

**PENGENDALIAN SUHU PADA JAKET PENGHANGAT SUHU TUBUH
MENGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Yolanda Adi Setiawan

NIM. 125060307111038

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warohmatulloh Wabarokaatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW selaku suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan yang baik ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- Keluarga tercinta, Bapak Paryogi dan Ibu Sutiami yang selalu memberikan kasih sayang, support dan doa yang tiada akhir. dan seluruh keluarga yang juga memberikan support serta doa. Kakakku Devi Yayanti A, yang selalu membantu dan memberi semangat.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol, selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, masukan, serta saran yang telah diberikan selama bimbingan.
- Ibu Rini Nur Hasanah, Dr.,ST, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu dalam memberi bimbingan akademik.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T. selaku Kepala Laboratorium Sistem Kontrol yang telah meluangkan banyak waktunya untuk kemajuan lab sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak waktu, ilmu, masukan, dan kesabaran dalam membimbing.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staf recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.
- Mbak Eka selaku Laboran Lab. Sistem Kontrol atas bimbingannya saat menggunakan alt Lab. Sistem Kontrol.
- Keluarga Besar Lab Siskon, Mas Rozi, Mas Emon, Mas Dimas, Mas Tesu, Mas Zainudin, Mas Mirza, Dennis, Andri, Yudha, Naufal, Afif, Indra, Hilmi, Sura, Zaini,

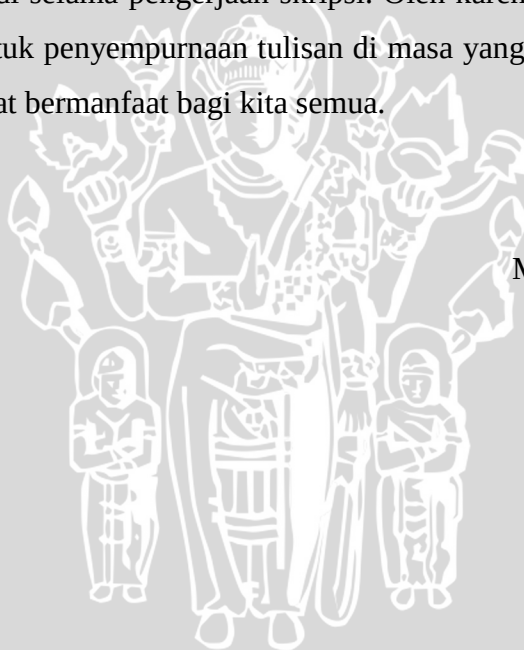
Rifan, Iqbal, Yuda, Diana dan Ana terima kasih telah memberikan banyak bantuan serta pengetahuan dalam belajar dan berkreasi.

- Teman-teman HME FT UB yang telah memberi banyak pengalaman baru dalam keorganisasian dan memberikan banyak motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Teman-teman Yogie, Afif, Danang, Driean, Hylmi, Galang, yg selalu memberi bantuan dan memberikan banyak pengalaman di waktu kuliah.
- Tak lupa keluarga besar VOLTAGE'12, yang telah memberikan banyak kenangan dan pengalaman.
- Teman-teman Vinolia Mas Yayak, Bram, Habib, Mifta, Muslim, yang selalu memberikan banyak semangat dalam menyelesaikan skripsi ini .
- Tak lupa Wahyu Endah Wijayanti terimakasih atas segala kebaikan dan kesabarannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis juga berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Agustus 2016

Penulis



RINGKASAN

YOLANDA ADI SETIAWAN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, ...2016, *Pengendalian suhu pada jaket penghangat suhu tubuh menggunakan kontroler PID berbasis Arduino*, Dosen Pembimbing: Purwanto dan Erni Yudaningtyas.

Suhu tubuh yang normal diperlukan untuk sel-sel tubuh agar dapat berfungsi secara efektif. Suhu tubuh mencerminkan keseimbangan antara pembentukan dan pengeluaran panas. Bila suhu turun dibawah suhu tertentu maka pembentukan panas ditingkatkan, laju metabolisme meningkat, otot-otot ditegangkan dan tubuh menggigil. Suhu tubuh yang terlalu ekstrim bisa menyebabkan kematian. Tanda –tanda klinis hipotermia adalah menggigil hebat, merasa dingin dan kedinginan, pucat, dingin kulit seperti lilin, hipotensi, keluaran urine menurun, koordinasi otot berkurang, disorientasi dan mengantuk yang mengarah ke koma. Beberapa waktu terakhir banyak kasus-kasus Hipotermia yang sudah banyak memakan korban terutama pada para pendaki gunung. Pakaian yang tidak dapat melindungi tubuh secara maksimal dari udara dingin di gunung adalah salah satu penyebab Hipotermia di gunung yang terjadi saat ini. Seiring dengan perkembangan teknologi, dibuatlah suatu alat berupa jaket penghangat suhu tubuh dengan menggunakan kontroler PID berbasis Arduino untuk mengatasi masalah Hipotermia pada suhu udara yang sangat dingin. Teknik kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan teknik kendali yang banyak diterapkan di bidang industri pada saat ini. Pada kontroler ini terdapat tiga mode yaitu *proporsional*, *integral* dan *deferensial* (PID). Dalam proses pengontrolan suhu pada jaket akan mengalami kesulitan dalam mencapai kendalian yang sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan, untuk itu kontroler PID digunakan karena kesederhanaan struktur serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya. Penentuan parameter-parameter yang sesuai agar mendapatkan respon keluaran sistem yang stabil dapat dilakukan dengan metode tuning PID *Ziegler Nichols* agar dapat mengendalikan atau menjaga agar suhu jaket akan tetap sesuai *setpoint* yg diharapkan. Pada penggunaan kontroler PID didapatkan nilai parameter $K_p = 70.2$, $K_i = 17.5$, dan $K_d = 70.2$, sehingga dapat mempercepat sistem untuk mencapai keadaan *steadystate* sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan berupa suhu 40°C, 35°C, dan 30°C.

Kata Kunci: Jaket Pemanas, Suhu dingin, Kontroler PID, *Ziegler Nichols* 1.

SUMMARY

YOLANDA ADI SETIAWAN, Electrical Engineering Department Engineering Faculty Brawijaya University...2016, [*The Temperature Control In A Heated Jacket Of Body Temperature Using Pid Controller Based On Arduino*](#). Dosen: Purwanto and Erni Yudaningtyas.

A normal body temperature is used for body cells to function effectively. A body temperature reflects a balance between formation and expulsion of heat. If the temperature is low under the significant temperature, the heat formation will be upgraded, the metabolism rate will rise, the muscle will be tensed, and the body will shiver. The body temperature which is too extreme can lead of death. The clinical signs of hypothermia are shivering, feeling cold and chill, being pale, cold skin like wax, hypertension, decreasing urine production, reducing muscle coordination, being disorientation, and drowsiness leading to coma. Lately, there were many Hypothermia cases which have burned into sacrifices, especially for mountaineers. The suit which is not able to protect maximally from cold weather is one of Hypothermia cases nowadays. Along with technology development, a heated jacket of body temperature using PID controller based on Arduino is made for solving Hypothermia problem at identical cold temperature. Technique of Proportional Integral Derivative (PID) control is a technique which is applied in many industries currently. In this controller, there are three modes which are proportional, integral, and derivative (PID). In process of controlling temperature in jacket will sustain a trouble to gain control which is appropriate for setpoint which is needed. Therefore, the simplicity of PID controller structure in process of tuning parameter control is needed. To determine the right parameters for getting respond of unchanging output system is possible to do by tuning PID Ziegler Nichols to be able to control or keep the jacket temperature which will be suitable for setpoint which is expected. In using PID controller, the amount of parameter is $K_p = 70.2$, $K_i = 17.5$, and $K_d = 70.2$, so it can accelerate the system to complete steady state which is appropriate with set point which has been determined in the form of temperature 40°C , 35°C , and 30°C .

Keywords: heated jacket, cold temperature, PID controller, Ziegler Nichols 1.

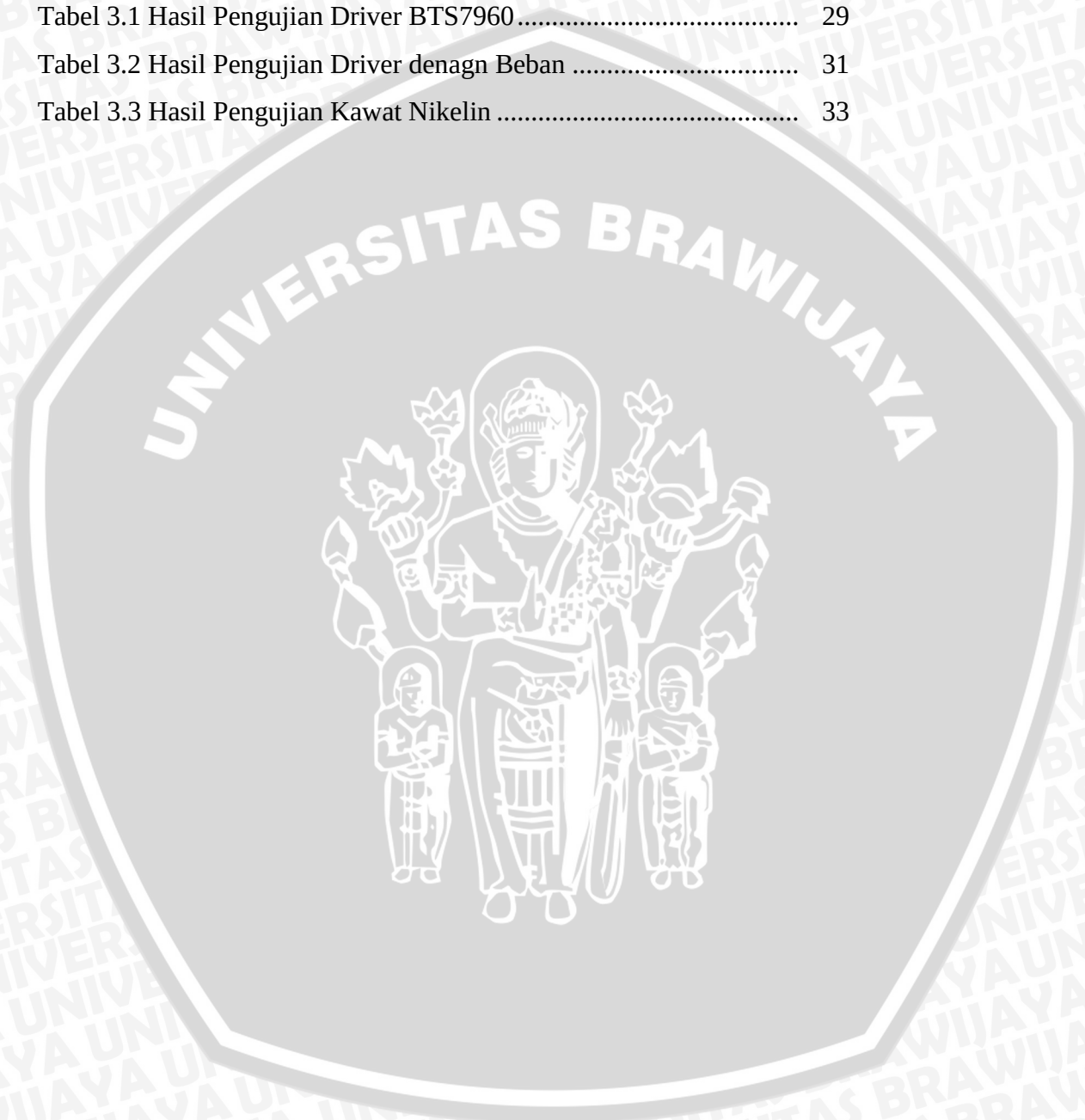
DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
RINGKASAN.....	iii
SUMMARY	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengaruh Temperatur Pada Tubuh Manusia	5
2.2 Plant	5
2.3 Kawat Nikelin.....	6
2.4 Driver BTS 7960	7
2.5 Sensor Suhu DS18B20	7
2.6 Arduino Uno	8
2.6.1 Daya.....	9
2.6.2 Memori	9
2.6.3 Input dan Output.....	9
2.6.4 Komunikasi	10
2.7 Liquid Crystal Display (LCD).....	11
2.8 Kontroler	12
2.9 Kontroler PID	13

2.9.1	Kontroler Proporsional	13
2.9.2	Kontroler Integral	14
2.9.3	Kontroler Diferensial	15
2.9.4	Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)	16
2.9.5	Metode Kontroler PID	17
BAB III METODE PENELITIAN.....		21
3.1	Metode Penelitian	21
3.2	Penyusunan Blok Diagram Sistem	22
3.3	Spesifikasi Desain.....	24
3.4	Pembuatan Perangkat Keras	24
3.5	Spesifikasi Alat.....	25
3.6	Prinsip Kerja Sistem	27
3.7	Karakterisasi Driver BTS7960 43A	28
3.8	Karakterisasi Driver BTS7960 dengan Kawat Nikelin 24V	30
3.9	Karakterisasi Kawat Nikelin.....	32
3.10	Karakterisasi Sensor Suhu	33
3.11	Mencari Parameter PID	34
3.12	Pengujian Keseluruhan Sistem	37
3.13	Flowchart Keseluruhan Sistem.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Pengujian Sistem Dengan Kontroler PID	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.1	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN		52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh Temperatur Pada Tubuh Manusia	5
Tabel 2.2 Daftar fungsi pin LCD.....	12
Tabel 2.3 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols 1	19
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Driver BTS7960.....	29
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Driver denagn Beban	31
Tabel 3.3 Hasil Pengujian Kawat Nikelin	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Plant Jacket Penghangat	6
Gambar 2.2 Kawat Nikelin	6
Gambar 2.3 Driver BTS7960	7
Gambar 2.4 Sensor Suhu DS18B20	7
Gambar 2.5 Arduino Uno	8
Gambar 2.6 Liquid Crystal Display (LCD)	11
Gambar 2.7 Blok Diagram Liquid Crystal Display (LCD)	11
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Proporsional	14
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Integral	15
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Diferensial	15
Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler PID	17
Gambar 2.12 Kurva Respon Unit Step	18
Gambar 2.13 Respon Plant Terhadap Masukan Beberapa Unit Step ...	18
Gambar 2.14 Kurva Respon S	19
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	23
Gambar 3.3 Skema Pembuatan Perangkat Keras	25
Gambar 3.4 Arduino Uno	25
Gambar 3.5 Driver BTS7960	26
Gambar 3.6 Kawat Nikelin	26
Gambar 3.7 Sensor Suhu DS18B20	26
Gambar 3.8 Plant Jacket	27
Gambar 3.9 Grafik perubahan tegangan output driver BTS7960	29
Gambar 3.10 Grafik perubahan tegangan rata-rata output Driver	31
Gambar 3.11 Grafik sensor Suhu DS18B20	34
Gambar 3.12 Grafik Karakteristik statis gain	35
Gambar 3.13 Kurva Respon S	36
Gambar 3.14 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols	37
Gambar 3.15 Grafik Output Plant dengan Respon Kurva S	38
Gambar 3.16 Flowchart keseluruhan sistem	39
Gambar 4.1 Grafik output plant setpoint 40°C tanpa gangguan	42
Gambar 4.2 Grafik output plant setpoint 40°C gangguan 13°C	42
Gambar 4.3 Grafik output plant setpoint 40°C gangguan 5°C	43

