



**PENGONTROLAN SUHU PROSES FERMENTASI DALAM
PEMBUATAN EKSPOLISAKARIDA PADA RANCANGAN
HOTPLATE MAGNETIC STIRRER MENGGUNAKAN KONTROLER**

PID BERBASIS ARDUINO

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



ABDULLAH

NIM. 155060301111081

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019


JUDUL SKRIPSI:

PENGONTROLAN SUHU PROSES FERMENTASI DALAM PEMBUATAN
EKSOPOLISAKARIDA PADA RANCANGAN *HOTPLATE MAGNETIC STIRRER*
MENGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO

Nama Mahasiswa : Abdullah
NIM : 155060301111081
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : TEKNIK KONTROL

Komisi Pembimbing :

Ketua : Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D.



.....
.....

Anggota : Ir. Purwanto, M.T.

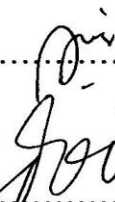
Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ir. Mochammad Rusli, Dipl.Ing.



.....

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.



.....

Dosen Penguji 3 : Goegoes Dwi Nusantoro, S.T., M.T., Ph.D.



.....

Tanggal Ujian : 23 Juli 2019

SK Penguji : 1609 Tahun 2019

LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karta ilmiah gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2019

Mahasiswa,



Abdullah

NIM.155060301111081

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmannirrohim. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala petunjuk dan nikmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “*Pengontrolan Suhu Proses Fermentasi Dalam Pembuatan Eksopolisakarida Pada Rancangan Hotplate Magnetic Stirrer Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino*” ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan penulis, sehingga dalam penyelesaian skripsi ini penulis dibantu oleh beberapa pihak. Untuk itu dengan segala ketulusan hati penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Fahmi dan Ibu Sofi Nadhrah yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, nasihat dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
2. Adik-adik saya yang selalu menjadi motivator dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Paman saya yang selalu memberi nasihat dan motivasi yang membantu mempercepat pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan juga selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
7. Bapak Muhammad Azis Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Kontrol Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
9. Segenap dosen pengajar dan staff administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
10. Sahabat-sahabat saya Robi, Fathan, Reynaldi dan Debraldi yang selalu memberikan semangat dan saran dalam mengerjakan skripsi ini.



11. Teman-teman Konsentrasi Teknik Kontrol 2015 Universitas Brawijaya atas segala bantuan dan canda tawa yang telah diberikan selama masa studi.

12. Teman-teman SERVO 2015 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa studi.

13. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhirnya atas segala kekurangan dari penyusunan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dari semua pembaca demi sempurnanya skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Amin.

Malang, Juli 2019

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
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 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tetes Tebu.....	5
2.2 Eksopolisakarida.....	6
2.3 <i>Lactobacillus plantarum</i>	6
2.4 Kontroler.....	7
2.4.1 Kontroler Proporsional (P).....	7
2.4.2 Kontroler Integral (I).....	8
2.4.3 Kontroler Differensial (D).....	9
2.4.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID).....	9
2.4.5 Kontroler <i>On-Off</i>	10
2.5 <i>Tuning</i> PID Metode Ziegler-Nichols.....	11
2.5.1 Metode Kurva.....	11
2.5.2 Metode Osilasi.....	12
2.6 Arduino Uno.....	13
2.7 <i>Heater Cartridge</i>	15
2.8 Sensor Suhu PT100.....	15
2.9 Dimmer AC <i>Zero Crossing Detector</i>	16
2.10 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	17



Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
2.11 <i>Magnetic Stirrer</i>	Repository Universitas Brawijaya	19
2.12 Variabel Kontrol.....	Repository Universitas Brawijaya	20
2.12.1 Suhu.....	Repository Universitas Brawijaya	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	Repository Universitas Brawijaya	21
3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem	Repository Universitas Brawijaya	21
3.2 Penentuan Spesifikasi Desain.....	Repository Universitas Brawijaya	22
3.3 Flowchart Program Utama.....	Repository Universitas Brawijaya	22
3.4 Perancangan Alat.....	Repository Universitas Brawijaya	23
3.5 Perancangan Perangkat Lunak.....	Repository Universitas Brawijaya	24
3.5.1 Perancangan Program Bahasa C++ Pada Arduino.....	Repository Universitas Brawijaya	24
3.6 Desain Rancangan Alat.....	Repository Universitas Brawijaya	24
3.6.1 Skema perancangan perangkat keras.....	Repository Universitas Brawijaya	24
3.7 Penentuan Karakteristik Plant	Repository Universitas Brawijaya	25
3.7.1 Penentuan Nilai K_p , K_i , K_d	Repository Universitas Brawijaya	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Repository Universitas Brawijaya	29
4.1 Pengujian Sistem Tanpa Gangguan.....	Repository Universitas Brawijaya	29
4.2 Pengujian sistem dengan gangguan.....	Repository Universitas Brawijaya	31
4.3 Pengujian sistem pada fermentasi tetes tebu	Repository Universitas Brawijaya	34
BAB V PENUTUP	Repository Universitas Brawijaya	37
5.1 Kesimpulan.....	Repository Universitas Brawijaya	37
5.2 Saran.....	Repository Universitas Brawijaya	37
DAFTAR PUSTAKA	Repository Universitas Brawijaya	39
LAMPIRAN	Repository Universitas Brawijaya	41



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penalaan PID Berdasarkan Kurva Reaksi 12

Tabel 2.2 Penalaan PID Berdasarkan Metode Osilasi 13

Tabel 2.3 Data Teknik Board Arduino UNO R3 14

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Gangguan PID 30

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Gangguan PI 31

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Respon Tanpa Gangguan 31

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sistem Dengan Gangguan PID 33

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem Dengan Gangguan PI 34

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai *Recovery Time* Sistem 34

Tabel 4.7 Hasil Uji Kadar Gula Total 36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tetes Tebu	5
Gambar 2.2 Bakteri <i>Lactobacillus Plantarum</i>	6
Gambar 2.3 Diagram Blok Kontroler Proporsional.....	8
Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroler Integral.....	8
Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler Differensial.....	9
Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler PID.....	10
Gambar 2.7 Diagram Blok Pengendali <i>on-off</i>	11
Gambar 2.8 Kurva Respon Unit Step.....	11
Gambar 2.9 Kurva Respon Berbentuk S	12
Gambar 2.10 Sistem <i>Close LOOP</i>	13
Gambar 2.11 Kurva <i>Sustained Oscillation</i>	13
Gambar 2.12 Arduino Uno R3	14
Gambar 2.13 <i>Heater Cartridge</i>	15
Gambar 2.14 Sensor PT100.....	15
Gambar 2.15 Rangkaian TRIAC.....	17
Gambar 2.16 Dimmer AC	17
Gambar 2.17 <i>Duty Cycle</i> Sinyal PWM	18
Gambar 2.18 Hubungan Vout Dengan Sinyal PWM.....	18
Gambar 2.19 <i>Magnetic Stirrer</i>	19
Gambar 2.20 Magnet Pengaduk	19
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem.....	21
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan.....	23
Gambar 3.3 Desain Rancang Alat	24
Gambar 3.4 Respon Kurva S	26
Gambar 3.5 Kurva Respon Berbentuk S	27
Gambar 4.1 Grafik Respon Kontroler PID Tanpa Gangguan	30
Gambar 4.2 Grafik Respon Kontroler PI Tanpa Gangguan	31
Gambar 4.3 Grafik Respon Kontroler PID Dengan Gangguan	33
Gambar 4.4 Grafik Respon Kontroler PI Dengan Gangguan	33
Gambar 4.5 Grafik Respon Sistem Pada Fermentasi	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Listing Program Kontroler PID..... 41

Lampiran 2 Listing Program Kontroler PI 45

Lampiran 3 Dokumentasi Alat 49

Lampiran 4 Dokumentasi Fermentasi..... 51

Lampiran 5 Hasil Uji Fermentasi 53

Lampiran 6 *Datasheet* PT100..... 57

Lampiran 7 *Datasheet* Arduino UNO 65

RINGKASAN

Abdullah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2019, Pengontrolan Suhu Proses Fermentasi Dalam Pembuatan Eksopolisakarida Pada Rancangan *Hotplate Magnetic Stirrer* Menggunakan Kontroller PID Berbasis Arduino, Dosen Pembimbing: Rahmadwati, Purwanto.

Eksopolisakarida adalah salah satu polisakarida yang disekresikan oleh sel mikroba ke lingkungan eksternalnya sebagai produk metabolisme. EPS memiliki banyak manfaat dalam bidang industri pangan, farmasi dan kesehatan. Dalam bidang pangan, eksopolisakarida bermanfaat sebagai pengental, pembentukan gel dan memiliki kemampuan untuk meningkatkan air yang baik sehingga dapat mempertahankan tekstur pangan dalam masa penyimpanan. Dalam bidang psikokimia, EPS bermanfaat untuk aktivitas antitumor dengan rasio hambat sebesar $88,34 \pm 1,97\%$ terhadap sel tumor lambung BGC-823. Salah satu proses dalam pembuatan eksopolisakarida adalah fermentasi tetes tebu yang dilakukan dengan proses pemanasan yang memerlukan pengontrolan suhu, hal ini disebabkan karna suhu dan lama fermentasi mempengaruhi kadar gula dan kualitas dari eksopolisakarida.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat fermentasi eksopolisakarida pada tetes tebu yang dapat menjaga suhu larutan sesuai *setpoint* menggunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno. Kontroler PID dipilih karena dapat mempercepat *settling time*, mengurangi nilai *error steady state* dan mempercepat *recovery time*. Sedangkan mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai perangkat yang mempermudah pemrograman dan pengendalian sistem dan termasuk mikrokontroler *open source*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan perangkat yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik, dimana mampu mengatur suhu sesuai *setpoint* dan tahan terhadap gangguan yang diberikan. Setelah dilakukan pengujian kembali dengan membandingkan dua buah kontroler yaitu PI dan PID yang menunjukkan bahwa kontroler PID memiliki performansi lebih baik dengan nilai *error stady state* dan *overshoot* yang lebih kecil dibanding kontroler PI.

Kata Kunci: Eksopolisakarida, Fermentasi, Suhu, PT100, Kontroler, Arduino, PID.

SUMMARY

Abdullah, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, July 2018, title, Academic Supervisor: Rahmadwati, Purwanto.

Exopolysaccharide is one of the polysaccharides secreted by microbial cells to its external environment as a conservation product. EPS has many benefits in the food, pharmaceutical and health industries. In the field of food, exopolysaccharide is useful as a thickener, gel formation and has the ability to improve air which can improve food texture during storage. In the field of psychochemistry, EPS is beneficial for antitumor activity with an inhibition ratio of $88.34 \pm 1.97\%$ for gastric tumor BGC-823. One of the processes in making exopolysaccharide is sugar cane fermentation which is carried out by a heating process that requires temperature control, this is related to temperature and fermentation time affecting sugar content and the quality of exopolysaccharide.

This study discusses the help of exopolysaccharide fermentation in sugar cane which can determine the temperature according to the setpoint using an Arduino Uno based PID controller. The PID controller is chosen because it can speed up completion time, reduce the value of steady state and increase recovery time. While the microcontroller, Arduino, Uno is used as a device, which can be programming and control, systems and including microcontrollers, open source.

