

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Suhu Sterilisasi Alat Bedah Menggunakan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

- Keluarga penulis, Bapak Edi Yusuf dan Ibu Sujiatini yang telah merawat, memberikan kasih sayang, membesarkan, membimbing dan mendoakan penulis hingga sampai pada kesuksesan saat ini.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Bapak Hadi Suyono ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Ibu Rusmi Ambarwati selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis atas segala nasihat dan bimbingan yang telah diberikan
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol Jurusan teknik Elektro UB.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T. selaku Dosen Pembimbing skripsi 1 atas segala ilmu, bimbingan, nasihat, gagasan, ide, saran, motivasi, dan bantuan yang telah diberikan.
- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing skripsi 2 atas segala ilmu, bimbingan, nasihat, gagasan, ide, saran, motivasi, dan bantuan yang telah diberikan.
- Bapak Ibu Dosen, karyawan, staff recording dan RBTE atas segala bantuan dan kemudahan.

- Sahabat penulis Ika, Dina, Khairul, Hizba, Reta, Fuad, Bagus Mitra, Joko yang selalu memberikan dukungan selama perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
- Sahabat seperjuangan yang selalu membantu dan mendukung skripsi penulis: Faishol, Fauzan, Fajar, Rahman, Wawan, Ahlan, Radek, Aziz, Fuad, Nizar, Reta, Shanty, Bayu I, Haris, Roy dan teman-teman lain yang juga saling membantu untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.
- Rekan Asisten Laboratorium Sistem Kontrol dan teman-teman Konsentrasi Teknik Kontrol: Ika, Dina, Sandi, Hamu, Khairul, Hakiki, Ayu, Rudito, Ade, Neta dkk yang membantu selama perkuliahan dan organisasi di Elektro.
- Rekan – rekan mahasiswa Teknik Elektro Brawijaya, Keluarga Besar Magnet'10 serta sahabat – sahabatku terima kasih untuk semuanya.
- Seluruh Keluarga Besar Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, serta semua pihak yang tidak mungkin untuk dicantumkan namanya satu per satu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum 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 skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
ABSTRAK	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sterilisasi.....	5
2.1.1 Metode Fisika.....	7
2.2 Sensor Suhu <i>Resistive Temperature Detector</i> (RTD) PT100.....	8
2.3 Elemen Pemanas.....	8
2.4 MOC3021.....	9
2.5 PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	10
2.6 Arduino Mega.....	12
2.7 Kontroler.....	12
2.7.1 Kontroler Proporsional.....	13
2.7.2 Kontroler Integral.....	14
2.7.3 Kontroler Differensial.....	14
2.7.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial.....	15
2.7.5 Metode Perancangan Kontrol PID <i>Ziegler-Nichols</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Perancangan Sistem.....	18
3.2 Perancangan dan Realisasi Pembuatan Alat.....	18
3.4 Pengujian dan Analisis Data.....	19
3.5 Pengambilan Kesimpulan.....	19
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	20



4.1	Perancangan Sistem	20
4.2	Diagram Blok Sistem	20
4.3	Spesifikasi Alat.....	21
4.4	Prinsip Kerja Sistem	22
4.5	Rangkaian Komponen Pendukung.....	22
4.5.1	Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100.....	22
4.5.2	Rangkaian <i>Driver</i> Pemanas dengan Sumber AC.....	26
4.5.3	Rangkaian Catu Daya	26
4.5.4	Rangkaian <i>Relay</i> Motor Pompa.....	27
4.6	Perancangan Kontroler PID	28
4.7	Modul Arduino Mega 2560	30
4.8	Perancangan Perangkat Lunak.....	31
4.8.1	<i>Flowchart</i> Sistem Secara Keseluruhan	31
4.8.2	<i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor Suhu	32
4.8.3	<i>Flowchart</i> Perhitungan Parameter PID.....	32
4.8.4	Membuat Program C dengan Arduino <i>compiler</i> 1.0.6	33
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM.....		34
5.1	Pengujian Sensor PT100	34
5.2	Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100.....	36
5.3	Pengujian <i>Driver</i> Pemanas.....	38
5.4	Pengujian Tanpa Kontroler	39
5.5	Pengujian Keseluruhan sistem	41
5.6	Pengujian Keseluruhan Sistem dengan Gangguan	45
BAB VI PENUTUP		48
6.1	Kesimpulan	48
6.2	Saran.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fase Pertumbuhan Mikroorganismen.....	6
Gambar 2.2 PT100	8
Gambar 2.3 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Dasar	9
Gambar 2.4 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut.....	9
Gambar 2.5 <i>Schematic</i> MOC 3021	10
Gambar 2.6 Gelombang Kotak yang memiliki y -max, y -min dan D	11
Gambar 2.7 Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> dengan nilai rata-rata tegangan.....	12
Gambar 2.8 Tampak depan Arduino Mega.....	12
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proporsional	14
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Integral	14
Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler Diferensial.....	15
Gambar 2.12 Diagram Blok Kontroler PID.....	15
Gambar 2.13 Respon unit Step Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i>	16
Gambar 2.14 Respon <i>Plant</i> Terhadap Masukan Berupa Unit Step.....	16
Gambar 2.15 Kurva Yang Berbentuk S	17
Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem	20
Gambar 4.2 Skema Alat	21
Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100	23
Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100	24
Gambar 4.5 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100.....	25
Gambar 4.6 Skema Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu PT100	26
Gambar 4.7 <i>Power supply</i> Simetris.....	27
Gambar 4.8 <i>Relay</i> Motor Pompa.....	27
Gambar 4.9 Kurva Respon yang Berbentuk s.....	28
Gambar 4.10 Karakteristik Respon suhu 121°C	29
Gambar 4.11 Karakteristik Respon suhu 132°C	29
Gambar 4.12 Modul Arduino Mega 2560.....	30
Gambar 4.13 <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan	31
Gambar 4.14 <i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor Suhu.....	32
Gambar 4.15 <i>Flowchart</i> Perhitungan Parameter PID	32
Gambar 4.16 Program Arduino <i>compiler</i> 1.0.6.....	33

Gambar 5.1 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu35

Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian RPS PT10036

Gambar 5.3 Perbandingan Nilai V Pembacaan Suhu Pada Serial Monitor (RPS) dengan V teori37

Gambar 5.4 Hubungan Sinyal PWM dengan Suhu.....39

Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian Keseluruhan.....40

Gambar 5.6 Hasil Pengujian *output* Grafik Pembentukan Kurva S Plant.....41

Gambar 5.7 Hasil Pengujian Keseluruhan dengan *setpoint* 121°C.....42

Gambar 5.8 Hasil Pengujian Keseluruhan dengan *setpoint* 132°C.....43

Gambar 5.9 Hasil Pengujian *hand tuning* dengan *setpoint* 121°C.....44

Gambar 5.10 Hasil Pengujian *hand tuning* dengan *setpoint* 132°C.....44

Gambar 5.11 Respon Sistem yang Diberi Gangguan dengan *setpoint* 121°C46

Gambar 5.12 Respon Sistem yang Diberi Gangguan dengan *setpoint* 132°C47



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan Dasar Ziegler Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plant 17

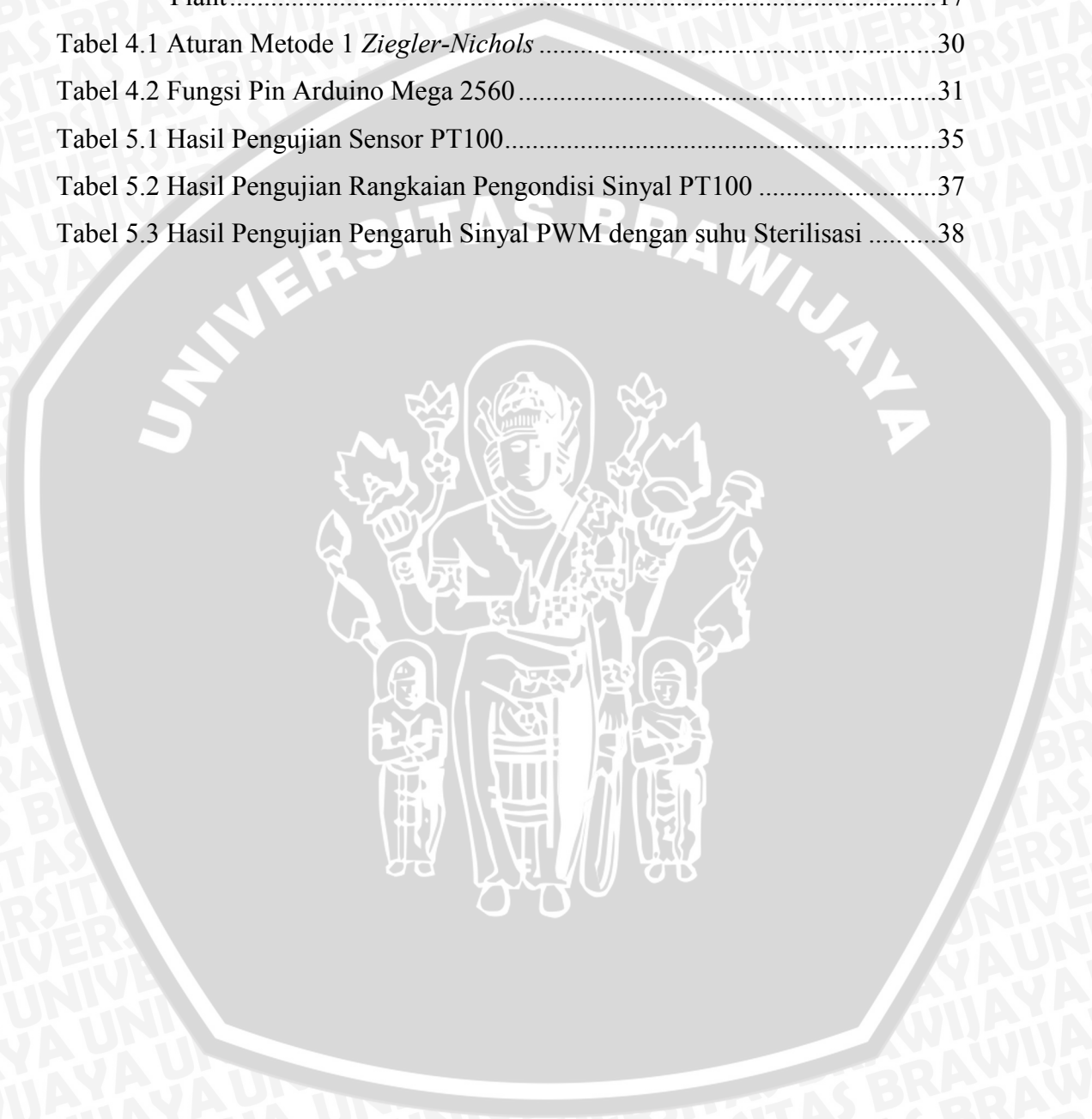
Tabel 4.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols 30

Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Mega 2560 31

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100 35

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 37

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Pengaruh Sinyal PWM dengan suhu Sterilisasi 38



ABSTRAK

Rachman Bagus Sujatmoko, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2013, *Pengendalian Suhu Sterilisasi Alat Bedah Menggunakan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT., dan M Aziz Muslim., ST., MT., Ph.D.

Sterilisasi peralatan yang sesuai *standard* (dari literatur yang digunakan) akan tercapai, apabila temperatur merata di setiap bagian yang disterilkan selama waktu sterilisasi (*holding time*) yang ditentukan. Untuk mempermudah tercapainya kondisi *steady* dalam proses sterilisasi, dan meminimalisir terjadinya *human error* pada proses ini maka digunakanlah kontroler PID dengan metode sterilisasi kering.

Pertimbangan penggunaan kotroler PID dan metode sterilisasi panas kering adalah mempercepat pencapaian suhu setpoint antara 116°-132°C dan mempertahankan waktu sterilisasi (*Holding time*) . Berdasarkan metode *Ziegler-Nichols* I didapatkan beberapa nilai parameter PID untuk suhu *setpoint* 121°C dengan nilai $K_p= 3.6$, $K_i= 0.04$, $K_d= 90$ dan untuk suhu *setpoint* 132°C dengan nilai parameter $K_p= 4.2$, $K_i= 0.05$, $K_d= 92.4$.

Hasil pengujian kontroler PID dengan menggunakan parameter yang didapatkan dari metode *hand tuning*, sistem pengendalian suhu sterilisasi ini mampu menjaga suhu *setpoint* dengan *error steady state* sebesar 0.46% dan 3.1%.

Kata Kunci : Sterilisasi Kering, PT100, Kontroller PID, Arduino Mega 2560.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia kedokteran, tingkat kesterilan media, peralatan dan ruang untuk merawat pasien adalah salah satu faktor yang perlu diperhatikan. Tingkat kesterilan media pada dunia kedokteran merupakan hal yang penting sebagai tindakan pencegahan agar segala proses medis yang dilakukan terhadap pasien dapat dilakukan dengan aman, dengan mensterilkan media atau peralatan kedokteran khususnya pada peralatan bedah dapat memperbesar kemungkinan terhindarnya pasien dan juga para petugas medis dari infeksi bakteri, kuman dan lainnya yang berbahaya bagi kesehatan tubuh. Salah satu cara melakukan pensterilan pada media alat-alat bedah kedokteran adalah sterilisasi, sterilisasi merupakan proses menghilangkan semua mikroorganisme (bakteria, virus, fungi dan parasit) endospora bakterial dari benda mati dengan uap tekanan tinggi (otoklaf), panas kering (oven), pesterilan kimiawi, atau radiasi (Departemen Kesehatan RI. 2008 : 4-27).

Namun, di Indonesia tingkat kesterilan tersebut kurang mendapat perhatian karena penurunan waktu *holding time* (waktu tempuh proses sterilisasi) dengan suhu yang ditetapkan pada *setpoint* proses sterilisasi. Karena kekurangan tersebut dapat ditemui fakta bahwa peralatan dan bahkan para perawat atau pekerja rumah sakit, terkontaminasi bakteri. Fakta ini didukung oleh (Triadmodjo, Pudjarwoto. 1993 : 24) di dalam makalahnya disebutkan bahwa 4 dari 11 alat bedah yang diperiksa masih mengandung kuman dan bakteri.

