

**PENGENDALIAN TEKANAN PADA SISTEM HOMOGENISASI SUSU
DENGAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO UNO**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana



Disusun Oleh:

GARNETA RIZKE AYU CEMPAKA

NIM. 105060300111067 - 63

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGENDALIAN TEKANAN PADA SISTEM HOMOGENISASI SUSU
DENGAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO UNO**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana



Disusun Oleh:

GARNETA RIZKE AYU CEMPAKA

NIM. 105060300111067 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Ir. Purwanto, ST., MT.
NIP. 19540424 198601 1 001

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D
NIP. 19771102 200604 2 003

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN TEKANAN PADA SISTEM HOMOGENISASI SUSU
DENGAN KONTROLER PID BERBASIS MIKROKONTROLER ARDINO
UNO**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Disusun Oleh:

GARNETA RIZKE AYU CEMPAKA

NIM. 105060300111067-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 22 Januari 2015

MAJELIS PENGUJI

M. Aziz Muslim, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

Ir. Moch. Rusli, Dipl.-Ing
NIP.

Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.
NIP.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Tekanan Pada Sistem Homogenisasi Susu Dengan Kontroler PID Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- Allah SWT yang telah mengatur kapan waktu yang terbaik dan teguran-teguranNya yang senantiasa menunjukkan jalan terbaik untuk hambaNya. Rasulullah Muhammad SAW semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau.
- Orang tua terbaik, Papa Hartadji (Alm) yang selalu menjaga dari Surga, Mama Ratih dan Papa Edy yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, dorongan, perhatian, pengertian, canda, dan tawa selama ini. Serta kedua saudara kandung saya Aldy dan Selda yang selalu menemani bercanda.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ali Mustofara, ST., MT selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, ST., MT selaku KKDK Teknik Kontrol sekaligus Pembimbing I yang telah memberikan waktu, saran, gagasan, ide, dan segala bantuannya.

- Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing II atas waktu, saran, bimbingan, arahan, dan segala bantuannya.
- Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningsy, MT selaku Kepala Laboratorium Sistem Kontrol, Mbak Eka selaku pranata laboratorium, serta Keluarga Besar asisten Lab. SISKON.
- Bapak Ir. Soprapto, MT selaku Kepala Laboratorium Elektronika Daya dan Mas Dedy selaku pranata laboratorium, atas sarana prasarana
- Vanny, terima kasih telah menjadi sahabat terbaik yang selalu mau berbagi semangat, keluh, kesah, canda, dan tawa.
- Fitra atas segala bantuan, waktu, dan pelajaran baru.
- Teman-teman MAGNET'10 yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis.
- Semua pihak yang telah membantu penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Januari 2015

Penulis

ABSTRAK

Garneta Rizke Ayu Cempaka, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Pengendalian Tekanan Pada Sistem Homogenisasi Susu Dengan Kontroler PID Berbasis Arduino Uno*, Dosen Pembimbing: Ir. Purwanto, MT, Rahmadwati, ST., MT., Ph.D.

Homogenisasi susu adalah suatu proses dimana butiran - butiran atau globula - globula lemak pada susu dipecah menjadi globula-globula yang lebih kecil yang berukuran 2μ atau kurang. Sistem homogenisasi susu dimaksudkan untuk menghindari terbentuknya lapisan krim yang terjadi bila air susu didiamkan. Cara kerja dari alat homogenisasi adalah dengan menekan susu pada tekanan yang tinggi dan melewatkannya pada sebuah lubang yang lebih kecil dari globula-globula lemak awal. Alat homogenisasi susu yang digunakan merupakan hasil rancangan sendiri sehingga berbeda dengan alat homogenisasi yang dijual di pasaran pada umumnya.

Perancangan dan pembuatan sistem homogenisasi susu pada penelitian ini berhasil dilakukan dengan menggunakan teori pertama metode Ziegler-Nichols, didapatkan nilai parameter $K_p=1.91$, $K_i=0.62$, dan $K_d=1.48$. sistem homogenisasi susu dapat mencapai *set point* berupa tekanan sebesar 3 Bar dan *settling time* 4.03 detik dengan parameter PID tersebut.