The results of the study show that the design of the devices that have been made can be used properly, where appropriate setpoint can be provided and are resistant to the interference given. After testing again by comparing two controllers namely PI and PID, the PID controller has a better performance with a smaller steady state and overshoot error compared to the PI controller.

Keyword: *Exopolysaccharide, Fermentation, Temperature, PT100, Controller, PID.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eksopolisakarida (EPS) adalah suatu polisakarida yang disekresikan oleh sel mikroba ke lingkungan sebagai produk metabolisme. EPS banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, farmasi dan kesehatan (Freitas et al, 2009). Di bidang pangan, eksopolisakarida bermanfaat sebagai pengental, pembentukan gel dan memiliki kemampuan untuk mengikat air yang baik sehingga dapat mempertahankan tekstur pangan agar tetap lembut dalam masa penyimpanan (Malik et al, 2008). EPS berperan penting dalam psikokima, reologi produk, rasa komposisi makanan fermentasi (Yilmaz et al, 2015), dan memberi manfaat bagi kesehatan manusia seperti akitivitas antitumor dengan rasio hambat sebesar $88,34 \pm 1,97\%$ terhadap sel tumor lambung BGC-823 (Wang et al, 2014).

Eksopolisakarida diproduksi dari tetes tebu yang merupakan hasil dari proses pengolahan gula yang mengandung sumber karbon cukup tinggi, sehingga dapat dijadikan media fermentasi alternatif bagi bakteri asam laktat *Lactobacillus plantarum* (Juwita, 2012). *Lactobacillus plantarum* tumbuh sangat baik pada suhu antara 30°C - 37°C dengan ekosistem suhu yang tepat, sehingga dapat menghasilkan asam laktat yang baik (De vries et al, 2006).

Suhu dan waktu pada proses fermentasi sangat berpengaruh terhadap kadar gula untuk menghasilkan EPS dengan kadar yang tinggi. Aida (2015) menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan dengan memberikan perlakuan suhu 25°C , 35°C , dan 40°C serta menggunakan waktu 18 jam dan 24 jam pada proses pembuatan eksopolisakarida. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitiannya suhu dan waktu terbaik untuk menghasilkan EPS adalah 35°C dengan waktu 18 jam. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengendalian suhu merupakan aspek penting yang ditekankan agar mendapat hasil kadar gula yang sesuai untuk proses berikutnya dalam menghasilkan eksopolisakarida.

Proses pengendalian suhu ini dilakukan menggunakan implementasi kontrol PID berbasis mikrokontroler. Kontroler PID dipilih karena dapat meningkatkan kualitas dari hasil produk, memperoleh data yang lebih akurat dan dapat mengatasi segala kemungkinan yang terjadi pada sistem termasuk mempercepat *settling time* (Aldi, 2018). Sedangkan mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai perangkat yang mempermudah pemrograman dan pengendalian sistem dan termasuk mikrokontroler *open source*. Diharapkan dengan menggunakan implementasi kontrol PID berbasis mikrokontroler

Arduino Uno, suhu fermentasi tetes tebu dapat dikendalikan dengan baik. Sehingga menghasilkan Eksopolisakarida dengan kadar gula yang memenuhi kriteria yaitu dengan kadar gula dan kadar EPS yang tinggi.

Proses pembuatan EPS dimulai dengan melakukan sterilisasi pada tetes tebu, setelah proses sterilisasi kemudian tetes tebu ditambahkan bakteri asam laktat sebesar 10% dari volume tetes tebu yang digunakan. Pada penelitian ini tetes tebu dipanaskan dengan cara mengendalikan suhu *setpoint* 35°C agar tidak melebihi ekosistem bakteri yang ditentukan dan menghasilkan produk EPS (Wang et al, 2014).

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan rancangan alat fermentasi eksopolisakarida pada tetes tebu yang dapat menjaga suhu larutan sesuai *setpoint* yang diberikan sehingga dihasilkan kadar produk EPS yang lebih besar. Dibuatnya perangkat fermentasi tetes tebu yang dapat menjaga suhu sesuai dengan karakteristik *plant* yang telah ditentukan. Pada penelitian ini dibutuhkan spesifikasi alat antara lain sensor suhu PT100, Arduino, dimmer dan *heater cartridge*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain sistem kontrol suhu untuk fermentasi tetes tebu?
2. Bagaimana pengaruh respon sistem terhadap perubahan suhu dan gangguan yang diberikan?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan berfokus pada rumusan masalah maka perlu adanya pembatasan masalah. Masalah yang diteliti dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Alat pengendali suhu pada proses fermentasi tetes tebu yang digunakan adalah model miniatur yang dibuat dengan desain sendiri.
2. Objek yang diteliti hanya pada proses fermentasi.
3. Menggunakan kontroler PID pada sistem.
4. Suhu pada proses pematangan adalah 30-35°C.
5. Sensor suhu yang digunakan adalah PT100.
6. Menggunakan magnet *stirrer* sebagai pengaduk.
7. Pengontrolan magnet *stirrer* menggunakan kontrol *on-off*.



1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penyusunan skripsi ini adalah untuk mengimplementasikan rancangan pengendali suhu dengan kontroler PID berbasis Arduino pada sistem fermentasi ekso polisakarida pada tetes tebu.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menjadi referensi dalam pembuatan *hotplate magnetic stirrer* dimasa mendatang menggunakan kontroler PID.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori pengetahuan yang mendukung penelitian.

BAB III: METODE PENELITIAN

Berisi tahapan penyelesaian penelitian yang meliputi desain alat, spesifikasi alat, perancangan, pembuatan alat, dan pengujian

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang pengujian sistem dan analisis.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari analisis penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka menjelaskan teori penunjang yang digunakan dalam penelitian ini, dengan tujuan untuk memudahkan dalam memahami cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan dari alat yang dirancang. Serta penyelesaian mengenai teori-teori penunjang dalam fermentasi tetes tebu.

2.1 Tetes Tebu

Tetes tebu mengandung kurang lebih 39 % *selulosa* dan 27,5 % *hemiselulosa*. Tetes tebu merupakan limbah pabrik gula yang dikategorikan sebagai limbah cair yang diperoleh dari hasil pemisahan sirup *low grade* dimana gula dalam sirup tersebut tidak dapat dikristalkan lagi karena mengandung pecahan *sukrosa* yaitu *glukosa* dan *fruktosa* (Pertwi, 2009). Selain senyawa gula, tetes tebu mengandung senyawa-senyawa diantaranya *biotin*, *asam pantotenat*, *tiamin*, *fosfor*, *sulfur* dan *eksopolisakarida* (Pertwi, 2009).



Gambar 2.1 Tetes tebu

Pemanfaatan tetes tebu sangat dianjurkan, disamping karena senyawa-senyawa yang terkandung di dalamnya, pemanfaatan tetes tebu dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Tetes tebu berwarna gelap atau hitam kemerahan, mempunyai pH 5,5-6,5 yang disebabkan oleh adanya asam-asam organik bebas (Harahap, 2003).

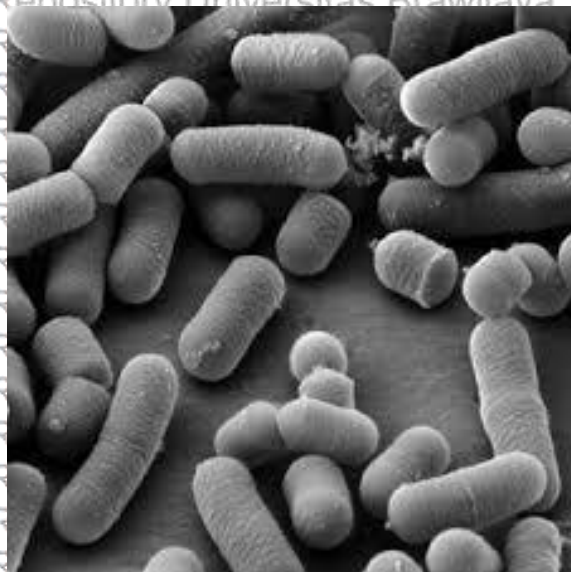
2.2 Eksopolisakarida

Eksopolisakarida (EPS) merupakan suatu polimer dari gula pereduksi dengan berat molekul tinggi yang disekresikan oleh mikroorganisme ke lingkungan eksternalnya (Freitas dkk, 2009). Polimer ini merupakan salah satu polimer yang mampu disintesis oleh bakteri asam laktat. EPS umumnya terdiri dari *monosakarida* dan beberapa *substituent* non-karbohidrat seperti *asetat*, *prituvat*, *suksinat*, dan *fosfat* (Van Hijum, dkk, 2002) juga biomolekul seperti *protein*, *asam nukleat*, *lipid* dan *zat humat* (Vu, dkk., 2009).

EPS biasanya dihasilkan oleh bakteri asam laktat yang merupakan ciri dari kontribusi bakteri ini sebagai probiotik yang memiliki efek positif bagi kesehatan (Suresh dan Modey, 2009). Polimer ini memiliki daya bioaktivasi yang dapat digunakan dalam obat seperti fungsinya sebagai antivirus, anti inflamasi (Llamas, dkk., 2010). EPS dalam industri makanan dapat berfungsi sebagai pengental, pembuatan gel hingga pengemulsi (Malik, dkk., 2008).

2.3 *Lactobacillus plantarum*

Lactobacillus plantarum adalah bakteri gram-positif, non *patogen* yang secara alami terdapat dalam air liur manusia dan sistem pencernaan. Bakteri ini termasuk Bakteri Asam Laktat (BAL), dan secara umum digunakan pada fermentasi makanan. Jika digunakan sebagai probiotik, aplikasi bioterapi dari *Lactobacillus plantarum* meningkat. *Lactobacillus plantarum* berbentuk batang, dan mempunyai genom yang terbesar dibandingkan dengan BAL lainnya yang telah disekuensi (Jian, dkk., 2016).



Gambar 2.2 Bakteri *Lactobacillus plantarum*



Genus bakteri ini juga bersifat mikroaerofilik, katalase negatif, gram positif dan memfermentasi gula dengan asam laktat sebagai produk utama. Berikut adalah klasifikasi ilmiah dari *L. plantarum*:

1. Kerajaan: *Bacteria*
2. Divisi: *Firmicutes*
3. Kelas: *Bacilli*
4. Ordo: *Lactobacillales*
5. Famili: *Lactobacillaceae*
6. Genus: *Lactobacillus*
7. Spesies: *L. plantarum*

2.4 Kontroler

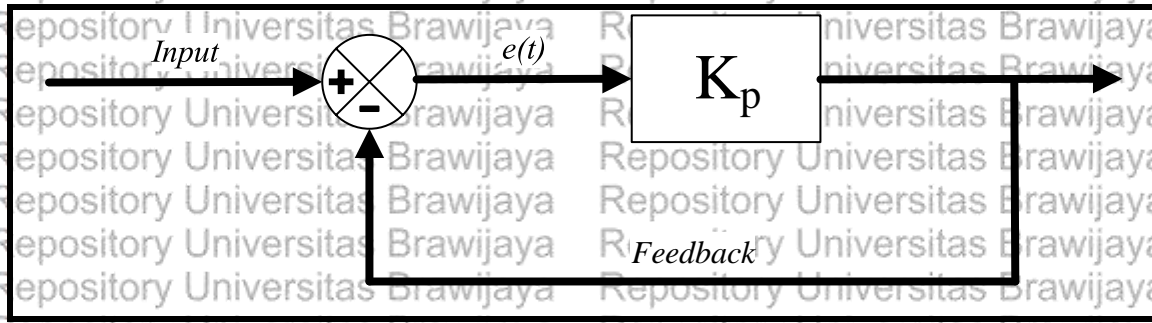
Kontroler dalam sebuah sistem kendali mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal ini disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan kontroler.

Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi sinyal *error* sampai nol atau mendekati nol. Sinyal *error* merupakan selisih nilai *setpoint* dengan nilai *output plant*. *Setpoint* adalah nilai referensi atau nilai yang diinginkan, sedangkan *output plant* adalah nilai aktual yang terukur pada *output plant*. Semakin kecil nilai sinyal *error* maka kinerja sistem kontrol dianggap semakin baik.

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).

2.4.1 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler *proportional* memiliki *output* yang besarnya sebanding dengan besarnya sinyal *error*. Kontroler *proportional* memiliki *output* yang merupakan hasil perkalian antara *gain* proporsional dengan sinyal *error*. Dan memiliki karakteristik respon yang cepat. Hubungan antara keluaran kontroler dengan sinyal kesalahan ditunjukkan pada diagram blok dibawah ini.



Gambar 2.3 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K. (1997)

$$m(t) = K_p e(t) \tag{2-1}$$

Dimana:

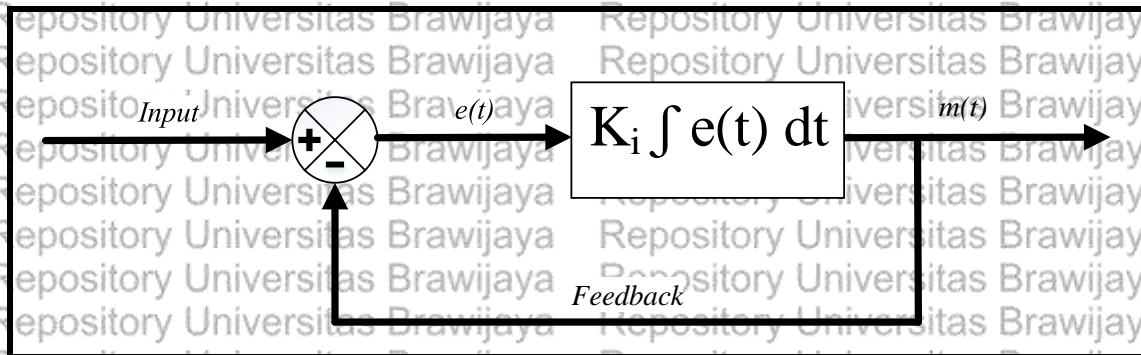
K_p : gain proporsional

$e(t)$: sinyal error

$m(t)$: output kontroler

2.4.2 Kontroler Integral (I)

Kontroler *integral* memiliki karakteristik seperti sebuah operasi *integral*. Kontroler *integral* memiliki respon yang lambat dan dapat mengurangi *offset* yang ditinggalkan kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ (Ogata K., 1997). Gambar dibawah ini menunjukkan diagram blok kontroler *integral*.



Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K. (2009)

$$m(t) = K_i \int e(t) dt \tag{2-2}$$

Dimana:

K_i : gain integral

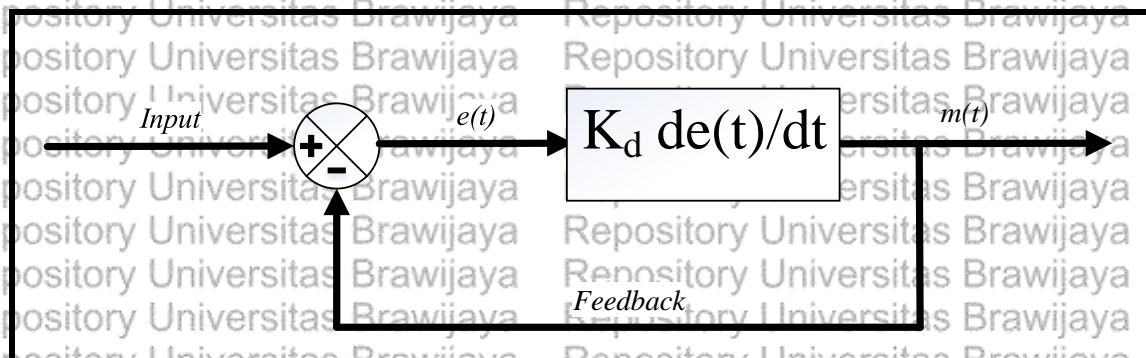
$e(t)$: sinyal error

$m(t)$: output kontroler

2.4.3 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon *transient* sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K., 1997).

Kontroler differensial ini tidak dapat mengeluarkan *output* jika tidak terjadi perubahan pada input. Kontroler ini memiliki karakteristik yaitu dapat memperbaiki respon, tidak tahan noise, dan tidak dapat berdiri sendiri. Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon *transient*. Gambar dibawah ini menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.5 Blok Diagram Kontroler Differensial

Sumber: Ogata K (1997)

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-3)$$

Dimana :

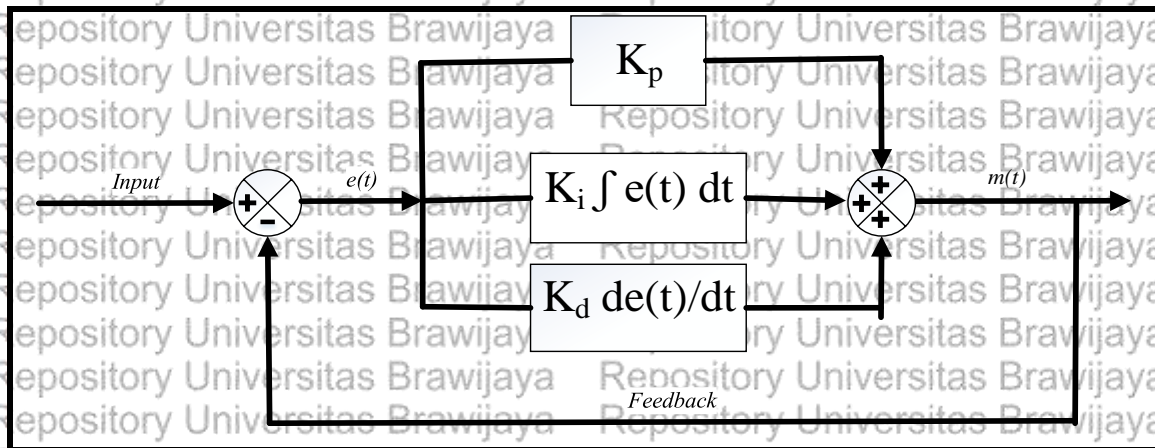
K_d : gain derivative

$e(t)$: sinyal error

$m(t)$: output kontroler

2.4.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler proporsional, integral, maupun differensial dapat saling menutupi dengan cara menggabungkan ketiga kontroler dan dihubungkan secara paralel. Elemen-elemen pada kontroler PID bertujuan untuk mempercepat *settling time*, menghilangkan *offset* dan dapat menghasilkan perubahan awal yang besar. Gambar dibawah ini menunjukkan diagram blok kontroler proporsional, integral, dan differensial.



Gambar 2.6 Blok Diagram Kontroler Proporsional, Differensial, Integral

Sumber: Ogata K, (1997)

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-4)$$

Dimana :

K_p : gain proportional

K_i : gain integral

K_d : gain derivative

$e(t)$: sinyal error

$m(t)$: output kontroler

2.4.5 Kontroler On-Off

W. Bolton (2004: 104) menjelaskan dengan metode kontrol *on-off*, pada intinya pengontrol merupakan sebuah saklar yang diaktifasi oleh sinyal *error*. Sinyal kontrol akan memulai aksi kontrol apabila terdapat perbedaan antara nilai yang diinginkan dengan nilai variabel sebenarnya (*error*).

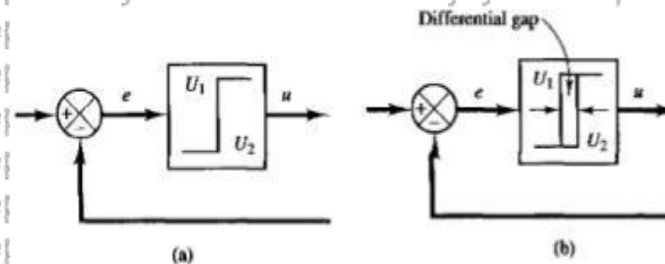
Sinyal kontrol hanya akan tetap berada pada suatu keadaan dan akan berubah ke keadaan lain tergantung pada nilai *error*, hal ini dapat dituliskan dengan persamaan.

$$u(t) = U_1 \text{ untuk } e(t) > 0 \quad (2-5)$$

$$u(t) = U_2 \text{ untuk } e(t) < 0 \quad (2-6)$$

Dimana $u(t)$ merupakan sinyal keluaran dari kontroler, U_1 dan U_2 konstan. Nilai minimum U_2 biasanya nol atau $-U_1$ dan $e(t)$ merupakan sinyal *error*, seperti pada Gambar

2.7.



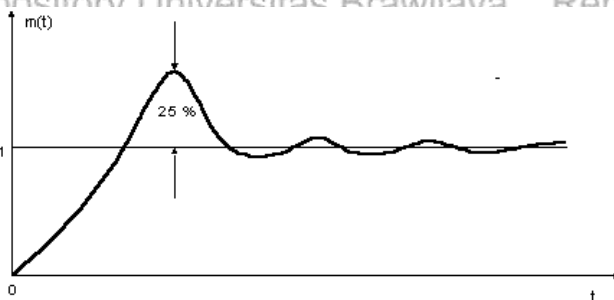
Gambar 2.7 (a). Diagram blok pengendali *on-off* dengan juran differensial. (b). Diagram blok pengendali *on-off* dengan juran differensial. Sumber: Ogata K., 1996

Pada rancangan *hotplate magnetic stirrer* pengaplikasian kontroler *on-off* di terapkan pada *magnetic stirrer* secara manual yang berfungsi untuk pengaduk dalam *plant*.

2.5 Tuning PID Metode Ziegler-Nichols

Tuning kontroler PID selalu didasari tujuan atas terhadap karakterisasi *plant*. Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut terlebih dahulu sebelum *tuning* PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik *plant* tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi *plant* yang dikenai suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu, model matematik perilaku *plant* tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva keluaran, *tuning* kontroler PID dapat dilakukan. Dalam hal ini *tuning* bertujuan untuk mendapatkan kinerja suatu sistem sesuai spesifikasi perancangan.

Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara yaitu metode kurva reaksi dan metode osilasi. Kedua metode tersebut ditujukan untuk menghasilkan respon dengan lonjakan maksimum sebesar 25% (Ogata K., 1997).