Pada sistem sterilisasi perlu diperhatikan proses pemanasan yang sesuai dengan suhu *setpoint*. Pemanasan pada proses sterilisasi peralatan plastik dengan panas kering membutuhkan waktu kurang lebih selama 20 menit, namun hasilnya akan lebih baik selama 1 jam. Rentang suhu yang umum digunakan pada sterilisasi panas kering antara 116-132°C dan dengan waktu yang disesuaikan. Contohnya bahan-bahan gelas dan logam dapat disterilkan pada suhu 132°C selama 2 sampai 5 menit. Kenaikan suhu berpengaruh pada waktu sterilisasi, semakin tinggi suhu, maka waktu sterilisasi akan semakin cepat. (J.C. Frederick and P.A. James , 2007:151)

Sebelumnya telah dilakukan penelitian dan dibuat sistem pengendalian suhu pada sterilisasi alat bedah dengan cara mengendalikan panas yang dihasilkan oleh *heater* (elemen pemanas) dan pemerataan panas menggunakan kipas dan menggunakan kontroler *fuzzy*. Hasil penelitian dengan *setpoint* suhu dengan toleransi *error* sebesar 5%, pada mode 1 *error*

sebesar 1,12% (pemanasan selama 2 menit dengan suhu 132 °C), pada mode 2 (pemanasan selama 12 menit dengan suhu 121 °C) error sebesar 1,45% (Raden Paku, 2011). Namun pada penelitian ini hasil untuk penempuhan *holding time* (waktu proses sterilisasi) pada tiap mode tidak sesuai dengan target perancangan dengan rata-rata kesalahan diatas 5%.

PID adalah kontroler gabungan dari kontroler Proporsional, Integral dan Differensial. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan bisa mendapatkan keluaran sistem yang sesuai dengan *setpoint* dan *overshoot* kecil hingga hampir tidak ada. Keuntungan dari penggunaan kontroler PID adalah merupakan sistem yang cukup sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan.

Proses sterilisasi alat bedah akan tercapai apabila *holding time* (waktu sterilisasi) dan temperatur sesuai dengan *setpoint*. Dengan skripsi ini diharapkan parameter waktu dan suhu pada proses sterilisasi dapat dimaksimalkan sehingga tingkat kesterilan media atau alat bedah dapat ditingkatkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada sistem sterilisasi alat bedah dan pembacaan sensor suhu yang sesuai dengan menggunakan kontroler PID?
2. Bagaimana cara menghasilkan respon sistem pengendalian suhu pada sistem sterilisasi alat bedah menggunakan kontroler PID berbasis Arduino mega 2560?

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat diberi batasan sebagai berikut :

1. Perancangan dan pembuatan alat pengendalian suhu sterilisasi alat bedah berdasarkan desain sendiri.
2. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu dengan menggunakan kontroler PID pada sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*).
3. Alat sterilisasi dirancang untuk mensterilkan pisau bedah, kain bedah, dan. Untuk jarum suntik proses sterilisasi hanya dapat digunakan sebelum pemakaian.
4. *Setpoint* suhu yang dikendalikan terdapat 2 mode yaitu, mode 1 dengan suhu 121 °C selama 12 menit, dan mode 2 dengan suhu 132 °C selama 2 menit.
5. Tidak membahas secara rinci tentang bagaimana cara menganalisis steril tidaknya peralatan setelah mengalami proses sterilisasi.

6. Tidak membahas secara rinci tentang disinfektan yang digunakan untuk disinfeksi pada alat bedah saat proses sterilisasi.
7. Sensor yang digunakan adalah PT 100.
8. Menganalisis *error steady state*.
9. Pengujian dilakukan pada suhu ruang.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan penelitian sebelumnya, yaitu :

1. Merancang sebuah sistem sterilisasi yang dilengkapi pengaturan suhu dengan menerapkan kontrol logika PID sebagai pengendali sehingga suhu ruang pada proses sterilisasi dapat dipertahankan sesuai dengan *setpoint*.
2. Menguji kelayakan sistem pengendalian suhu pada sistem sterilisasi alat bedah menggunakan kontrol PID dengan acuan *setpoint* suhu dan *holding time* (waktu tunda) proses sterilisasi.

1.5 Sistematika Pembahasan

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, batasan masalah, rumusan masalah, manfaat serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berisi dasar teori penunjang penelitian. Pustaka yang diambil adalah pustaka yang relevan dan sesuai serta mendukung penelitian, seperti buku-buku ilmu pengaturan, identifikasi, dan lain-lain. Selain dari buku pustaka juga akan diambil dari jurnal, internet, dan sumber pengetahuan yang lain.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan alat seperti perancangan dan pembuatan rangkaian *interface*, pengujian alat, pengambilan data dan analisis data yang digunakan dalam skripsi ini.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Sistem

Bab ini berisi tentang perancangan keseluruhan sistem dengan menggunakan controller PID. Setelah itu, bagaimana menerapkannya ke dalam modul Arduino Mega 2560 dan *software* di komputer sehingga sistem dapat bekerja dengan baik.

BAB V Pengujian dan Analisis Sistem

Bab ini berisi tentang hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini, maka semua hal yang sudah dikerjakan pada bab sebelumnya, dianalisis, dan diambil kesimpulan. Serta rekomendasi dan saran untuk pengembangan alat.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sterilisasi

Untuk menciptakan lingkungan bebas infeksi yang terpenting adalah bahwa setiap proses untuk pencegahan infeksi yang sesuai anjuran dan batasannya dapat dimengerti oleh staf kesehatan pada setiap tingkatan, dimulai dari petugas pelayanan kesehatan sampai dengan petugas kebersihan dan pemeliharaan. Proses pencegahan infeksi dasar yang dianjurkan guna mengurangi infeksi penyakit dari instrumen bedah yang kotor, sarung tangan bedah, dan barang-barang habis pakai lainnya adalah *precleaning* (prabilas), pencucian dan pembersihan, sterilisasi atau disinfeksi tingkat tinggi (DTT) (Departemen Kesehatan RI. 2008 : 4-25). Sterilisasi dalam bidang mikrobiologi merupakan proses membebaskan tiap benda atau substansi dari semua kehidupan dalam bentuk apapun (Irianto, Koes. 2007 : 75).

Pertumbuhan mikroorganisme pada suatu medium mengalami fase-fase yang berbeda, secara berturut disebut dengan fase lag, fase eksponensial, fase stasioner dan fase kematian. Sebagian besar mikroorganisme dapat hidup dan berkembang biak pada suhu 15-63°C. Kondisi ideal mikroorganisme berkembang biak dengan cepat adalah pada saat suhu 37°C. Jika semakin banyak jumlah mikroorganisme, maka semakin lama waktu sterilisasi yang dibutuhkan. Berikut fase-fase pertumbuhan dari mikroorganisme dan juga penjelasannya:

1. Fase Lag

Adalah kondisi dimana bakteri baru saja dibiakkan dalam medium. Pada fase ini bakteri belum melakukan pembelahan, tetapi terjadi peningkatan massa volume, sintesis enzim, protein, RNA dan peningkatan aktifitas metabolik. Pada fase tersebut bakteri lebih banyak melakukan adaptasi dengan lingkungan.

2. Fase eksponensial

Adalah fase dimana bakteri melakukan pembelahan secara biner dengan jumlah kelipatan (eksponensial). Pada fase ini, jumlah mikroorganisme mengalami lonjakan yang sangat cepat.

3. Fase stasioner

Adalah fase dimana bakteri sudah tidak melakukan pembelahan lagi.

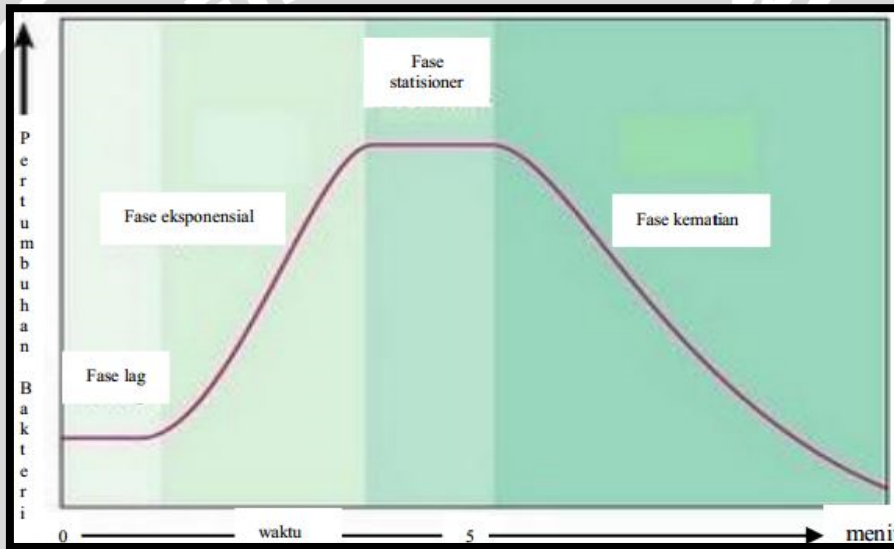
Ada 3 penyebab utama yang menyebabkan fase tersebut, yaitu:

- Ketidak-tersediaan nutrient.
- Penumpukan metabolit penghambat dan produk akhir.
- Kekurangan ruang gerak. Pada fase stasioner juga disebut "*lack of biological space*".

4. Fase kematian

Kelanjutan dari fase stasioner adalah fase kematian, dimana akan terjadi pengurangan jumlah sel bakteri yang hidup.

Fase pertumbuhan mikroorganisme ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fase Pertumbuhan Mikroorganisme (Iqbalali .2014)

Dalam dunia medis, proses pencucian atau pembersihan perangkat atau peralatan bedah harus melalui proses sterilisasi terlebih dahulu. Petugas pelayanan kesehatan yang bekerja pada bagian ini baik instrumen yang akan digunakan khususnya alat bedah juga harus melalui proses sterilisasi dan menggunakan pakaian pelindung yang sesuai. Cara sterilisasi yang tepat untuk peralatan-peralatan tersebut menjadi hal yang penting agar mencegah terjadinya penularan infeksi baik pada petugas pelayanan kesehatan maupun pasien yang sedang dirawat. Metode sterilisasi dengan pemanasan merupakan metode yang paling efektif untuk menon-aktifkan bakteri dan kuman, didukung pernyataan oleh (Stefanus, L. 2006) karena panas dan kering dari autoklaf kurang efektif dalam membunuh mikroba, sehingga proses sterilisasi

memerlukan suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih panjang. Penggunaan desinfektan, mempunyai efektivitas yang tinggi pada sebagian besar mikroorganisme dalam konsentrasi yang sedikit, sehingga ekonomis dalam pemakaiannya dan tidak beracun untuk hewan dan tumbuhan (Irianto, Koes. 2007 : 81). Oleh karena itu metode sterilisasi dan desinfeksi dengan pemanasan dipilih dalam skripsi ini.

2.1.1 Metode Fisika

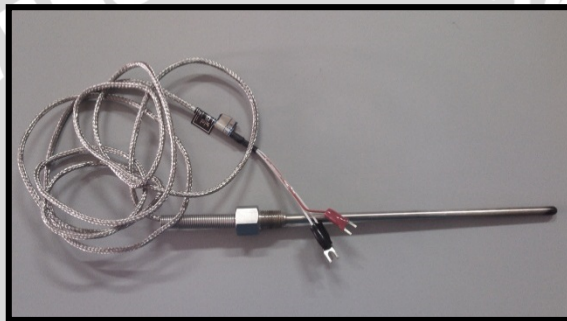
Sterilisasi panas kering adalah metode yang paling efektif untuk alat berbahan dari kaca dan alat-alat bedah. Selama pemanasan kering, mikroorganisme dibunuh oleh proses oksidasi. Mikroorganisme pembentuk spora tidak dapat dinon-aktifkan dengan suhu sampai 121°C. Pada umumnya sterilisasi panas kering membutuhkan pemaparan pada suhu 121°C selama 12 menit, namun hasilnya akan lebih baik jika dilakukan selama 30 menit.

Suhu yang umum digunakan pada sterilisasi peralatan plastik dengan panas kering adalah 116°C dalam waktu kurang lebih 20 menit, tapi untuk hasil yang lebih baik dipanaskan selama 1 jam. Rentang suhu yang umumnya digunakan pada sterilisasi panas kering antara 116- 132°C dan waktu yang disesuaikan dengan rentang suhu tersebut dengan objek yang akan disterilkan, sebagai contoh : bahan-bahan gelas dan logam dapat disterilkan pada suhu 132°C selama 2 sampai 5 menit. Kenaikan suhu selama pemanasan tersebut berpengaruh pada waktu sterilisasi, semakin tinggi suhu, maka waktu sterilisasi akan semakin cepat. (J. C. Frederick and P. A. James ,2007:151)

Oven, selain mengeringkan juga berfungsi sebagai alat sterilisasi. Prinsip kerja dalam oven dengan menggunakan aliran udara panas dan kering (Sumarsih. 2010). Oven sebagai alat sterilisasi ini berupa ruang tertutup dengan alat pemanas di dalamnya dan juga kipas untuk meratakan suhu ruang pada ruang tersebut. Penggunaan larutan desinfektan pada sterilisasi oven kering bertujuan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme pada alat-alat yang akan disterilkan. Sifat larutan desinfektan yang mudah menguap, tidak akan mengganggu proses sterilisasi dengan panas kering.

2.2 Sensor Suhu *Resistive Temperature Detector* (RTD) PT100

Sensor suhu digunakan untuk mengetahui perubahan panas yang terjadi di dalam tangki larutan. PT100 (Gambar 2.2) merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.



