri merupakan hal yang penting mengingat dengan bantuan alat ini dapat dilakukan operasi yang teliti dan cepat. Salah satu penggunaannya adalah pada proses pengendalian terhadap temperatur. Pengendalian temperatur ini banyak digunakan dalam industri, misalnya, pada industri tekstil, dalam melakukan pencampuran zat pewarna diperlukan temperatur yang konstan sesuai dengan spesifikasi zat pewarna tersebut supaya didapatkan hasil pencampuran yang baik. Pada industri peleburan besi, baja besi perlu diberi temperatur yang tinggi mencapai titik lebur besi, dan harus dipertahankan temperatur yang tetap pada saat pencampuran bahan-bahan kimia lainnya.

Mengingat pentingnya pengendalian temperatur seperti yang telah diuraikan di atas, maka pada tugas akhir ini akan dibahas suatu sistem kendali temperatur dengan menggunakan sebuah komputer pribadi sebagai pengendalinya. Karena komputer merupakan suatu perangkat yang bekerja dengan sinyal digital, sedangkan temperatur merupakan besaran sinyal analog yang diukur, maka untuk dapat menghubungkan kedua jenis sinyal tersebut diperlukan sebuah rangkaian antar muka. Rangkaian ini

biasanya disebut konverter analog ke digital (A/D Converter). Tugas akhir ini terutama bertujuan untuk menerapkan teori sistem kendali digital ke dalam bentuk prakteknya. Pemodelan sistem kendali temperatur akan dilakukan untuk memperoleh fungsi alihnya, sehingga dapat dilakukan analisis secara teoritis dan kemudian dapat dicoba pada alat model yang dibuat. Untuk menghemat biaya, ketelitian pengendalian sedikit dikorbankan, dengan hanya digunakan konverter analog ke digital (A/D Converter) 8 bit dengan jangkah masukan -5 sampai +5 Volt. Untuk memperbaiki unjuk kerja sistem yang dikendalikan maka diperlukan pengendali PI (proporsional dan integral) yang dirancang dengan menggunakan analisis yang sesuai. Pengendali PI ini kemudian akan diprogramkan dalam bentuk perangkat lunak dalam bahasa PASCAL didalam komputer. Relay yang digunakan untuk menyalakan dan mematikan pemanas memberikan sifat yang tidak linier pada sistem kendali tersebut sehingga diperlukan analisa dengan describing function.

Penulisan tugas akhir ini dimulai dengan BAB II yang berisi pemodelan sistem kendali. Di sini dijelaskan bagaimana menentukan fungsi alih sistem temperatur yang akan dikendalikan dan penurunan describing function dari relay. BAB III berisi perancangan sistem kendali yang menjelaskan tentang perangkat keras dan lunak yang

digunakan dalam tugas akhir ini. BAB IV berisi uji coba sistem kendali untuk melihat unjuk kerja pengendalian dan diakhiri dengan BAB V yang berisi kesimpulan dari hasil percobaan pengendalian temperatur ini.

Pada bah ini akan dilakukan pemodelan sistem untuk mendapatkan fungsi alih sistem tersebut. Pemodelan dilakukan untuk satu bagian dengan bagian lainnya.

2.1. PENODELAN SISTEM PEMANAS

Fungsi alih sistem di atas dapat diturunkan berdasarkan azas Black yaitu :

Panas yang diterima air dan udara = panas yang diberikan pemanas

Jika dimisalkan bahwa dalam sistem ini digunakan notasi-notasi berikut ini.

$q(t)$ = daya dari pemanas

C = kapasitas panas cairan

$\theta(t)$ = temperatur cairan

θ_a = temperatur awal cairan

R = resistansi panas insulasi

maka menurut asas Black tersebut dapat dibentuk persamaan sebagai berikut :

$$C \frac{d(\theta(t)-\theta_a)}{dt} + \frac{\theta(t)-\theta_a}{R} = q(t)$$

Bila dilakukan transformasi Laplace, maka diperoleh persamaan berikut:

$$C (s\theta(s)-\theta(0)) + (\theta(s)/R) = Q(s)$$

Untuk mempermudah pemodelan harga $\theta(0)$ sebagai harga awal dapat dianggap nol, sehingga didapat fungsi alih antara temperatur dengan temperatur cairan dengan daya dari

pemanas sebagai berikut :

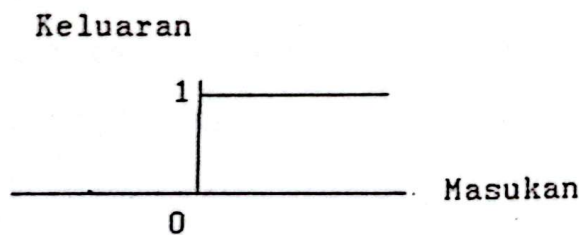
$$\frac{\theta(s)}{Q(s)} = \frac{R}{RCs + 1}$$

dimana:

RC = time constant dari sistem tersebut.

2.2. PEMODELAN RELAY

Penggunaan relay sebagai alat untuk menyalakan dan mematikan pemanas memberikan sifat yang tidak linier pada sistem . Karakteristik masukan-keluaran untuk relay digambarkan pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Karakteristik masukan-keluaran untuk relay.

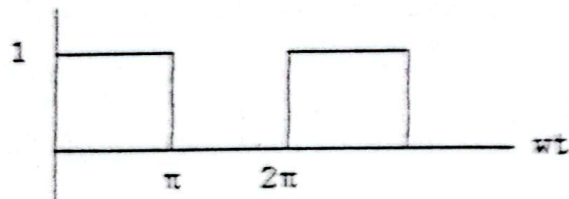
Sistem relay ini merupakan sistem non-linier dan dapat dinyatakan dengan describing-function, penurunan describing function dapat dilakukan berikut ini.

Misalkan sinyal masukan x kepada relay tersebut adalah sinusoidal:

$$x = A \sin wt,$$

maka bentuk keluarannya dapat digambarkan pada gambar 2.4 berikut ini.

Keluaran



Gambar 2.4 Bentuk keluaran relay.

Terlihat bahwa keluarannya merupakan fungsi periodik sehingga dapat ditulis dalam deret Fourier berikut ini.

$$y(t) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a_n}{n} \sin n\omega t + \frac{b_n}{n} \cos n\omega t \right)$$

Describing function untuk suatu sistem non linier didefinisikan sebagai perbandingan antara komponen dasar dari deret Fourier dengan sinyal masukan, sehingga dapat ditulis berikut ini.

$$N(M, \omega) = y_f / x$$

dimana y_f adalah komponen dasar dari deret Fourier dan x adalah sinyal masukan. Dari gambar 2.4 dapat dihitung bahwa $b_1 = 0$, didapat

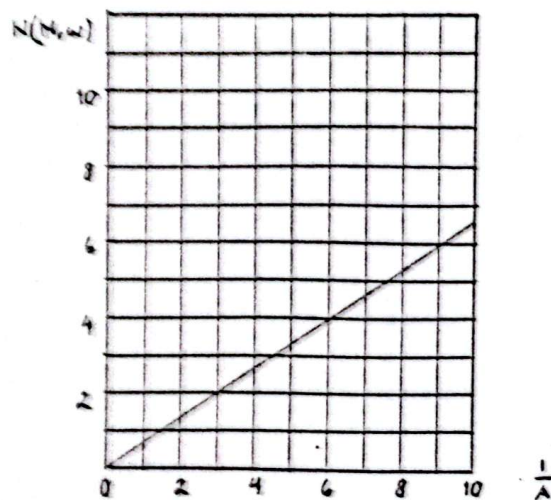
$$N(M, \omega) = a_1 / A.$$

Nilai N dapat dihitung berikut ini.

$$\begin{aligned} N(M, \omega) &= \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} \sin \omega t \, d(\omega t) \\ &= \frac{1}{\pi A} \left[\int_0^{\pi} \sin \omega t \, d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} \sin \omega t \, d(\omega t) \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{\pi A} (-\cos wt) \Big|_0^{\pi} = \frac{1}{\pi A} (1+1) = \frac{2}{\pi A}$$

Jadi describing function dari elemen on-off seperti relay ini adalah besaran yang real dan hanya merupakan fungsi dari amplitudo input A. Gambar describing function ini dengan $1/A$ digambarkan pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Grafik describing function.

2.3. PERCOBAAN LOOP TERBUKA

Percobaan ini diperlukan untuk menentukan nilai R dan time constant pada fungsi alih sistem loop terbuka. Pengetesan yang dilakukan dengan situasi dan kondisi berikut ini.