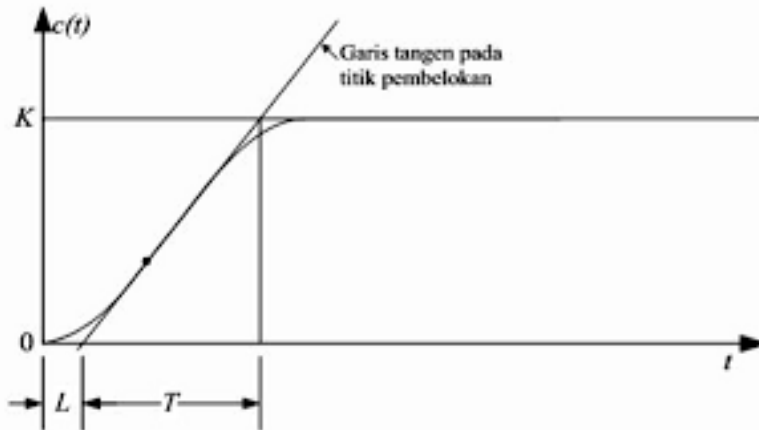
Gambar 2.8 Kurva respon unit step yang memperlihatkan 25% lonjakan maksimum. Sumber: Ogata K., 1997

2.5.1 Metode Kurva

Metode ini didasari terhadap reaksi sistem *open loop*. *Plant* sebagai *open loop* dikenai sinyal fungsi tangga satuan (*unit step*). Jika *plant* minimal tidak mengandung unsur

integrator ataupun *pole-pole* kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Kelemahan metode ini adalah ketidakmampuannya digunakan pada *plant* integrator maupun *plant* yang memiliki *pole* kompleks.

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 *tangent* dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.9



Gambar 2.9 Kurva respon berbentuk S

Sumber: Ogata K., 1997

Penalaan parameter-parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta tersebut. Ziegler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_i , T_i , dan T_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Berikut adalah tabel rumus penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

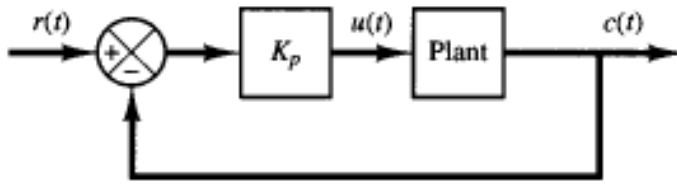
Tabel 2.1
Penalaan PID berdasarkan Kurva Reaksi

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

2.5.2 Metode Osilasi

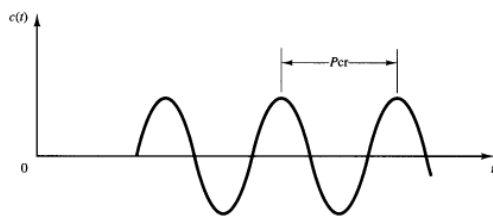
Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untai tertutup. *Plant* disusun serial dengan kontroler PID. Semula parameter-parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter diferensial disetel nol ($T_i = \infty$; $T_d = 0$). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap, mulai dari nol hingga mencapai nilai yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi

dengan gelombang yang tetap (*sustain oscillation*). Diagram blok reaksi sistem *close loop* ditunjukkan pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Sistem *closed loop* dengan kontroler proporsional
Sumber: Ogata K., 1997

Nilai penguatan proporsional pada sistem mencapai kondisi *sustain oscillation* disebut *critical gain* (K_{cr}). Periode dari *sustained oscillation* disebut *corresponding period* (P_{cr}). Bentuk dari kondisi respon *sustain oscillation* ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11 Kurva *sustained oscillation* dengan periode P_{cr}
Sumber: Ogata K., 1997

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_{cr} dan P_{cr} . Ziegler-Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i dan T_d berdasarkan rumus pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2

Penalaan PID berdasarkan metode osilasi

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45 K_{cr}$	$\frac{1}{1,2} K_{cr}$	0
PID	$0,6 K_{cr}$	$0,5 P_{cr}$	$0,125 K_{cr}$

2.6 Arduino Uno

Arduino adalah *platform* buatan prototipe elektronik yang bersifat *open source hardware*. Banyak praktisi yang menggunakan Arduino karena sifatnya yang fleksibel dan mudah digunakan. Komponen utama didalam papan Arduino adalah ATmega. Pada Arduino Uno memiliki *board* mikrokontroler berbasis ATmega 328. Arduino Uno memiliki 14 pin *input/output* digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output Pulse Width*

Modulation (PWM) dan 6 pin input analog, 16-MHz osilator Kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset.



Gambar 2.12 Arduino Uno R3

Berikut spesifikasi Arduino Uno R3:

Tabel 2.3

Data Teknik Board Arduino UNO R3

Mikrokontroler	ATmega328
Batas Tegangan Input	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (6 pin PWM Output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3 V Pin	50 Ma
Flash Memory	32 KB (0,5 KB digunakan sebagai bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHZ

Menurut (Yuhardiansyah, 2016) pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino Uno adalah sebagai berikut:

1. VIN: adalah *input* tegangan untuk papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal. Tegangan yang dianjurkan adalah sebesar 7-12 Volt DC.
2. 5V: pin yang mengeluarkan tegangan *ter-regulator* sebesar 5 Volt.
3. 3.3V: Sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh *regulator* yang terdapat pada papan (*on-board*). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 Ma.
4. GND: Pin *Ground*.
5. IOREF: Pin ini pada papan Arduino berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler.

2.7 Heater Cartridge

Heater cartridge adalah satu perangkat yang digunakan untuk memanaskan air/larutan dengan menggunakan energi listrik. *Heater* banyak digunakan untuk berbagai macam kebutuhan, seperti pemanas air kamar mandi, pengontrol suhu akuarium dan memasak air.

Heater cartridge adalah salah satu *heater* yang digunakan untuk memanaskan air dalam skala kecil. *Heater cartridge* memiliki spesifikasi tegangan kerja sebesar 220 volt, frekuensi sebesar 50 Hz dan daya sebesar 600 Watt. *Heater cartridge* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Heater cartridge

2.8 Sensor Suhu PT100

Sensor adalah suatu alat yang digunakan mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik ataupun kimia. Pada penelitian ini digunakan sensor yang digunakan berupa sensor suhu PT100. Sensor PT100 merupakan jenis sensor yang dikenal dengan keakurasiannya. PT100 terbuat dari logam platinum, dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sensor PT100

Sensor PT100 adalah jenis sensor suhu yang termasuk ke dalam golongan *Resistance Temperature Detector* (RTD) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansi dengan suhu berbanding lurus. Semakin panas benda tersebut, semakin besar atau semakin

tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. *Resistance Temperature Detector* (RTD) adalah sebuah sensor yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran suatu suhu dengan menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga atau nikel murni yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing suhu di dalam kisarannya. PT100 dapat digunakan dalam kisaran suhu -200°C sampai dengan 650°C . Adapun keuntungan menggunakan RTD adalah:

- Waktu respon lebih cepat dibandingkan dengan termokopel dalam urutan sepersekian detik.
 - RTD tidak akan mengalami masalah pergeseran arus karena tidak menghasilkan power sendiri.
 - Dalam rentangnya RTD lebih akurat dan memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dari pada termokopel.
 - RTD tidak membutuhkan kabel ekstensi khusus pada instalasi yang membutuhkan kabel panjang.
 - Tidak seperti termokopel, radiasi radioaktif (*beta, gamma dan neutron*) memiliki efek minimal terhadap RTD karena parameter yang diukur adalah resistansi, bukan tegangan.
- Adapun kelemahan menggunakan RTD adalah:

- Karena logam yang digunakan untuk RTD harus dalam bentuk yang paling murni, maka RTD jauh lebih mahal daripada termokopel.
- Secara umum, RTD tidak mampu mengukur selebar rentang temperatur termokopel.
- Perubahan kecil pada resistansi akan ikut terukur, sehingga semua koneksi harus ketat dan bebas dari korosi, yang akan menyebabkan kesalahan pembacaan. Berikut merupakan rumus untuk mencari resistansi pada PT 100.

$$R_{pt100} = 100 + (T \times 0,385) \Omega \quad (2-7)$$

atau

$$T = (R_{pt100} - 100) / 0,385 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (2-8)$$

Dimana:

R_{pt100} : Resistansi pada PT100

T : Suhu yang terbaca pada sensor PT100 ($^{\circ}\text{C}$)

2.9 Dimmer AC Zero Crossing Detector

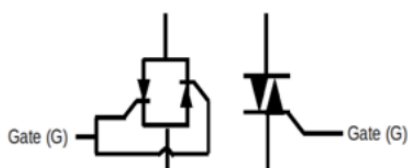
Dimmer AC digunakan untuk mengatur daya yang akan digunakan beban dengan komponen yang membutuhkan sumber AC. Dengan menggunakan dimmer AC, daya dan

performansi kerja beban yang digunakan dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan.

Dimmer AC bekerja dengan cara mengatur arus keluaran dari TRIAC.

TRIAC (*Triode for Alternating Current*) adalah komponen yang tersusun atas dua buah *thyristor* dengan terminal *gate* yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa TRIAC memiliki saklar dua arah yang dapat mengalirkan arus listrik ke dua arah yang berbeda ketika dipicu.

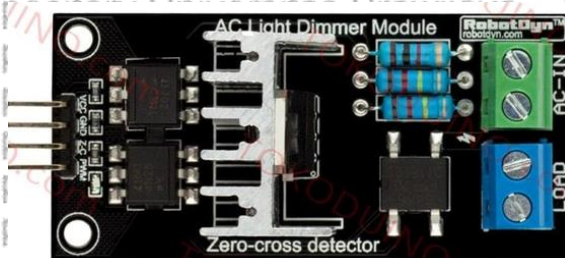
Hal ini menyebabkan TRIAC memiliki kemampuan untuk mengatur tegangan AC. Selain itu, pemicuan dari *gate* TRIAC juga dapat dilakukan dengan memberikan pulsa negatif atau pulsa positif. Rangkaian TRIAC ditunjukkan pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Rangkaian TRIAC

Zero crossing detector merupakan rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinusoida AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol. Penggunaan rangkaian *zero crossing detector* bertujuan agar sistem bisa mendeteksi *zero point* sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoida menjadi sinyal kotak. Sinyal keluaran dari rangkaian *zero cross detector* ini akan menjadi input yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

Dimmer AC *Zero Crossing Detector* memiliki 4 pin yaitu pin Vcc, GND, ZCD (*Zero Crossing Detector*) dan PWM. Dengan menggunakan dimmer AC *zero crossing detector*, tegangan *output* ke beban dapat diatur besarnya dengan mengatur *duty cycle* sinyal PWM yang diberikan oleh mikrokontroler melalui pin PWM. Dimmer AC *zero crossing detector* ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Dimmer AC ZCD

2.10 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. PWM biasa digunakan untuk pemodulasian data pada telekomunikasi,

pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, pengontrolan sudut servo. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa, pengendalian kecepatan motor DC, pengaturan tingkat nyala LED dan sebagainya.