Gambar 2.2 PT 100 (Perancangan)

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni *Class-A* dan *Class-B*. PT100 *Class-A* memiliki akurasi $\pm 0,06$ ohm dan PT100 *Class-B* memiliki akurasi $\pm 0,12$ ohm. Keakuratan ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 *Class-A* bisa menurun hingga $\pm 0,43$ ohm ($\pm 1,45^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C , dan PT100 *Class-B* bisa menurun hingga $\pm 1,06$ ohm ($\pm 3,3^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C .

2.3 Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua

ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan.

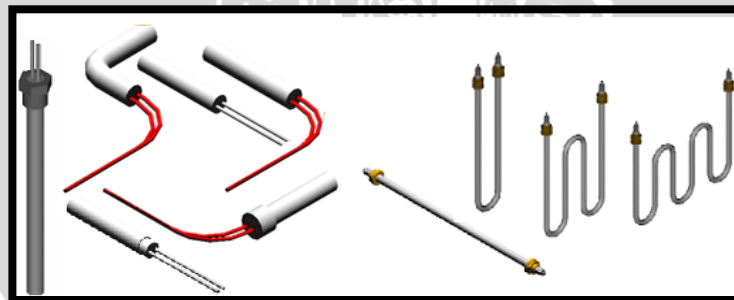
Ada 2 macam jenis utama pada elemen pemanas listrik ini yaitu :

- Elemen Pemanas Listrik bentuk dasar (Gambar 2.3) yaitu elemen pemanas dimana *Resistance Wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : *Ceramic Heater*, *Silica and Quartz Heater*, *Bank Channel Heater*, *Black Body Ceramic Heater*.



Gambar 2.3 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Dasar (Agustanto, 2012)

- Elemen pemanas listrik bentuk lanjut (Gambar 2.4) merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *Mild Steel*, *Stainless Steel*, tembaga dan kuningan.



Gambar 2.4 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut (Agustanto, 2012)

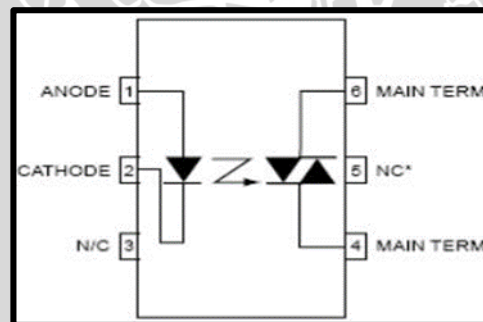
2.4 MOC 3021

Data yang telah diolah oleh kontroller PID pada mikrokontroler akan dikeluarkan oleh pin I/O mikrokontroler. Keluaran dari mikrokontroler ini akan menjadi masukan rangkaian *driver* elemen pemanas berupa opto triac tipe MOC3021.

MOC3021 Komponen ini merupakan jenis opto isolator yang digunakan sebagai antar-muka (*interface*) antara peralatan dengan sumber tegangan DC (seperti mikrokontroler, PC), dengan peralatan yang menggunakan sumber tegangan AC (lampu, motor listrik, pemanas). MOC3021 secara umum berfungsi hampir sama seperti sebuah saklar, dimana sebuah picu pada pin masukan dibutuhkan untuk *trigger* triac pada keluaran.

Konfigurasi Pin MOC3021 ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pin 1 merupakan pin masukan anoda, pin 2 merupakan pin masukan katoda, pin 3 dan 5 tidak digunakan, simbol NC sama dengan *No Connection* dalam artian tidak ada sambungan.

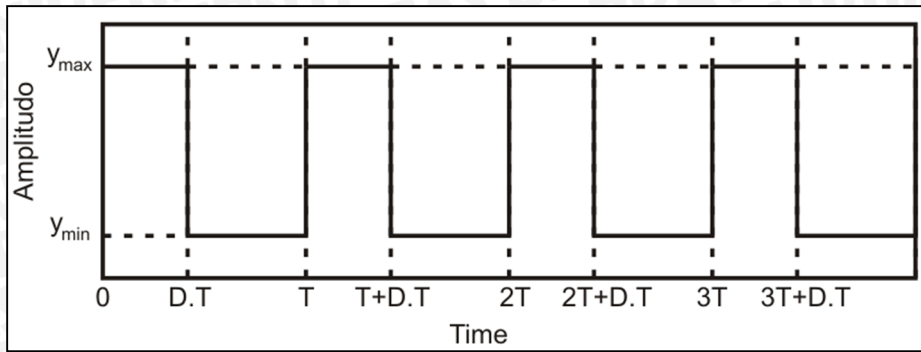
MOC3021 sendiri tidak dapat berfungsi sama seperti triac pada umumnya, yang langsung dapat menjadi *driver* bagi beban, sehingga Pin 6 (*main terminal* triac MOC) harus dihubungkan dengan *main terminal* triac eksternal. Pin 4 harus dihubungkan dengan *gate* triac eksternal. Sumber: MOC3021 *Datasheet Book* : 1.



Gambar 2.5 Schematic MOC3021 (Robert T., 2013)

2.5 PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM menggunakan gelombang kotak dengan *duty cycle* tertentu menghasilkan berbagai nilai rata-rata dari suatu bentuk gelombang (Andrianto, 2013). Jika bentuk gelombang $f(t)$ dengan nilai batas bawah y_{min} , batas atas y_{max} dan *duty cycle* D , seperti dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gelombang kotak yang memiliki y_{max} , y_{min} dan D (Adrianto, 2013)

Nilai rata-rata dari bentuk gelombang dalam Gambar 2.6 adalah :

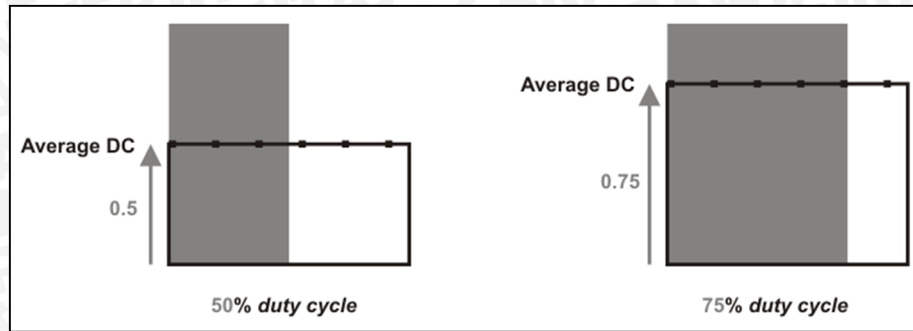
$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

Jika $f(t)$ adalah gelombang kotak, maka nilai y_{max} adalah dari $0 < t < D \cdot T$ dan nilai y_{min} dari $D \cdot T < t < T$. maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \\ \bar{y} &= \frac{D \cdot T \cdot y_{max} + T(1 - D)y_{min}}{T} \\ \bar{y} &= D \cdot y_{max} + (1 - D)y_{min} \end{aligned}$$

Persamaan tersebut dapat disederhanakan dimana $y_{min} = 0$ sehingga bentuk persamaan akhir $\bar{y} = D \cdot y_{max}$. Dari persamaan ini nilai rata-rata dari sinyal (\bar{y}) bergantung pada *duty cycle* D .

Duty Cycle menyatakan presentase keadaan logika *high* (pulse) dalam satu periode sinyal. Satu siklus diawali oleh transisi *low to high* dari sinyal dan berakhir pada transisi berikutnya. Selama satu siklus, jika waktu sinyal pada keadaan *high* sama dengan *low* maka dikatakan sinyal mempunyai *duty cycle* 50% (Andrianto, 2013). Hubungan antara *Duty Cycle* dengan nilai rata-rata tegangan ditunjukkan dalam Gambar 2.7.

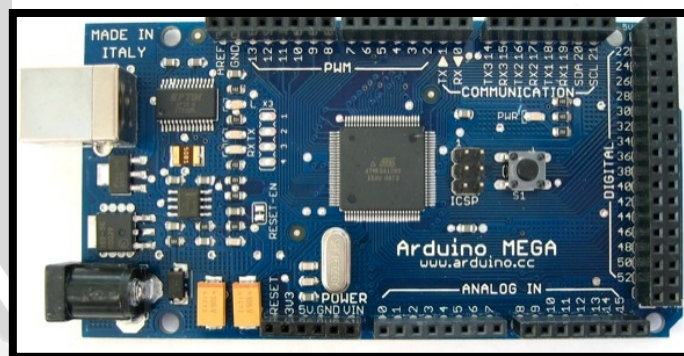


Gambar 2.7 Hubungan antara *Duty Cycle* dengan nilai rata-rata tegangan (Adrianto, 2013)

2.6 Arduino Mega

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega2560. Memiliki 54 pin input dan output digital, dimana 14 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih 2 kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Tampak Depan Arduino Mega (electroshematics.com)

2.7 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Disamping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara

relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespon *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*overshoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran plan dengan nilai referensi. Kemudian kontroler menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata K., 1997).

2.7.1 Kontroler Proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

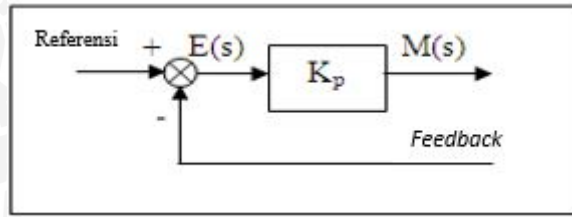
$$m(t)=K_p e(t) \dots\dots\dots(2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots(2.2)$$

di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Proposional (Ogata K., 1997)

2.7.2 Kontroler Integral

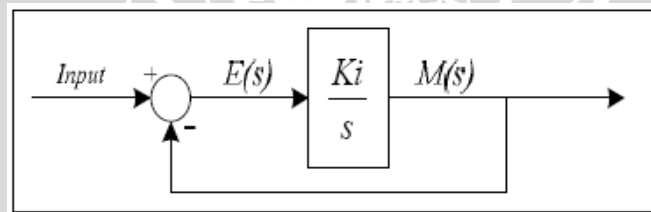
Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$.

Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = Kie(t) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan K_i adalah konstanta integral. Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut kontrol *reset* yang digunakan untuk menghilangkan *error steady state* (Ogata K.,1997).

Diagram blok kontroler integral ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata K., 1997)

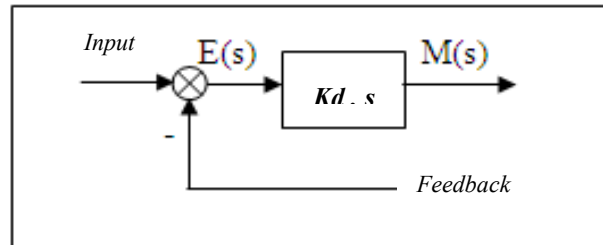
2.7.3 Kontroler Diferensial

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler diferensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd \cdot s \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan K_d adalah konstanta diferensial yang digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Gambar 2.11 menunjukkan diagram blok kontroler diferensial.



Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler Diferensial (Ogata K., 1997)

2.7.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan diferensial mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai

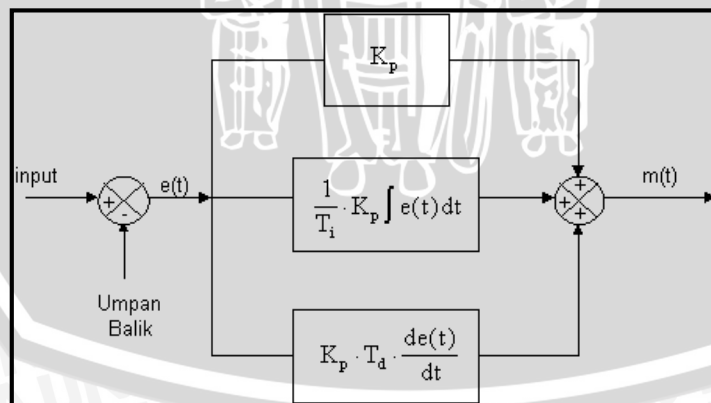
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan T_i adalah waktu integral, dan T_d adalah waktu derivatif.

Gambar 2.12 menunjukkan diagram blok kontroler PID



Gambar 2.12 Diagram Blok Kontroler PID (Ogata K., 1997)

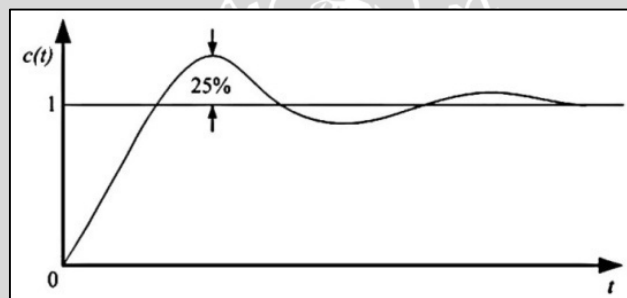


2.7.5 Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

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 plan (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.

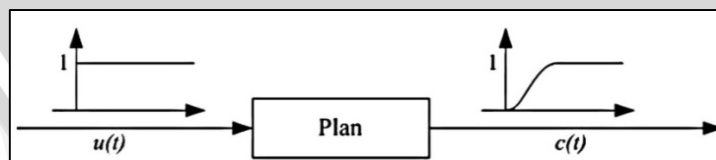
Kurva respon unit step yang menunjukkan 25% *maximum overshoot* terlihat dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kurva Respon Unit Step Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot* (Ogata K., 1997)

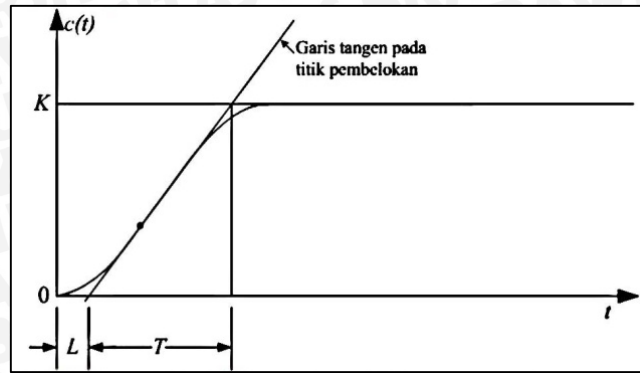
a) Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Respon Plan Terhadap Masukan Berupa Unit Step (Ogata K., 1997)

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.15, jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata K., 1997).