- temperatur cairan = 27,6 derajat Celsius
- masukan tegangan $u(t) = 210$ Volt
- berat cairan = 1000 gram

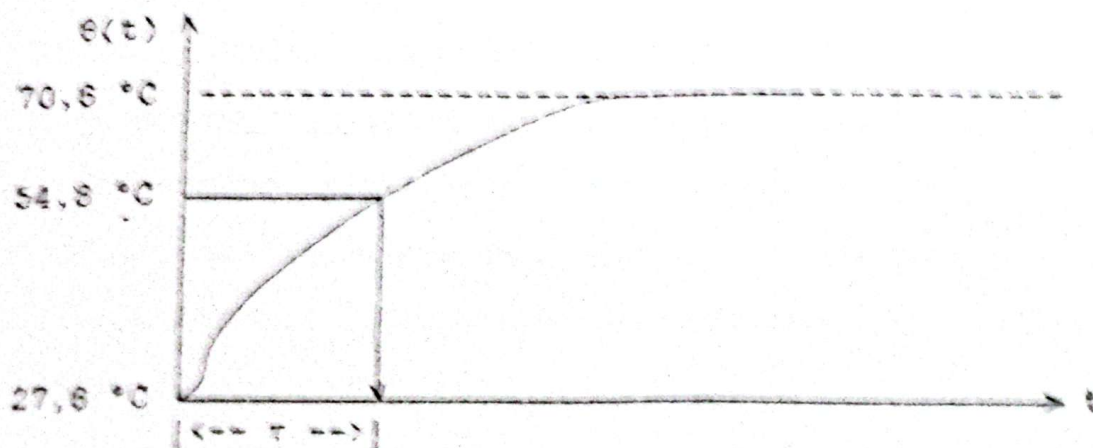
- pemanas dan sensor terletak satu garis lurus horizontal yang melewati diameter tabung yang tak bertutup

Pada saat $t = 0$ detik, pemanas dinyalakan dan sensor panas mengukur temperatur cairan.

Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar 2.6 berikut ini.

Tabel 2.1 Hasil pengamatan percobaan.

Waktu (detik)	Temperatur terukur (derajat Celsius)
0	27,6
34	31,5
44	35,4
81	39,3
146	43,2
246	47,1
342	51
450	54,9
559	58,8
704	62,7
843	66,6
1112	70,6



Gambar 2.6 Grafik hasil pengamatan percobaan.

Time constant sistem dari grafik adalah 447 detik. Karena

$Q(s) = k U(s)$, maka diperoleh :

$$G_p(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{k R}{RCs + 1} = \frac{R'}{RCs + 1}$$

Nilai $R' = kR$ merupakan faktor penguatan yang besarnya adalah $70,6/210 = 0,336$. Jadi fungsi alih sistem adalah :

$$G_p(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{0,336}{447 s + 1}$$

2.4. ANALISIS PENGENDALI

Bentuk blok diagram dari sistem temperatur ini digambarkan pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7 Blok diagram dari sistem temperatur.

dimana:

$G_c(s)$ adalah fungsi alih pengendali

N adalah describing function dari relay

ZOH adalah rangkaian penahan konversi masukan

$G_p(s)$ adalah fungsi alih sistem yang dikendalikan

Sistem dirancang agar mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- mengikuti kriteria integral dari hasil perkalian

waktu dengan error absolut (ITAE), untuk mendapatkan penampilan sistem yang optimum dengan rasio damping (γ) = 0,7

- time constant sistem (τ) = 300 detik

- berdasarkan buku acuan [2], waktu cuplik (T) yang baik untuk sistem temperatur adalah 15 detik.

2.4.1. ANALISA DENGAN METODE TEMPAT KEDUDUKAN AKAR.

Fungsi alih sistem yang dikendalikan didahului oleh ZOH adalah:

$$G_p(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-(15s)}}{s} \frac{0,336}{447s + 1} \right] = \frac{0,011}{z - 0,967} \quad (1)$$

Fungsi alih pengendali PI adalah:

$$G_c(z) = k_p + \frac{k_i}{1 - z^{-1}} \quad (2)$$

Fungsi alih sistem lingkaran terbuka adalah:

$$G(z) = G_p(z)G_c(z) \quad (3)$$

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh :

$$G(z) = \frac{(k_p + k_i) \left[z - \frac{k_p}{k_p + k_i} \right]}{z - 1} \left[\frac{0,011}{z - 0,967} \right] \quad (4)$$

Pole P dari sistem lingkaran tertutup terletak pada:

$$|z| = \exp \left[- \frac{2\pi}{\sqrt{1-\gamma^2}} \frac{w_d}{w_s} \right] \quad (5)$$

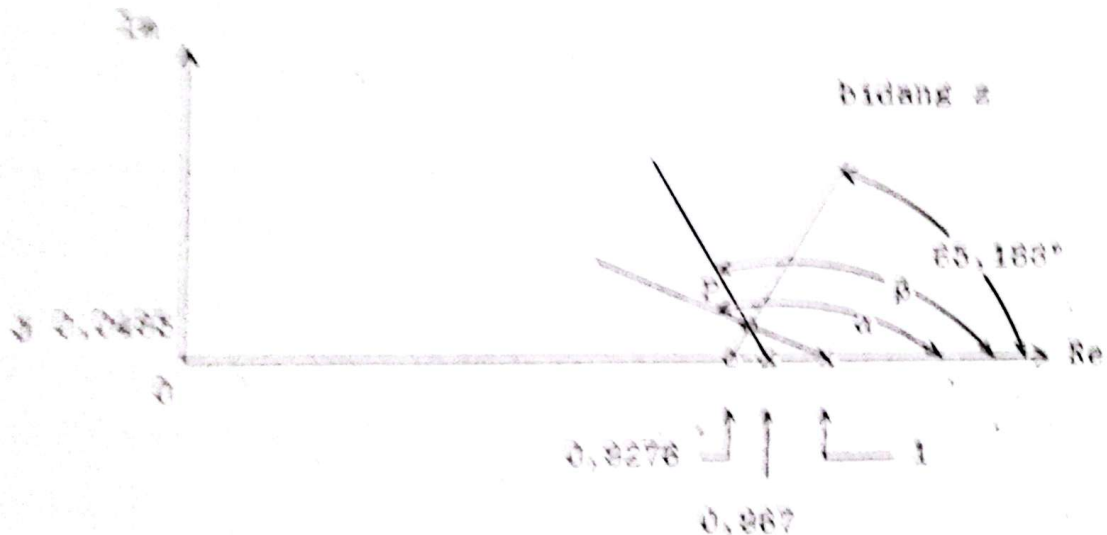
$$\text{Phase} = \frac{\partial \ln W(s)}{\partial s} \quad (B)$$

$$\text{dimana } W(s) = \sqrt{\frac{1}{s}} \left(\frac{1}{s} \right), \quad W(s) = \frac{1}{s}, \quad \text{dan } W(s) = \frac{2}{s}$$

Dari persamaan (B) dan (C) diperoleh :

$$s = 0,93 \pm j 0,1485$$

Daerah tempat kedudukan akar digambarkan pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Tempat kedudukan akar.

Sudut α antara titik P dengan pole $z = 1$ besarnya adalah $133,872^\circ$. Sudut β antara titik P dengan pole $z = 0,967$ besarnya adalah $109,318^\circ$. Jika P akan menjadi pole lingkaran tertutup maka kekurangan sudut pada titik P adalah:

$$-(109,318^\circ + 133,872^\circ) + 180^\circ = -65,188^\circ$$

Jadi zero dari pengendali harus menambahkan sudut sebesar

65,188 °. Ini berarti zero dari pengendali digital harus terletak pada titik $z = 0,9276$. Sehingga diperoleh :

$$\frac{k_p}{k_p + k_i} = 0,9276; \quad (7)$$

Nilai k_p dan k_i ditentukan dengan menggunakan kondisi besaran berikut ini.

$$|G(z)| = |G_p(z)G_c(z)| = 1, \text{ untuk } z = 0,95 + j 0,0485.$$

Sehingga dari persamaan (4) diperoleh :

$$|k_p + k_i| \left| \frac{z - 0,9276}{z - 1} \frac{0,011}{z - 0,967} \right| = 1 \quad (8)$$

$z = 0,95 + j 0,0485$

Dari persamaan (8) diperoleh :

$$k_p + k_i = 6,099 \quad (9)$$

Dari persamaan (7) dan (9) diperoleh.:

$$k_p = 0,9276 \cdot 6,099 = 5,6574$$

Dari persamaan (9) diperoleh :

$$k_i = 6,099 - k_p = 6,099 - 5,6574 = 0,4416$$

Jadi penguatan proporsional (k_p) = 5,6574 dan penguatan integral (k_i) = 0,4416.