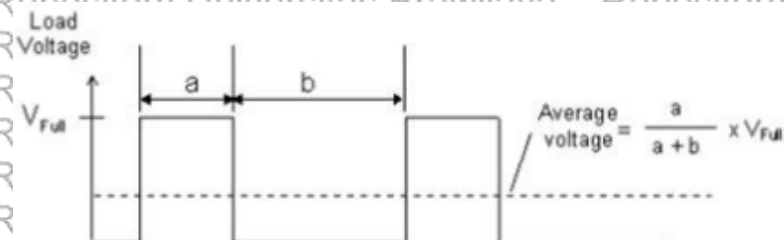
Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%). Besar *duty cycle* sinyal PWM dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{V_{\text{reference}}}{V_{\text{Carrier}}} \times 100\% \quad (2-9)$$



Gambar 2.17 Duty Cycle Sinyal PWM

Perhitungan pengontrolan tegangan *output* menggunakan PWM cukup sederhana. Dengan menghitung *duty cycle* yang diberikan, akan didapat tegangan *output* yang dihasilkan. Sesuai dengan rumus yang dijelaskan pada Gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.18 Hubungan V_{out} dengan sinyal PWM

$$\text{Average Voltage} = \frac{a}{a+b} \times V_{\text{full}} \quad (2-10)$$

Dimana:

Average voltage = Tegangan *output* yang dikontrol oleh PWM

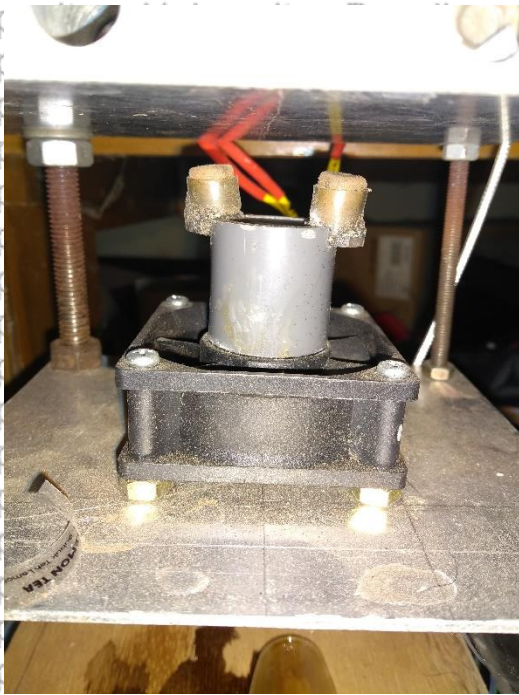
a = Nilai *duty cycle* saat kondisi sinyal “on”

b = Nilai *duty cycle* saat kondisi sinyal “off”

V_{full} = Tegangan *maximum* pada beban yang digunakan

2.11 *Magnetic Stirrer*

Magnetic stirrer adalah jenis pengaduk yang memanfaatkan induksi magnet. Dua buah magnet tersambung dengan kipas atau motor yang terdapat di bawah *plate* menginduksi magnet pengaduk yang berada di atas *plate*. Rancangan *magnetic stirrer* yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.19



Gambar 2.19 Kipas 12 V DC yang berfungsi untuk menginduksi magnet pengaduk.



Gambar 2.20 Magnet pengaduk.

2.12 Variabel Kontrol

2.12.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu besaran fisika yang menunjukkan derajat panas dari suatu benda atau lingkungannya. Pengukuran temperatur digunakan untuk mendekteksi gejala perubahan suhu panas pada suatu benda atau ruang tertentu. Temperatur adalah besaran relatif, tergantung pada acuan yang digunakan. Pada rancangan *hotplate magnetic stirrer* suhu akan dikontrol dengan *setpoint* 35°C dalam waktu 18 jam sesuai dengan prosedur fermentasi untuk menghasilkan eksopolisakarida.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

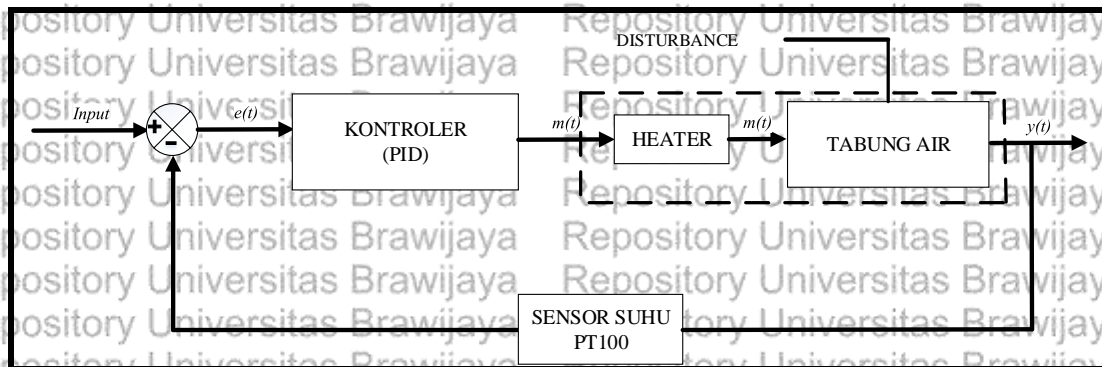
Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu merancang suatu sistem pengendalian suhu pada proses ekstraksi eksopolisakarida menggunakan kontroler PID dengan tujuan dapat menampilkan respon sistem yang sesuai dengan spesifikasi yang kita inginkan. Untuk merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat pada pendahuluan, maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian skripsi ini.

1. Perancangan blok diagram sistem.
2. Spesifikasi Desain.
3. Desain perancangan alat.
4. Pembuatan program algoritma kontroler PID.
5. Pengujian alat.
6. Pengambilan kesimpulan dan saran.

3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem

Berdasarkan spesifikasi desain dan perancangan alat yang telah ditentukan, maka dibuatlah perancangan blok diagram sistem keseluruhan untuk memudahkan dalam proses pembuatan kontroler. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Keterangan:

$u(t)$ = *Setpoint* (Nilai masukan yang diinginkan pada keluaran sistem)

$m(t)$ = Nilai keluaran dari kontroler PID (Sinyal Kontrol).

$y(t)$ = Keluaran sistem.

Penjelasan Diagram Blok:

1. *Setpoint* adalah suhu yang diinginkan dengan nilai 35°C.
2. Kontroler yang digunakan yaitu Mikrokontroler Arduino UNO.
3. *Plant* adalah objek fisik yang di kontrol dalam sistem.
4. Aktuator atau penggerak *plant* berupa heater.
5. Sensor yang digunakan adalah PT100.
6. *Disturbance* adalah pengurangan dan penambahan air kedalam gelas.

3.2 Penentuan Spesifikasi Desain

1. *Setpoint* suhu air

Setpoint yang ingin dicapai yaitu sebesar 35°C selama 18 jam.

2. *Overshoot* kurang dari 5%

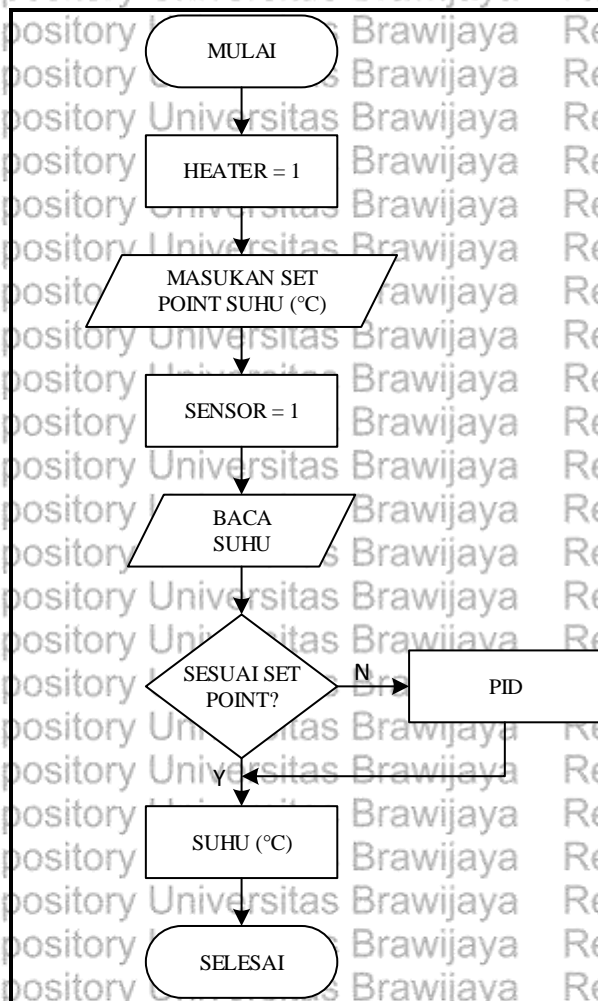
Sistem didesain untuk memiliki *overshoot* kurang dari 5%.

3. *Error steady state* kurang dari 2%

Sistem didesain untuk memiliki *error steady state* kurang dari 2%. Karena sistem dapat dikatakan baik ketika memiliki *output* dengan batas nilai akhir 2% dari *setpoint*.

3.3 Flowchart Program Utama

Perancangan perangkat lunak berkaitan dengan *flowchart* program yang akan diimplementasikan ke mikrokontroler Arduino. Berikut adalah *flowchart* sistem keseluruhan yang akan diimplementasikan pada *plant*.



Gambar 3.2 Flowchart sistem keseluruhan

Sensor PT100 diletakkan didalam *beaker glass* untuk membaca suhu air yang akan dikontrol. Diberikan *setpoint* suhu 35°C, lalu sensor akan membaca suhu sesuai dengan *setpoint* yang diberikan. Apabila suhu air tidak sesuai dengan *setpoint*, sensor akan mengirim sinyal ke mikrokontroler sehingga pada mikrokontroler mulai dieksekusi, kemudian aktuatur akan menyala sampai suhu mencapai *setpoint* yang diinginkan. Kontroler PID akan mengeluarkan respon yang akan diterima oleh aktuatur apabila suhu melebihi *setpoint* yang ditentukan.

3.4 Perancangan Alat

Perancangan ini bertujuan untuk menjelaskan cara kerja alat secara keseluruhan sehingga memudahkan dalam proses perancangan alat. Sensor PT100 diletak di besi penyanggah yang nantinya akan dimasukan kedalam *beaker glass* untuk membaca kondisi suhu air didalam gelas, kemudian memberikan sinyal informasi digital. *Output* sensor berupa informasi yang dapat langsung dikirim ke mikrokontroler Arduino UNO, kemudian diolah

dan diproses menggunakan kontroler PID. Pengontrolan suhu pada proses fermentasi adalah 35°C dengan memanfaatkan *heater cartridge* yang ditanamkan ke dalam plat aluminium.

Apabila sensor PT100 mendeteksi tingkat perubahan suhu yang tidak sesuai dengan *setpoint*, sensor akan mengirim sinyal ke mikrokontroler sehingga pada mikrokontroler mulai dieksekusi, kemudian aktuator akan menyala sampai suhu mencapai *setpoint* yang diinginkan.

Kontroler PID digunakan untuk mengontrol pada saat suhu melebihi *setpoint* yang ditentukan dan mengeluarkan respon yang akan diterima oleh aktuator untuk menjaga suhu yang diinginkan.