Gambar 4.4 Grafik output plant setpoint 35°C tanpa gangguan.....	44
Gambar 4.5 Grafik output plant setpoint 35°C gangguan 13°C	44
Gambar 4.6 Grafik output plant setpoint 35°C gangguan 5°C	45
Gambar 4.7 Grafik output plant setpoint 30°C tanpa gangguan.....	46
Gambar 4.8 Grafik output plant setpoint 30°C gangguan 13°C	46
Gambar 4.9 Grafik output plant setpoint 30°C gangguan 5°C	47



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suhu tubuh manusia berkisar antara 36-37°C. Suhu tubuh yang normal diperlukan untuk sel - sel tubuh agar dapat berfungsi secara efektif. Suhu tubuh mencerminkan keseimbangan antara pembentukan dan pengeluaran panas. Bila suhu tubuh diatas suhu tubuh normal maka mekanisme pengeluaran panas lebih dominan. Bila suhu tubuh turun di bawah suhu tertentu maka pembentukan panas ditingkatkan, laju metabolisme meningkat, otot - otot ditegangkan dan tubuh menggigil. Panas diproduksi tubuh melalui proses metabolisme. Produksi panas dalam tubuh bisa juga berubah akibat penyakit ataupun stress. Suhu tubuh yang terlalu ekstrim bisa menyebabkan kematian. Tubuh yang sehat mampu memelihara suhu tubuh secara konstan walaupun kondisi lingkungan berubah-ubah. Kulit mempunyai lebih banyak reseptor untuk dingin dan hangat dibanding reseptor pada bagian tubuh lain. (Guyton, C., 2012)

Hipotermia adalah suatu kondisi dimana mekanisme tubuh untuk pengaturan suhu kesulitan untuk mengatasi tekanan suhu dingin. Tubuh manusia mampu mengatur suhu pada suhu normal antara 36-37°C. Diluar suhu tersebut, respon tubuh untuk mengatur suhu akan aktif menyeimbangkan produksi panas dan kehilangan panas dalam tubuh. Apabila suhu tubuh di bawah batas normal. Kematian biasanya terjadi saat suhu tubuh turun hingga dibawah 35°C. Pada Hipotermia berat, pingsan dan bahkan koma mungkin terjadi, yang selanjutnya menekan aktivitas mekanisme kontrol panas dan mencegah menggigil. Tanda - tanda klinis Hipotermia adalah menggigil hebat, merasa dingin dan kedinginan, pucat, dingin kulit seperti lilin, keluaran urine menurun, koordinasi otot berkurang, disorientasi dan mengantuk yang mengarah ke koma. (Elsevier, 2012).

Beberapa waktu terakhir banyak kasus-kasus Hipotermia yang sudah banyak memakan korban terutama pada para pendaki gunung. Pakaian yang tidak dapat melindungi tubuh secara maksimal dari udara dingin di gunung adalah salah satu penyebab Hipotermia di gunung yang terjadi saat ini.

Teknik kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan teknik kendali yang banyak diterapkan di bidang industri pada saat ini. Pada kontroler ini terdapat tiga mode yaitu *proporsional*, *integral* dan *deferensial* (PID). Dalam proses pengontrolan suhu pada jaket akan mengalami kesulitan dalam mencapai kendalian yang sesuai dengan *setpoint* yang

diinginkan, untuk itu kontroler PID digunakan karena kesederhanaan struktur serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya. Penentuan parameter-parameter yang sesuai agar mendapatkan respon keluaran sistem yang stabil dapat dilakukan dengan metode tuning PID *Ziegler Nichols* agar dapat mengendalikan atau menjaga agar suhu jaket akan tetap sesuai *setpoint* yg diharapkan.

Pada skripsi ini akan membahas bagaimana cara merancang alat berupa perangkat keras dan perangkat lunak berbasis Arduino pada pengendalian suhu pada jaket pemanas dengan pengendali PID untuk mengatasi dan mencegah masalah Hipotermia pada suhu udara yang sangat dingin.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dapat ditekan pada :

- a) bagaimana cara merancang hardware dan software sistem kontroler suhu pada jaket penghangat tubuh menggunakan kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID).
- b) bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada jaket penghangat tubuh menggunakan kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) agar dapat mempercepat respon sistem.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas terbatas pada beberapa pembatasan masalah berikut ini.

1. Plant yang dikendalikan adalah plant jaket.
2. Proses yang dilakukan hanyalah pemanas saja dan suhu plant dianggap merata di daerah Jaket.
3. Suhu yang dijadikan referensi perhitungan adalah suhu dari hasil pembacaan sensor suhu.
4. Sensor suhu hanya membaca suhu pada jaket.
5. Tidak membahas suhu tubuh lebih mendalam.
6. Jangkauan pengaturan suhu jaket adalah 30° C sampai 40°C dengan step 5°C.
7. Menggunakan kontroler PID pada sistem.
8. Pengendali PID diterapkan menggunakan Ardiuno.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah membuat alat berupa jaket pemanas dengan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk mengatasi dan mencegah masalah Hipotermia.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III Metode Penelitian

Berisi tentang metode penelitian dan perencanaan alat serta pengujian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Membahas hasil pengujian sistem, simulasi sistem dan analisis data secara keseluruhan terhadap alat yang telah direalisasikan

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan berdasarkan hasil yang sudah diperoleh dari tujuan, perancangan, dan pengujian. Selain itu terdapat juga saran untuk melakukan pengembangan dan perbaikan terhadap alat.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Temperatur Pada Tubuh Manusia

Suhu udara dianggap nikmat bagi orang Indonesia ialah sekitar 24°C sampai 26°C . Batas kecepatan angin secara kasar yaitu 0,2 sampai 0,5 m/dt. Keseimbangan panas suhu tubuh manusia selalu dipertahankan hampir konstan/menetap oleh suatu pengaturan suhu pada tubuh manusia. Suhu menetap ini adalah akibat keseimbangan antara panas yang dihasilkan didalam tubuh sebagai akibat metabolisme dan pertukaran panas diantara tubuh dan lingkungan sekitar. Dalam hal ini darah sangat berperan dalam membawa panas dari tubuh dalam ke kulit sehingga panas dihamburkan kesekitarnya. Pengaruh temperatur pada tubuh manusia ditunjukan pada Tabel 2.1 (Pengawasan K3 lingkungan, Departemen tenaga kerja dan transmigrasi R.I.).

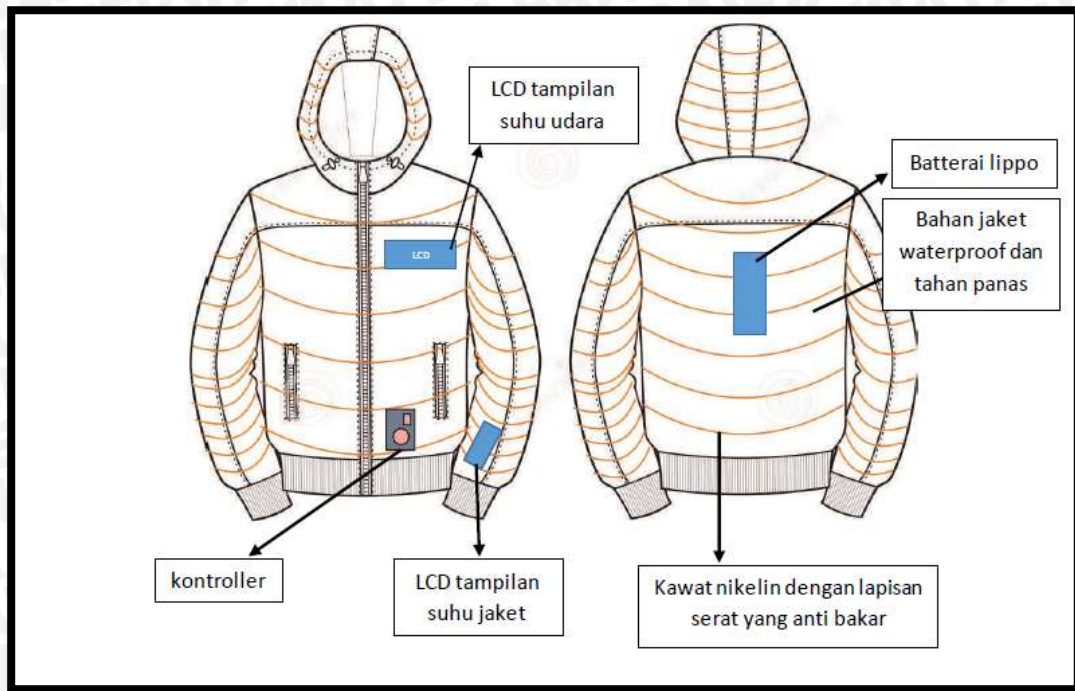
Tabel 2.1 Pengaruh Temperatur Pada Tubuh Manusia

Temperatur	Keterangan
$\pm 49^{\circ}\text{C}$	Dapat tahan sekitar 1 jam tetapi jauh diatas tingkat kemampuan fisik dan mental
$\pm 30^{\circ}\text{C}$	Aktifitas mental dan daya tangkap mulai menurun dan cenderung untuk membuat kesalahan dalam bekerja dan menimbulkan kelelahan fisik
$\pm 24^{\circ}\text{C}$	Kondisi optimum
$\pm 10^{\circ}\text{C}$	Kelelahan fisik yang ekstrim mulai muncul

(Sumber : Tjitro, 2004)

2.2 Plant

Plant yang digunakan adalah berupa jaket yang dapat menghangatkan tubuh di udara dingin agar dapat mencegah dan terhindar dari Hipotermia. *Plant* dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Plant jaket penghangat

2.3 Kawat Nikelin

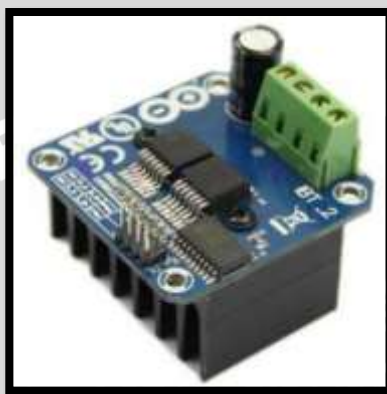
Kawat nikelin merupakan kawat penghantar panas yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. Kawat nikelin dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Kawat Nikelin

2.4 Driver BTS 7960

Pada plant jaket penghangat suhu tubu terdapat kawat nikelin sebagai pemanas dalam jaket. Namun karena catu Kawat Nikelin mempunyai range tegangan 0-24 V sehingga dibutuhkan *driver* untuk memaksimalkan kinerja kawat nikelin saat menghasilkan panas yang diinginkan. Untuk *driver* plant sendiri menggunakan *high current 30A dc driver (two high current half bridge infineon BTS 7960 chip)*. Driver BTS7960 dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Driver BTS7960
(Sumber:datasheet Future Electronics)

2.5 Sensor Suhu DS18B20

Sensor adalah sesuatu yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik atau kimia. Sensor suhu merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi setiap perubahan suhu. Pada perancangan sistem ini saya menggunakan sensor suhu DS18B20 adalah *digital thermometer*, dimana keluaran sensor berupa data digital berupa sinyal pulsa yang mengindikasikan suhu tertentu. Di bawah adalah gambar sensor DS18B20, jenis biasa dan *waterproof*. Range DS18B20 dari -55°C hingga 125°C. Sensor DS18B20 Pin-pin nya adalah pin 1 = output, pin 2 = 5V, pin 3 = GND. Sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sensor Suhu DS18B20
(Sumber: datasheet DS18B20)

2.6 Arduino Uno

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin *digital input/output* (6 di antaranya dapat sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah *adaptor* AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya. Arduino Uno ditunjukkan dalam Gambar 2.5.

Uno berbeda dengan semua *board* sebelumnya dimana tidak menggunakan *chip driver* FTDI USB-to-serial. Sebagai gantinya, mengutamakan Atmega16U2 (Atmega8U2 untuk versi R2) diprogram sebagai konverter USB-to-serial.



Gambar 2.5 Arduino Uno R3

(Sumber: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>)

Nama “Uno” berarti satu dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian *board* USB Arduino, dan sebagai model referensi untuk *platform* Arduino, untuk perbandingan dengan versi sebelumnya.

2.6.1 Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis). Daya eksternal (non-USB) dapat berasal baik dari AC-ke-DC *adaptor* atau baterai. *Adaptor* ini dapat dihubungkan dengan menancapkan *plug jack* pusat-positif ukuran 2,1 mm ke *jack power* pada *board*. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin *header* dari konektor *power*. Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk *board* Uno adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5V Uno dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, *regulator* tegangan bisa panas dan dapat merusak *board* Uno.

Pin daya adalah sebagai berikut:

- Vin : Tegangan masukan kepada *board* Arduino ketika itu menggunakan sumber daya eksternal (sebagai pengganti dari 5 volt koneksi USB atau sumber daya lainnya).
- 5V : Catu daya digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya. Sebuah pasokan 3,3 volt dihasilkan oleh *regulator on-board*.
- 3,3V : Suplai tegangan 3,3 volt dihasilkan oleh *regulator* pada *board*. Arus maksimum yang dapat digunakan adalah 50 mA.
- GND : Pin *ground*.
- IOREF : Pin ini pada *board* Arduino menyediakan tegangan referensi dimana mikrokontroler bekerja.

2.6.2 Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk *bootloader*), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM.

2.6.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin *digital* di Uno dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()* dan *digitalRead()*, beroperasi dengan daya 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal *pull-up resistor* (secara default terputus) dari 20-50 kOhm.

Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

- *Serial*: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) TTL data serial. Pin ini dihubungkan ke pin yang berkaitan dengan *chip* Serial ATmega8U2 USB-to-TTL.

- *Interrupts Eksternal*: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu *interrupt* pada nilai yang rendah, dengan batasan tepi naik atau turun, atau perubahan nilai.
- *PWM*: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Menyediakan *output* PWM 8-bit dengan fungsi *analogWrite()*.
- *SPI*: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.
- *LED*: 13. Ada *built-in* LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai nilai HIGH, LED *on*, ketika pin bernilai LOW, LED *off*.

Uno memiliki 6 masukan analog, berlabel A0 sampai dengan A5, yang masing-masing menyediakan 10 bit dengan resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda).

Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

- *TWI*: A4 (pin SDA) dan A5 (pin SCL). Dukungan komunikasi TWI menggunakan *Wire library*.
- *AREF*: Tegangan referensi (0 sampai 5V) untuk *input* analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference()*.
- *Reset*: Bawa baris ini LOW untuk me-reset mikrokontroler.