2.4.2. ANALISA DENGAN DIAGRAM POLAR.

Dari persamaan (4) dan (7) fungsi alih sistem lingkaran terbuka adalah:

$$G(z) = \frac{0,0671 (z - 0,9276)}{(z - 1) (z - 0,967)}$$

Dalam bidang w fungsi ini berubah menjadi G(jw) dimana:

$$z = \frac{1+jwT/2}{1-jwT/2} = \frac{1+jw7,5}{1-jw7,5}$$

setelah dilakukan substitusi pada semua variabel z dan penyederhanaan didapat:

$$G(jw) = \frac{1807,5746w^2 + 0,812}{-0,245 - 48968,1577w^2} + \frac{jw(208,888w^2 + 0,0024)}{-0,245w^2 - 48968,1577w^4}$$

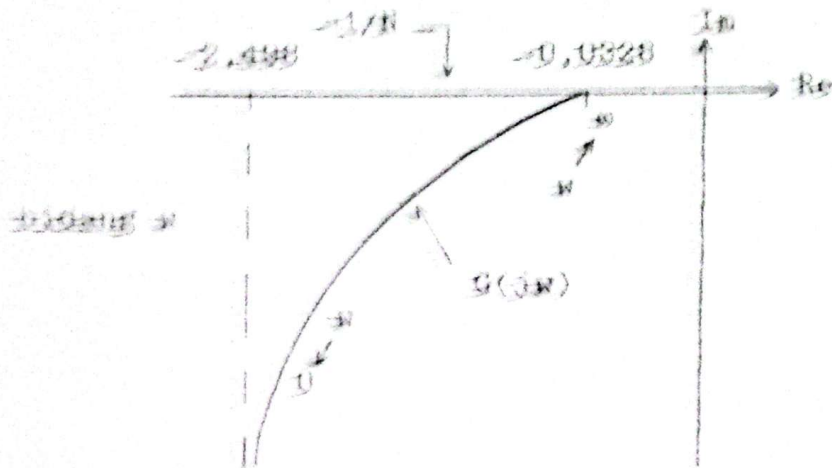
(10)

Bentuk grafik secara kasar dapat ditentukan dengan melihat sifatnya pada $w=0$ dan $w=\infty$,

$$\text{untuk } w = 0, \text{ maka } \lim_{w \rightarrow 0} G(jw) = -2,498 + j\infty = \infty \quad \left\{ -90^\circ \right.$$

$$\text{untuk } w = \infty, \text{ maka } \lim_{w \rightarrow \infty} G(jw) = -0,0328 + j0 = 0,0328 \quad \left\{ -180^\circ \right.$$

Dari persamaan (10) perpotongan dengan sumbu real didapat jika $\text{Im}(G(jw)) = 0$, adalah titik $z = -0,0328$ dan perpotongan dengan sumbu imajiner didapat jika $\text{Re}(G(jw)) = 0$, ternyata w bernilai imajiner berarti grafik tersebut tidak memotong sumbu imajiner. Bila describing function dari relay dan diagram polar dari sistem digabungkan dalam satu diagram, maka akan terlihat seperti gambar 2.9 berikut ini.



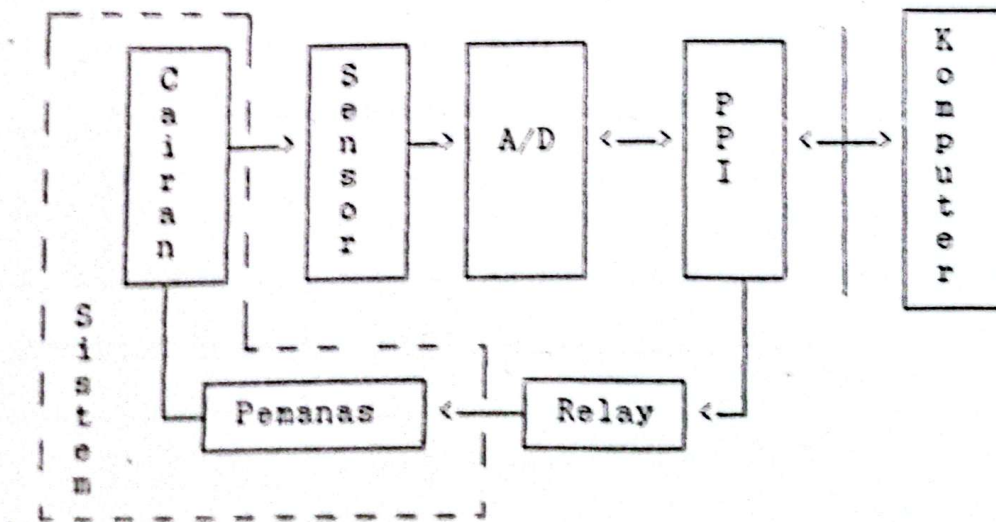
Gambar 2.9 Diagram polar sistem dan describing function relay.

Dari gambar ini terlihat ada sebuah titik perpotongan, maka berarti akan terjadi limit cycle. Pada frekuensi limit cycle tersebut sistem akan berosilasi.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM KENDALI

Supaya komputer dan sistem bisa berkomunikasi maka diperlukan rangkaian antar muka. Rangkaian utama dari rangkaian antar muka ini adalah rangkaian pengubah sinyal analog ke sinyal digital. Hal ini diperlukan karena pengendalian temperatur ini menggunakan komputer sebagai elemen pengendali digital sedangkan temperatur adalah besaran analog yang diukur. Peralatan ini biasanya disebut konverter analog ke digital (A/D Converter). Bagan dari perangkat keras digambarkan pada gambar 3.1 berikut ini.



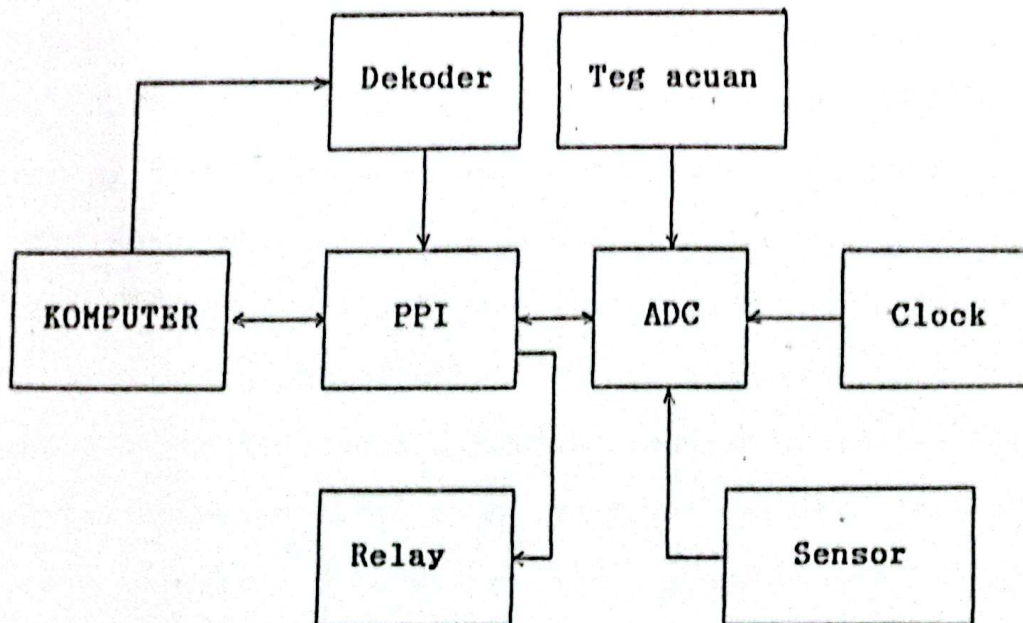
Gambar 3.1 Bagan dari perangkat keras.

Temperatur sistem yang terukur oleh sensor dalam

bentuk tegangan dikonversi ke bentuk bilangan biner oleh konverter lalu dibaca komputer melalui PPI (Programmable Peripheral Interface) yang telah diprogramkan lebih dahulu melalui perangkat lunak. Bilangan biner, lalu diubah ke nilai temperatur yang sesungguhnya oleh program yang ada dalam komputer. Komputer yang berisi pengendali PID dan temperatur yang dikehendaki melalui relay akan memutuskan apakah pemanas perlu dinyalakan atau tidak. Rangkaian lengkap perangkat keras diberikan pada lampiran 1 dan perangkat lunak yang lengkap diberikan pada lampiran 2.

3.1. PERANGKAT KERAS

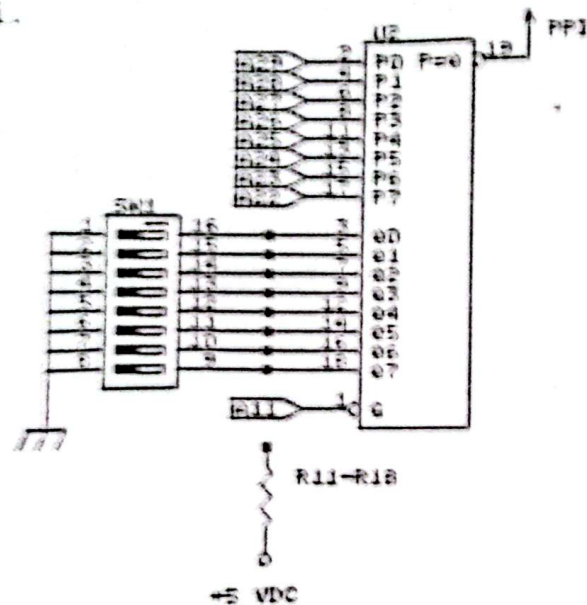
Blok diagram dari perangkat keras digambarkan pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Blok diagram dari perangkat keras.