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

3.5.1 Perancangan Program Bahasa C++ Pada Arduino

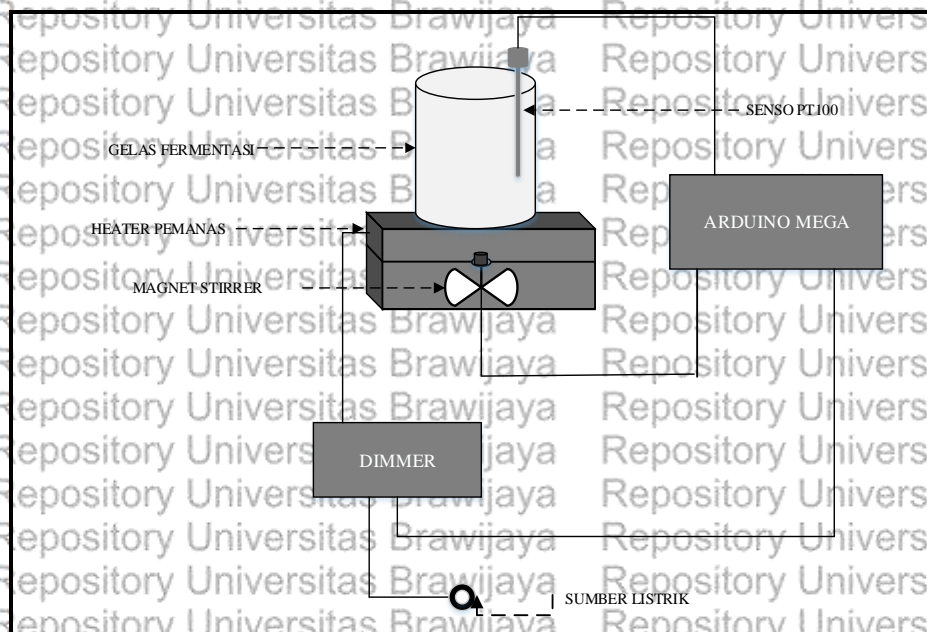
Penggunaan perangkat lunak pada alat ini menggunakan Bahasa pemrograman C++ dengan menggunakan *software* Arduino 1.8.2. Program dapat dilihat di lampiran.

3.6 Desain Rancangan Alat

3.6.1 Skema perancangan perangkat keras.

Untuk memudahkan dalam proses perancangan dan penataan komponen-komponen yang akan digunakan, maka diperlukan pembuatan desain rancangan alat terlebih dahulu.

Desain rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang akan dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain Rancang Alat

Desain *prototype hotplate magnetic stirrer* ini mempunyai spesifikasi, yaitu:

1. Sensor suhu yang digunakan berupa sensor PT100.
2. Magnet *stirrer* yang berfungsi untuk menginduksi magnet pengaduk.
3. *Heater cartridge* yang digunakan berupa pemanas 220 V AC, 600 Watt yang terhubung dengan 1 buah dimmer *zero crossing detector*.

3.7 Penentuan Karakteristik Plant

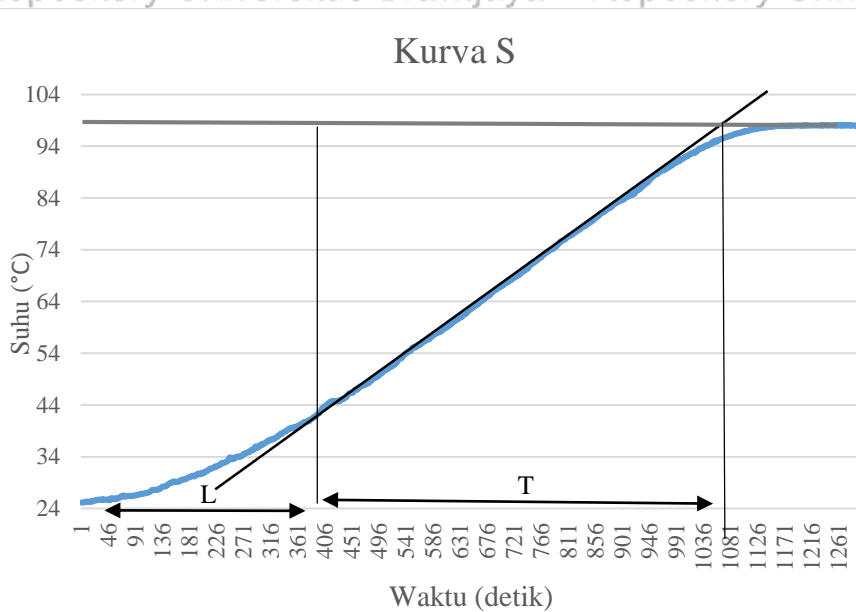
Peralatan yang digunakan untuk mengetahui karakteristik *plant* adalah sebagai berikut:

1. Laptop.
2. Kabel penghubung.
3. Arduino UNO R3.
4. *Plant* berupa *beaker glass* yang berisi air 400 ml.
5. Kipas 12 V yang terhubung dengan magnet sebagai pengaduk.
6. Sensor suhu PT100.

Langkah-langkah saat melakukan penentuan karakteristik *open loop plant* adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan laptop dengan Arduino UNO R3.
2. Menghubungkan Arduino ke sensor, dan *heater*.
3. Setelah semua terhubung *upload* program dari laptop ke Arduino!
4. Hasil akan ditampilkan pada *serial monitor*.
5. Plot data yang diperoleh pada *serial monitor* dengan *excel*.

Hasil dari pengambilan respon *open loop plant* menunjukkan bahwa respon *open loop* berbentuk S. sehingga respon *open loop plant* pada penelitian ini memenuhi aturan metode Ziegler-Nichols pertama atau kurva reaksi. Hasil pengambilan respon *open loop plant* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Respon kurva S

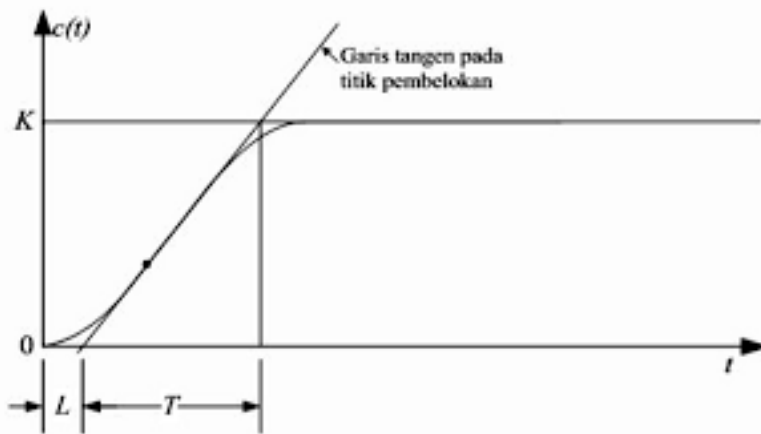
3.7.1 Penentuan Nilai K_p , K_i , K_d

Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih adalah kontroler proposional, integral, dan diferensial. Parameter kontrol PID didapatkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols dimana *plant* dirancang secara *open loop* dan diberi PWM masukan ke *plant*.

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

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *open loop*.
2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu t untuk mendapatkan L .
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai T .
4. Nilai L dan T digunakan untuk menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d sesuai aturan metode Ziegler-Nichols pertama.

Waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) dapat ditentukan dengan menraik garis *tangent* pada titik pembelokan dari kurva S seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.5 Kurva respon berbentuk S
Sumber: Ogata k (1997)

Dari respon *open loop plant* pada Gambar 3.5, didapatkan nilai waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) sebagai berikut.

$$L = 381 \text{ detik} \quad (3-1)$$

$$T = 689 \text{ detik} \quad (3-2)$$

1. Penalaan parameter PID berdasarkan metode Ziegler-Nichols pertama.

Berdasarkan nilai waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) dari respon *open loop plant*, maka didapatkan nilai parameter waktu integral (T_i), waktu derivatif (T_d), dan *gain* proposional (K_p) sesuai aturan Ziegler-Nichols pertama sebagai berikut.

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 381 = 762 \quad (3-3)$$

$$T_d = 0.5 \times L = 0.5 \times 689 = 190.5 \quad (3-4)$$

$$K_p = 0.5 \times \frac{T}{L} = 0.5 \times \frac{689}{381} = 0.9042 \quad (3-5)$$

Berdasarkan nilai parameter *gain* proporsional (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu derivatif (T_d) maka didapatkan nilai *gain* integrak (K_i) dan nilai *gain* derivatif (K_d) sebagai berikut.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.9042}{762} = 0.00119 \quad (3-6)$$

$$K_d = K_p \times T_d = 0.9042 \times 190.5 = 172.5 \quad (3-7)$$

2. Penalaan parameter PI berdasarkan metode Ziegler-Nichols pertama.

$$T_i = \frac{L}{0.3} = \frac{381}{0.3} = 1270 \quad (3-8)$$



$$Kp = 0.9 \frac{T}{L} = 0.9 \frac{689}{381} = 1.627 \quad (3-9)$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{1.627}{1270} = 0.002136 \quad (3-10)$$



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dilakukan dengan melakukan pengujian sistem secara menyeluruh. Pengujian sistem secara menyeluruh dilakukan untuk menguji apakah sistem hasil perancangan sesuai dengan spesifikasi perancangan serta mengetahui hasil responnya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian sistem menggunakan dua kontroler, yaitu kontroler PI dan PID yang bertujuan untuk memastikan bahwa kontroler PID adalah kontroler yang tepat untuk di implementasikan pada rancangan *hotplate magnetic*. Hasil respon dari kedua kondisi tersebut akan dibandingkan nilai *settling time*, *error steady state*, *overshoot*, dan *recovery time*.

Selain pengujian sistem secara menyeluruh, pada penelitian ini juga akan dilakukan pengujian fermentasi. Pengujian fermentasi dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil kadar gula total dari EPS yang telah ditentukan berdasarkan penelitian rujukan dengan hasil yang didapatkan dari rancangan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan sampel hasil fermentasi yang telah dibuat untuk mengetahui kadar gula total dari EPS. Sampel akan diuji di Laboratorium Bioteknologi Universitas Muhammadiyah, Malang.

4.1 Pengujian Sistem Tanpa Gangguan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon sistem secara *close loop* dengan pengimplementasian kontroler. Pada pengujian sistem tanpa gangguan ini akan digunakan kontroler PID dan PI yang *tuning* parameternya diperoleh oleh grafik *open loop* sistem dengan aturan Ziegler-Nichols pertama. *Setpoint* yang digunakan dalam pengujian sistem tanpa gangguan ini yaitu 35°C.

a. Peralatan yang digunakan

1. Rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang di desain sendiri.
2. Arduino UNO.
3. Sensor suhu PT100.
4. Kipas DC 12 V yang terhubung dengan magnet.
5. *Heater cartridge*.
6. *Beaker glass*.
7. Laptop.