Dalam proses pengendalian tekanan, digunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk mengolah hasil pembacaan sensor tekanan dan yang kemudian akan mengendalikan *Variable Speed Drive* (VSD) untuk menggerakkan motor induksi tiga fasa yang ada di dalam pompa. Sensor yang digunakan adalah sensor tekanan MPX5700AP.

Kata Kunci: Homogenisasi Susu, *Variable Speed Drive*, PID

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Susu.....	5
2.2 Homogenisasi Susu.....	6
2.3 Pompa Sentrifugal.....	7
2.3.1 Head Zat Cair.....	8
2.3.2 Kerja Pompa Sentrifugal.....	9
2.4 Motor Induksi Tiga Fasa.....	10
2.4.1 Prinsip Kerja.....	10
2.4.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	14
2.5 Sensor Tekanan.....	16
2.6 Mikrikontroler Arduino Uno.....	17
2.7 Digital to Analog Converter (DAC).....	18
2.8 Kontroler.....	19
2.8.1 Kontroler Proporsional (P).....	20
2.8.2 Kontroler Integral (I).....	20
2.8.3 Kontroler Differensial (D).....	21
2.8.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID).....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Perancangan Sistem.....	23

3.2	Realisasi Pembuatan Sistem.....	24
3.2.1	Diagram Blok.....	25
3.2.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	25
3.3	Pengujian dan Analisis Data	25
3.3.1	Pengujian Perangkat Keras.....	25
3.4	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	26
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....		27
4.1	Perancangan Sistem.....	27
4.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	28
4.2.1	Sensor Tekanan.....	28
4.2.2	Rangkaian DAC.....	28
4.2.3	Variable Speed Drive (VSD) ATV312HU30N4	29
4.2.5	Karakteristik <i>Plant</i>	31
4.3	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	34
4.3.1	Program Utama.....	34
4.3.2	<i>Sub</i> Program Sensor Tekanan MPX5700AP.....	35
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM.....		38
5.1	Pengujian Sensor Tekanan.....	38
5.3	Pengujian Variable Speed Drive (VSD).....	42
5.5	Pengujian Diameter Globula Lemak	46
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		47
6.1	Kesimpulan	47
6.2	Saran	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Susu Sapi Segar	5
Gambar 2. 2 Aliran Melalui Pipa	8
Gambar 2. 3 Bagan Aliran Fluida di Dalam Pompa Sentrifugal.....	9
Gambar 2. 4 Motor Induksi Tiga Fasa Dua Kutub Ideal	11
Gambar 2. 5 Distribusi GGM Tiga Fasa Pada Kumputan Stator Pada Saat $t=0$...	12
Gambar 2. 6 Grafik Tegangan Terinduksi dan Frekuensi Rotor dengan Slip.....	13
Gambar 2. 7 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Sisi Rotor Sebagai Fungsi Slip	15
Gambar 2. 8 Rangkaian Ekuivalen per Fasa Motor Induksi	16
Gambar 2. 9 Bentuk Fisik Arduino Uno.....	18
Gambar 2. 10 Rangkaian Sederhana DAC.....	19
Gambar 2. 11 Diagram Blok Kontroler Proporsional.....	20
Gambar 2. 12 Diagram Blok Kontroler Integral	21
Gambar 2. 13 Diagram Blok Kontroler Differensial	21
Gambar 2. 14 Diagram Kontroler PID.....	22
Gambar 3. 1 Skema Kerja Sistem Homogenisasi Susu	23
Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem.....	28
Gambar 4. 2 Skema Rangkaian DAC	29
Gambar 4. 3 Pengkabelan <i>Variable Speed Drive</i> (VSD).....	30
Gambar 4. 4 Proses Pengaktifan VSD	30
Gambar 4. 5 Rangkaian Simulasi Pada Matlab.....	31
Gambar 4. 6 Blok Parameter Motor Induksi Pada Matlab.....	32
Gambar 4. 7 Grafik Respon Karakteristik Motor Induksi	32