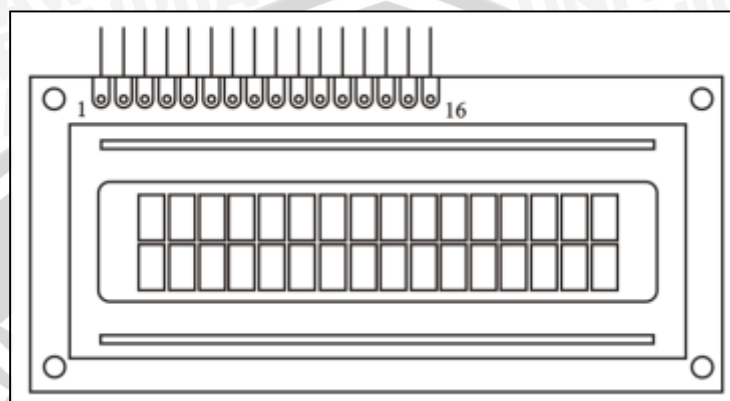
2.6.4 Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) untuk komunikasi serial, yang tersedia di pin *digital* 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega16U2 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai *virtual com port* untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware* '16U2 menggunakan *driver* USB standar COM, dan tidak ada *driver* eksternal yang diperlukan. Namun, pada *Windows* diperlukan sebuah *file .inf*. Perangkat lunak Arduino terdapat *monitor* serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari board Arduino. LED RX dan TX pada *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui *chip* USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *SoftwareSerial library* memungkinkan untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada *board* Uno. ATmega328 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk *Wire library* untuk menyederhanakan penggunaan *bus* I2C. Untuk komunikasi I2C, gunakan *SPI library*.

2.7 Liquid Crystal Display (LCD)

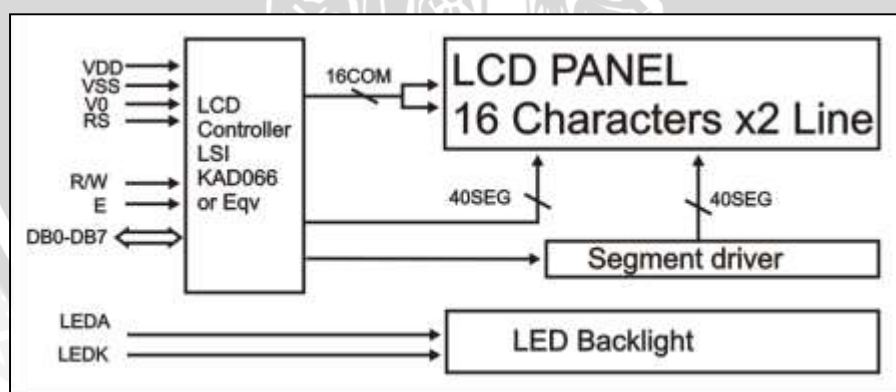
Liquid crystal display (LCD) adalah suatu *display* dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem *dot* matriks. LCD banyak digunakan sebagai *display* dari alat-alat elektronika seperti kalkulator, *multitester digital*, jam *digital* dan sebagainya (Andrianto, 2013). Ilustrasi *Liquid crystal display* (LCD) ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Liquid crystal display* (LCD)

(Sumber: datasheet QC1602A)

Masukan modul *Liquid crystal display* (LCD) ini berupa bus data dan 3 sinyal kontrol yaitu RS, R/W dan E. Pengendali *dot* matriks *liquid crystal display* (LCD) dilakukan secara internal oleh kontroler yang sudah terpasang di dalam modul *liquid crystal display* (LCD). Diagram blok *liquid crystal display* (LCD) tipe QC1602A ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Blok Diagram *liquid crystal display* (LCD)

(Sumber: datasheet QC1602A)

Liquid crystal display (LCD) tipe QC1602A memiliki 16 pin koneksi antarmuka dimana setiap pin memiliki fungsi tertentu. Fungsi masing-masing pin ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Daftar fungsi pin *Liquid Crystal Display (LCD) QC1602A*

pin	Nama pin	Level	Fungsi
1	VSS	0V	Power ground
2	VDD	+5V	Power supply for logic
3	V0	-	Contrast adjust
4	RS	High/Low	High: data Low: command
5	R/W	High/Low	High: read Low: write
6	E	High. High → Low	Enable signal
7	DB0	High/Low	Data bus bit 0
8	DB1	High/Low	Data bus bit 1
9	DB2	High/Low	Data bus bit 2
10	DB3	High/Low	Data bus bit 3
11	DB4	High/Low	Data bus bit 4
12	DB5	High/Low	Data bus bit 5
13	DB6	High/Low	Data bus bit 6
14	DB7	High/Low	Data bus bit 7
15	LEDA	+5V	Power supply for LED Backlight
16	LEDK	0V	Power supply for LED Backlight

Sumber : datasheet QC1602A

2.8 Kontroler

Kontroler merupakan salah satu komponen sistem pengaturan yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal masukan acuan (*set point*) atau sinyal *error* menjadi sinyal kontrol. Sinyal *error* disini adalah selisih antara sinyal umpan balik yang dapat berupa

sinyal keluaran *plant* sebenarnya atau sinyal keluaran terukur dengan sinyal masukan acuan (*set point*).

Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Pada prinsipnya hal itu disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus terima sebagaimana adanya, sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu sub sistem, yaitu kontroler.

Salah satu fungsi komponen kontroler adalah mengurangi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara nilai referensi/ nilai yang diinginkan dan nilai aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol dimana mendapat nilai sinyal keluaran sama dengan nilai yang diinginkan referensi. Semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baik kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

Apabila perbedaan antara nilai referensi dengan nilai keluaran relatif besar, maka kontroler yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi *plant*. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran *plant* sampai diperoleh selisih dengan nilai referensi sekecil mungkin.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran *plant* dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, 1996: 197-204).

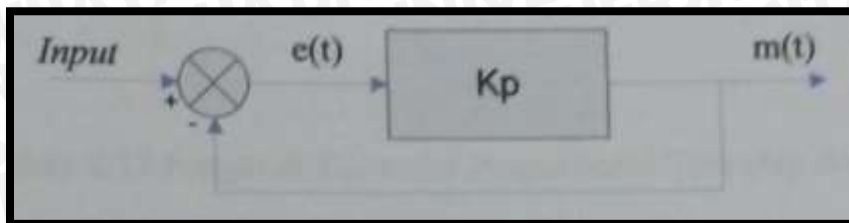
2.9 Kontroler PID (Proportional Integral Derivative)

PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proporsional*, *Integral*, *Derivative*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*.

2.9.1 Kontroler Proporsional

Kontroler *proporsional* memiliki keluaran yang sebanding/ *proporsional* dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler *proporsional* merupakan perkalian antara konstanta *proporsional* dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluaran sebesar konstanta pengalinya.

Pada Gambar 2.8 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara input (besaran referensi yang diinginkan), besaran aktual dengan besaran keluaran kontroler *proporsional*, dan besaran kesalahan (*error*).



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Proporsional

(Sumber: Ogata K.,1997)

Pada kontroler *proporsional* hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$ adalah

$$m(t) = K_p \cdot e(t) \dots \dots \dots (2-1)$$

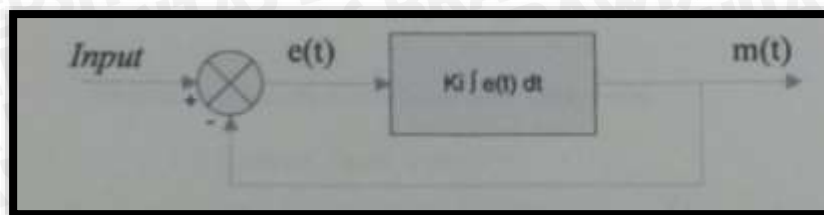
(Sumber : Ogata, 1995; 157)

Dengan K_p adalah penguatan *proporsional*. Keluaran $m(t)$ hanya tergantung pada K_p dan *error*, semakin besar *error* maka semakin besar koreksi yang dilakukan. Penambahan K_p akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan respon dan mengurangi kesalahan keadaan mantap.

2.9.2 Kontroler Integral

Kontroler *integral* berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan pada kontroler *proporsional* sebelumnya. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler *proporsional* tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler *integral* memiliki karakteristik seperti halnya sebuah *integral*. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 2.9 menunjukkan blok diagram kontroler *integral*.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Integral

(Sumber: Ogata K.,1997)

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding dengan integral sinyal kesalahan $e(t)$, sehingga

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i \cdot e(t) \dots \dots \dots (2-2)$$

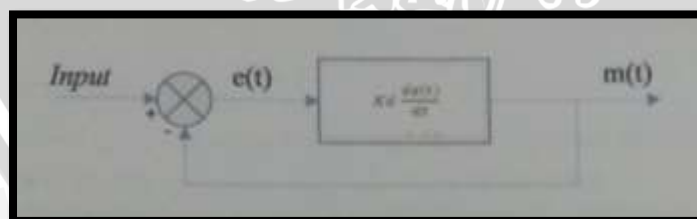
$$m(t) = K_i \int e(t) dt \dots \dots \dots (2-3)$$

(Sumber : Ogata, 1995:157)

Dengan K_i adalah konstanta *integral*. Jika sinyal kesalahan $e(t)=0$, maka laju perubahan sinyal kontrol *integral* $\frac{dm(t)}{dt} = 0$ atau sinyal keluaran kontrol akan tetap berada pada nilai yang dicapai sebelumnya. Aksi kontrol *integral* digunakan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap (*error steady state*) tanpa memperhitungkan kecepatan respon.

2.9.3 Kontroler Differensial

Kontroler *diferensial* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 2.10 berikut menunjukkan blok diagram pada kontroler *diferensial*.



Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Diferensial

(Sumber: Ogata K.,1997)

Nilai keluaran kontroler $m(t)$ sebanding laju sinyal kesalahan. Hubungan ini dapat ditulis sebagai :

$$m(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2-4)$$

Sumber: Ogata, 1995: 179

Kontroler *diterensial* akan memberikan sinyal kontrol keluaran $m(t)=0$, untuk sinyal kesalahan $e(t)$ yang konstan sehingga kontroler diferensial tidak mempengaruhi keadaan mantap. Kontroler *diferensial* digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler *diferensial* umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler *diferensial* hanyalah efek dari lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler *diferensial* tidak bisa digunakan tanpa ada kontroler lain.

Dari ketiga aksi kontrol dasar diatas dapat dibuat kombinasi dari ketiganya, yaitu:

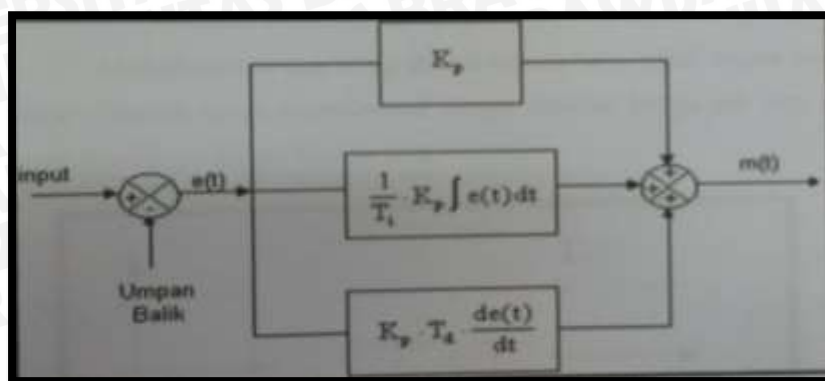
2.9.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing –masing kontroler P,I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiga secara paralel menjadi kontroler *proporsional integral diferensial* (PID). Elemen- elemen kontroler P,I dan D masing- masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Ogata K.,1997). Kontroler PID memiliki diagram kendali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Aksi kontrolnya dinyatakan sebagai:

$$m(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t)dt + Kp Td \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2-5)$$

Jenis kontroler ini digunakan untuk memperbaiki kecepatan respon, mencegah terjadinya kesalahan keadaan mantap serta mempertahankan kesetabilan.



Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler PID

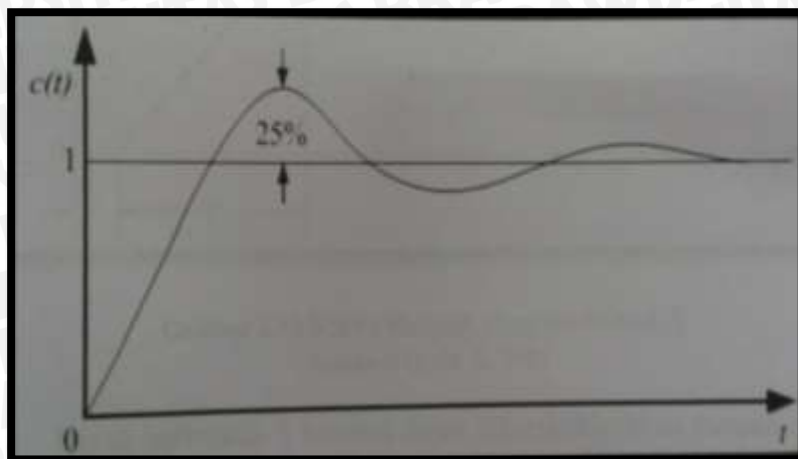
(Sumber: Ogata K.,1997)

Keluaran kontroler PID merupakan penjumlahan dari keluaran kontroler *proporsional*, *integral* dan *diferensial*. Gambar 2.11 diatas menunjukkan hubungan tersebut. Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P,I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing –masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah yang akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan (Ogata K.,1997).

2.9.5 Metode Kontroler PID

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan- aturan untuk menentukan nilai dari *gain proporsional* K_p , waktu *integral* T_i , dan waktu *derivatif* T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan Kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plant*. (Ogata, K., 1997)

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan *Ziegler –Nichols*, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon *unit step*, ditunjukkan pada Gambar 2.12.

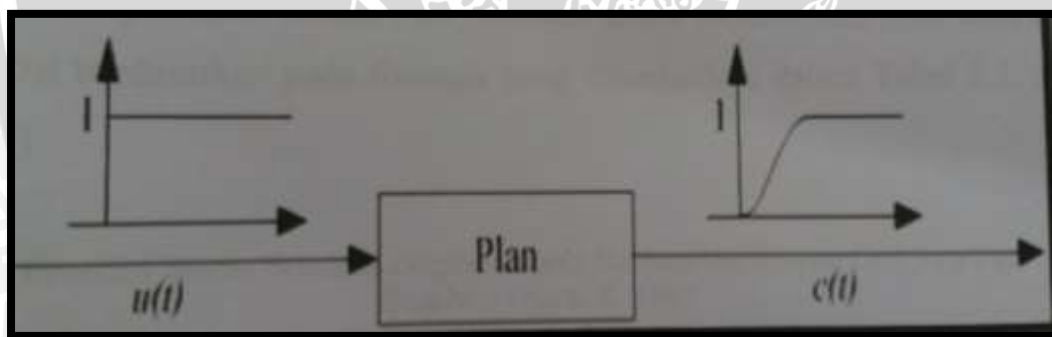


Gambar 2.12 Kurva Respon unit step yang menunjukkan 25% maximum overshoot

(Sumber : Ogata, K., 1997)

1). Metode Pertama (Metode Kurva Reaksi)

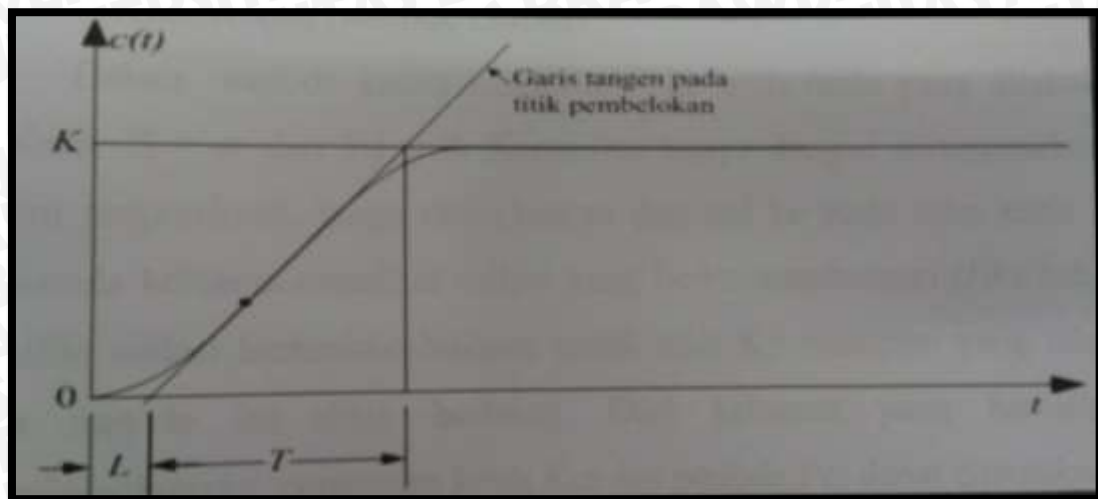
Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plant dapat diperoleh secara *eksperimental* dengan masukan berupa *unit step*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Respon Plant Terhadap Masukan Beberapa Unit Step

(Sumber : Ogata, K., 1997)

Jika dalam *plant* tersebut terdapat integrator atau dominan *complex-conjugate poles*, maka kurva respon *unit step* berbentuk seperti huruf S, seperti ditunjukkan dengan Gambar 2.14, jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata, K.,1997).