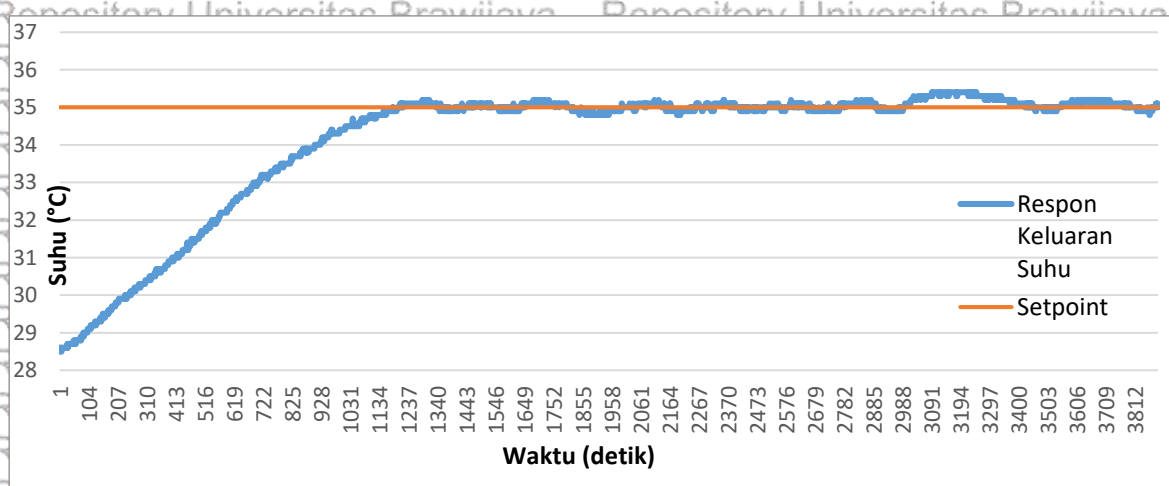
b. Prosedur pengujian

1. Penyusunan rangkaian.
2. Masukan nilai $k_p = 0,904199$, $k_i = 0,001187$, $k_d = 172,25$, dan masukan *setpoint* suhu = 35°C .
3. Mengamati keluaran suhu pada *serial monitor*.
4. Mengamati keluaran suhu pada *serial monitor* dan mengubahnya menjadi bentuk grafik terhadap waktu.
5. Memploting hasil pembacaan suhu menjadi grafik.

c. Hasil pengujian dan pembahasan

Setelah melakukan prosedur pengujian dan didapatkan respon kontroler PID dan PI Tanpa gangguan pada *plant*.

1. Pengujian respon tanpa gangguan dengan menggunakan kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik respon kontroler PID tanpa gangguan

Berdasarkan grafik respon suhu tersebut, maka karakteristik respon sistem tanpa gangguan menggunakan kontroler PID secara keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

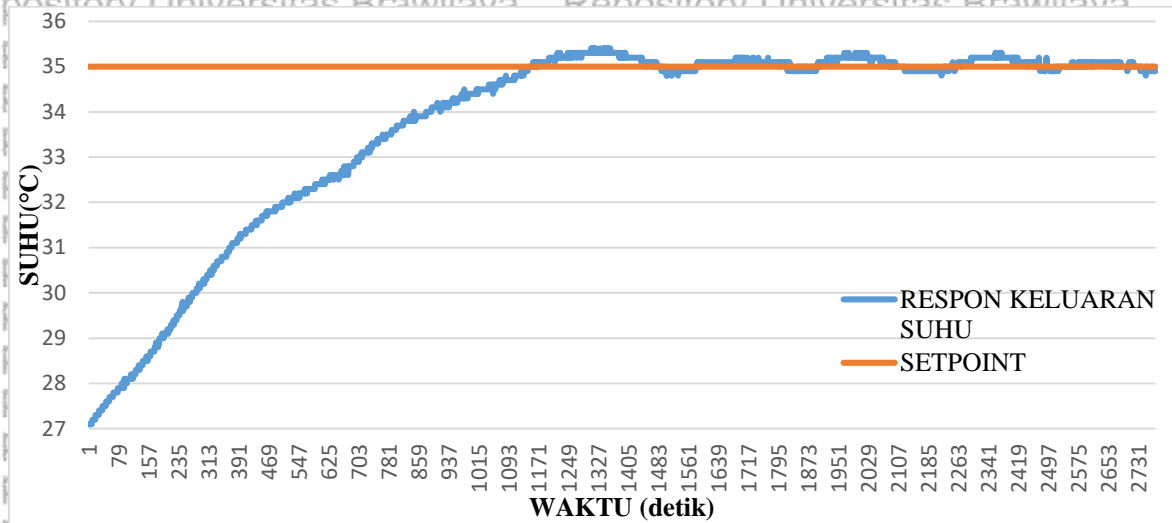
Tabel 4.1

Hasil pengujian sistem tanpa gangguan kontroler PID

Setpoint (°C)	Settling Time (Menit)	Error Steady State (%)	Overshoot (%)
35	18	0.1	0.8

2. Pengujian respon tanpa gangguan dengan menggunakan kontroler PI ditunjukkan pada

Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik respon kontroler PI tanpa gangguan

Berdasarkan grafik respon suhu tersebut, maka karakteristik respon sistem tanpa gangguan menggunakan kontroler PI secara keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem tanpa gangguan kontroler PI

Setpoint (°C)	Settling Time (Menit)	Error Steady State (%)	Overshoot (%)
35	22	1.14	1.5

Berdasarkan grafik respon suhu tersebut, maka karakteristik masing-masing respon sistem tanpa gangguan menggunakan kontroler PID dan PI secara keseluruhan dapat digambarkan dan dibandingkan melalui Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perbandingan hasil respon sistem tanpa gangguan kontroler PID dan PI

Setpoint (°C)	Kontroler	Overshoot	Error Steady State	Settling Time (Menit)
35	PI	1.5%	1,14%	22
	PID	0.8%	0.1%	18

4.2 Pengujian sistem dengan gangguan

a. Tujuan

Pengujian keseluruhan sistem dengan gangguan dilakukan untuk mengetahui repon dari *plant* terhadap gangguan yang diberikan. Pada pengujian sistem tanpa gangguan ini akan digunakan kontroler PID dan PI yang *tuning* parameternya diperoleh dari grafik *open loop*

sistem dengan aturan Ziegler-Nichols pertama. *Setpoint* yang digunakan dalam pengujian sistem dengan gangguan adalah 35°C .

b. Peralatan yang dibutuhkan

1. Rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang didesain sendiri.
2. Arduino UNO.
3. Sensor suhu PT100.
4. Kipas DC 12 V yang terhubung dengan magnet.
5. *Heater cartridge*.
6. *Becker glass*.
7. Laptop.
8. Air.

c. Prosedur pengujian

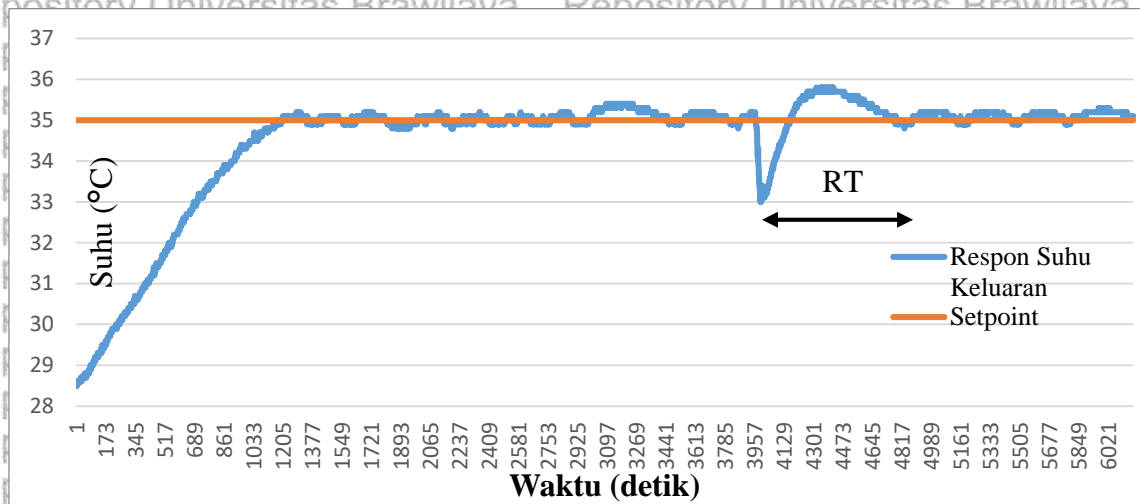
1. Penyusunan rangkaian.
2. Masukan nilai $k_p = 0,904199$, $k_i = 0,001187$, $k_d = 172,25$, dan masukan *setpoint* suhu = 35°C .
3. Mengamati keluaran suhu pada *serial monitor*.
4. Pada saat respon keluaran sudah mencapai *steady state* diberi gangguan perubahan suhu berupa pengurangan dan penambahan air dari dalam *beaker glass*.
5. Merekam keluaran suhu dari *serial monitor* dan mengubahnya menjadi bentuk grafik terhadap waktu.
6. Memplot hasil pembacaan suhu menjadi grafik.

d. Hasil pengujian dan pembahasan

Setelah melakukan prosedur pengujian dan didapatkan respon kontroler PID dan PI yang telah diberikan gangguan pada *plant*.

1. Pengujian respon dengan gangguan menggunakan kontroler PID ditunjukkan pada

Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Respon keluaran suhu dengan diberi gangguan kontroler PID

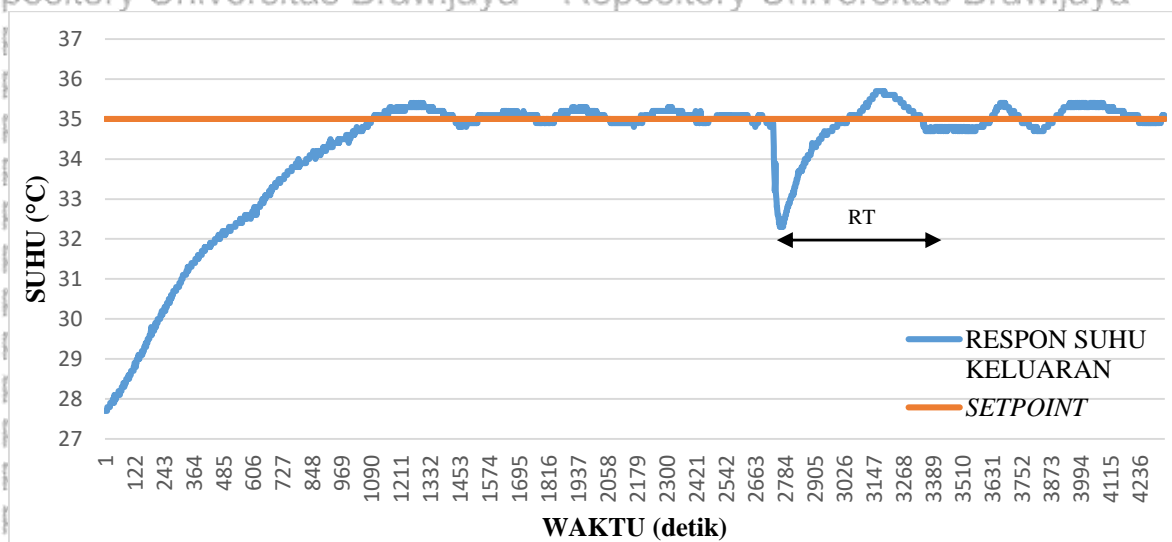
Berdasarkan hasil keluaran dari sistem dengan nilai *setpoint* yang diberikan gangguan menggunakan kontroler PID secara keseluruhan diperoleh nilai *recovery time* antara lain:

Tabel 4.4

Hasil pengujian dengan gangguan kontroler PID

Setpoint (°C)	Recovery Time (menit)
35	8.7

2. Pengujian respon dengan gangguan menggunakan kontroler PI ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Respon keluaran suhu dengan diberi gangguan

Berdasarkan hasil keluaran dari sistem dengan nilai *setpoint* yang diberikan gangguan menggunakan kontroler PI secara keseluruhan diperoleh nilai *recovery time* antara lain:

Tabel 4.5
Hasil pengujian dengan gangguan kontroler PI

Setpoint (°C)	Recovery Time (menit)
35	12.47

Berdasarkan grafik respon tersebut, maka *recovery time* pada masing-masing respon sistem dengan gangguan menggunakan kontroler PI dan PID pada *setpoint* 35°C dapat digambarkan dan dibandingkan melalui Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6
Perbandingan nilai *recovery time* sistem dengan gangguan menggunakan kontroler PI dan PID

Setpoint (°C)	Kontroler	Recovery Time (%)
35	PI	12.47
	PID	8.7

Berdasarkan pengujian respon suhu menggunakan kontroler PI dan PID pada rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang telah dibuat, dapat disimpulkan bahwa kontroler PID memiliki performansi lebih baik dibandingkan kontroler PI. Hal ini dibuktikan dengan nilai *error steady state* dan *overshoot* kontroler PID yang cenderung lebih kecil dibandingkan kontroler PI. Selain itu kontroler PID memiliki nilai *settling time* dan *recovery time* yang lebih cepat dibandingkan kontroler PI.