3.1.1. DEKODER

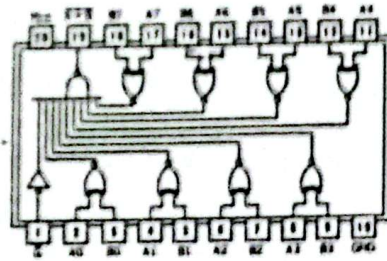
Rangkaian dekoder digambarkan pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Rangkaian dekoder.

Komponen 74LS688 yang merupakan komparator 8 bit bersama switch DIP-8 menentukan alamat kontrol komponen 8255. Alamat yang digunakan haruslah alamat memori komputer yang tidak digunakan oleh perangkat-perangkat keras komputer lainnya. Posisi switch menyatakan logika 0 atau 1, dan setelah melewati gerbang-gerbang logika XNOR bisa diketahui keluarannya 0 atau 1. Keluaran dari komponen ini menentukan aktif dan tidaknya komponen 8255 yang merupakan jembatan antara komputer dengan konverter. Jika 0 maka komponen 8255 akan mengenal alamat tersebut. Dengan demikian komputer bisa berhubungan dengan konverter. Kaki-kaki komponen digambarkan pada gambar

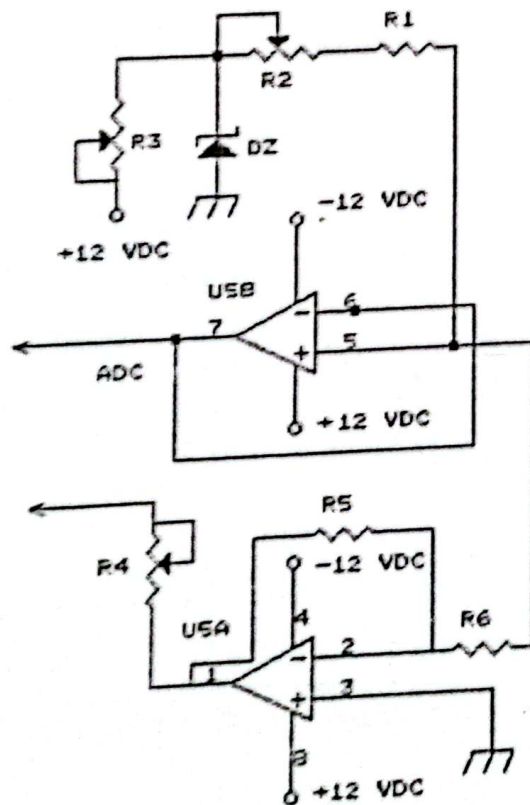
3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Kaki-kaki komponen 74LS688.

3.1.2. TEGANGAN ACUAN

Rangkaian tegangan acuan digambarkan pada gambar 3.5 berikut ini.



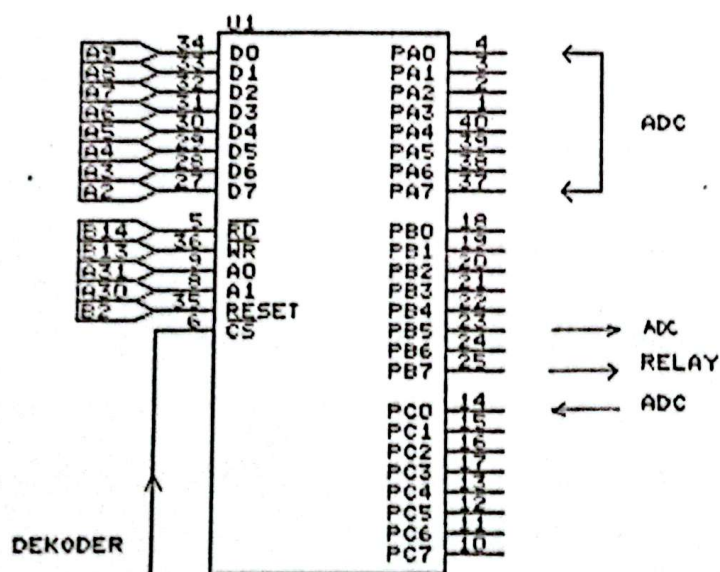
Gambar 3.5 Rangkaian tegangan acuan.

Dioda zener DZ bertegangan 6,9 Volt, merupakan sumber

tegangan yang konstan. Pasangan resistor R1 dan R2 akan menentukan tegangan acuan bagi komponen ADC 0800. Komponen LM358N berisi 2 buah penguat operasional U5A dan U5B. Penguat operasional U5B memberi tegangan +5 Volt dengan mengatur potensiometer R2 sedang penguat operasional U5A memberikan tegangan -5 Volt dengan mengatur potensiometer R4. Potensiometer R3 akan menentukan arus maksimum yang dapat disuplai ke rangkaian berikutnya.

3.1.3. PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE

Rangkaian PPI digambarkan pada gambar 3.6 berikut ini.

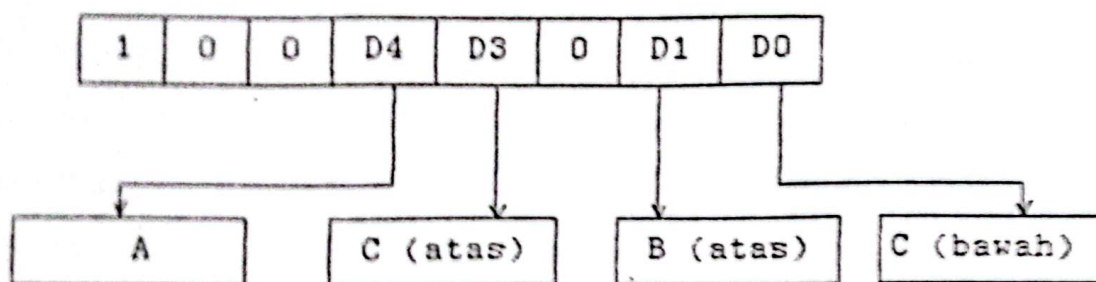


Gambar 3.6 Rangkaian PPI.

Pada rangkaian ini komponen 8255 dipakai dalam mode 0, yaitu mode masukan atau keluaran yang sederhana. Komponen 8255 ini mempunyai 3 terminal yaitu A, B, dan C yang

masing-masing terdiri dari 8 bit. Masing-masing terminal dapat diprogram menjadi masukan atau keluaran. Khusus untuk terminal C, 4 bit atas dan bawah dapat menjadi input atau output. Untuk komponen ini diperlukan satu alamat kontrol dan pada peralatan yang sudah dibuat ada pada alamat 03C3 heksadesimal. Alamat untuk terminal A adalah 03C0, alamat terminal B adalah 03C1, dan alamat terminal C adalah 03C2. Cara pemrograman PPI untuk mode 0 diberikan pada tabel 3.1 berikut ini.

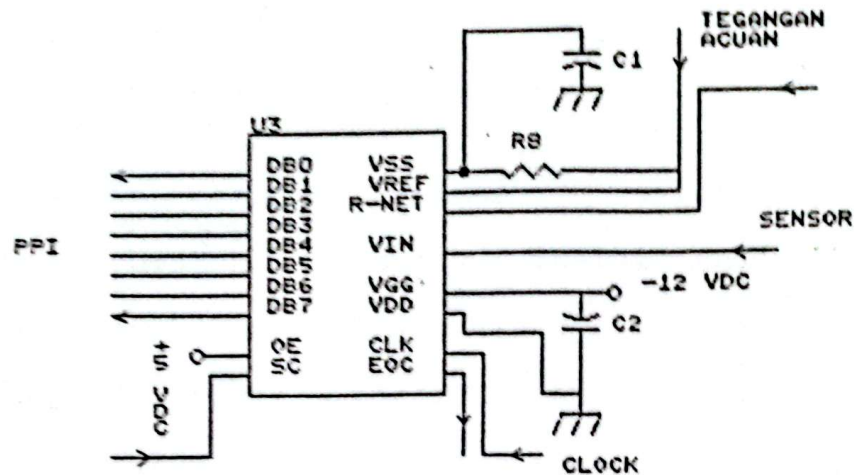
Tabel 3.1 Cara pemrograman PPI.



Jika bernilai 1 maka fungsinya sebagai masukan dan sebaliknya jika bernilai 0 maka fungsinya sebagai keluaran. Untuk percobaan ini terminal A dan C diprogram sebagai masukan sedang terminal B sebagai keluaran. Terminal A membaca hasil konversi masukan sensor, bit 0 pada terminal C memeriksa apakah konverter sudah selesai melakukan konversi, bit 5 pada terminal B memerintahkan komponen ADC untuk melakukan konversi sedang bit 7 pada terminal yang sama akan menggerakkan relay.

3.1.4. ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

Rangkaian ADC digambarkan pada gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Rangkaian ADC.