Gambar 4. 8 Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler.....	33
Gambar 4. 9 <i>Tuning</i> dengan Teori Pertama Metode Ziegler-Nichols	34
Gambar 4. 10 <i>Flow Chart</i> Algoritma Program Utama	35
Gambar 4. 11 <i>Flow Chart</i> Algoritma <i>Sub</i> Program Sensor Tekanan.....	36
Gambar 4. 12 <i>Flow Chart</i> Algoritma <i>Sub</i> Program Kontroler	37
Gambar 5. 1 Digram Blok Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP	39
Gambar 5. 2 Grafik Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP	40
Gambar 5. 3 Digram Blok Hasil Pengujian Rangkaian DAC	41
Gambar 5. 4 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian DAC	42
Gambar 5. 5 Diagram Blok Pengujian <i>Variable Speed Drive</i> (VSD)	42
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Frekuensi Terhadap Kecepatan Putaran Motor ...	44
Gambar 5. 7 Grafik Respon Sistem Keseluruhan.....	45



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino..... 17

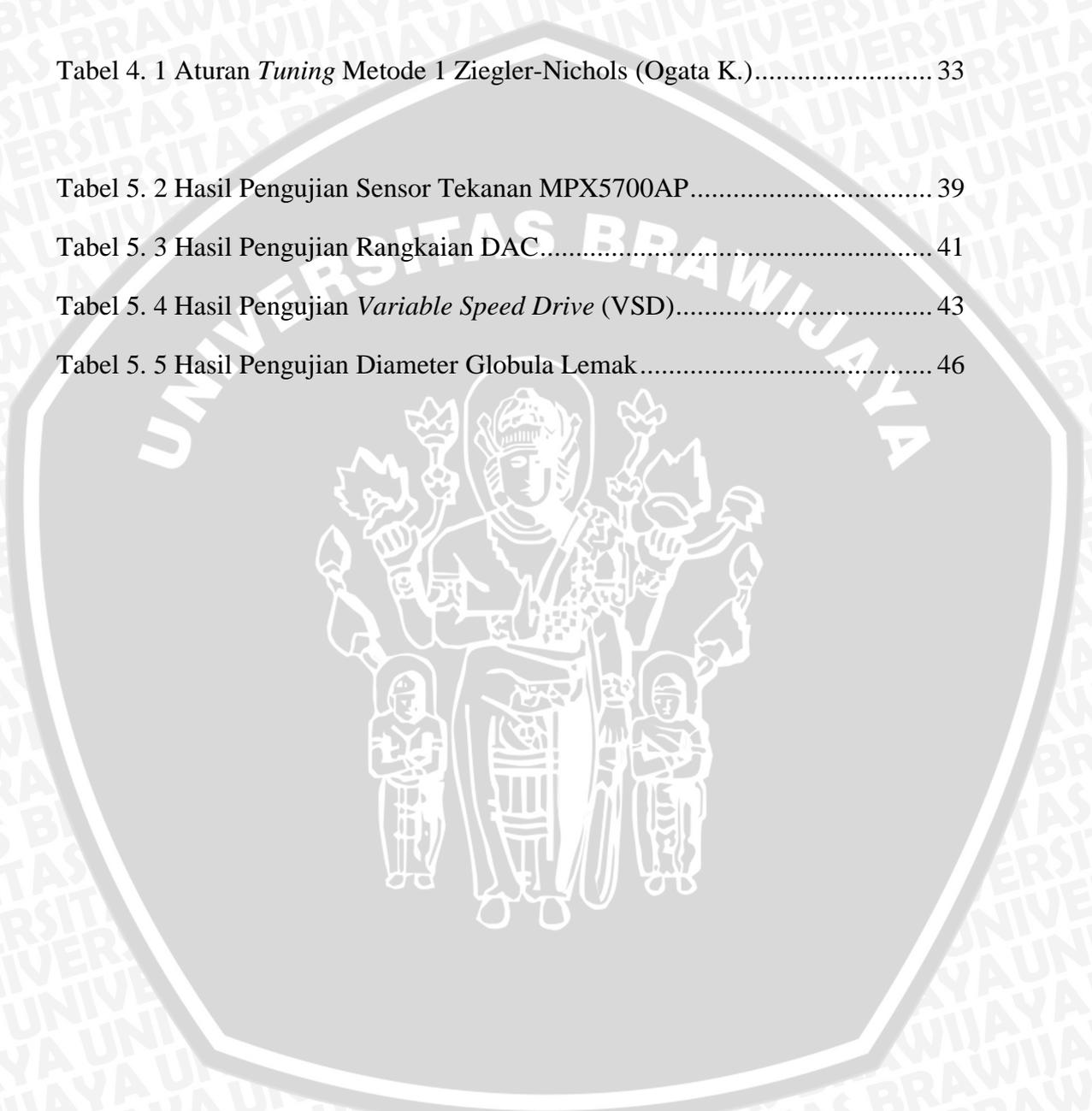
Tabel 4. 1 Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K.)..... 33