4.3 Pengujian sistem pada fermentasi tetes tebu

a. Tujuan

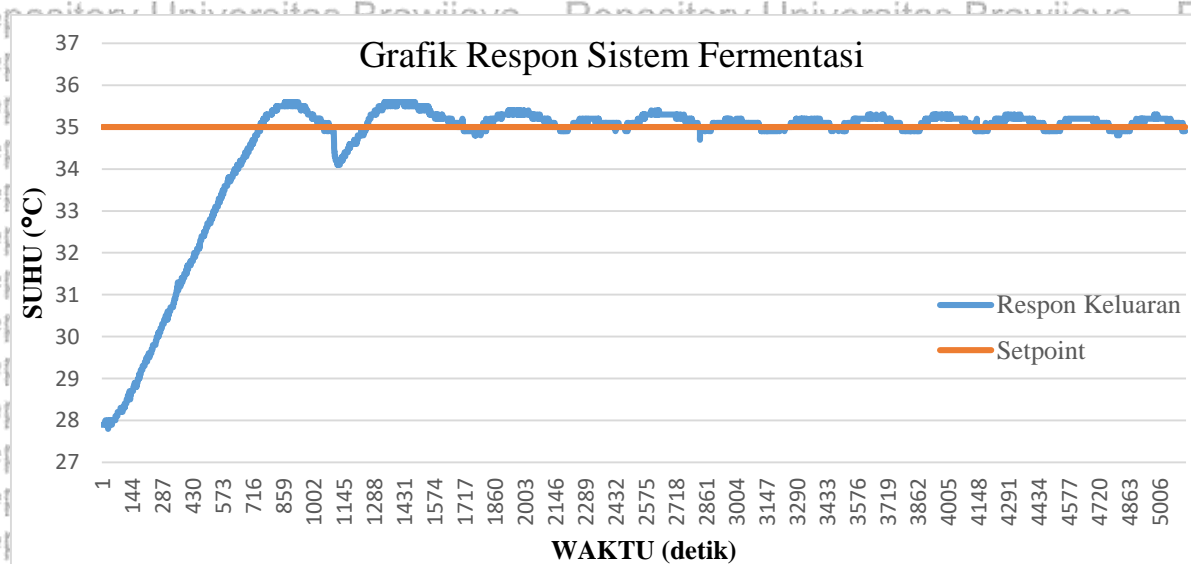
Pengujian sistem pada fermentasi tetes tebu menggunakan rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang telah dibuat bertujuan untuk mengetahui keandalan rancangan alat yang telah dibuat dan efektifitas kontroler PID yang telah diimplementasikan terhadap kadar gula pada EPS yang didapatkan pada proses fermentasi yang dilakukan.

b. Peralatan yang dibutuhkan

1. Rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang di desain sendiri.
2. Arduino UNO.
3. Sensor suhu PT100.
4. Kipas DC 12 V yang terhubung dengan magnet.
5. *Heater cartridge*.
6. *Beaker glass*.
7. Laptop.

8. Tetes tebu yang sudah di sterilisasi.
 9. Bakteri asam laktat siap untuk fermentasi.
- c. Langkah pengujian
1. Penyusunan rangkaian.
 2. Pencampuran tetes tebu murni sebanyak 200 ml dengan aquades sebanyak 200 ml.
 3. Dilakukan sterilisasi dengan memanaskan tetes tebu dengan suhu 90°C .
 4. Menyiapkan bakteri *Lactobacillus plantarum* sebanyak 40 ml.
 5. Mengatur program Arduino.
 6. Masukan nilai $K_p = 0.904199$, $K_i = 0.001187$, $K_d = 172.25$, dan masukan *setpoint* suhu = 35°C .
 7. Melakukan *upload* program Arduino.
 8. Menunggu suhu pada tetes tebu mencapai 35°C .
 9. Menunggu proses fermentasi.
 10. Memindahkan hasil fermentasi tetes tebu ke dalam botol.
- d. Hasil pengujian dan pembahasan

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan respon kontroler suhu pada *plant* selama proses fermentasi berjalan. Sampel dari fermentasi lalu dikirim ke Laboratorium Bioteknologi Universitas Muhammadiyah Malang untuk diuji kadar gula total. Pada pengaplikasiannya proses fermentasi didapatkan respon kontroler suhu seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik respon sistem pada fermentasi

Tabel 4.7
Hasil uji kadar gula total:

Kadar gula sebelum fermentasi (%)	Kadar gula setelah fermentasi (%)	Kadar gula terpakai (%)
42.7	5.18	37.52

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa kadar gula sebelum fermentasi adalah 42.7%. Setelah melalui proses fermentasi menggunakan bakteri *Lactobacillus plantarum* selama 18 jam dengan suhu 35°C, kemudian dilakukan pengujian di Laboratorium Bioteknologi Universitas Muhammadiyah Malang menunjukkan bahwa kadar gula setelah fermentasi sebesar 5.18%. Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian adalah kadar gula yang terpakai selama fermentasi yaitu 37.52%, didapatkan dari pengurangan kadar gula sebelum fermentasi dengan kadar gula setelah fermentasi. Kadar gula setelah fermentasi menunjukkan hasil yang baik sehingga dapat dilanjutkan ke proses berikutnya dalam pembuatan eksopolisakarida.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian, pengolahan dan analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian, maka kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian antara lain.

1. Perancangan perangkat keras yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik, dimana mampu mengatur suhu sesuai *setpoint* yang diinginkan dan tahan terhadap gangguan.

Berdasarkan *tuning* parameter PID dengan metode Ziegler-Nichols pertama didapatkan nilai $K_p = 0.904199$, $K_i = 0.001187$, dan $K_d = 172,25$. Berdasarkan *tuning* parameter PI dengan metode Ziegler-Nichols pertama didapatkan nilai $K_p = 1.627$, $K_i = 0.002136$. Kedua kontroler memenuhi spesifikasi desain yang ingin dicapai yaitu memiliki *error steady state* kurang dari 2% dan *overshoot* kurang dari 5%.

2. Setelah dilakukan pengujian respon suhu menggunakan kontroler PI dan PID pada rancangan *hotplate magnetic stirrer* yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa kontroler PID memiliki performansi lebih baik dengan nilai *error steady state*, dan *overshoot* lebih kecil dibandingkan kontroler PI. Selain itu, kontroler PID memiliki nilai *settling time* lebih cepat dibandingkan kontroler PI. Setelah dilakukan pengujian kembali dengan memberikan gangguan berupa pengurangan dan penambahan air didalam *beaker glass* menggunakan kontroler PI dan PID. Dapat disimpulkan nilai *recovery time* pada kontroler PID lebih cepat dibandingkan kontroler PI. Setelah dilakukan pengujian fermentasi, rancangan yang telah dibuat dapat menjaga suhu sesuai dengan *setpoint* dengan baik.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan metode kontrol lainnya.
2. Mengganti kipas DC dengan motor listrik.
3. Mengganti plat aluminium dengan ketebalan yang lebih tipis agar induksi dari magnet menjadi lebih baik.
4. Skripsi ini dapat dikembangkan dengan menambahkan *magnet stirrer* sebagai aktuatur agar kecepatan pengaduk lebih stabil dan konstan sesuai *setpoint* yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- De Vries, Maaike C; Vaughan, Elaine E; Kleerebezem, Michiel; De Vos, Willem M (2006). "Lactobacillus plantarum—survival, functional and potential probiotic properties in the human intestinal tract". *International Dairy Journal*. Vol. 16 (9), pp 1018–1028.
- Fitria, Aida. 2017. Pengaruh Suhu Dan Lama Fermentasi Terhadap Produksi Ekspolisakarida Dari Tetes Tebu Oleh *Lactobacillus plantarum* Dan Identifikasi Senyawa Gula Penyusunnya. Skripsi.
- Juwita, Ratna. 2012. Studi Produksi Alkohol dari Tetes Tebu (*Saccharum officinarum*) selama Proses Fermentasi. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian: Universitas Hasanuddin Makassar.
- Kimmel, S. A., Roberts, R. F., dan Ziegler, G. R. 1998. Optimization of Exopolysaccharide production by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* RR grown in a semidefined medium *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 659-664.
- Malik, Amalia, Donna M. Ariesranti, Anadayu Nurfachtiyanti, dan Arry Yanuar. 2008. Skrining Gen Glukonsiltransferase (GTF) Dari Bakteri Asam Laktat Penghasil Ekspolisakarida. 2003. *Makara Sains*, Vol. 12 (1), pp 1-6.
- Ogata, Katsuhiko. 1994. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga.
- Pertiwi, A. A. P., 2009. Pengaruh Temperatur Dan Waktu Karbonasi Pada Sintesis Porous Carbon Berbahan Dasar Molase. *Skripsi*. Semarang: Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Diponegoro.
- Rizaldi, Aldi. 2018. Rancang Bangun Pengontrol Suhu Dan Kelembapan Pada Proses Fermentasi Tempe Menggunakan Kontroler Proporsional. *Skripsi*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Wang, Y., Jin, M., Xu, C., Lu, Z., Huang, M., dan Wang, Y. 2010. Preparation and Biological Activities of an Exopolysaccharide Produced by *Enterobacter cloacae* Z0206. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 81, pp 607-611.
- Yilmaz, M T., Dertli, E., Toker, O. S., Tatlisu, N. B., Sagdic, O., dan Arici, 2015. Effect of in situ exopolysaccharide production on physicochemical, rheological, sensory, and microstructural properties of the yogurt drink ayran: An optimization study based on fermentation kinetics. *Journal of Dairy Science* Vol 98 No 3, 2015.