Gambar 2.14 Kurva Respon yang Berbentuk S
(Sumber : 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* dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t)=K$. Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots(2-6)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.3. (Ogata, K.,1997)

Tabel 2.3 Aturan Penalaan Ziegler- Nichols Berdasarkan Respon Unit Step plant
(Sumber : Ogata, K., 1997)

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



Chapter 4 BAB III

Chapter 5 METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Kajian yang digunakan dalam skripsi kali ini adalah kajian tentang penelitian mengenai pengendalian suhu pada jaket penghangat suhu tubuh menggunakan kontroler PID.

3.1.1 Kerangka Penelitian

Berikut kerangka penelitian pada skripsi ini terdapat pada Gambar 3.1



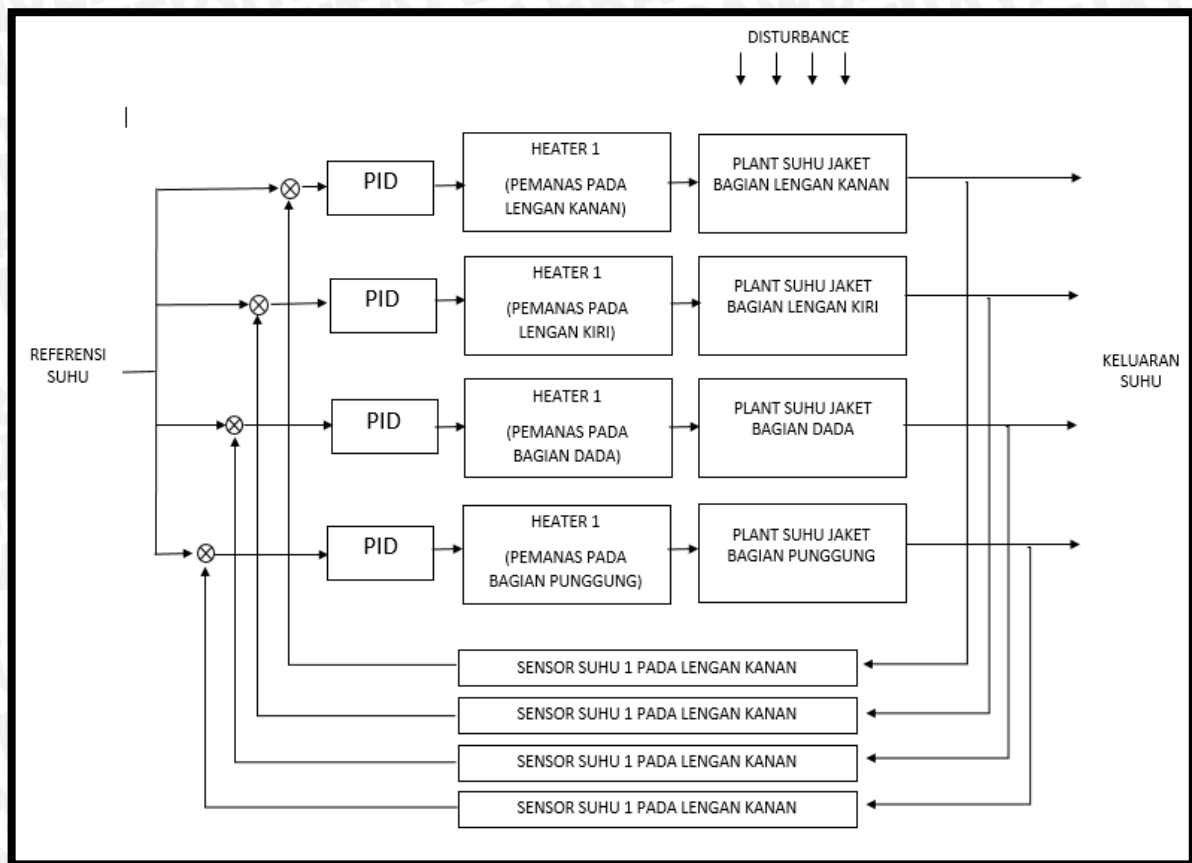
Gambar 3.1. Kerangka Penelitian.

Adapun penjelasan dari *flowchart* sebagai berikut :

1. Penyusunan blok diagram sistem bertujuan untuk memahami struktur sistem pada setiap bloknnya sehingga akan mempermudah dalam analisis secara keseluruhan.
2. Spesifikasi desain bertujuan untuk menentukan perancangan sistem yang diinginkan.
3. Pembuatan perangkat keras bertujuan mengetahui kebutuhan perangkat keras sistem yang dibutuhkan serta mengetahui cara kerja sistem dari sisi perangkat keras.
4. Pengujian setiap perangkat keras bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan fungsi alihnya.
5. Pengujian kawat pemanas bertujuan mengetahui hubungan tegangan masukan dengan suhu pemanas.
6. Pencarian fungsi alih bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem agar dapat dicari parameter kontrolernya.
7. Mencari parameter Kontrol PID menggunakan metode *Ziegler-nichols* agar sistem dapat bekerja dengan baik yaitu keluaran diharapkan sama dengan masukan yang diinginkan.
8. Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja dengan baik atau tidak.

3.2 Penyusunan Blok Diagram Sistem

Pada perencanaan alat diperlukan perencanaan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai rencana, berikut blok diagram sistem. Blok diagram dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem.

Keterangan dari diagram blok sistem dalam Gambar 3.2 adalah sebagai berikut:

- *Setpoint* sistem adalah suhu sebesar 40 °C yang dihasilkan oleh karakteristik pemanas kawat nikelin.
- Pusat pengendalian sistem adalah Arduino Uno yang memberikan sinyal PWM pada kawat nikelin melalui driver
- Aktuator menggunakan kawat nikelin yang berfungsi untuk pemanas pada jaket yang mendapat sinyal masukan dari *output* PWM driver
- Sensor suhu yang berfungsi sebagai *feedback* (umpan balik) agar suhu jaket sesuai dengan setpoint yang diinginkan dengan jarak rentang 30-40°C.
- Kontroler yang digunakan adalah Kontrol PID dengan menggunakan Arduino Uno R3 untuk mendapatkan parameter kontroller digunakan metode *Ziegler-nichols*.

3.3 Spesifikasi Desain

Desain yang diinginkan pada perancangan sistem pengendalian suhu pada jaket penghangat suhu tubuh menggunakan kontroler PID berbasis arduino mempunyai spesifikasi yaitu:

1. *Error Steady State* < 5%

Error Steady State < 5%, karena sistem yang baik memiliki *output* dengan batas nilai akhir 5% dari *setpoint*.

2. *Settling time* < 150 detik

Settling time < 150 detik, karena diharapkan sistem pengendalian suhu pada jaket penghangat suhu tubuh menggunakan kontroler PID berbasis arduino mampu mempercepat *settling time* sistem kurang dari 150 detik.

3. *Maximum (Percent) Overshoot* < 10%

Sistem mempunyai *maximum (percent) overshoot* kurang dari 10%.

4. Mampu mengatasi gangguan suhu sampai dengan 5°C

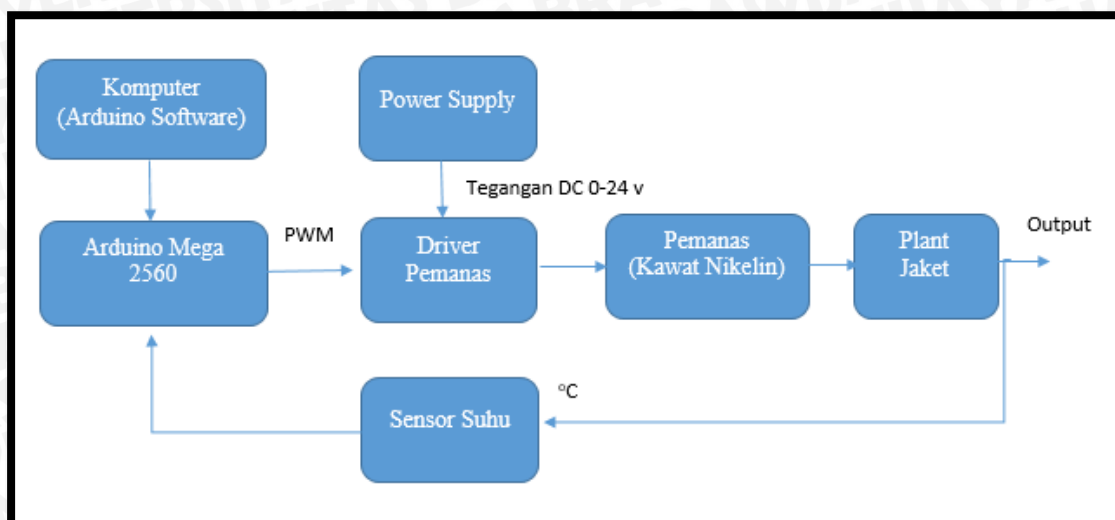
Sistem diharapkan mampu mengatasi gangguan berupa suhu udara dingin sampai sebesar 5°C.

3.4 Pembuatan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem, hal ini bertujuan supaya *output* suhu jaket sesuai dengan *input* yang diinginkan dapat bekerja dengan baik sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan.

Pembuatan perangkat keras meliputi:

1. Skema pembuatan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.3
2. Penentuan modul elektronik yang digunakan, meliputi :
 - Seperangkat Komputer.
 - Power Supply Unit.
 - Mikrokontroler Arduino Uno.
 - Driver BTS7960 43A.
 - Sensor suhu.
 - Kawat nikelin.



Gambar 3.3 Skema Pembuatan Perangkat Keras.

3.5 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang meliputi komponen-komponen pendukung pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Komputer atau PC yang sudah terinstall *software* Arduino dan MATLAB 2014a.
2. Perangkat kontroler yang digunakan adalah Arduino Uno. Berfungsi sebagai penyimpan algoritma kontroler sistem, pengendali driver motor, dan menerima serta mengolah data yang dikirimkan sensor suhu. Mikrokontroler menggunakan catu tegangan sebesar 5 Volt yang didapat dari komputer atau PC. Mikrokontroler Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mikrokontroler Arduino Uno.

3. *Driver* yang digunakan adalah modul yang menggunakan BTS7960. *Driver* motor berfungsi sebagai pengali tegangan dimana tegangan masukan dari mikrokontroler Arduino dikali dengan sebuah nilai *gain* atau penguatan tertentu

menjadi tegangan keluaran *driver* motor yang digunakan untuk mencatu kawat nikelin. Catu tegangan *driver* motor didapat dari *power supply unit* (PSU) dengan tegangan maksimal 40 V dan arus maksimalnya sebesar 43 A. Driver BTS7960 ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Driver BTS7960 43A.

4. Kawat nikelin yang digunakan dicatu tegangan sebesar 24 V, berfungsi untuk menghasilkan suhu panas ke dalam jaket. Kawat nikelin dapat dilihat pada Gambar 3.6



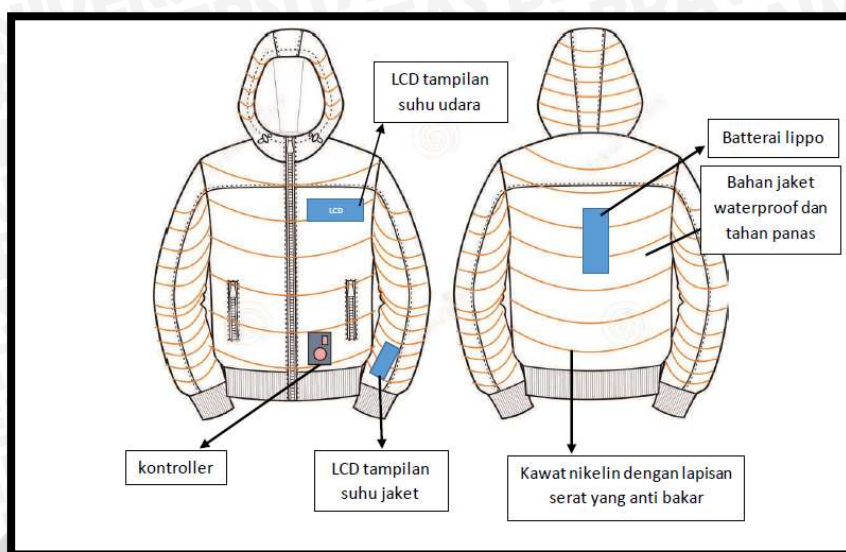
Gambar 3.6 Kawat Nikelin.

5. Sensor suhu DS18B20 adalah *digital thermometer*, dimana keluaran sensor suhu berupa sinyal pulsa yang mengindikasikan suhu tertentu. Dibawah adalah gambar sensor suhu DS18B20, jenis biasa dan waterproff. Range dari -55 hingga 125°C kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diproses selanjutnya oleh Arduino Uno. Sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Sensor Suhu DS18B20.

6. Plant berupa jaket gunung



Gambar 3.8 Plant Jacket.

3.6 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* (PSU) 24 VDC sebagai suplai rangkaian driver dan kawat nikelin.
2. Catu daya Arduino Uno diambil dari komputer dengan menghubungkan port komunikasi Antara Arduino dan komputer menggunakan perantara kabel USB dengan kecepatan transfer data sebesar 9600 *bit per second* (bps).
3. Sistem diberi catu daya. Catu daya sebesar 5V dari mikrokontroler digunakan untuk mencatu rangkaian penguat sensor suhu, dan mikrokontroler Arduino Uno.
4. Sinyal kontrol dari Arduino Uno masuk ke driver. Driver berfungsi untuk menguatkan sinyal yang dihasilkan mikrokontroler Arduino Uno dari 0-5 V menjadi 0-24 V.
5. Sinyal keluaran rangkaian penguat sebagai masukan Arduino Uno yang kemudian diproses menggunakan kontroller PID.
6. Keluaran Arduino Uno berupa sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) diberikan ke driver.
7. Menggunakan aktuator berupa kawat nikelin yang akan menghasilkan panas pada jaket.
8. Mencari fungsi alih plan dengan menggunakan metode *Ziegler-nichols* 1 dan di dapat grafik kurva S untuk mencari nilai L dan T.
9. Mengimplementasikan hasil desain perancangan pada sistem.