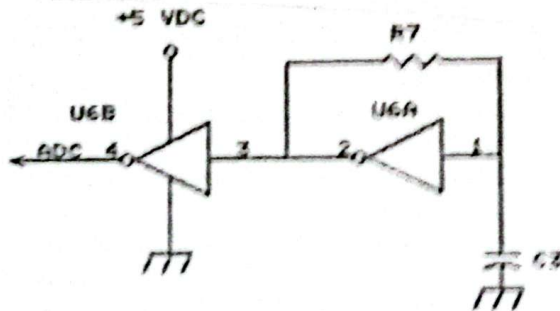
Komponen ADC yang dipakai adalah dari tipe ADC 0800, mempunyai jangkah masukan -5 sampai +5 Volt, satu kanal masukan, 8 bit data, dan tipe konversinya adalah aproksimasi berturutan. Dengan data-data diatas dapat dihitung bahwa untuk konverter ini :

$$1 \text{ LSB} = \frac{10}{2^8} \text{ Volt} = 0,039 \text{ Volt}$$

dimana LSB (Least Significant Bit) adalah bit yang berbobot terkecil dari konverter.

3.1.5. CLOCK

Rangkaian clock digambarkan pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Rangkaian clock.

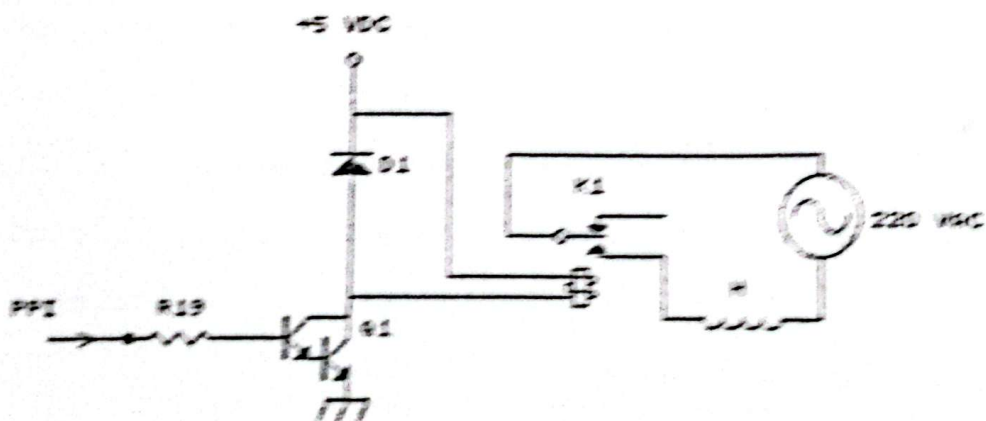
Komponen 40106 bersama R7 dan C3 digunakan sebagai rangkaian pembentuk gelombang. Bentuk gelombang yang dihasilkan digunakan sebagai clock bagi komponen ADC. Clock yang diberikan sebesar 100 KHz. Nilai R7 dan C3 menentukan frekwensi clock tersebut. Rumus frekwensi untuk rangkaian clock yang dipakai adalah:

$$f_{\text{clock}} = \frac{1}{0,7 RC} \text{ (Hertz)}$$

dimana R dalam satuan Ohm dan C dalam satuan Farad.

3.1.6. RELAY

Rangkaian relay digambarkan pada gambar 3.8 berikut ini.

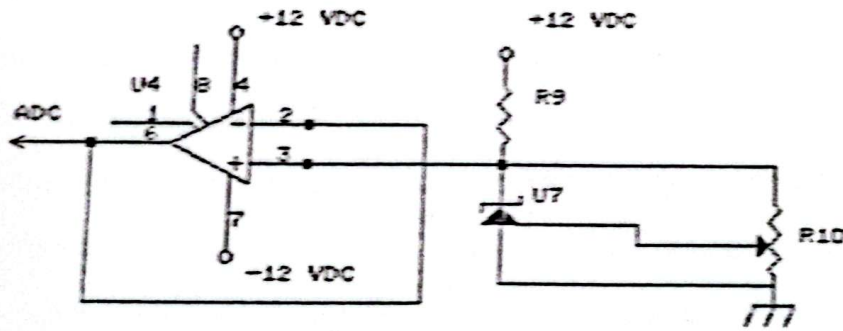


Gambar 3.8 Rangkaian relay.

Karena arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh PPI sangat kecil maka dipergunakan transistor TIP 110 untuk memperkuat arus supaya dapat menggerakkan relay. Komponen R19 dipakai untuk membatasi arus keluar dari PPI. D1 dipakai karena adanya beban induktif dalam hal ini relay.

3.1.7. SENSOR

Rangkaian sensor digambarkan pada gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3.10 Rangkaian sensor.

LM335Z yang dipakai sebagai sensor akan menghasilkan kenaikan tegangan sebesar 10 miliVolt untuk setiap kenaikan 1 derajat Kelvin. LM308J berfungsi sebagai penyangga antara sensor dengan masukan tegangan komponen ADC. Dari keterangan bagian ADC dan sensor yang dipakai dapat dihitung :

$$\text{Resolusi konverter} = \frac{0,039}{0,01} \approx 4 \frac{\text{derajat Celsius}}{\text{LSB}}$$

Jadi konverter hanya dapat mendeteksi setiap kenaikan 4

derajat Celsius.

3.2. PERANGKAT LUNAK

Perangkat lunak pengendalian ini ditulis dengan menggunakan bahasa TURBO PASCAL Versi 4.0 sebagai program utama, 3 buah prosedur dan 1 buah fungsi dalam kode mesin yang ditulis dengan MICROSOFT MACRO ASSEMBLER 4.0. Program utama dibuat dalam bahasa tinggi untuk mempermudah modifikasi jika ada perubahan terhadap sistem yang dikendalikan, misalnya perubahan waktu cuplik, perubahan pada pengendali yang dipakai. Sedangkan prosedur dan fungsi ditulis dalam bahasa rendah karena ada proses-proses yang membutuhkan waktu yang singkat pada pelaksanaannya, misalnya untuk melakukan proses konversi dan mengendalikan pemanas. Bentuk diskrit dari pengendali PID yang dipakai diuraikan berikut ini.

Bentuk pengendali PID yang analog adalah:

$$u(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right]$$

dengan $e(t) = r(t) - c(t)$,

dimana:

k_p adalah penguatan proporsional

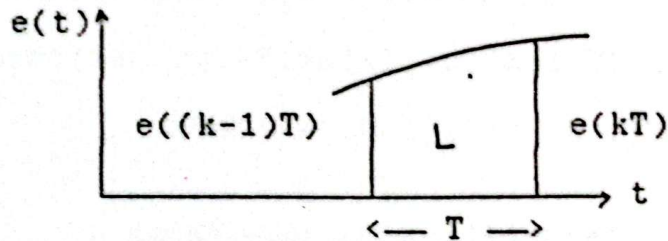
$e(t)$ adalah masukan pengendali

$r(t)$ adalah masukan acuan

$c(t)$ adalah harga dari variabel yang dikontrol

$u(t)$ adalah keluaran pengendali

Pengendali integral menggunakan metoda pendekatan trapesium. Untuk setiap cuplikan luas integrasi dapat dihitung sebagai berikut :



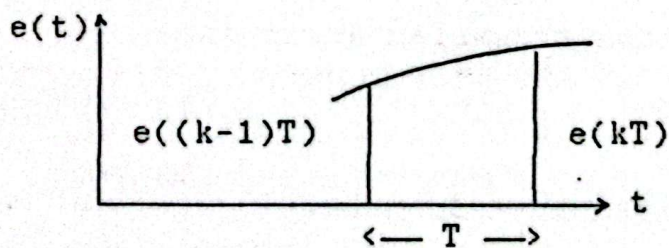
$$L = \frac{T}{2} (e(kT) + e((k-1)T)).$$

Sehingga hasil integrasi sampai cuplikan ke kT adalah :

$$L = \sum_{n=1}^k \frac{T}{2} (e((n-1)T) + e(nT)).$$

$$= T \left(\frac{e(0) + e(T)}{2} + \frac{e(T) + e(2T)}{2} + \dots + \frac{e((k-1)T) + e(kT)}{2} \right)$$

Pengendali differensial menggunakan metoda perbedaan 2 titik . Untuk setiap cuplikan berlaku :



$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{e(kT) - e((k-1)T)}{T}$$

Maka bentuk pengendali PID yang diskrit adalah:

$$u(kT) = k_p(e(kT) + \frac{T}{T_i} (\frac{e(0)+e(T)}{2} + \frac{e(T)+e(2T)}{2} + \dots + \frac{e((k-1)T)+e(kT)}{2}) + T_d \frac{e(kT)-e((k-1)T)}{T})$$

dimana $e(kT) = r(kT) - c(kT)$.