Gambar 2.15 Kurva yang Berbentuk S (Ogata K., 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.15. Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 (Ogata K., 1997).

Tabel 2.1 Aturan Penalaran Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step dari Plan (Ogata K., 1997)

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

Aturan untuk metode pertama dengan persamaan sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

$G_c(s)$ merupakan penguatan sistem yang memiliki nilai gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d .



BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penyelesaian rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian ini maka dibutuhkan metode penelitian dalam pelaksanaannya, berikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian:

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektrik serta pemrogramannya. Hal ini dimaksudkan agar pengendalian suhu pada sistem sterilisasi alat bedah dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan. Perancangan sistem yang dilakukan meliputi:

1. Wadah sterilisasi dibuat sebisa mungkin kedap udara agar saat proses sterilisasi terjadi tidak ada panas yang terbuang dan tidak ada mikroorganisme yang masuk selama proses sterilisasi berlangsung.
2. Suhu dan waktu yang diinginkan untuk pemanasan adalah mode 1 adalah 121°C selama 12 menit. Untuk mode 2 adalah 132°C selama 2 menit.
3. Penentuan rangkaian elektrik yang digunakan meliputi:
 - Rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100,
 - Rangkaian *driver* motor DC pompa.
 - Rangkaian pengatur daya elemen pemanas IC MOC3021
4. Penentuan spesifikasi sistem, meliputi:
 - Penentuan deskripsi kerja sistem keseluruhan,
 - Perancangan kontroler proporsional, integral, dan differensial serta rangkaian elektronik pendukung.
 - Perancangan program pada Arduino Mega2560 sebagai pusat pengontrolan dengan controller PID.

3.2 Perancangan dan Realisasi Pembuatan Alat

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan- tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Penyempurnaan konstruksi alat sterilisasi alat bedah dengan elemen pemanas sebagai aktuator pengendali suhu ruang pada alat.



2. Pembuatan rangkaian elektrik meliputi rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian *relay* motor DC pompa, dan rangkaian pengatur daya elemen pemanas dengan menggunakan IC MOC3021.
3. Perancangan program pada *software* Arduino Mega2560 sebagai pusat pengontrol dengan kontrol PID.

3.3 Pengujian dan Analisis Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat sebagai berikut :

1. Pengujian Sensor PT100
2. Pengujian LCD
3. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem
4. Pengujian alat secara keseluruhan
5. Evaluasi dan analisa pengujian sistem yang didapat

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang diperoleh sesuai dengan yang direncanakan, maka sistem kendali tersebut telah memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya..

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

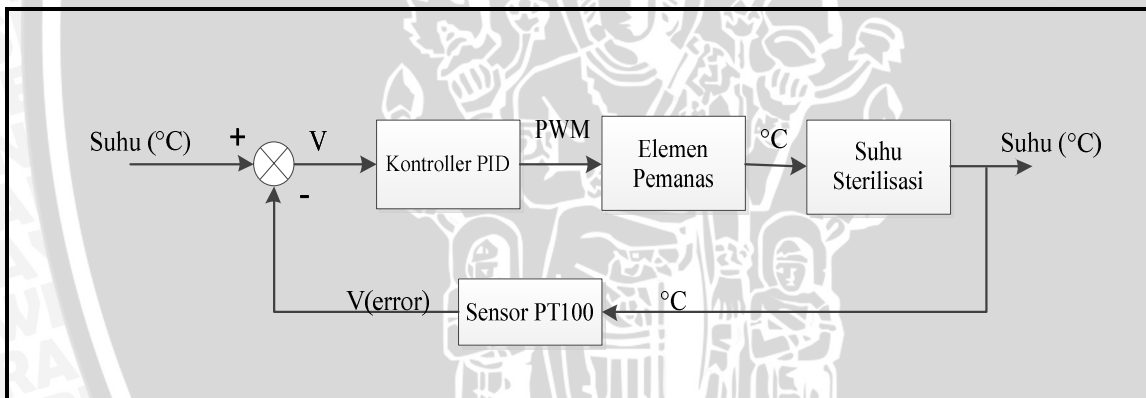
4.1 Perancangan Sistem

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknya maupun secara keseluruhan. Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan perangkat keras (*hardware*) terdiri atas perancangan rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100, *relay* motor pompa 12V, 2 elemen pemanas dengan daya sebesar 700 watt.
2. Pembuatan dan penyelesaian program perangkat lunak (*software*) Arduino untuk sensor suhu dan sinyal PWM untuk *driver* pemanas.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem (Perancangan)

Keterangan:

1. *Setpoint* sistem terdiri dari 2 mode yaitu mode 1 suhu 121°C, dan mode 2 suhu 131°C.
2. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID yang dimasukkan algoritmanya ke dalam Arduino Mega 2560.
3. *Input* kontroler PID berupa sinyal *error* dan *Output* kontroler PID berupa sinyal PWM untuk *driver* elemen pemanas.
4. *Box* sterilisasi sebagai *plant* sistem dan aktuator yang digunakan adalah elemen pemanas.

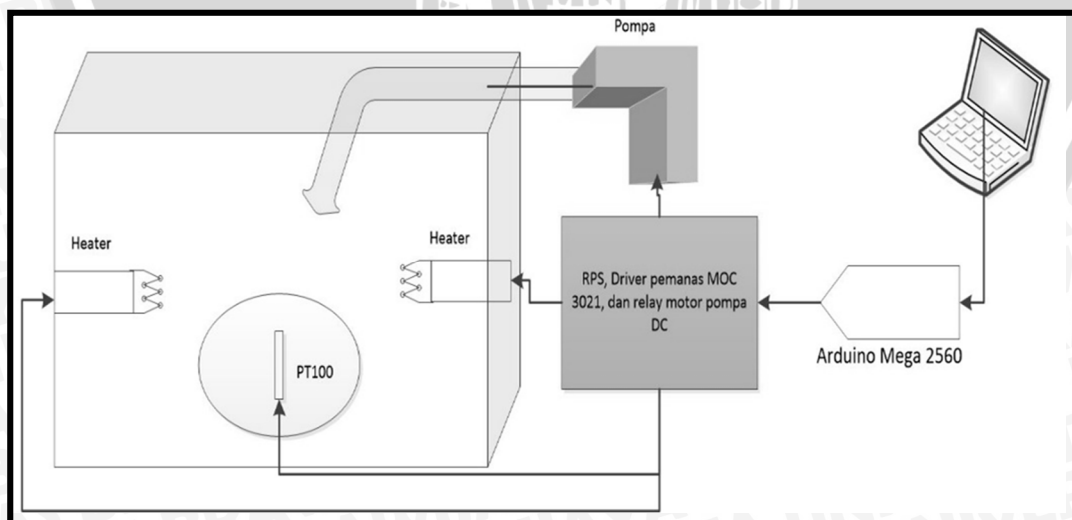
5. Sebagai umpan balik digunakan sensor PT100 untuk mengukur suhu sterilisasi alat bedah.

4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian suhu pada alat sterilisasi alat bedah menggunakan kontroller PID berbasis ATmega 2560 adalah sebagai berikut :

1. Alat sterilisasi berupa *box* alumunium dengan panjang 40 cm, lebar 26 cm dan tinggi 25 cm.
2. Alat bedah yang digunakan untuk proses sterilisasi adalah kain bedah untuk proses 1, dan pisau bedah untuk proses 2.
3. Proses sterilisasi dilakukan dengan menggunakan elemen pemanas 350 watt di kedua sisi *box* sterilisasi dan dengan motor pompa untuk menyemprotkan desinfektan pada objek sterilisasi saat inialisasi sistem selama 5 detik.
4. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 pada rentang suhu 116⁰ hingga 132⁰ Celcius selama proses berlangsung pada setiap mode sterilisasi.
5. Aktuator yang digunakan untuk mengatur suhu sterilisasi adalah elemen pemanas yang ditentukan oleh PWM (*Pulse Width Modulation*).
6. Perangkat kontrol yang digunakan adalah Arduino mega 2560 sebagai pengendali keluaran sinyal PWM pada *driver* elemen pemanas saat proses sterilisasi dimulai.

Skema perancangan alat dapat dilihat dalam Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 Skema Alat (Perancangan)

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut:

- Catu daya yang digunakan terdiri atas 4 macam, yaitu:
 1. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya untuk rangkaian pengondisi sinyal PT100.
 2. Catu daya +/- 12V DC digunakan sebagai catu daya untuk *relay* motor pompa.
 3. Catu daya 220V sebagai catu daya untuk driver pemanas.
- Aktuator yang digunakan pada proses sterilisasi alat bedah adalah elemen pemanas, dengan mengalirkan panas pada *box* sterilisasi dengan rincian suhu pemanasan 121°C untuk kain bedah selama 12 menit dan untuk pisau bedah dengan suhu 132°C selama 2 menit dan *relay* motor pompa untuk menyemprotkan cairan disinfektan pada objek sterilisasi selama 5 detik sebelum proses sterilisasi dimulai.
- PT100 merupakan sensor suhu yang bersifat resistif, artinya jika suhu berubah maka resistansi PT100 juga akan berubah. Dengan demikian, tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal juga akan berubah. Rentang tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal adalah 0-5V dengan rentang suhu 0-150°C.
- Keluaran Arduino Mega 2560 berupa sinyal PWM yang diatur dengan kontroler PID.

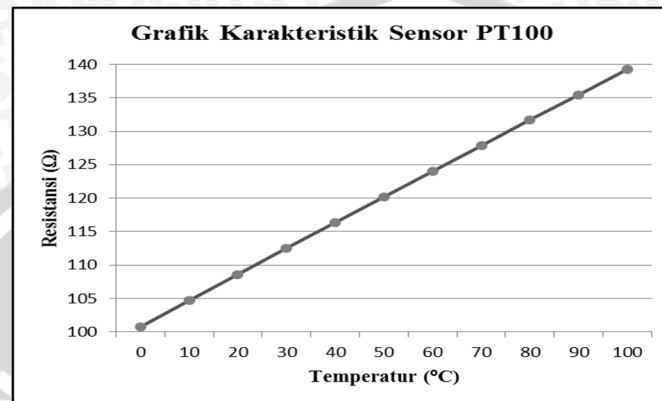
4.5 Rangkaian Komponen Pendukung

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian pendukung seperti rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian *driver* pemanas, dan rangkaian *relay* motor pompa. Di bawah ini merupakan penjelasan masing-masing perancangan perangkat keras dalam alat sterilisasi pada penelitian ini.

4.5.1 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100

Sebelum merancang rangkaian pengondisi sinyal, perlu diketahui karakteristik sensor suhu PT100. Berdasarkan teori yang didapat pada kajian teori, sensor PT100 merupakan sensor suhu jenis RTD (*Resistance Temperature*

Detector) dengan koefisien positif. Sehingga perubahan temperatur akan berbanding lurus dengan resistansi PT100. PT100 yang digunakan pada alat fermentasi ini digunakan untuk rentang pembacaan suhu antara 0-100°C. Gambar 4.3 menunjukkan grafik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada rentang suhu 0-100°C.



Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (Datasheet)

Berdasarkan *datasheet* sensor PT100, maka dapat dicari fungsi persamaan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada Persamaan 4-1.

$$\frac{R_{PT100} - 100}{139,26 - 100} = \frac{T - 0}{100 - 0}$$

$$\frac{R_{PT100} - 100}{38,48} = \frac{T}{100}$$

$$R_{PT100} - 100 = 0,385T$$

$$R_{PT100} = 0,385T + 100 \dots\dots\dots (4-1)$$

dengan:

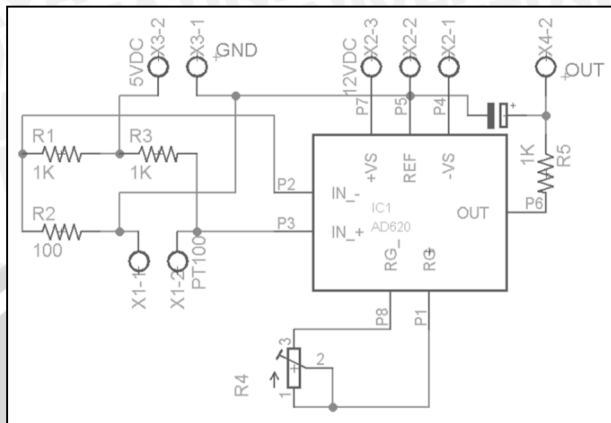
$$R_{PT100} = \text{Resistansi Sensor PT100 } (\Omega)$$

$$T = \text{Temperatur } (^{\circ}\text{C})$$

Keluaran sensor PT100 adalah resistansi. Oleh karena itu, diperlukan suatu rangkaian yang dapat mengubah besar resistansi sensor PT100 ke dalam tegangan tertentu agar perubahan suhu yang dideteksi oleh sensor PT100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT100 tersebut adalah rangkaian jembatan wheatstone.

Rangkaian jembatan wheatstone termasuk dalam rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100. Selain rangkaian jembatan wheatstone, pada rangkaian

pengondisi sinyal juga terdapat penguat tegangan op-amp AD620, dan low-pass filter. Gambar 4.4 menunjukkan *schematic* lengkap dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Komponen Pendukung)

Berikut ini akan dibahas mengenai penghitungan masing-masing rangkaian pada rangkaian pengondisi sinyal.

1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Untuk mengetahui tegangan keluaran jembatan *wheatstone* maka diperlukan nilai resistansi PT100 ketika 0 dan 100° Celcius menggunakan Persamaan 4-1.

Pada suhu 0° Celcius:

Pada suhu 0° Celcius:

$$R_{pt100} = 100 + (0,385 \times 0^{\circ}C)$$

$$R_{pt100} = 100 \Omega \dots\dots\dots(4.2)$$

Pada suhu 150° Celcius:

$$R_{pt100} = 100 + (0,385 \times 150^{\circ}C)$$

$$R_{pt100} = 157,75 \Omega \dots\dots\dots(4.3)$$

Berdasarkan Gambar 4.4 maka dapat dihitung nilai V_a , V_b , dan ΔV menggunakan rumus pembagi tegangan jembatan *wheatstone* pada suhu 0° Celcius dan 100° Celcius.