3.7 Karakterisasi Driver BTS7960 43A

a. Tujuan

Mengetahui kinerja dan respon rangkaian driver motor BTS7960 43A dengan membandingkan *output* tegangan efektif *driver* dengan masukan *dutycycle* sinyal PWM yang diberikan oleh Arduino Uno.

b. Peralatan yang digunakan

1. Power Supply.
2. Driver BTS7960 43A.
3. Arduino Uno.
4. Multimeter.
5. Seperangkat komputer.
6. Kabel penghubung.

c. Prosedur pengujian

1. Membuat listing program pada software arduino untuk mengubah *dutycycle*.
2. Menghubungkan *output* tegangan *Power Supply Unit* pada *input* tegangan referensi driver BTS7960 43A.
3. Menghubungkan *input* tegangan driver BTS7960 43A dengan pin *output* PWM di Arduino Uno.
4. Menghubungkan *output* tegangan driver BTS7960 43A dengan multimeter.
5. Mengatur *dutycycle* sinyal PWM pada Arduino Uno dengan nilai 0%-100%.
6. Mengamati dan catat hasil pembacaan multimeter di setiap kenaikan 5%.

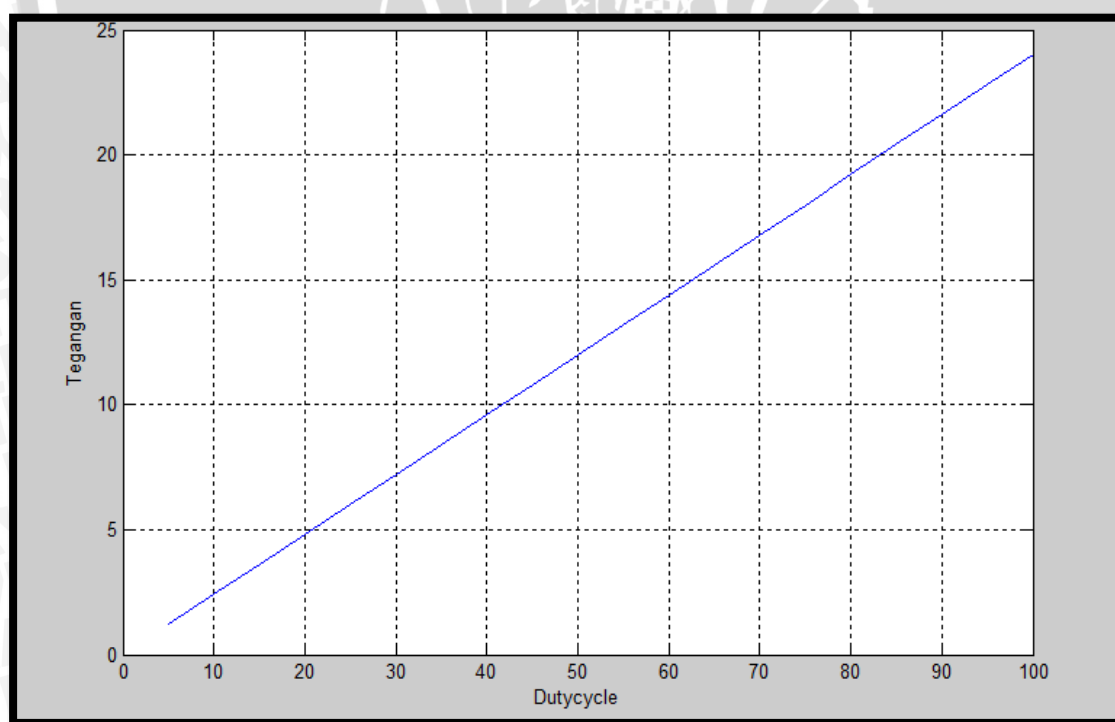
d. Hasil Pengujian

Data pengujian Driver BTS7960 ditunjukkan pada Tabel 3.1.

NO	Dutycycle (%)	PWM	Tegangan (Volt)
1	5	12.75	1.2
2	10	25.5	2.4
3	15	38.25	3.6
4	20	51	4.8
5	25	63.75	6
6	30	76.5	7.2
7	35	89.25	8.4
8	40	102	9.6
9	45	114.75	10.8
10	50	127.5	12
11	55	140.25	13.2
12	60	153	14.4
13	65	165.75	15.6
14	70	178.5	16.8
15	75	191.25	18
16	80	204	19.2
17	85	216.75	20.4
18	90	229.5	21.6
19	95	242.25	22.8
20	100	225	24

Tabel 3.1 Hasil pengujian Driver BTS7960 43A.

Berdasarkan Tabel 3.1, akan didapatkan kurva *output* tegangan driver (Volt) terhadap masukan *dutycycle* sinyal PWM, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Grafik perubahan tegangan *output* driver BTS7960 43A terhadap *input* *dutycycle*.

3.8 Karakterisasi Driver BTS7960 43A dengan Beban Kawat Nikelin 24V

a. Tujuan

Mengetahui *range* atau karakteristik kerja dari kawat nikelin dengan *input dutycycle* yang berbeda-beda.

b. Peralatan yang digunakan

1. Kawat nikelin.
2. *Power Supply Unit*.
3. Driver BTS7960 43A.
4. Arduino Uno.
5. Multimeter.
6. Seperangkat komputer.
7. Kabel penghubung.

c. Prosedur Pengujian

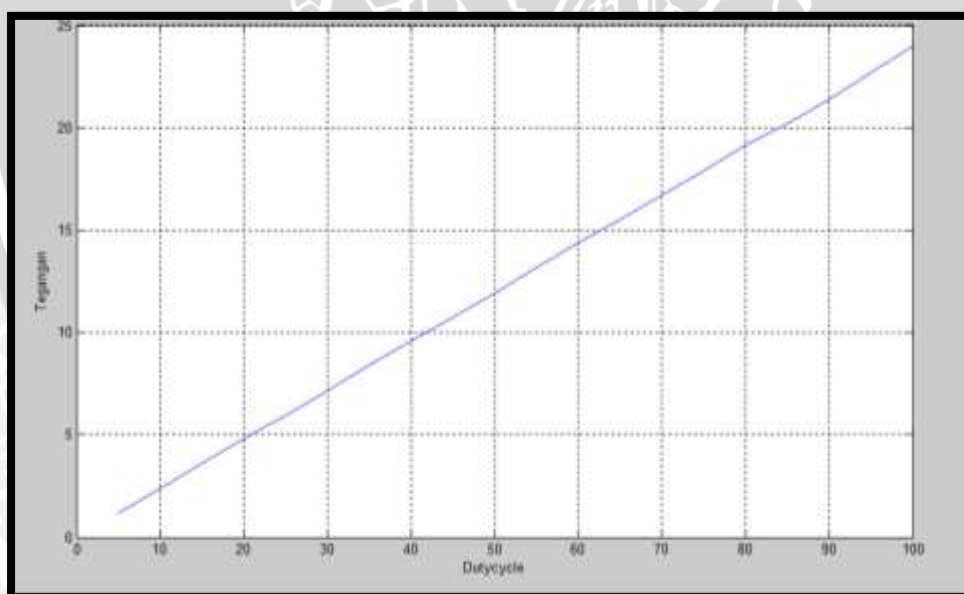
1. Membuat listing program pada software arduino untuk mengubah *dutycycle*.
2. Menghubungkan *output* tegangan *Power Supply Unit* pada *input* tegangan referensi driver BTS7960 43A.
3. Menghubungkan *input* tegangan driver BTS7960 43A dengan pin *output* PWM di Arduino Uno.
4. Menghubungkan *output* tegangan driver BTS7960 43A dengan kawat nikelin.
5. Mencatat hasil keluaran kawat nikelin dengan multimeter pada *output* tegangan driver BTS7960 43A.
6. Mengatur *dutycycle* sinyal PWM pada Arduino Uno dengan nilai 0%-100%.
7. Mengamati dan mencatat hasil pembacaan multimeter di setiap kenaikan 5%.

b. Hasil Pengujian

Data hasil pengujian kawat nikelin ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

NO	Dutycycle (%)	PWM	Tegangan (Volt)
1	5	12.75	1.15
2	10	25.5	2.37
3	15	38.25	3.59
4	20	51	4.81
5	25	63.75	5.94
6	30	76.5	7.16
7	35	89.25	8.38
8	40	102	9.6
9	45	114.75	10.73
10	50	127.5	11.94
11	55	140.25	13.16
12	60	153	14.39
13	65	165.75	15.5
14	70	178.5	16.73
15	75	191.25	17.9
16	80	204	19.16
17	85	216.75	20.2
18	90	229.5	21.4
19	95	242.25	22.7
20	100	225	24

Tabel 3.2 Hasil pengujian driver BTS7960 43A dengan menggunakan beban kawat nikelin pada perubahan tegangan rata-rata (Volt) terhadap *dutycycle* (%).



Gambar 3.10 Grafik perubahan tegangan rata-rata *output* Driver BTS7960 43A terhadap *duty cycle* dengan menggunakan beban kawat nikelin.

3.9 Karakterisasi Kawat Nikelin

a. Tujuan

Mengetahui karakteristik kawat nikelin, dengan memberikan nilai *input* berupa *dutycycle* sebesar 5%-100% menjadi *output* berupa suhu panas kawat nikelin yang dibutuhkan jaket.

b. Peralatan yang digunakan

1. Power supply unit.
2. Arduino Uno.
3. Sensor suhu.
4. Kabel penghubung.
5. Seperangkat komputer.
6. Driver.
7. Kawat Nikelin.

c. Prosedur Pengujian

1. Membuat listing program dengan mengatur *dutycycle* 5%-100%.
2. Mengatur *input* pada driver motor di software Arduino berupa *dutycycle*.
3. Driver motor mendapatkan catu dari power supply unit sebesar 0-24V.
4. Menghubungkan *driver* motor dengan pin di Arduino Uno R3.
5. Menghubungkan *output* driver dengan kawat nikelin.
6. Mencatat hasil *output* berupa suhu jaket.
7. Mengamati dan mencatat karakteristik kawat nikelin disetiap kenaikan *dutycycle* 5%.

NO	teori			praktik			SUHU
	Dutycycle (%)	PWM	Tegangan (Volt)	Dutycycle (%)	PWM	Tegangan (Volt)	
1	5	12.75	1.2	5	12.75	1.15	30.1
2	10	25.5	2.4	10	25.5	2.37	30.6
3	15	38.25	3.6	15	38.25	3.59	32.8
4	20	51	4.8	20	51	4.81	33.6
5	25	63.75	6	25	63.75	5.94	34.75
6	30	76.5	7.2	30	76.5	7.16	36.8
7	35	89.25	8.4	35	89.25	8.38	38
8	40	102	9.6	40	102	9.6	39.1
9	45	114.75	10.8	45	114.75	10.73	41.7
10	50	127.5	12	50	127.5	11.94	42.5
11	55	140.25	13.2	55	140.25	13.16	45.31
12	60	153	14.4	60	153	14.39	46.6
13	65	165.75	15.6	65	165.75	15.5	48.44
14	70	178.5	16.8	70	178.5	16.73	50.13
15	75	191.25	18	75	191.25	17.9	52.8
16	80	204	19.2	80	204	19.16	55.1
17	85	216.75	20.4	85	216.75	20.2	58.8
18	90	229.5	21.6	90	229.5	21.4	59.5
19	95	242.25	22.8	95	242.25	22.7	61.2
20	100	225	24	100	225	24	62

Tabel 3.4 Hasil pengujian kawat nikelin

3.10 Karakterisasi Sensor Suhu

a. Tujuan

Mengetahui karakteristik sensor suhu, dengan memberikan nilai *input* berupa *dutycycle* sebesar 5%-100% menjadi *output* berupa tegangan dari sensor suhu.

b. Peralatan yang digunakan

1. Power supply unit.
2. Arduino Uno.
3. Sensor suhu.
4. Kabel penghubung.
5. Seperangkat komputer.
6. Driver.
7. Kawat Nikelin.

c. Prosedur Pengujian

1. Membuat listing program dengan mengatur sensor suhu dengan tegangan keluaran. .
2. Driver mendapatkan catu dari power supply unit sebesar 0-24V.
3. Menghubungkan driver motor dengan pin di Arduino Uno.
4. Menghubungkan *output* driver dengan kawat nikelin.
5. Mencatat hasil *output* berupa suhu jaket.
6. Mengamati dan mencatat karakteristik sensor suhu dengan output berupa tegangan antara 0-5 V.



Gambar 3.11 Grafik perubahan tegangan dengan pembacaan sensor suhu DS18B20.

3.10 Karakterisasi Respon Open loop

a. Tujuan

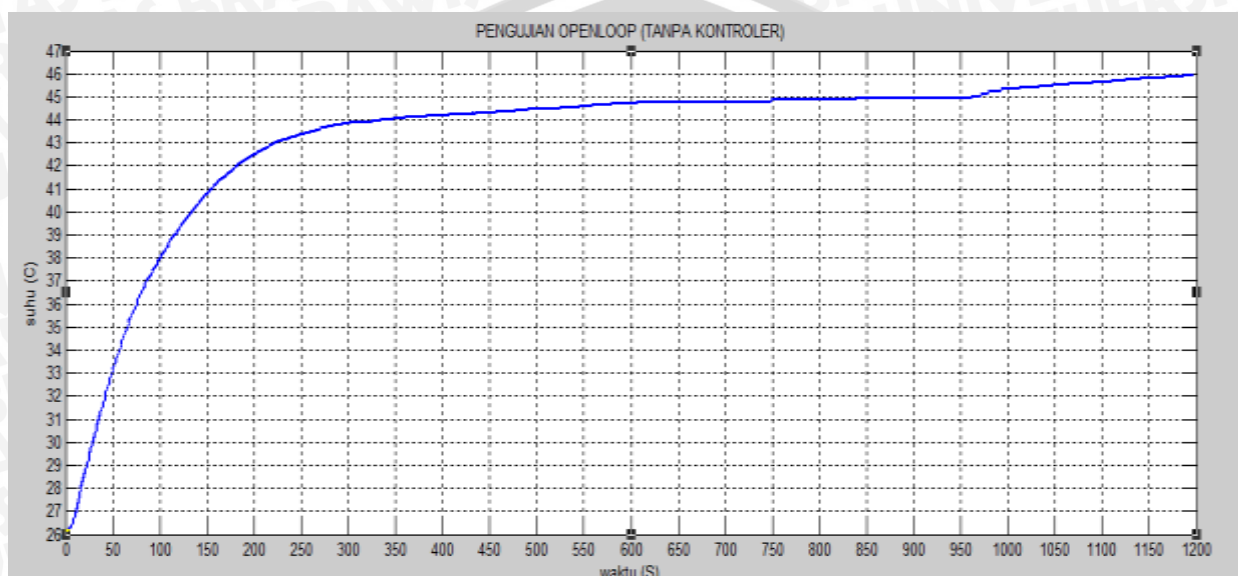
Mengetahui karakteristik *Open loop*, dengan memberikan nilai *input* berupa *dutycycle* menjadi *output* berupa suhu panas tanpa menggunakan kontroller.

b. Peralatan yang digunakan

1. *Power supply unit*.
2. Arduino Uno.
3. Sensor suhu.
4. Kabel penghubung.
5. Seperangkat komputer.
6. Driver.
7. Kawat Nikelin.

c. Prosedur Pengujian

1. Membuat listing program dengan mengatur driver tanpa kontroller. .
2. Driver mendapatkan catu dari power supply unit sebesar 0-24V.
3. Menghubungkan driver motor dengan pin di Arduino Uno.
4. Menghubungkan *output* driver dengan kawat nikelin.
5. Mencatat hasil *output* berupa suhu jaket.