Misalkan $du(kT) = u(kT) - u((k-1)T)$ dan

$r(kT) = r((k-1)T) = r((k-2)T)$, maka diperoleh :

$$du(kT) = K_p(e((k-1)T) - c(kT)) + K_i(r(kT) - c(kT)) + K_d(2e((k-1)T) - c((k-2)T) - c(kT))$$

dimana:

$du(kT)$ = selisih keluaran pengendali

$K_p = k_p - 0,5K_i$ = faktor proporsional

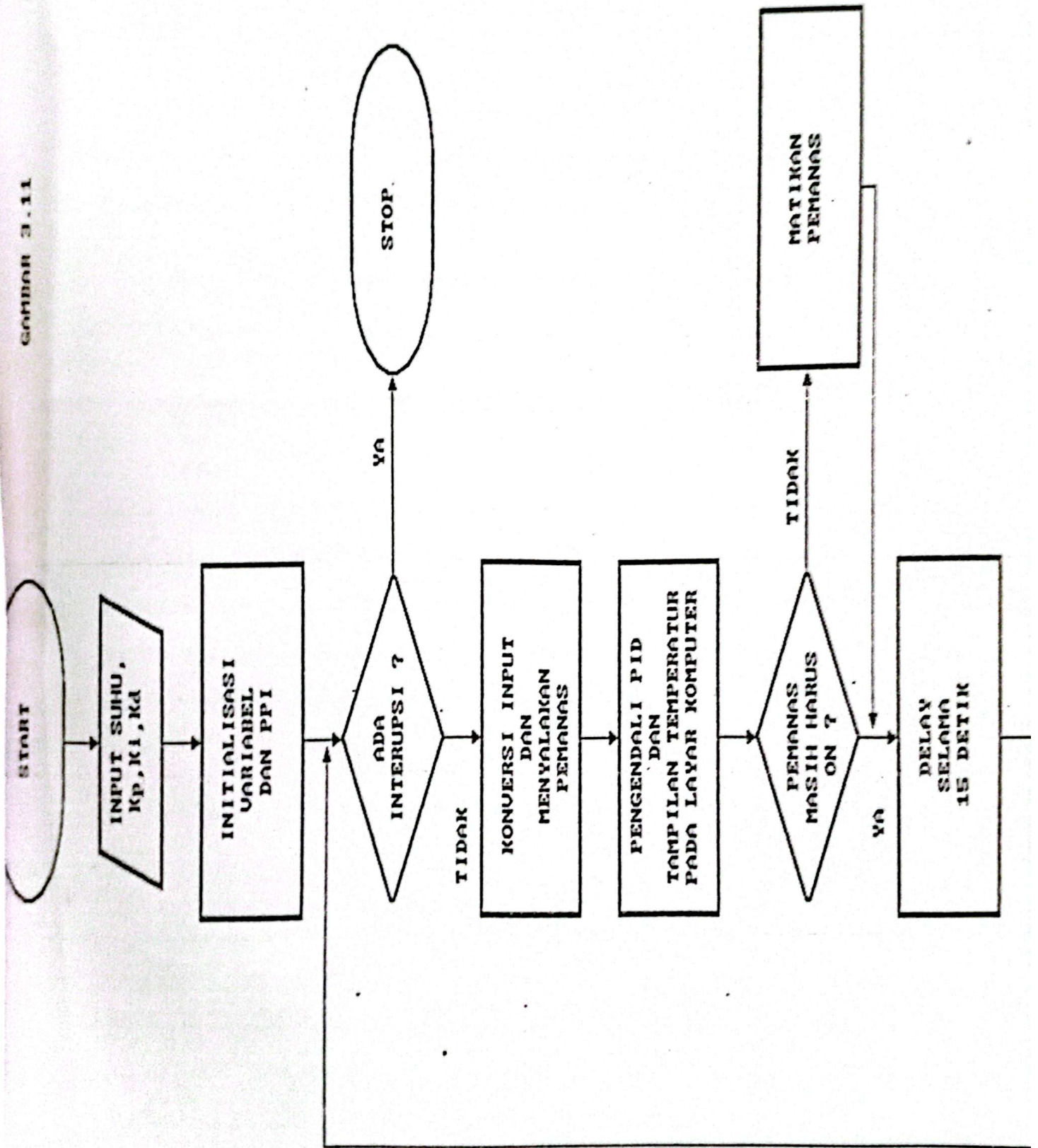
$K_i = (k_p * T) / T_i = k_i * T$ = faktor integral

$K_d = (k_p * T_d) / T = k_d / T$ = faktor diferensial

Untuk percobaan ini hanya pengendali proporsional dan integral yang dipakai. Bagan alir perangkat lunak digambarkan pada gambar 3.11 berikut ini.

Perintah untuk melakukan masukan temperatur diberikan berikut ini.

```
clrscr;
writeln('PENGENDALIAN TEMPERATUR ');
writeln;
write('Masukkan harga temperatur: ');
readln(r);
write('Masukkan harga kp: ');
readln(kp);
write('Masukkan harga ki: ');
readln(ki);
```



```
write('Masukkan harga kd: ');  
readln(kd);
```

Perintah dimulai dengan membersihkan layar dan melakukan permintaan untuk memasukkan temperatur yang diminta, dilanjutkan dengan nilai kp, ki, dan kd.

Perintah untuk menginisialisasi variabel dan PPI diberikan berikut ini.

```
co[2]:=0;  
co[1]:=0;  
a:=1;  
setup;  
lagi:
```

Nilai co[2] dan co[1] diberikan nol karena konversi baru akan dimulai. Variabel a adalah faktor multiplikasi hasil konversi. 'Setup' adalah prosedur dalam bahasa assembly untuk melakukan konfigurasi terminal-terminal A, B, dan C dari PPI. Label 'lagi' diperlukan untuk melakukan konversi yang baru.

Perintah untuk melakukan konversi diberikan berikut ini.

```
b:=konversi(a);  
c:=(((b-128)/256)*1000)-273.2;
```

Fungsi 'konversi' yang ditulis dalam bahasa assembly bertugas menyalakan pemanas, memberi sinyal konversi, menunggu adanya sinyal berakhirnya konversi dari konverter, dan memberikan hasil konversi ke variabel b. Hasil tersebut lalu diolah ke bentuk derajat Celsius.

Perintah pengendali PID diberikan berikut ini.

```
co[0]:=c;  
T:=15;  
Kp:=kp-0.5*ki*T;  
Ki:=ki*T;  
Kd:=kd/T;  
du:=Kp*(co[1]-co[0])+Ki*(r-co[0])+Kd*(2*co[1]-co[2]-  
co[0]);
```

Rumusan diatas telah dibahas pada permulaan bab ini.

Perintah tampilan layar diberikan berikut ini.

```
gotoxy(1,10);  
writeln('Temperatur yang terukur:',c:5:1,'Celsius');  
co[2]:=co[1];  
co[1]:=co[0];
```

Gotoxy adalah salah satu prosedur yang sudah tersedia pada compiler TURBO PASCAL gunanya mencetak karakter pada koordinat (x,y). Pergeseran isi variabel dilakukan setelah adanya pencuplikan yang baru.

Perintah pengendalian pemanas diberikan berikut ini.

```
if du <= 0 then stop;
```

Pemanas akan terus dalam keadaan on jika $du > 0$. 'Stop' adalah prosedur dalam bahasa assembly yang akan mematikan pemanas tersebut.

Perintah tunda diberikan berikut ini.

```
delay;  
goto lagi;
```

Prosedur 'delay' yang ditulis dalam bahasa assembly memberikan delay sebesar 15 detik sebelum mencuplik data yang baru.

BAB IV

UJI COBA SISTEM KENDALI

Dalam ujicoba ini ditentukan beberapa nilai temperatur yang dikehendaki dan akan dilihat hasil pengendaliannya. Seperti yang telah dikemukakan pada BAB 3.1. bahwa peralatan ini hanya dapat mendeteksi perubahan sebesar 4 derajat Celsius maka akan diperhatikan juga bagaimana sifat pengendaliannya jika nilai temperatur yang diminta berada diantara kenaikan temperatur yang terdeteksi oleh konverter.

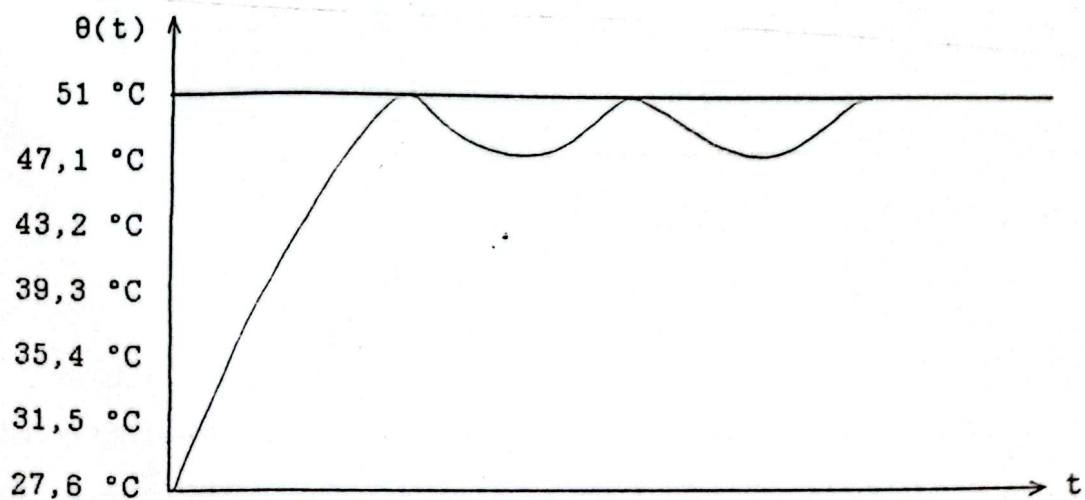
Pengujian yang pertama dilakukan pada :

Temperatur cairan yang dikehendaki = 51 ° C

Hasil pengamatan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil pengamatan untuk 51 ° C.