Pada suhu 0° Celcius:

$$V_a = \frac{100}{1100} \times 4,88 = 0,44 V \dots\dots\dots(4-4)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,88 = 0,44 V \dots\dots\dots(4-5)$$

$$\Delta V_0 = 0 \text{ V} \quad (4-6)$$

Pada suhu 100° Celcius:

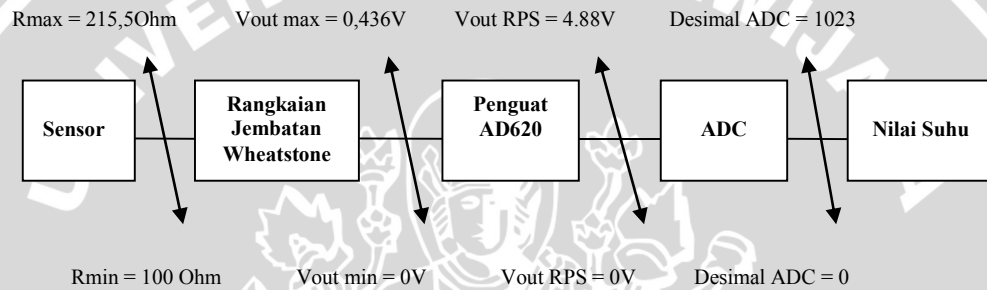
$$V_a = \frac{157,75}{1157,75} \times 4,88 = 0,665 \text{ V} \quad (4-7)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,88 = 0,444 \text{ V} \quad (4-8)$$

$$\Delta V_{100} = 0,221 \text{ V} \quad (4-9)$$

2. Penguat AD620

Untuk mempermudah penghitungan perancangan rangkaian pengondisi sinyal PT100, maka dibuatlah ilustrasi skema *input output* seperti Gambar 4.5 berdasarkan hasil penghitungan pada Persamaan 4-6 dan 4-9.



Gambar 4.5 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100 (Perancangan)

Berdasarkan Gambar 4.5, penguat AD620 digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran jembatan wheatstone menjadi 0–4,94 V sesuai dengan rentang tegangan yang dapat dibaca oleh input analog ADC. Besarnya penguatan (G) yang dilakukan AD620 dihitung menggunakan Persamaan 4-10.

$$G = \frac{4,88}{\Delta V_{100} - \Delta V_0} \quad (4-10)$$

$$G = \frac{4,88}{0,221} = 22,052$$

Besarnya penguatan yang dilakukan AD620 diatur dengan memberikan nilai R_G yang sesuai. Besarnya R_G ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4-11. Rumus tersebut didapat dari *datasheet* AD620.

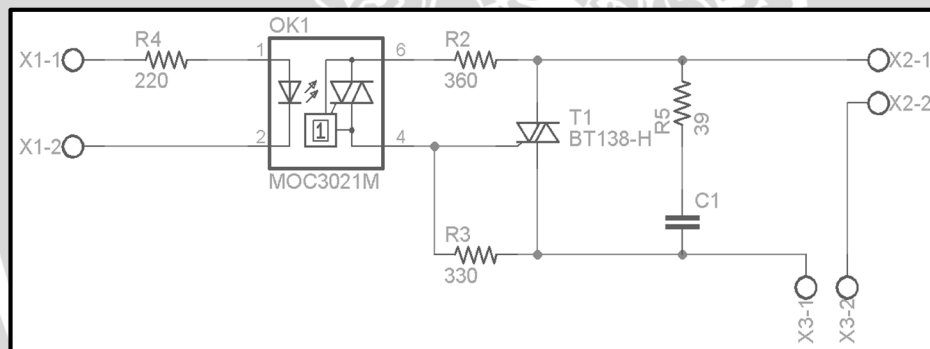
$$R_G = \frac{49.400\Omega}{G-1} \quad (4-11)$$

$$R_G = \frac{49.400\Omega}{22,052-1} = 2346,626 \Omega \approx 2,35 \text{ k}\Omega$$

4.5.2 Rangkaian Driver Pemanas dengan sumber AC

Pada proses sterilisasi ini, suhu dari heater perlu diatur sebuah driver agar dapat mencapai suhu sterilisasi sesuai dengan yang diinginkan. Pada pengaturan daya heater digunakan IC MOC3021 sebagai *driver*. Keluaran rangkaian *driver* ini digunakan untuk mengalirkan panas pada objek sterilisasi berdasarkan keluaran sinyal PWM. Keluaran sinyal PWM yang dihasilkan dan tegangan keluaran yang digunakan sebagai driver peralatan AC diatur oleh kontroler PID dengan mikronkontroler Arduino Mega 2560.

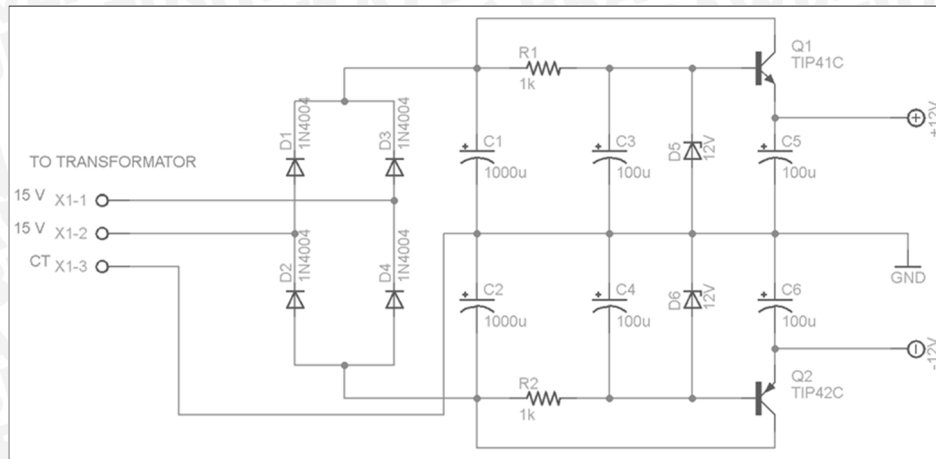
IC MOC3021 tidak dapat langsung dihubungkan dengan beban seperti triac pada umumnya. Untuk itu sebuah triac berjenis BT 138 digunakan sebagai triac eksternal yang langsung terhubung pada beban dan sumber AC 220V. pemilihan triac eksternal tergantung dari keebutuhan beban dalam hal ini elemen pemanas dengan daya total sebesar 700 watt. Triac BT 138 mampu dialiri arus maksimal sebesar 12A dan mampu bekerja pada tegangan maksimal sebesar 800V. Skema rangkaian MOC3021 dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Skema rangkaian pengondisi sinyal (Muhammad, I. R. P. 2011)

4.5.3 Rangkaian Catu Daya

Rangkaian catu daya yang digunakan adalah *power supply* simetris yang memiliki tegangan keluaran sebesar 12 V, catu daya ini digunakan untuk pengaktifan *relay* motor pompa. Rangkaian *power supply* simetris ditunjukkan dalam Gambar 4.7.

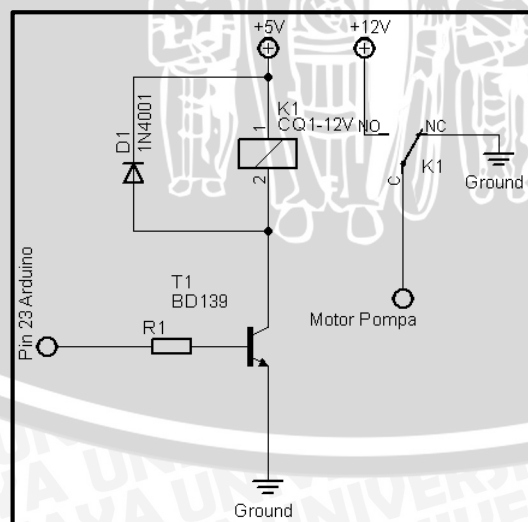


Gambar 4.7 Power supply simetris (Komponen Pendukung)

Rangkaian *power supply* simetris terdiri dari rangkaian penyearah gelombang dan penguat arus. Rangkaian penyearah menggunakan dioda yang berfungsi untuk mengubah tegangan arus bolak balik (AC) menjadi tegangan arus searah (DC). Rangkaian penguat arus menggunakan transistor.

4.5.4 Rangkaian Relay Motor Pompa

Rangkaian *relay* yang digunakan adalah *relay* yang memiliki tegangan catu daya sebesar 12 V, sedangkan catu daya 5 V digunakan untuk pengaktifan *relay* motor pompa menggunakan Arduino Mega 2560 melalui pin digital 23. Rangkaian *relay* motor pompa ditunjukkan dalam Gambar 4.8.

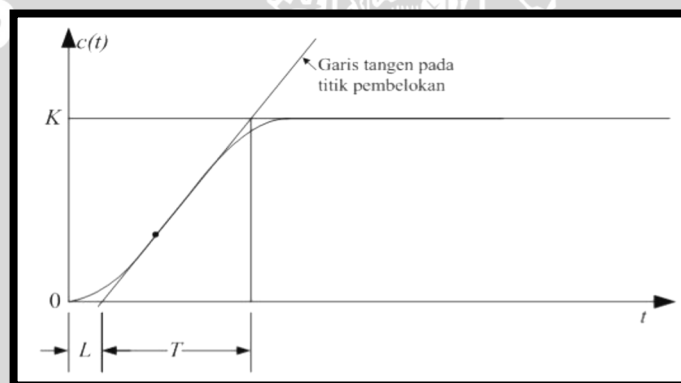


Gambar 4.8 Relay Motor Pompa (Komponen Pendukung)

4.6 Perancangan Kontroler PID

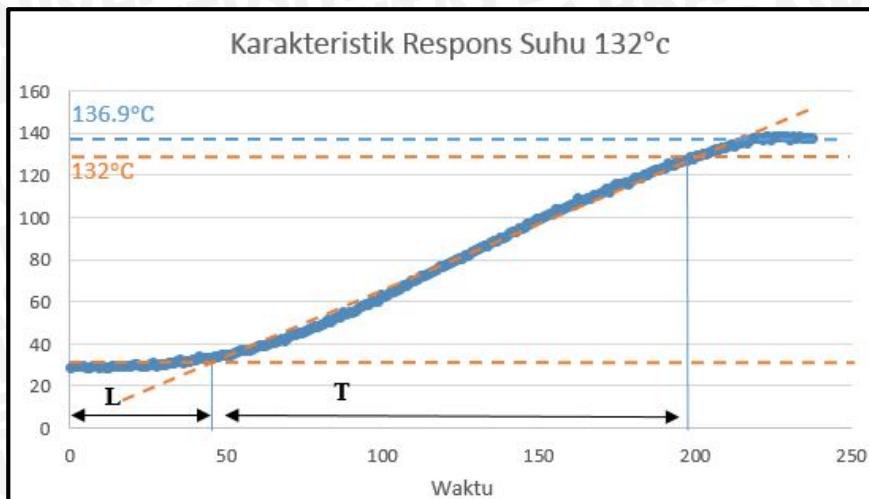
Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah Proporsional Integral Derivatif (PID). Kontroler proporsional integral derivatif dipilih karena karakteristik *plant* tersebut membutuhkan kontrol yang cepat dan meminimalkan *overshoot* untuk dapat menghasilkan suhu yang kondusif pada *box* sterilisasi.

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 plan (Ogata, K., 1997). Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah metode Ziegler Nichols yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurve S seperti pada Gambar 4.9.

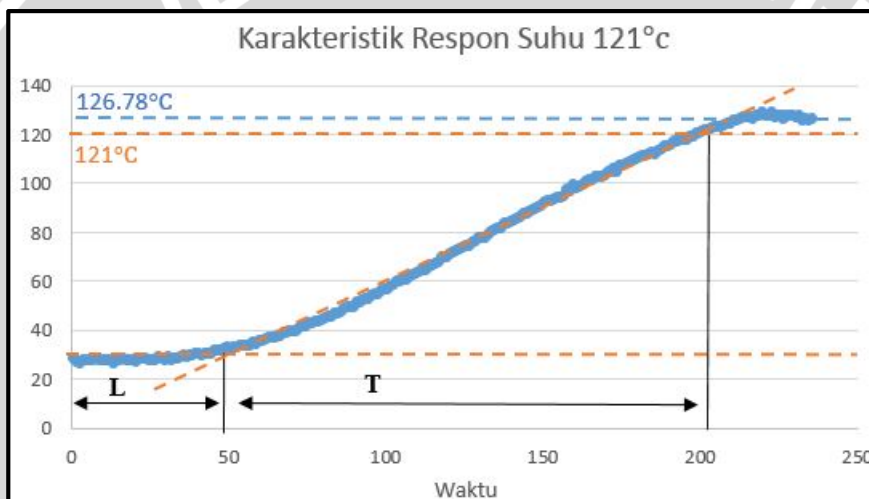


Gambar 4.9 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikkan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$. Berikut kurva hasil perancangan kontroler menggunakan metode *Ziegler Nichols* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10 Karakteristik Respon Suhu 132° C (Perancangan)



Gambar 4.11 Karakteristik Respon Suhu 121° C (Perancangan)

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 4.10 dan 4.11.
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 dan T_d sesuai ketentuan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K., 1997)

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	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

Diperoleh nilai $L = 50$ s dan $T = 150$ s berdasarkan dari grafik pada Gambar 4.9. Mengacu pada tabel Ziegler Nichols 1, didapatkan nilai $K_p = 3.6$ dan $T_i = 100$ sehingga nilai $K_i = 0.04$ dan $K_d = 90$ untuk suhu 121°C . Sedangkan pada Gambar 4.10 adalah grafik karakteristik suhu 132°C , dengan nilai $K_p = 4.2$, $K_i = 0.05$ dan $K_d = 92.4$.