Gambar 3.12 Grafik Karakteristik *Open loop*

3.11 Mencari Parameter PID

a. Tujuan

Untuk menemukan fungsi alih *plant* untuk mendapatkan karakteristik *static gain* keadaan mantap dengan cara *plant* di rancang secara *open loop* dan diberikan unit step masukan *duty cycle* 0%–100% dan di lihat bagaimana respon keadaan mantapnya. Untuk menemukan parameter kontroler PID digunakan metode *ziegler-nichols* 1, dimana *plant* diberi tegangan masukan ke *plant* dan dilihat bagaimana hasilnya.

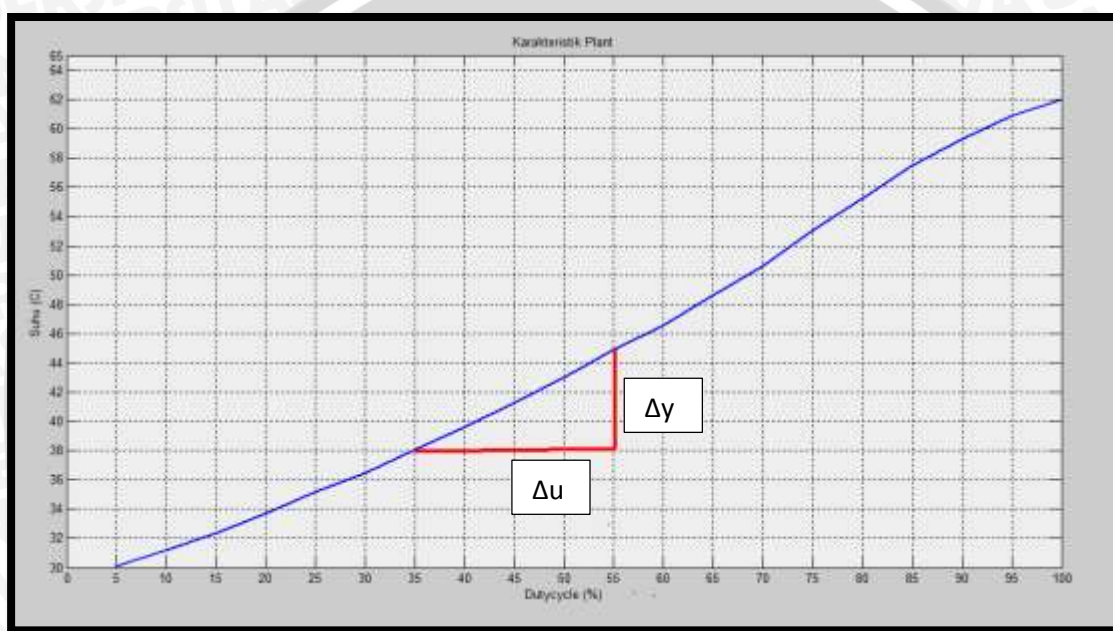
b. Peralatan yang digunakan

1. *Power supply unit*.
2. Arduino Uno.
3. Seperangkat komputer.
4. Kabel penghubung.
5. Driver .
6. Kawat nikelin.

7. Sensor Suhu

c. Prosedur Pengujian

1. Membuat listing program dengan mengatur *dutycycle* 0%-100%.
2. Mengatur *input* pada *driver* motor di software Arduino berupa *dutycycle*.
3. *Driver* motor mendapatkan catu dari *power supply unit* 0-24V.
4. Menghubungkan *driver* motor dengan pin di Arduino Uno.
5. Menghubungkan *output* driver dengan kawat nikelin.



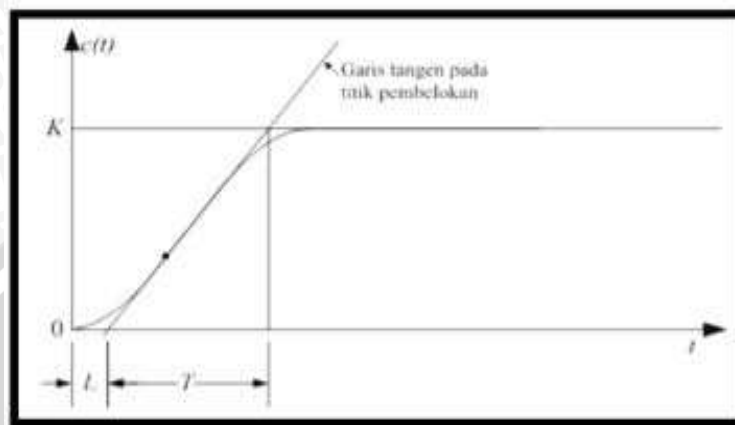
Gambar 3.12 Grafik Karakteristik statis gain keadaan mantap

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{45 - 38}{55 - 35} = 0.35$$

Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih adalah *Proporsional Integral Derivatif* (PID). Kontroler PID dipilih karena karakteristik plant tersebut membutuhkan kontrol yang cepat dan meminimalkan *overshoot* untuk dapat menghasilkan plant berupa jaket penghangat, agar suhu jaket dapat sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari *gain proporsional* K_p , waktu *integral* T_i , dan waktu *derivatif* T_d berdasarkan karakteristik respon *transien* dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plant* (Ogata,

K.,1997). Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah metode *Ziegler-Nichols* yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurva S seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Kurva Respon yang berbentuk S

(Sumber: Katsuhiko Ogata, 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 dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$.

Langkah menentukan *tuning* parameter dengan metode 1 *Ziegler-Nichols* adalah sebagai berikut:

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi pada grafik karakteristik *plant* seperti pada Gambar 3.13.
2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu t untuk mendapatkan nilai L .
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai T .
4. Setelah mendapatkan nilai L dan T kemudian menentukan nilai K_p , T_i , T_d sesuai ketentuan pada Gambar 3.14.

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

Gambar 3.14 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols

(Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997)

3.12 Pengujian Keseluruhan sistem

a. Tujuan

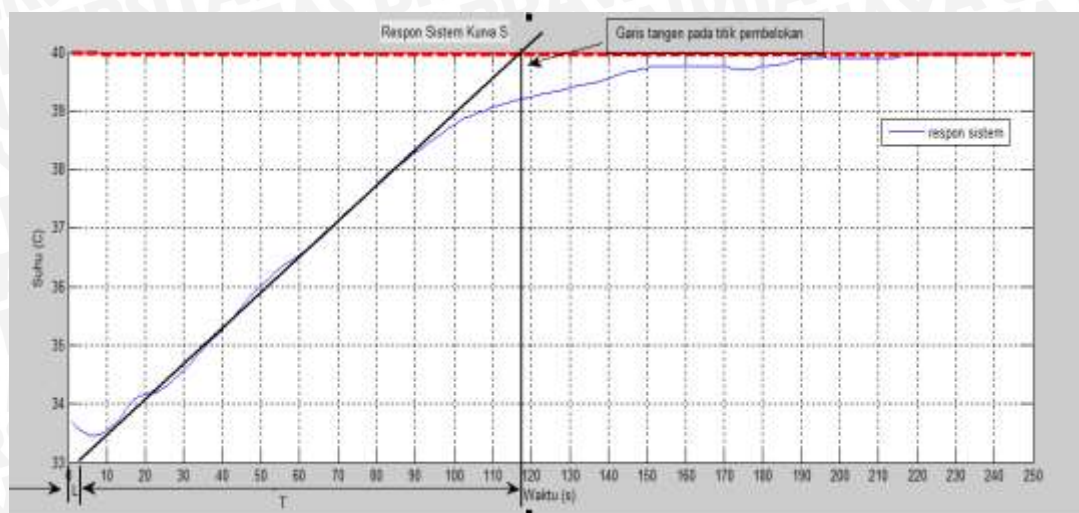
Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk menguji apakah parameter yang sudah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Pada pengujian ini semua blok rangkaian dihubungkan setelah itu memasukkan nilai parameter yang telah ditentukan, serta mengamati dan menganalisa hasil kinerja alat.

b. Langkah Pengujian

Adapun langkah pengujian keseluruhan sistem untuk menemukan parameter kontroler PID digunakan metode *ziegler-nichols* 1:

1. Plant diberi tegangan masukan ke *plant* dan akan mendapatkan nilai L dan T.
2. Memasukkan nilai parameter K_p , K_i dan K_d dari hasil perhitungan.
3. Memasukkan *setpoint* yang diinginkan.
4. Mengamati dan menganalisa hasil dari kinerja sistem.

Berikut merupakan kurva S hasil pengujian sistem keseluruhan dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* 1 yang ditunjukkan dalam Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Grafik Output Plant dengan respon kurva S

Dari grafik *output plant* pada Gambar 3. 15 didapatkan nilai:

$$\text{PWM} = 102.00$$

$$L = 2 \text{ s}$$

$$\text{Setpoint} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T = 117 \text{ s}$$

Setelah mendapatkan parameter yang dibutuhkan maka bisa didapatkan fungsi alih *plant* seperti yang ditunjukkan dalam persamaan.

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} = \frac{0.35e^{-2s}}{117s + 1}$$

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Gambar 3.16 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols

(Sumber: Katsuhiko Ogata, 1997)

Dan diperoleh nilai K_p , K_i , K_d :

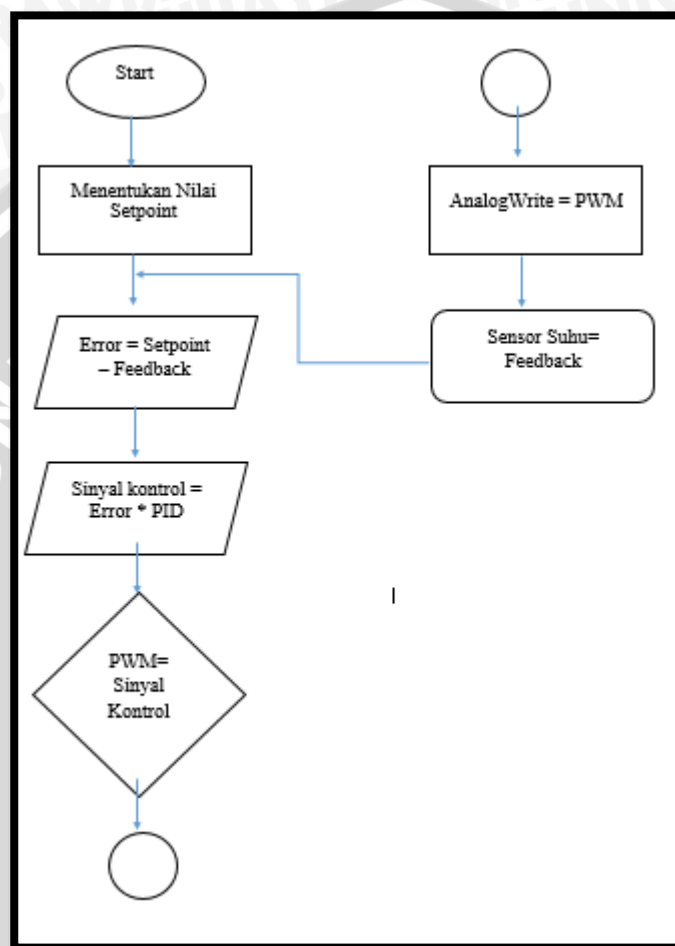
$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{117}{2} = 70.2$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{70.2}{2 \times 2} = \frac{70.2}{4} = 17.55$$

$$K_d = K_p \times T_d = 70.2 \times (0.5 \times 2) = 70.2 \times 1 = 70.2$$

3.13 Flowchart Keseluruhan Sistem

Sistem diawali dengan menentukan *setpoint* suhu jaket, kemudian didapatkan *error* dan menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM dan sensor suhu berfungsi sebagai *feedback* agar sistem sesuai dengan *setpoint*. Flowchart keseluruhan sistem dengan kontroler PID dapat dilihat dalam Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Flowchart Keseluruhan Sistem dengan Kontroler PID (Perancangan)

BAB IV

Chapter 6 HASIL DAN PEMBAHASAN

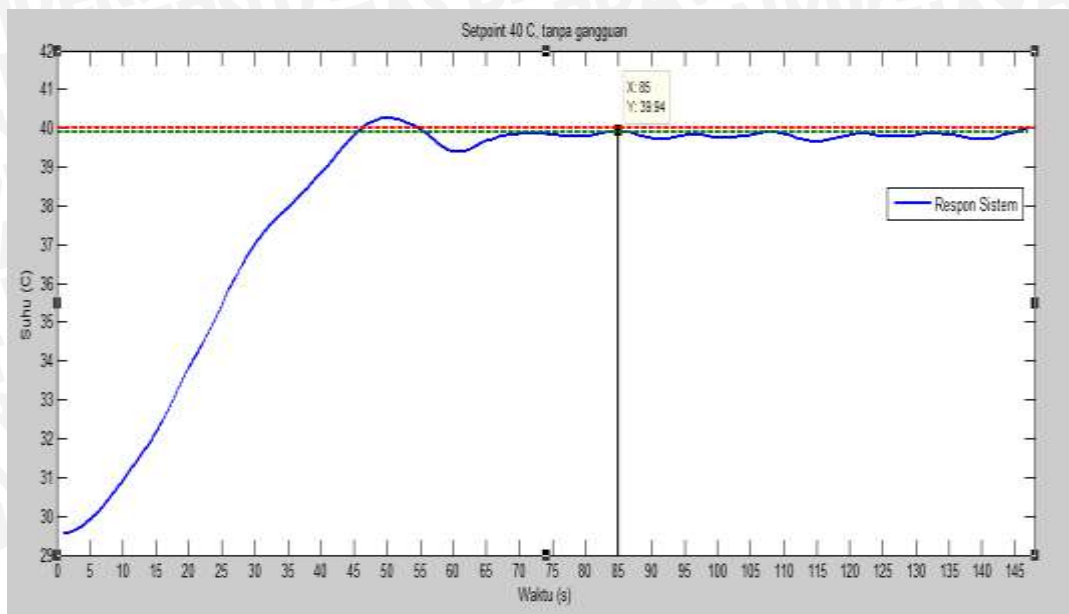
Hasil dan pembahasan dilakukan dengan melakukan pengujian keseluruhan sistem baik dengan kontroler maupun tanpa diberi kontroler. Serta pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah parameter yang sudah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Pada pengujian ini semua blok rangkaian dihubungkan setelah itu memasukkan nilai parameter yang telah ditentukan, serta mengamati dan menganalisa hasil kinerja alat.

4.1 Pengujian Sistem Dengan Kontroler PID

Hasil pengujian pada pengontrolan suhu pada jaket penghangat suhu tubuh dengan menggunakan kontroler PID di dapatkan nilai $K_p=70.2$ $K_i=17.5$ dan $K_d=70.2$ dan *setpoint* yang diinginkan berupa suhu pemanas jaket sebesar 40°C , 35°C dan 30°C serta *output* sistem diberi beban dengan gangguan, dan berikut merupakan gambar grafik hasil pengujian keseluruhan sistem.

a) Pengujian pada *setpoint* 40°C , tanpa gangguan.