Waktu (menit)	Temperatur terukur (derajat Celsius)
0 - 0,25	27,6
0,5	31,5
0,75 - 1,5	35,4
1,75 - 2,5	39,3
2,75 - 4,52	43,2
4,77 - 6,28	47,1
6,53 - 7,28	51
7,53 - 10,55	47,1
10,8 - 11,82	51
12,07 - 16,33	47,1
16,58 - 17,85	51
18,03 - 21,62	47,1



Gambar 4.1 Grafik hasil pengamatan untuk 51 ° C.

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa pengendalian berlangsung dengan baik, adanya temperatur yang turun karena terbatasnya ketelitian konverter.

Pengujian yang kedua dilakukan pada :

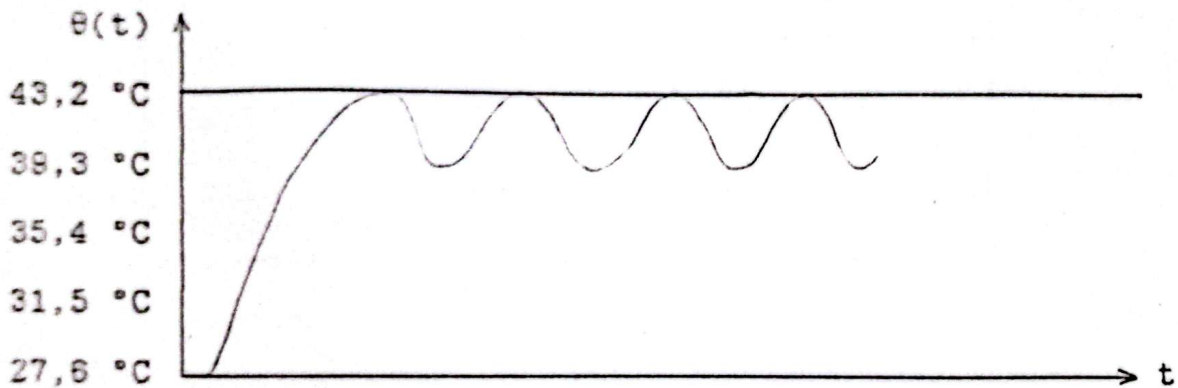
• Temperatur cairan yang dikehendaki = 43,2 ° C

Hasil pengamatan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.2 dan gambar 4.2 :

Tabel 4.2 Hasil pengamatan untuk 43,2 ° C.

Waktu (menit)	Temperatur terukur (derajat Celsius)
0 - 0,82	27,6
1,07	31,5
1,32 - 2,07	35,4
2,32 - 3,32	39,3
3,57 - 5,08	43,2
5,33 - 6,58	39,3
6,83 - 8,85	43,2
9,1 - 10,62	39,3
10,87 - 13,63	43,2

13,88	-	15,38	39,3
15,63	-	18,65	43,2
18,93	-	20,67	39,3
20,92	-	25,2	43,2



Gambar 4.2 Grafik hasil pengamatan untuk 43,2 ° C.

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa pengendalian berlangsung dengan baik, adanya temperatur yang turun karena terbatasnya ketelitian konverter.

Pengujian yang ketiga dilakukan pada :

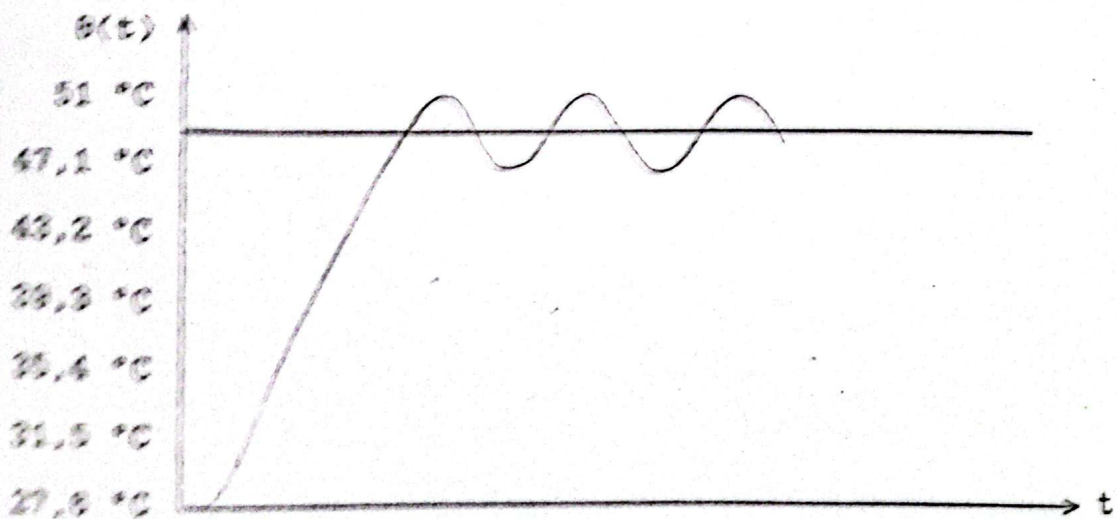
Temperatur cairan yang dikehendaki = 49 ° C

Hasil pengamatan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.3 :

Tabel 4.3 Hasil, pengamatan untuk 49 ° C.

Waktu (menit)	Temperatur terukur (derajat Celsius)
0 - 0,53	27,6
0,78 - 1,03	31,5

1,28	-	1,78	35,4
2,03	-	2,78	38,3
3,03	-	4,53	43,2
4,78	-	6,8	47,1
7,05	-	7,82	51
8,07	-	8,57	47,1
8,82	-	9,82	51
10,07	-	10,83	47,1
11,08	-	12,33	51
12,58	-	13,33	47,1
13,58	-	14,35	51
14,6	-	15,1	47,1
15,35	-	16,62	51
16,87	-	17,62	47,1
17,87	-	18,87	51
19,12	-	19,88	47,1
20,13	-	21,83	51,0



Gambar 4.3 Grafik hasil pengamatan untuk 48 ° C.

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa pengendalian berlangsung dengan cukup baik, temperatur tidak dapat menunjukkan nilai yang dinamis karena merupakan temperatur antara.

BAB V

KESIMPULAN

- * Sistem yang dikendalikan adalah sistem non linier ON/OFF.
- * Pengendalian menggunakan sistem kendali digital memanfaatkan komputer.
- * Pemodelan sistem pengaturan temperatur memberikan fungsi alih orde satu sehingga tanggapan keluarannya lambat.
- * Ketelitian pengendalian ditentukan oleh resolusi konverter analog ke digital yang digunakan.
- * Pengendalian temperatur menunjukkan hasil yang baik untuk temperatur-temperatur yang dapat dideteksi oleh konverter, sedangkan untuk temperatur-temperatur antara hasilnya cukup baik.

Kelebihan sistem kendali ini adalah :

- * Sistem memiliki tanggapan terhadap perubahan temperatur yang cepat.
- * Sistem pengendalian mudah dimodifikasi karena adanya perangkat lunak dalam komputer.

Kekurangan sistem kendali ini adalah :

- * Temperatur-temperatur antara yang tidak dapat dideteksi dengan baik sebagai akibat penggunaan konverter