4.7 Modul Arduino Mega 2560

Pada sistem pengendalian suhu ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data dalam proses pengendalian elemen pemanas.

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega1280. Memiliki 54 pin input dan output digital, dimana 14 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih 2 kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Modul Arduino Mega 2560 (Perancangan)

Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Mega 2560 (Perancangan)

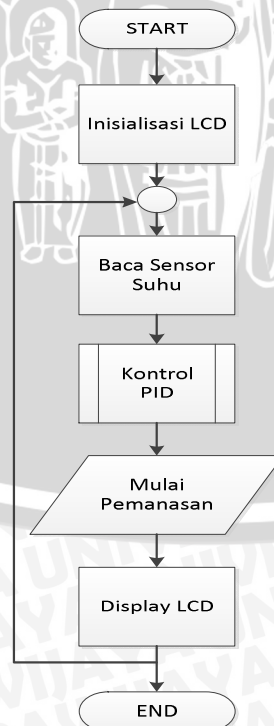
No	Pin	Fungsi
1	42	LCD pin
2	44	LCD pin
3	46	LCD pin
4	48	LCD pin
5	50	LCD pin
6	51	LCD pin
7	5V	Jalur masukan catu daya 5 V
8	GND	Jalur masukan ground
9	6	Jalur keluaran sinyal PWM ke Driver pemanas
10	7	Jalur keluaran sinyal PWM ke Driver pemanas
11	23	Jalur keluaran untuk <i>relay</i> motor pompa
12	A7	Jalur masukan RPS dari PT100

4.8 Perancangan Perangkat Lunak

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat lunak meliputi perancangan bahasa C pada Arduino *Compiler* 1.0.6.

4.8.1 Flowchart Sistem Secara Keseluruhan

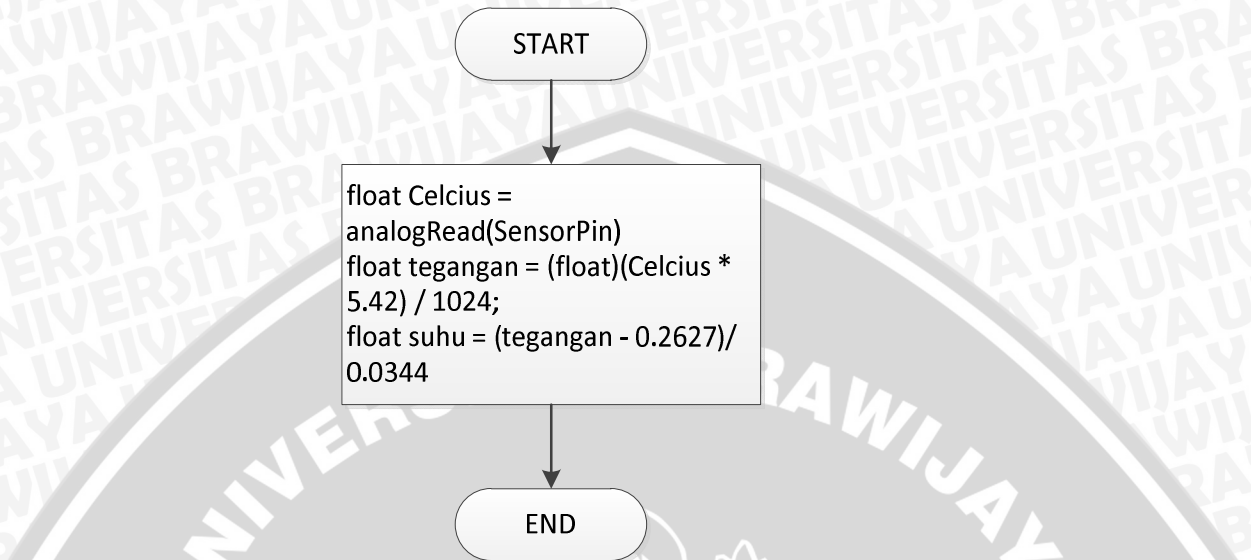
Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Flowchart Sistem keseluruhan (Perancangan)

4.8.2 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

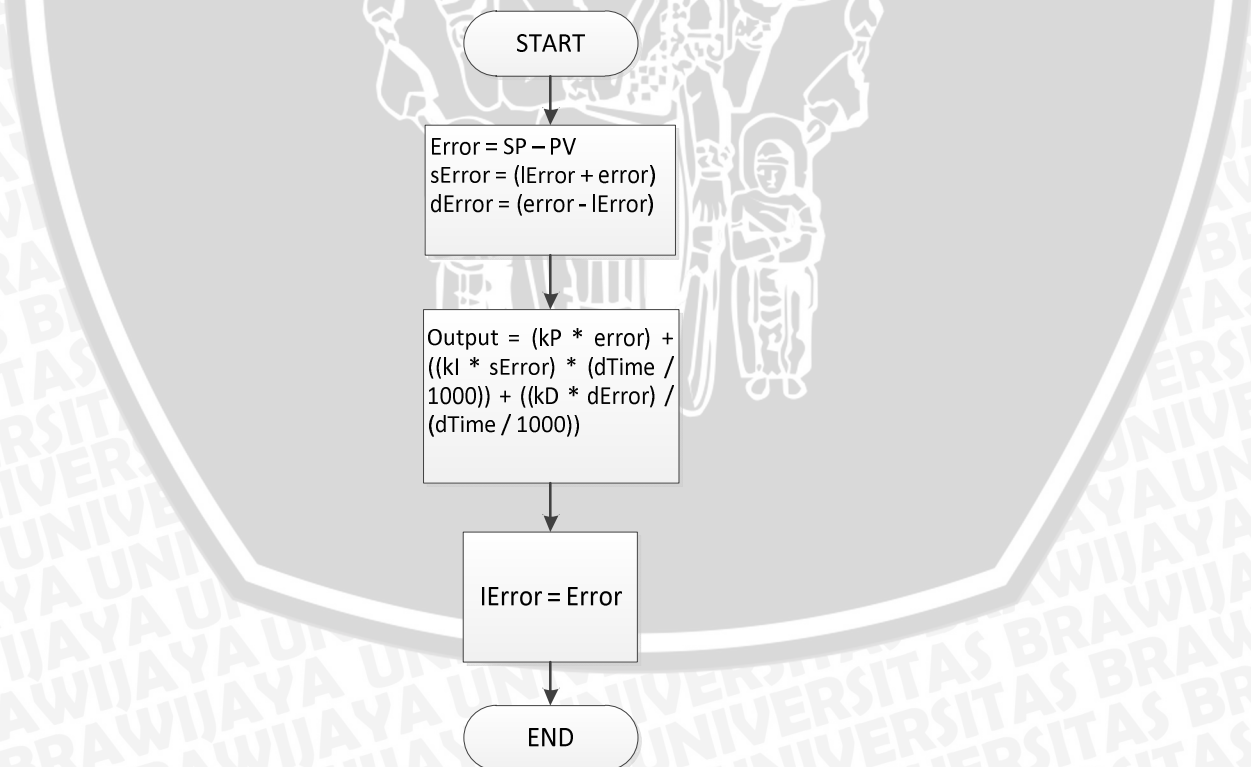
Flowchart pembacaan sensor PT100 ditunjukkan dalam Gambar 4.14



Gambar 4.14 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu (Perancangan)

4.8.3 Flowchart Perhitungan Parameter PID

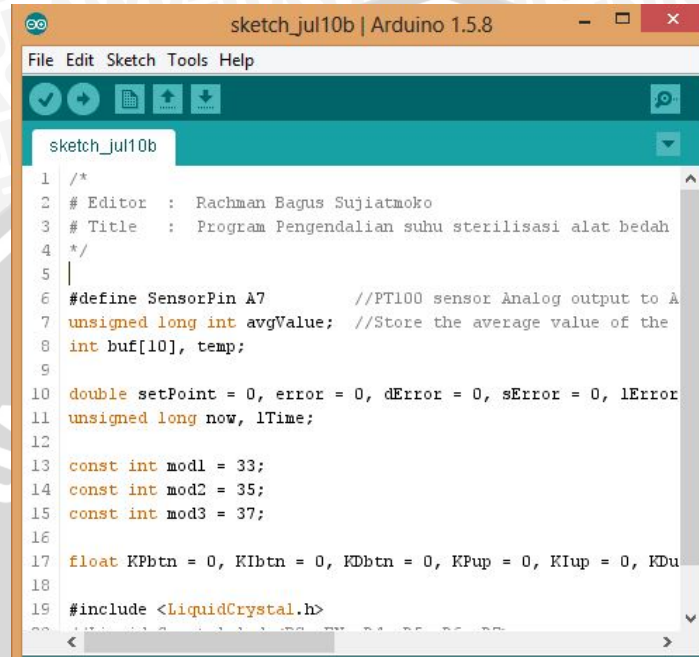
Flowchart perhitungan parameter PID ditunjukkan dalam Gambar 4.15



Gambar 4.15 Flowchart Perhitungan Parameter PID (Perancangan)

4.8.4 Membuat Program C dengan Arduino *Compiler* 1.0.6

Membuat program bahasa C berdasarkan *library* pada Arduino *Compiler* 1.0.6 untuk di masukkan ke dalam Arduino Mega. ditunjukkan dalam Gambar 4.16.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sketch_jul10b | Arduino 1.5.8". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". The toolbar contains icons for opening, saving, and running. The main editor area shows a C program for temperature control. The code includes comments for the author (Rachman Bagus Sujiatmoko) and title (Program Pengendalian suhu sterilisasi alat bedah). It defines a sensor pin (A7) and an average value variable (avgValue). It also defines a buffer (buf) and a setpoint (setPoint). The code includes constants for mod1, mod2, and mod3, and variables for gain coefficients (KPbtn, KIbtn, KDbtn, KPup, KIup, KDu). It includes the <LiquidCrystal.h> library.

```
1 /*
2 # Editor : Rachman Bagus Sujiatmoko
3 # Title : Program Pengendalian suhu sterilisasi alat bedah
4 */
5 |
6 #define SensorPin A7 //PT100 sensor Analog output to A
7 unsigned long int avgValue; //Store the average value of the
8 int buf[10], temp;
9
10 double setPoint = 0, error = 0, dError = 0, sError = 0, lError
11 unsigned long now, lTime;
12
13 const int mod1 = 33;
14 const int mod2 = 35;
15 const int mod3 = 37;
16
17 float KPbtn = 0, KIbtn = 0, KDbtn = 0, KPup = 0, KIup = 0, KDu
18
19 #include <LiquidCrystal.h>
```

Gambar 4.16 Program Arduino *compiler* 1.0.6 (Perancangan)

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor PT100

a. Tujuan

Mengetahui kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sensor PT100
- Elemen Pemanas (*heater*)
- Termometer
- Multimeter
- Air
- Komputer

c. Langkah Pengujian

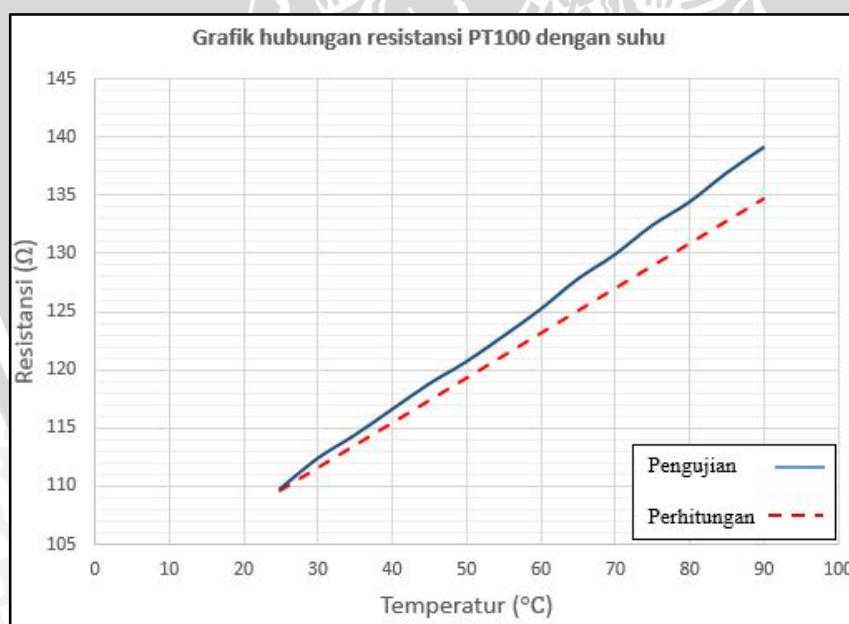
1. Menghubungkan PT100 dan multimeter
2. Menghubungkan catu daya elemen pemanas dengan sumber AC
3. Mengamati dan mencatat setiap perubahan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu berdasarkan suhu termometer acuan.