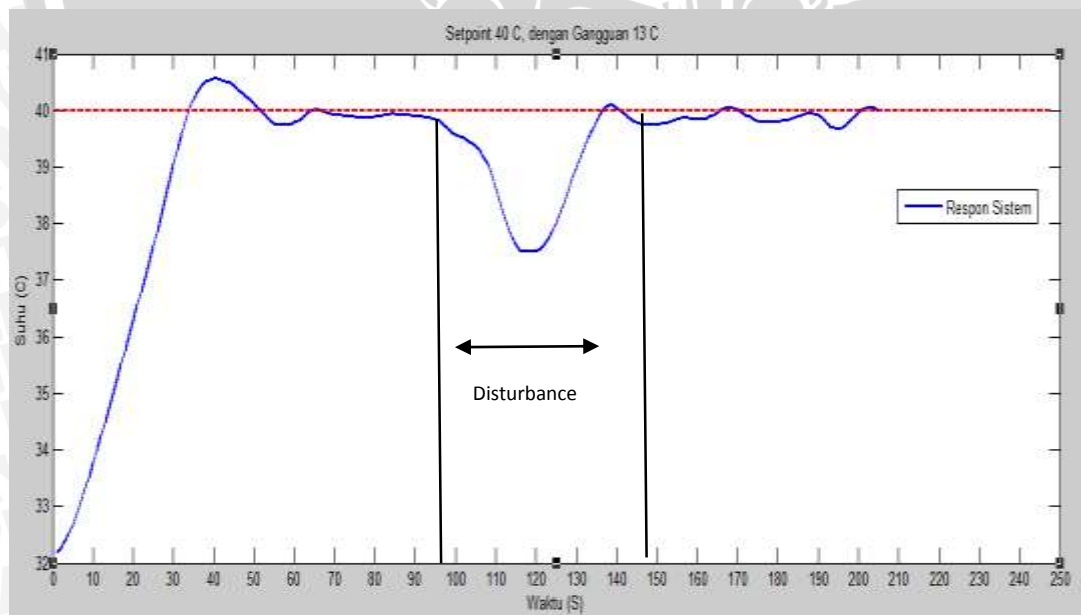
Dari grafik *output* sistem waktu keadaan mantap (t_s) selama 70 detik, *error steady state* $(40 - 39.31):40 \times 100\% = 0.86\%$, waktu naik (t_r) selama 46 detik, waktu tunda (t_d) selama 26 detik, waktu puncak (t_p) selama 49 detik dan maksimum *overshoot* (M_p) sebesar $(40.31 - 40):40 \times 100\% = 0.775\%$. tanpa gangguan dan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 150 detik pada *setpoint* 40°C . Grafik *output* sistem ditunjukan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik *output plant* setpoint 40°C, tanpa gangguan.

b) Pengujian pada setpoint 40 °C, dengan gangguan 13 °C.

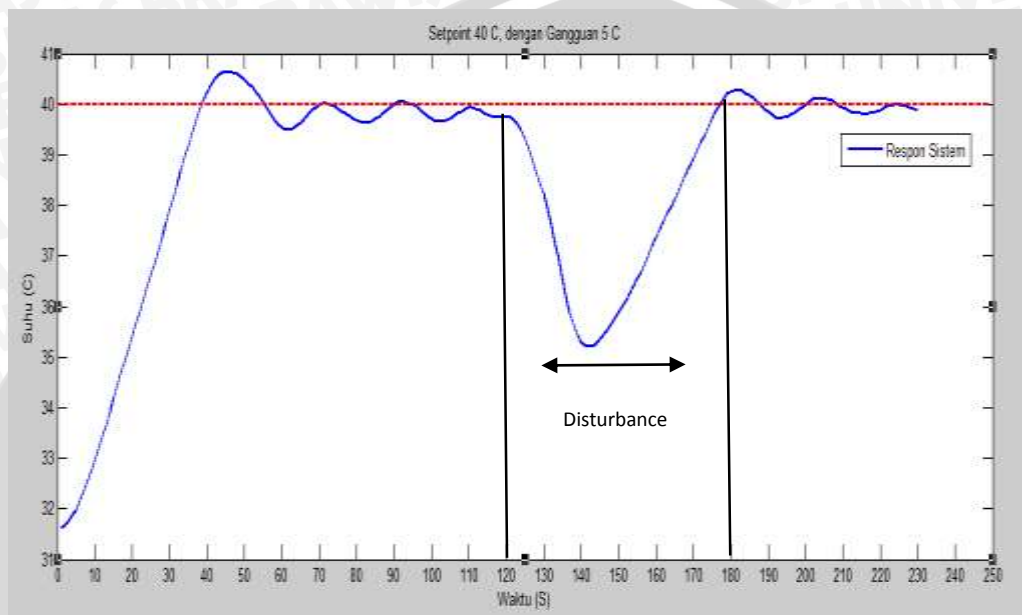
Grafik *output* sistem saat diberi gangguan selama 30 detik berupa udara dingin sebesar 13°C hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 205 detik pada *setpoint* 40°C . Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik *output plant* setpoint 40 C dengan gangguan suhu 13 C.

c) Pengujian pada setpoint 40°C, dengan gangguan 5°C.

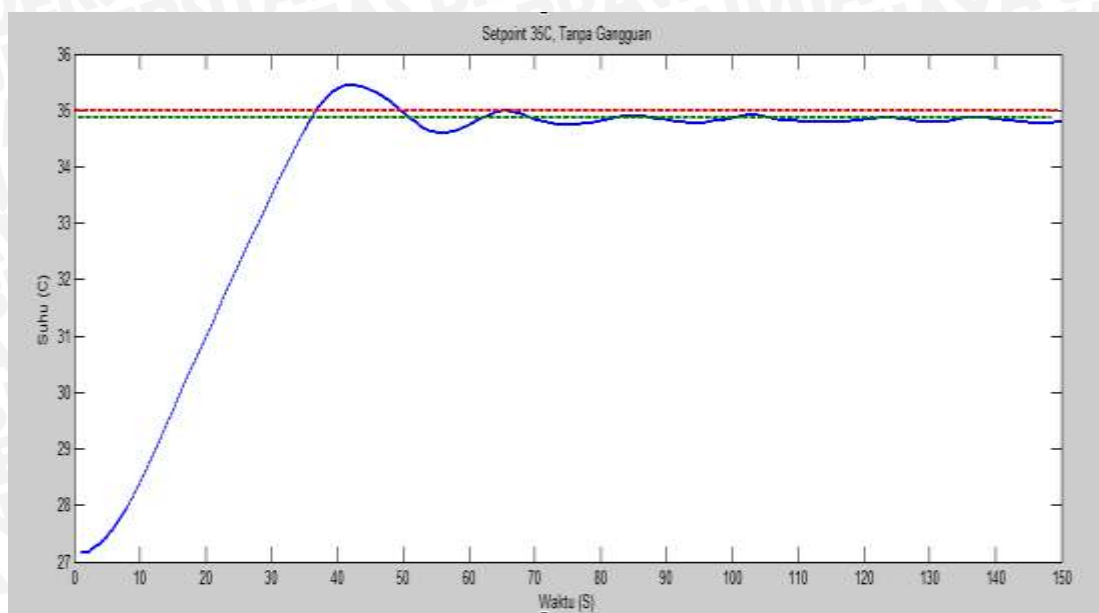
Grafik *output* sistem saat diberi gangguan selama 30 detik berupa udara dingin sebesar 5°C hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 205 detik pada *setpoint* 40°C . Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik *output plant* setpoint 40 C dengan gangguan suhu 5 C.

d) Pengujian pada setpoint 35°C, tanpa gangguan.

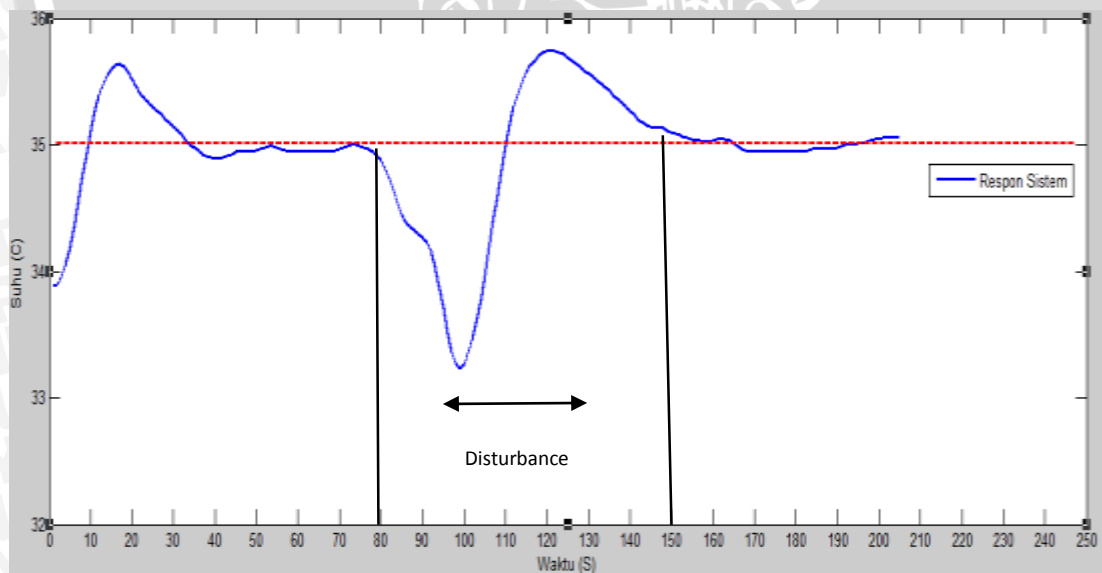
Dari grafik *output* sistem waktu keadaan mantap (t_s) selama 65 detik, *error steady state* $(35 - 34.5):35 \times 100\% = 1.4\%$, waktu naik (t_r) selama 37 detik, waktu tunda (t_d) selama 28 detik, waktu puncak (t_p) selama 43 detik dan maksimum *overshoot* (M_p) sebesar $(35.5 - 35):35 \times 100\% = 1.4\%$. tanpa gangguan dan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 150 detik pada *setpoint* 35°C. Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik *output plant* setpoint 35°C, tanpa gangguan.

e) Pengujian pada setpoint 35°C, dengan gangguan 13 °C.

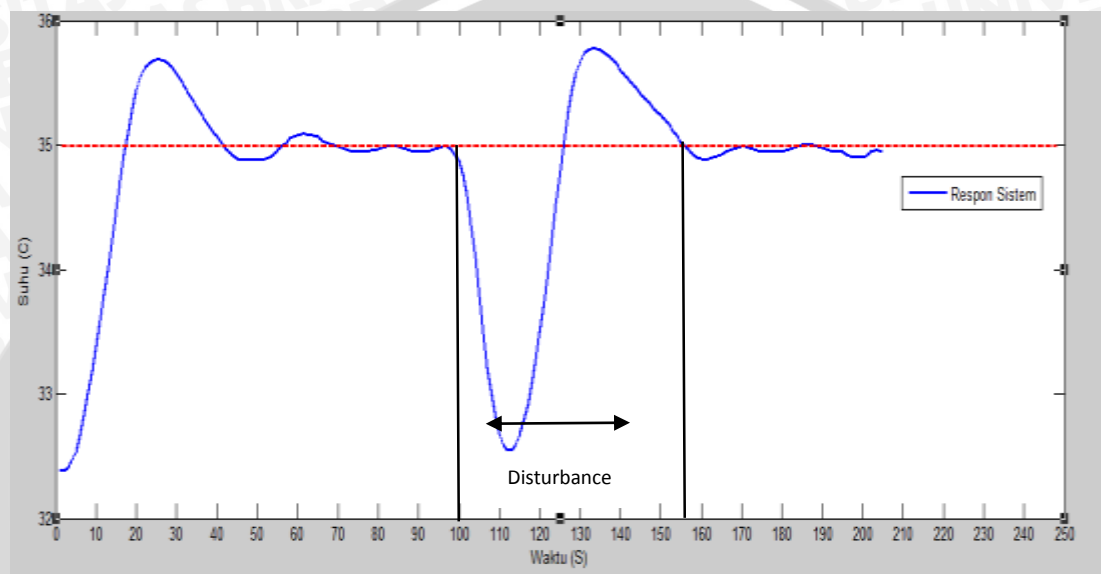
Grafik *output* sistem saat diberi gangguan selama 30 detik berupa udara dingin sebesar 13°C hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 205 detik pada *setpoint* 35°C . Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik *output plant* setpoint 35°C, dengan gangguan 13°C

f) Pengujian pada setpoint 35°C, dengan gangguan 5°C.

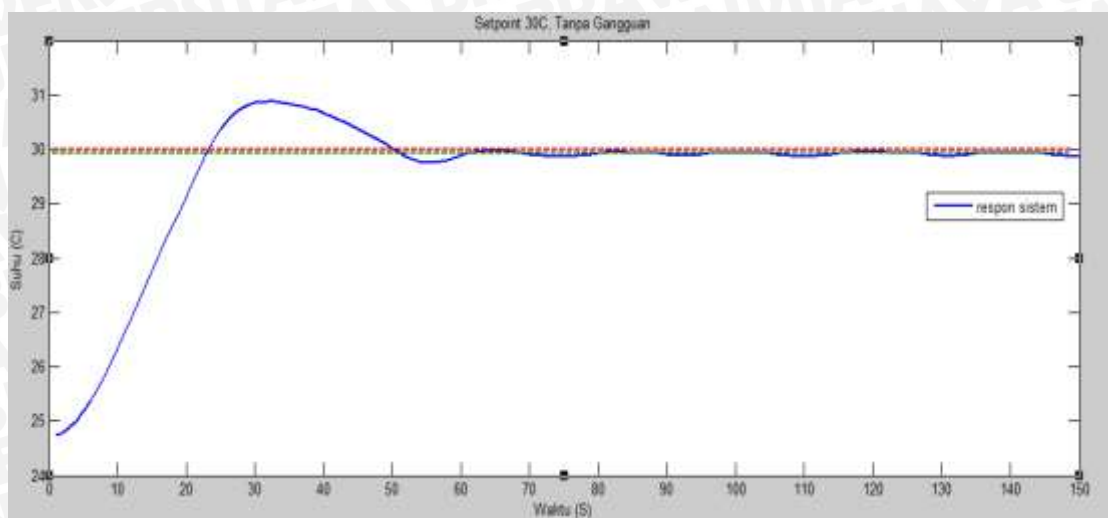
Grafik *output* sistem saat diberi gangguan selama 30 detik berupa udara dingin sebesar 5°C hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 205 detik pada *setpoint* 35°C . Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik *output plant* setpoint 35°C, dengan gangguan 5°C

g) Pengujian pada setpoint 30°C, tanpa gangguan.