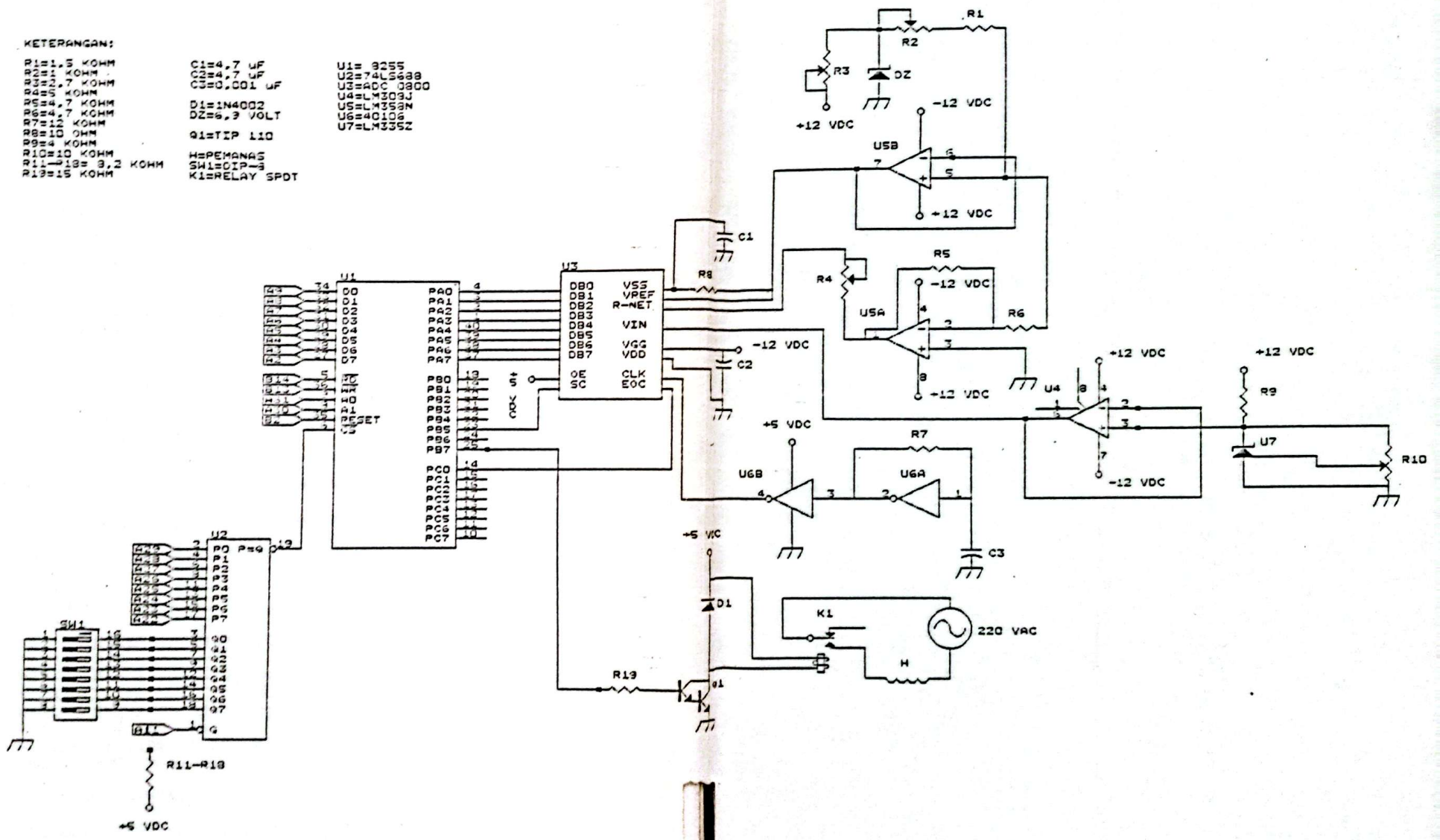
analog ke digital 8 bit yang hanya memiliki resolusi 4 derajat Celsius.

DAFTAR ACUAN

1. KUO, B.C., Digital Control Systems, Holt-Saunders International Editions., 1980.
2. OGATA, K., Discrete-Time Control Systems, Prentice Hall International Editions., 1987.
3. OGATA, K., Modern Control Engineering, Prentice Hall International Editions., 1970.
4. VAN DE VEGTE, J., Feedback Control Systems, Prentice Hall International Editions., 1990.
5. BORLAND INTERNATIONAL, Turbo Pascal Owner's Handbook., 1987.
6. NATIONAL SEMICONDUCTOR CORP, Linear Data Book., 1978.
7. IBM CORP, The IBM Personal Computer XT Technical Reference Manual., 1983.

KETERANGAN:

- | | | |
|-----------------|---------------|--------------|
| R1=1.5 KOHM | C1=4.7 uF | U1= 3255 |
| R2=1.5 KOHM | C2=4.7 uF | U2=74L069B |
| R3=2.7 KOHM | C3=0.001 uF | U3=ADCC 0800 |
| R4=5 KOHM | | U4=L4303J |
| R5=4.7 KOHM | D1=1N4002 | U5=L4353N |
| R6=4.7 KOHM | D2=6.3 VOLT | U6=40106 |
| R7=1.5 KOHM | | U7=L4335Z |
| R8=10 KOHM | Q1=TIP 110 | |
| R9=10 KOHM | H=PEMANAS | |
| R10=10 KOHM | SW1=DP-3 | |
| R11=18 3,2 KOHM | K1=RELAY SPDT | |
| R12=15 KOHM | | |



LAMPIRAN 1

Rangkaian pengendali temperatur		
Size Document Number	TRIPLE T/01/TA	
3		
Date:	May 13, 1990	Sheet 1 of 1

LAMPIRAN II. PERANGKAT LUNAK PENGENDALI.

* Program utama:

```
program Kendali;
uses
  crt;
var
  b:longint;
  a:integer;
  T,kp,ki,kd,c,Kp,Ki,Kd,du,r:real;
  co:array[0..2] of real;
label
  lagi;
procedure delay;external;
{$! delay.obj}
procedure setup;external;
{$! setup.obj}
procedure stop;external;
{$! stop.obj}
function konversi(x:integer):integer;external;
{$! konversi.obj}
begin
;
;*****
;*
;* nilai temperatur, kp, ki, dan kd      *
;*
;*
;*****
;
  clrscr;
  writeln('PENGENDALIAN TEMPERATUR ');
  writeln;
  write('Masukkan harga temperatur: ');
  readln(r);
  write('Masukkan harga kp: ');
  readln(kp);
  write('Masukkan harga ki: ');
  readln(ki);
  write('Masukkan harga kd: ');
  readln(kd);
;
;*****
;*
;*  inisialisasi variabel & PPI          *
;*
;*
;*****
;
```

```

    co[2]:=0;
    co[1]:=0;
    a:=1;
    setup;
    lagi:
;
;*****
;*
;* konversi input ke derajat Celsius dan *
;* menyalakan pemanas *
;*
;*****
;
    b:=konversi(a);
    c:=(((b-128)/256)*1000)-273.2;
;
;*****
;*
;* pengendali PID *
;*
;*****
;
    co[0]:=c;
    T:=15;
    Kp:=kp-0.5*ki*T;
    Ki:=ki*T;
    Kd:=kd/T;
    du:=Kp*(co[1]-co[0])+Ki*(r-co[0])+Kd*(2*co[1]-
        co[2]-co[0]);
;
;*****
;*
;* tampilan temperatur yang terukur pada *
;* layar dalam derajat Celsius *
;*
;*****
;
    gotoxy(1,10);
    writeln('Temperatur yang terukur:',c:5:1,'Celsius');
    co[2]:=co[1];
    co[1]:=co[0];
;
;*****
;*
;* waktu delay untuk konversi berikut *
;* dan mematikan heater jika du <= 0 *
;*
;*****
;

```

```

if du <= 0 then stop;
delay;
goto lagi;

```

* Program untuk melakukan setup pada PPI:

```

code      segment byte public 'code'
          assume cs:code,ds:code
          public setup
setup      proc near
          push bp
          mov  bp,sp
;
;*****
;*
;* 03c3h = alamat untuk PPI
;* Terminal A untuk input
;* Terminal B untuk output
;* Terminal C untuk input
;*
;*****
;
          mov  al,10011001b
          mov  dx,03c3h
          out  dx,al
          pop  bp
          ret
setup      endp
code       ends
          end    setup

```

* Program untuk melakukan konversi dari input dan
menyalakan pemanas:

```

code      segment byte public 'code'
          assume cs:code,ds:code
          public konversi
konversi   proc near
          push bp
          mov  bp,sp
;

```

```

;*****
;*
;* 03c1h = alamat untuk terminal B dari *
;* PPI *
;* *
;*****
;
lagi:      mov     al,10100000b
           mov     dx,03c1h
           out     dx,al
           mov     cx,5
delay:     loop   delay
           mov     al,80h
           mov     dx,03c1h
           out     dx,al
;
;*****
;*
;* 03c2h = alamat untuk terminal C dari *
;* PPI *
;* *
;*****
;
eoch:      mov     dx,03c2h
           in      al,dx
           test    al,00000001b
           jnz     endo
           jmp     eoch
;
;*****
;*
;* 03c0h = alamat untuk terminal A dari *
;* PPI *
;* *
;*****
;
endo:      mov     dx,03c0h
           mov     ax,0
           in      al,dx
           not     al
           mov     bx,ax
           mov     ax,[bp]+4
           mul     bx
           pop     bp
           ret     2
konversi  endp
code      ends
end        konversi

```


* Program untuk mematikan pemanas:

```
code      segment byte public 'code'
          assume cs:code,ds:code
          public stop
stop      proc near
          push bp
          mov  bp,sp
lagi:     mov  al,00000000b
          mov  dx,03c1h
          out  dx,al
          pop  bp
          ret
stop      endp
code      ends
          end    stop
```

* Program untuk melakukan delay:

```
code      segment byte public 'code'
          assume cs:code
          public delay
delay     proc near
          mov  cx,273
d1:       push  cx
          ;
          ;*****
          ;*
          ;* interrupt lah untuk mengatur *
          ;* timer dari komputer yang dipakai *
          ;*
          ;*****
          ;
          mov  ah,0
          int  lah
d2:       push  dx
          mov  ah,0
          int  lah
          pop  bx
          cmp  bx,dx
          je   d2
          pop  cx
          loop d1
          ret
delay     endp
```

code ends
 end delay