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian PT100 ditunjukkan dalam Tabel 5.1. Didapatkan grafik linearitas antara suhu dengan resistansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor PT100 (Perancangan)

Suhu (°C)	Pengujian (Ω)	Perhitungan (Ω)	Error (%)
30	112.4	112,0	0.76
35	114.4	113,9	0.81
40	116.6	115,8	1.04
45	118.8	117,8	1.25
50	120.7	119,7	1.21
55	122.9	121,9	1.42
60	125.2	123,8	1.70
65	127.8	125,8	2.21
70	129.9	127,8	2.32
75	132.4	130,1	2.73
80	134.4	131,8	2.75
85	136.9	134,5	3.14
90	139.1	136,3	3.30
Rata - rata			1,9



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu (Perancangan)

Sesuai dengan hasil pengujian pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1, sensor PT100 memiliki kemampuan cukup baik dalam melakukan pembacaan perubahan suhu dibuktikan dengan linearitas grafik hasil resistansi pengujian dan *error* rata-rata antara resistansi pengujian dengan resistansi penghitungan adalah 1,9%.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

a. Tujuan

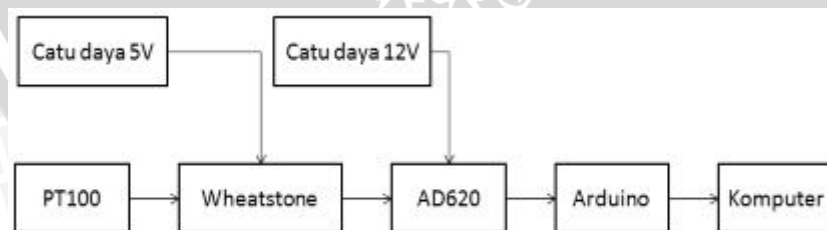
Mengetahui kinerja rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan suhu melalui *Serial monitor* Arduino 1.0.6.

b. Peralatan yang digunakan

- Sensor PT100
- Elemen Pemanas
- Multimeter
- Termometer
- Arduino Mega
- Komputer
- Air

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.2.
2. Menghubungkan PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal.
3. Menghubungkan Arduino Mega dengan PC.
4. Menghidupkan catu daya rangkaian pengondisi sinyal.
5. Memanaskan air dalam heater dengan PT100 dan siapkan termometer serta Multimeter.
6. Hidupkan *serial monitor* pada software Arduino 1.0.6.
7. Amati dan catat setiap perubahan suhu pada thermometer dan hasil pembacaan tegangan *serial monitor*



Gambar 5.2 Rangkaian Pengujian RPS PT100 (Perancangan)

d. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 ditunjukkan dalam tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

NO	Suhu Pembacaan Termometer (°C)	Vout (V)	V hasil pengujian (V)	Error (V)
1	30	1.02	1.24	0.22
2	35	1.18	1.44	0.26
3	40	1.35	1.64	0.29
4	45	1.52	1.84	0.32
5	50	1.68	2.04	0.36
6	55	1.85	2.2	0.35
7	60	2.01	2.34	0.33
8	65	2.18	2.47	0.29
9	70	2.34	2.64	0.30
10	75	2.50	2.85	0.35
11	80	2.66	2.98	0.32
Rata-rata				0.31

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.2, *error* antara pembacaan tegangan menurut teori dengan pembacaan tegangan *serial monitor* masih cukup kecil yaitu 0,31V. Grafik perbandingan hasil pembacaan tegangan RPS PT100 dengan pembacaan tegangan *serial monitor* dapat dilihat dalam Gambar 5.3. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear. Sehingga pembacaan suhu berdasarkan tegangan RPS sudah dianggap layak untuk pengkonversi besaran suhu RPS PT100 yang digunakan.



Gambar 5.3 Perbandingan Nilai V Pembacaan Suhu Pada Serial Monitor (RPS) dengan V Teori (Perancangan)

5.3 Pengujian *Driver* Pemanas

a. Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan keluaran sinyal PWM terhadap keluaran panas dari *driver* pemanas.

b. Peralatan yang Digunakan

- Sumber Tegangan AC.
- Arduino Mega 2560.
- Rangkaian *Driver* Pemanas
- Komputer.

c. Langkah Pengujian

- Menghubungkan rangkaian *driver* pemanas dengan arduino.
- Menghubungkan rangkaian *driver* pemanas dengan sumber AC.
- Menghubungkan Arduino dengan komputer.
- Memberikan beban pada rangkaian *driver* pemanas yaitu elemen pemanas.
- Memberikan nilai PWM pada rangkaian *driver* pemanas melalui arduino.
- Mengukur suhu hasil pemanasan dari sinyal PWM yang dikeluarkan rangkaian *driver* pemanas *box* sterilisasi selama waktu 100 detik.

d. Hasil Pengujian

Setelah dilakukan sesuai dengan cara diatas didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian pengaruh Sinyal PWM dengan Suhu Sterilisasi

PWM	Suhu awal	Suhu akhir	Delta	waktu
0	26.19	26.19	0	100
26	26.9	66.91	40.01	100
51	27.62	66.84	39.22	100
77	28.56	66.52	37.96	100
102	27.83	65.79	37.96	100
128	28.28	65.97	37.69	100
153	28.1	72.64	44.54	100
179	25.35	70.57	45.22	100
204	27.53	74.17	46.64	100
230	28.38	77.72	49.34	100
255	27.6	76.94	49.34	100

Grafik hubungan antara keluaran sinyal PWM arduino dengan pembacaan suhu sensor Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Hubungan Sinyal PWM dengan Suhu (Perancangan)

Dari hasil pengujian yang dilakukan, dalam grafik dapat dilihat bahwa semakin besar perubahan sinyal PWM yang diberikan, maka kenaikan suhu juga semakin besar namun juga terdapat penurunan sebelum mengalami kenaikan pada PWM 50 sampai dengan 128.

5.4 Pengujian Tanpa Kontroler

a. Tujuan

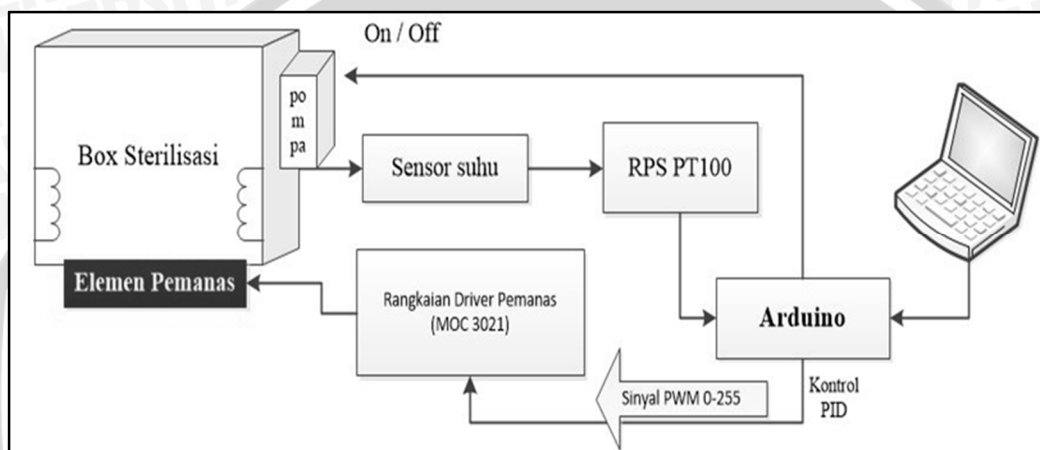
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbedaan respon sistem terhadap *setpoint* ketika tanpa kontroler, untuk mendapatkan grafik *output* pembentukan kurva *s plant* pada suhu maksimal.

b. Peralatan yang Digunakan

- Box Sterilisasi.
- Sensor PT100.
- Elemen Pemanas.
- Arduino Mega 2560.
- Program dan *software* Arduino Mega 2560
- Sumber tegangan AC.
- Komputer.

c. Langkah Pengujian

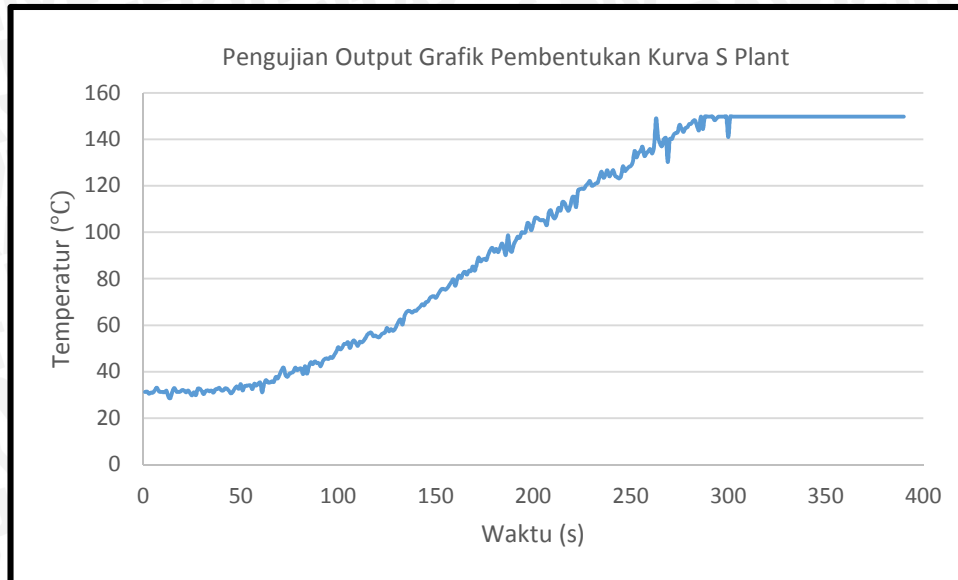
- Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 5.5.
- Mengunduh program dengan kontroler PID sesuai dengan parameter yang telah didapat melalui *software arduino compiler 1.0.5*.
- Menampilkan dan merekam nilai suhu *box* sterilisasi pada serial monitor *software Arduino compiler 1.0.5*.
- Membuat grafik dari data yang didapat.



Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian Keseluruhan

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran berupa grafik pembacaan suhu maksimal. Grafik hasil pengujian bisa dilihat dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil Pengujian *output* Grafik Pembentukan Kurva S Plant (Perancangan)

Dari grafik hasil pengujian bisa di dapatkan *error steady state* pada sistem sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Error maks} &= \frac{|T_{\text{steady}} - T_{\text{setpoint}}|}{T_{\text{setpoint}}} \times 100 \% \\ &= \frac{|149.77 - 132|}{132} \times 100 \% \\ &= 13.46\% \end{aligned}$$

Dari hasil penghitungan didapatkan *error* sebesar 13.46% dan untuk *setpoint* suhu 121°C sebesar 23.78%

5.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler yang terbaik terhadap *setpoint*.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Box* Sterilisasi.
- Sensor PT100.
- Elemen Pemanas.
- Arduino Mega 2560.
- Program dan *software* Arduino Mega 2560

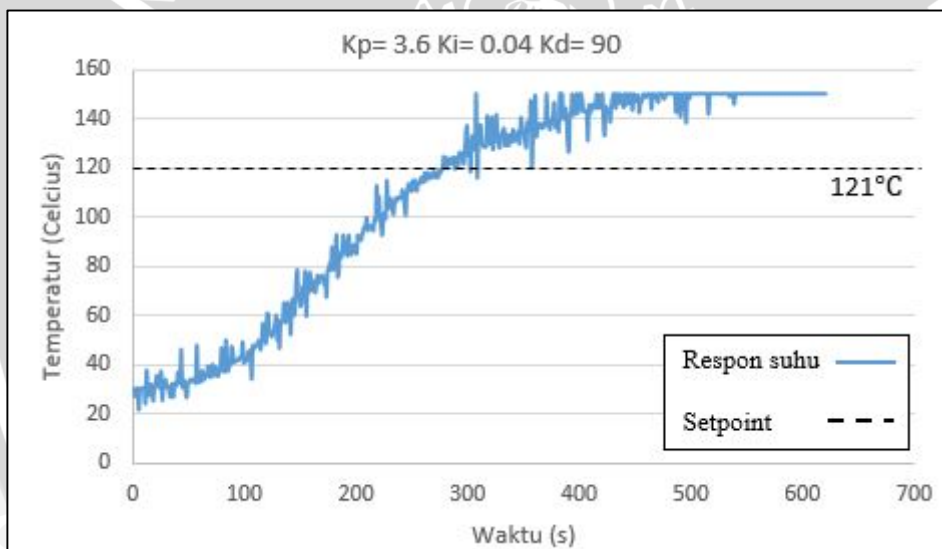
- Sumber tegangan AC.
- Komputer.

c. Langkah Pengujian

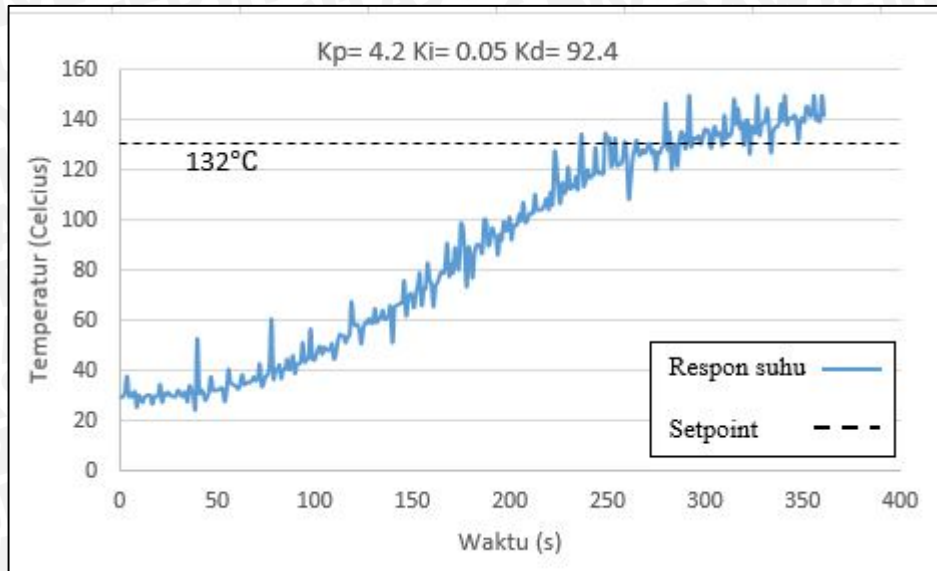
- Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 5.5.
- Mengunduh program dengan nilai parameter PID $K_p = 3.6$ $K_i = 0.04$ dan $K_d = 90$ untuk suhu 121°C serta $K_p = 4.2$ $K_i = 0.05$ $K_d = 92.4$.
- Menampilkan dan merekam nilai suhu *box* sterilisasi pada serial monitor *software Arduino compiler 1.0.5*.
- Membuat grafik dari data yang didapat.

d. Hasil Pengujian

Setelah melaksanakan prosedur pengujian didapatkan respon kontroler suhu dari *plant*. Grafik hasil respon kontroler suhu seperti pada Gambar 5.7 dan 5.8.



Gambar 5.7 Hasil Pengujian Keseluruhan Dengan *Setpoint* 121°C (Perancangan)



Gambar 5.8 Hasil Pengujian Keseluruhan Dengan Setpoint 132°C (Perancangan)

Sistem mengalami overshoot dan titik tertinggi overshoot pada suhu 127,46°C pada suhu setpoint 121°C.