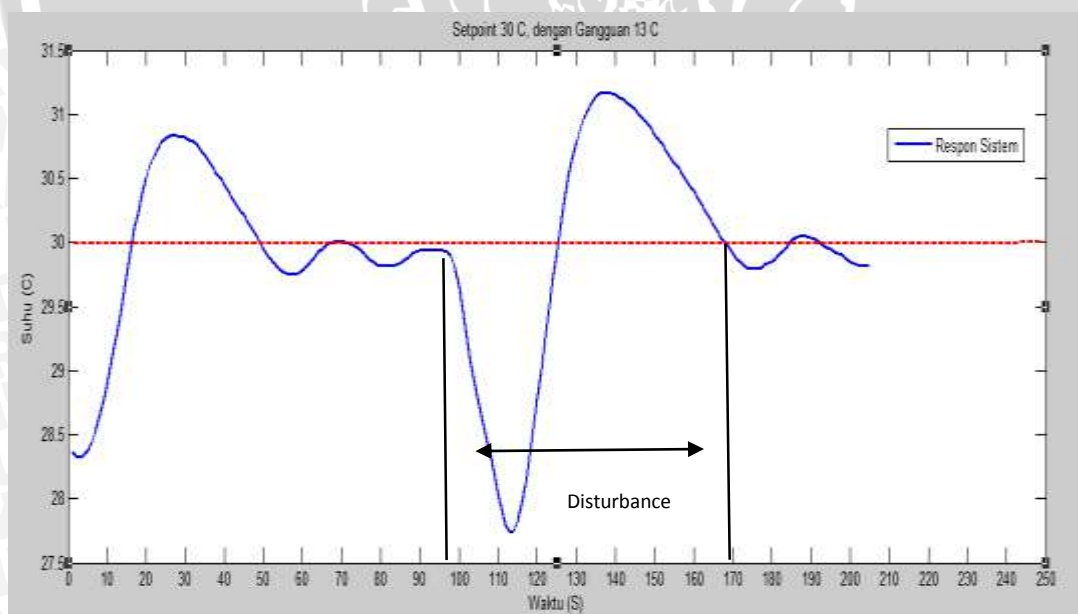
Dari grafik *output* sistem waktu keadaan mantap (t_s) selama 65 detik, *error steady state* $(30 - 29.75):30 \times 100\% = 0.8\%$, waktu naik (t_r) selama 23 detik, waktu tunda (t_d) selama 18 detik, waktu puncak (t_p) selama 31 detik dan maksimum *overshoot* (M_p) sebesar $(30.94 - 30):30 \times 100\% = 3.1\%$. tanpa gangguan dan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 150 detik pada *setpoint* 30°C. Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik *output plant* setpoint 30°C, tanpa gangguan.

h) Pengujian pada setpoint 30°C, dengan gangguan 13°C.

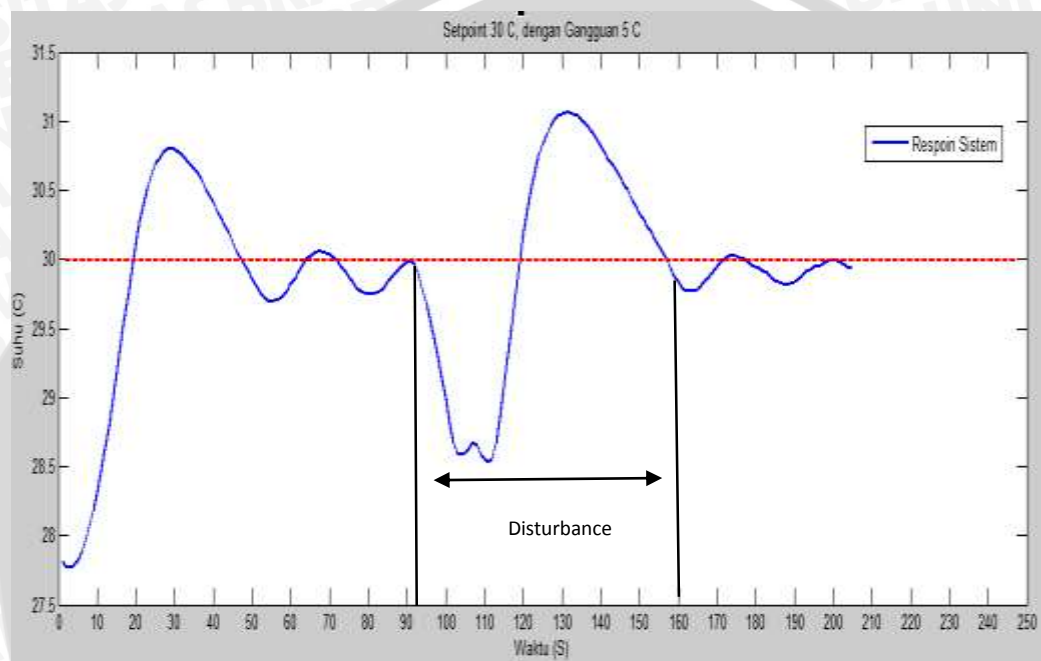
Grafik *output* sistem saat diberi gangguan selama 30 detik berupa udara dingin sebesar 13°C hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 205 detik pada *setpoint* 30°C. Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik *output plant* setpoint 30°C, dengan gangguan 13°C.

- i) Pengujian pada setpoint 30°C , dengan gangguan 5°C .

Grafik *output* sistem saat diberi gangguan selama 30 detik berupa udara dingin sebesar 5°C hingga *output* sistem sudah tidak adanya gangguan maka *output* sistem akan berusaha mempertahankan nilai *setpoint* dengan melakukan pengambilan data setiap 1 detik dengan waktu sampling 205 detik pada *setpoint* 30°C . Grafik *output* sistem ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik *output plant* setpoint 30°C , dengan gangguan 5°C .

Chapter 8

Chapter 9

Chapter 10

Chapter 11

Chapter 12

Chapter 13

Chapter 14

Chapter 15

Chapter 16

Chapter 17

Chapter 18

Chapter 19

Chapter 20

Chapter 21

Chapter 22

Chapter 23

Chapter 24

Chapter 25

Chapter 26

Chapter 27

Chapter 28

Chapter 29

Chapter 30

Chapter 31

Chapter 32

Chapter 33

Chapter 34

Chapter 35

Chapter 36

Chapter 37

Chapter 38

Chapter 39

Chapter 40

Chapter 41

Chapter 42 BAB V

Chapter 43 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada sistem pengendalian suhu pada jaket penghangat suhu tubuh maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan metode 1 Ziegler- Nichols untuk menentukan nilai parameter kontroler PID, maka didapatkan nilai $K_p=70.2$, $K_i=17.55$, dan $K_d= 70.2$ setelah diimplementasikan, sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.
2. Setelah sistem diberi kontroler PID, maka didapatkan respon sistem lebih cepat dari pada *open loop*, yaitu saat *open loop setting time* sebesar 150 detik menjadi 70 detik saat diberi kontroler PID. Hal ini membuktikan bahwa kontroler PID dapat mempercepat respon sistem.

5.2 Saran

Saran- saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan untuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Pemilihan sensor suhu yang presisi dan mempunyai respon cepat sangat menunjang sistem dapat bekerja dengan baik sesuai data yang sebenarnya.
2. Perlu adanya cadangan daya seperti *solar cell* dikarenakan pemakain jaket yang di luar ruangan, apabila hanya memakai baterai akan membutuhkan daya yang besar dan pemakaian tidak bisa bertahan lama.



DAFTAR PUSTAKA

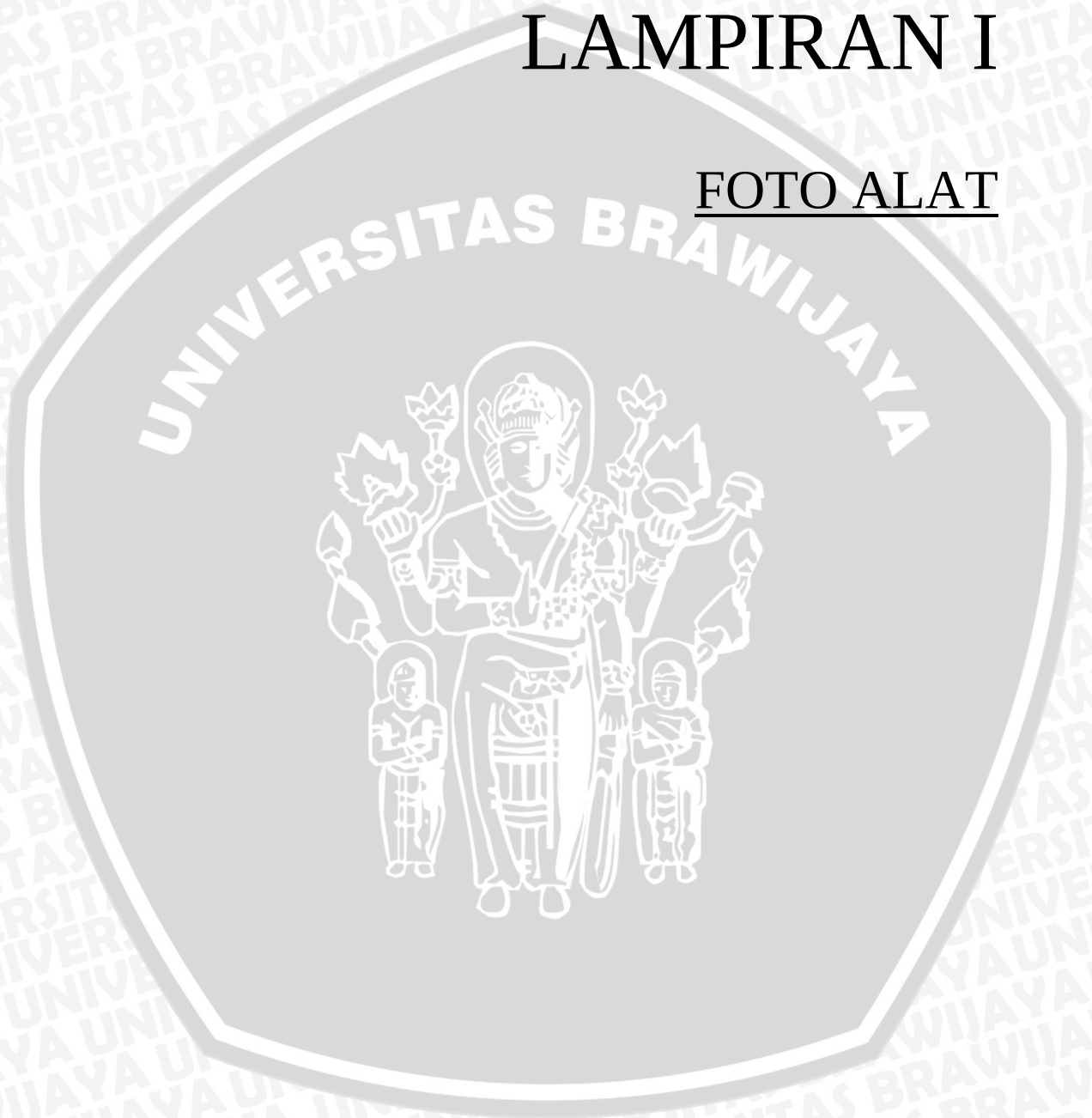
- Andrianto, H. 2013. *Pemograman Mikrokontroller AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C*. Bandung : Penerbit Informatika.
- Elsevier dan Rose Mary Pudner. 2005. *Nursing the Surgical Patient (Second Edition)*. Jakarta EGC
- Guyton C Arthur. 2012. *Fisiologi Kedokteran*. Elsevier: Misisipi
- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Terjemahan Edi Leksono, Jakarta : Erlangga.
- Ogata, K. 2002. *Modern Control Engineering*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
- Tjitro, B dan S, Jerry. 2004. "Perbaikan alat Bantu kerja dengan pendekatan ergonomik dan keselamatan kerja di PT. Karya Mulia Indah Sidoarjo". Tugas akhir S1, Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya, Surabaya





LAMPIRAN I

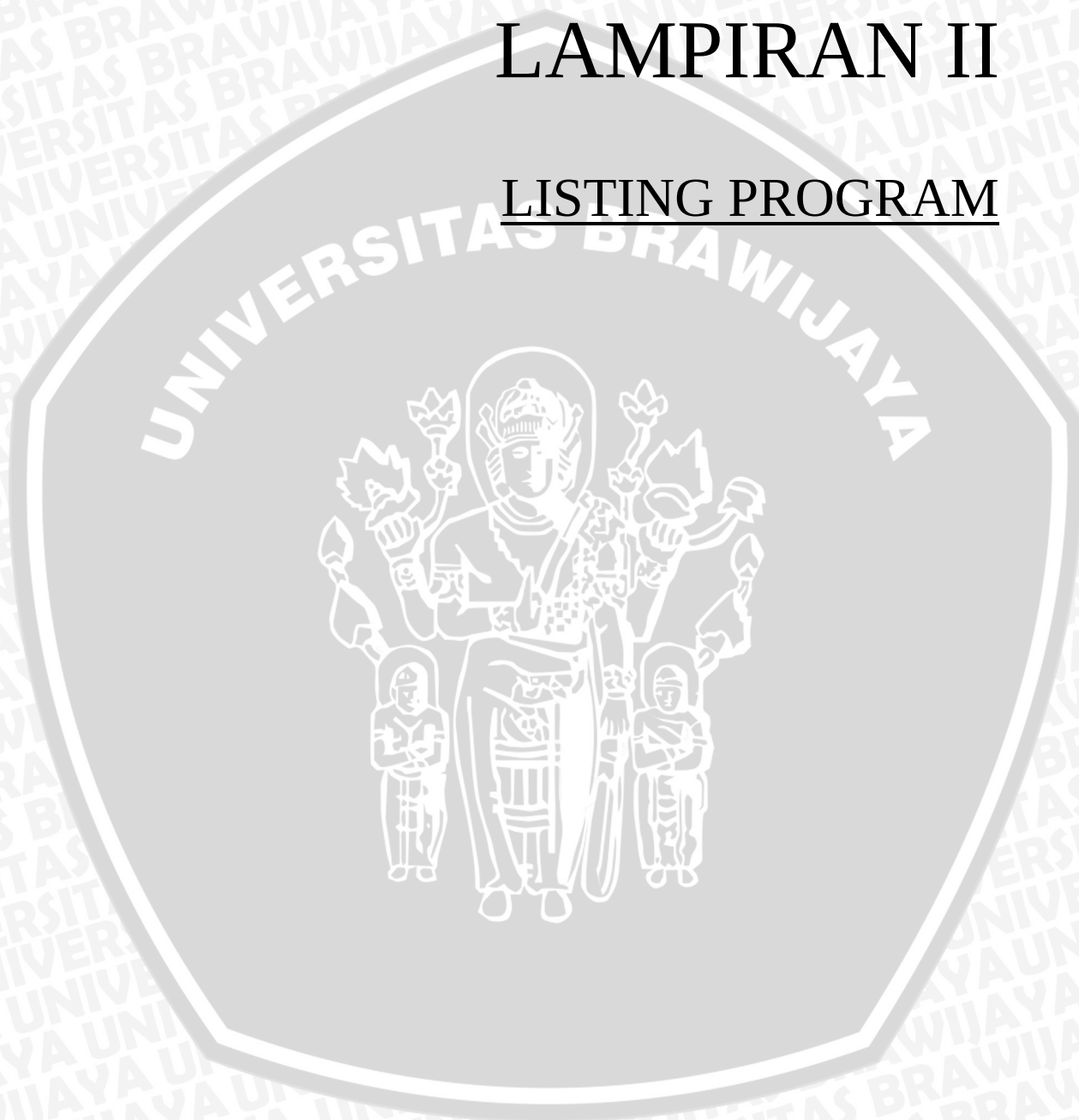
FOTO ALAT





LAMPIRAN II

LISTING PROGRAM





LAMPIRAN III

DATASHEET