Dari grafik di atas, terjadi overshoot dengan nilai sebesar :

$$\%Ess = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{|data\ ke(i) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\%$$

$$\%Ess = 0,21 \times 100\%$$

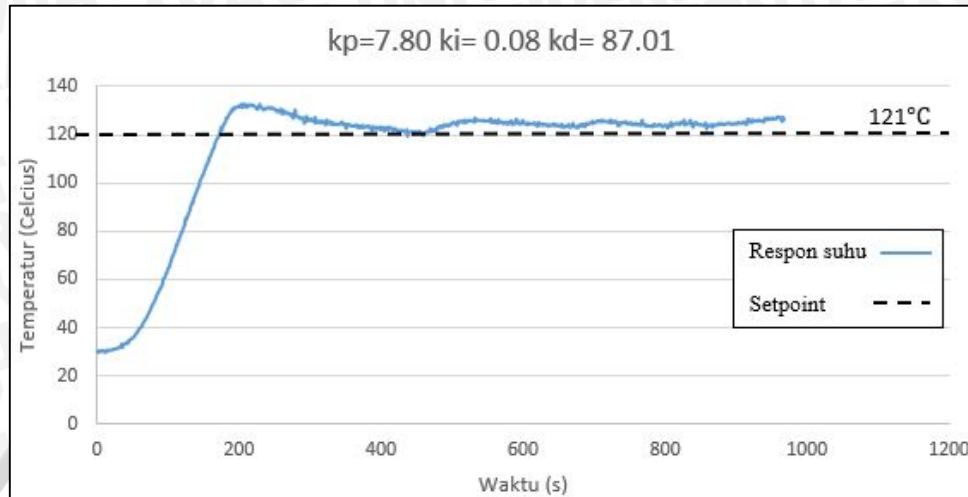
$$\%Ess = 21\%$$

Respon grafik dengan parameter Ziegler-Nichols masih terdapat overshoot sebesar 21% untuk suhu 121°C sedangkan untuk suhu 132°C terdapat overshoot sebesar 14.39%, maka dilakukan hand tuning (tuning eksperimen) untuk mendapatkan respon dengan overshoot seminimal mungkin.

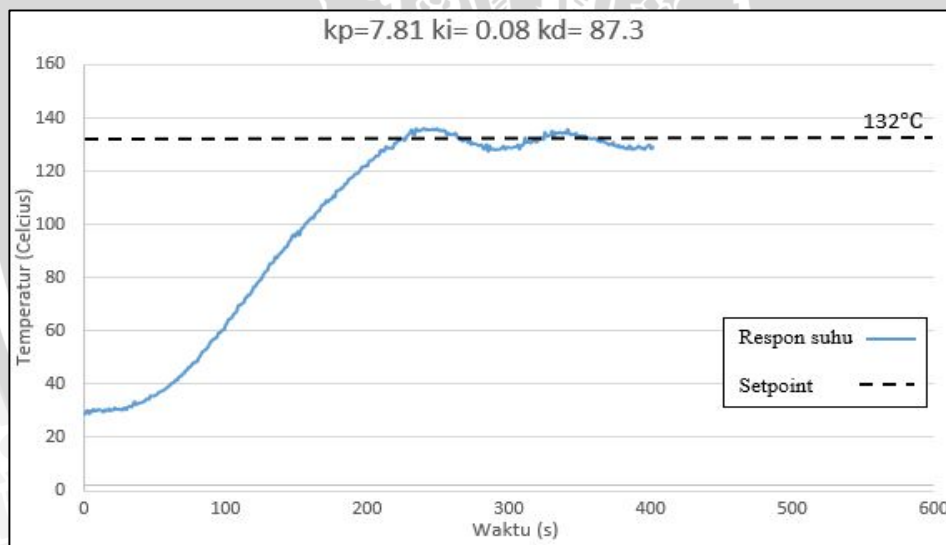
Tuning eksperimen adalah proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil kontroler yang maksimal dengan cara suatu percobaan. Inti dari tuning eksperimen adalah menentukan nilai dari tiga buah parameter yang terdapat pada kontroler PID yaitu konstanta proporsional (K_p), konstanta integral (K_i) dan konstanta diferensial (K_d). Pada perancangan kontroler PID sistem pengendalian suhu ini, menggunakan metode hand tuning untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d .

Proses tuning parameter PID ini dilakukan dengan cara mengatur nilai K_p dan K_i hingga didapatkan respon sistem seperti yang diinginkan yaitu mendekati suhu setpoint 121°C dan 132°C. Tuning yang dilakukan adalah penentuan nilai parameter K_p , K_i dan

K_d sehingga nantinya didapatkan respon yang mendekati suhu 121°C dan 132°C . Dengan nilai $K_p = 7,8$, dan $K_i = 0,08$ $K_d = 87.01$ diperoleh grafik respon seperti pada Gambar 5.9 dan $K_p = 7,81$, dan $K_i = 0,08$ $K_d = 87.3$ pada Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Hasil Pengujian *hand tuning* Dengan Setpoint 121°C (Perancangan)



Gambar 5.10 Hasil Pengujian *hand tuning* Dengan Setpoint 132°C (Perancangan)

Untuk nilai $K_p = 7.8$, $K_i = 0.08$ dan $K_d = 87.01$ mencapai *setpoint* dalam waktu 173 detik. Suhu minimum pada saat *steady* = 116.57°C dan suhu maksimum *steady* = 127.44°C sedangkan untuk nilai $K_p = 7.81$, $K_i = 0.08$ dan $K_d = 87.3$ mencapai *setpoint* dalam waktu 206 detik, dengan Suhu minimum pada saat *steady* = 125.53°C dan suhu maksimum *steady* = 134.07°C . Dari grafik di atas, terjadi *overshoot* sebesar 8.64% untuk suhu *setpoint* 121°C dan 2.65% untuk suhu *setpoint* 132°C .

Hasil *tuning* parameter kontroler diperoleh nilai dengan kisaran $K_p = 7.8$, $K_i = 0,08$ dan $K_d = 87$, dimana didapatkan respon *overshoot* dengan nilai terkecil. Karena respon overshoot sudah cukup bagus, maka tidak perlu melakukan pencarian nilai parameter lagi.

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 5.9 dan 5.10 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_u berdasarkan pengujian adalah 173 detik dan 206 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 800 detik dan 193 detik. *Settling time* didapat ketika suhu telah mencapai 116.57°C dan 125.53°C .

$$3. \%Ess = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{|data\ ke(i) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\%$$

$$\%Ess = 0,031 \times 100\%$$

$$\%Ess = 3,1\%$$

Untuk suhu 121°C sedangkan untuk suhu 132°C ,

$$\%Ess = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{|data\ ke(i) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\%$$

$$\%Ess = 0,0046 \times 100\%$$

$$\%Ess = 0.46\%$$

5.6 Pengujian Keseluruhan Sistem dengan Gangguan

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler terhadap *setpoint* ketika mendapatkan gangguan berupa perubahan aliran suhu yang turun drastis.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Box* Sterilisasi.
- Sensor PT100.
- Elemen Pemanas.
- Arduino Mega 2560.

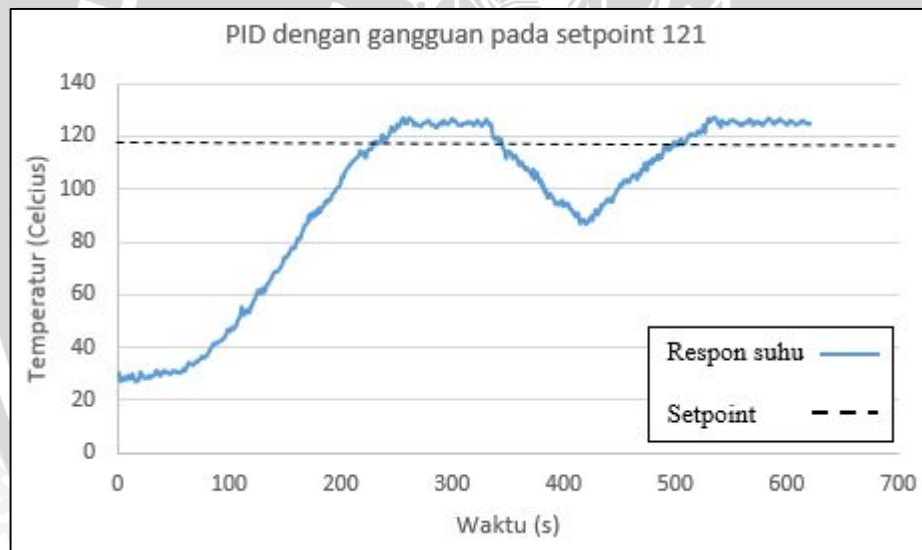
- Program dan *software* Arduino Mega 2560
- Sumber tegangan AC.
- Komputer.

c. Langkah Pengujian

- Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 5.5.
- Mengunduh program control PID.
- Membuka alat *box* sterilisasi saat keadaan *steady* sebagai gangguan pada sistem kontrol PID yang sedang berjalan dalam kurun waktu tertentu dengan melihat perubahan pembacaan suhu di titik ekstrim.
- Membuat grafik dari data yang didapat.

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon setelah diberi gangguan yang dapat dilihat dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Respon Sistem yang diberi gangguan dengan *Setpoint* 121°C (Perancangan)

$$\%Ess = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|data(n) - setpoint|}{setpoint} \right)}{N} \times 100\%$$

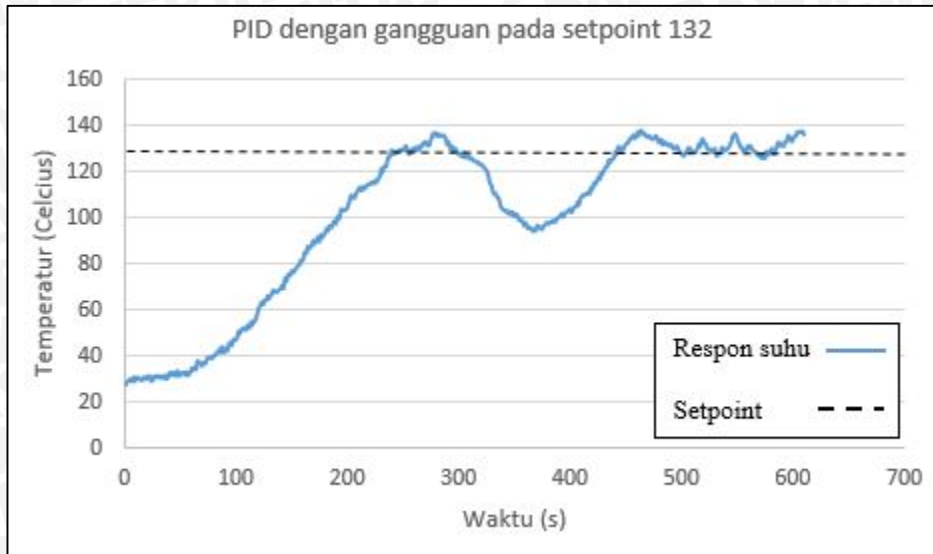
$$\%Ess = 0,0079 \times 100\%$$

$$\%Ess = 0,79 \%$$

$$\%Error maks = \frac{|error - setpoint|}{setpoint} \times 100\%$$

$$\%Error maks = 0,1809 \times 100\%$$

$$\%Error maks = 18,09 \%$$



Gambar 5.12 Respon Sistem yang diberi gangguan dengan Setpoint 132°C (Perancangan)

Dari grafik hasil pengujian di atas pada Gambar 5.11 dan 5.12, dapat dilihat respon sistem terhadap gangguan berupa perubahan suhu yang turun karena penutup *box* sterilisasi yang dibuka dalam waktu yang ditentukan. Sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* setelah terjadinya gangguan dan mengalami proses *recovery time* sebesar 149 detik untuk suhu 121°C dan 126 detik untuk suhu 132°C. Dengan begitu dapat dikatakan sistem kontrol pada perancangan ini telah bekerja dengan cukup baik.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu distilasi vakum maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan metode *hand tuning*, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 7.8$, $K_i = 0.08$, dan $K_d = 87.3$.
2. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Arduino Mega dengan metode kontrol PID menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu karena *error* yang didapatkan sebesar 0.46% - 3.1%.

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat banyak kelemahan dan kekurangan. Untuk memperbaiki kinerja alat perlu adanya peninjauan lebih lanjut tentang rancang bangun alat yang digunakan dalam proses sterilisasi dengan panas kering dan aktuator yang digunakan untuk menjaga suhu pemanasan saat proses sterilisasi berjalan serta pemilihan model sensor yang digunakan, mengingat penggunaan *heater* pada proses tersebut mempengaruhi waktu tunda sistem dan suhu yang dijaga kurang stabil pada saat pemanasan suhu tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, Heri. 2013. *Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega16 Menggunakan Bahasa C (CodeVisionAVR)*. Bandung: Informatika Bandung.
- Agustanto, 2012. Diakses dari <http://www.elemenpemanas.co.id>, tanggal 5 November 2013
- Amstrom, K. J., & Hagglund, Tore. 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.
- Arduino Mega, 2013. diakses dari <http://electroschematics.com>, tanggal 5 November 2013
- Departemen Kesehatan RI. 2008. “*Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Infeksi di Rumah Sakit dan Fasilitas Pelayanan Kesehatan lainnya*” cetakan kedua. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Frederick, J. dan James, P. Agalloco. 2007. *Validation of Pharmaceutical Processes 3rd edition*. Europe: McGraw-Hill Education
- Iqbalali, 2014. Diakses dari <http://iqbalali.blogspot.com>, tanggal 10 Oktober 2014
- Muhammad, I. R. P. 2011. *Pemanfaatan Kontrol Fuzzy Untuk Pengaturan Temperatur Pada Sterilisasi Alat Bedah*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Triadmojo, P. 2003. *Sterilitas Udara Ruang Operasi dan Peralatan Bedah serta Higiene Petugas Beberapa Rumah Sakit di Jakarta*. Jakarta.