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP..... 39

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Rangkaian DAC..... 41

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian *Variable Speed Drive* (VSD)..... 43

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Diameter Globula Lemak..... 46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Susu adalah salah satu minuman bergizi yang dibutuhkan oleh manusia, dari bayi sampai lansia. Susu mengandung zat gizi yang tinggi, yaitu protein, lemak, mineral, karbohidrat, vitamin, kalsium, fosfor, dll. Sehingga susu merupakan salah satu sumber tenaga karena mengandung lemak dan karbohidrat. Karena kandungan zat gizi yang penting bagi tubuh manusia, permintaan konsumen terhadap susu dan produk-produk olahan susu terus meningkat. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi produsen untuk meningkatkan hasil produksi dan kualitas dari susu yang dihasilkan karena konsumen semakin selektif dalam memilih susu dan produk-produk susu. Sekarang banyak dijumpai produsen-produsen susu olahan rumah tangga. Untuk menjaga kualitas susu dibutuhkan alat-alat khusus dengan harga tinggi.

Adnan (1984:74) menjelaskan bahwa alat homogenisasi mula-mula ditemukan di Perancis pada tahun 1902, yang kemudian dipatenkan di Amerika pada tahun 1904. Cara kerja dari alat homogenisasi adalah dengan menekan susu pada tekanan yang tinggi dan melewatkannya pada sebuah lubang yang lebih kecil dari globula-globula lemak awal.

Homogenisasi susu adalah salah satu cara untuk meningkatkan kualitas susu. Sistem homogenisasi dimaksudkan untuk menghindari terbentuknya lapisan krim yang terjadi bila air susu didiamkan (Adnan, 1984:74). Gejala tersebut dapat dihindari dengan cara homogenisasi, karena homogenisasi adalah suatu proses dimana butiran-butiran atau globula-globula lemak pada susu dipecah menjadi globula-globula yang lebih kecil yang berukuran 2μ atau kurang. Pada susu yang belum dihomogenisasi, besar globula-globula tidak seragam dan berukuran 5-10 μ .

Menurut *U. S. Public Health Service Milk Code* yang dinamakan susu homogenisasi adalah air susu yang telah dipecah globula-globula lemaknya,

sehingga bila didiamkan pada suhu 45°F dalam waktu 48 jam tidak akan terjadi pemisahan lemak dan kadar lemak di lapisan 100 ml bagian atas dalam setiap liternya perbedaannya tidak lebih besar dari 10% dari bagian-bagian lainnya yang ditentukan setelah bagian-bagian tersebut dicampur (Adnan, 1984:74).

Spreer (1998:89) menjelaskan bahwa salah satu manfaat dari sistem homogenisasi susu adalah untuk memperbaiki rasa dan tekstur dari susu. Berdasarkan tekanan, homogenisasi dibedakan menjadi dua, yaitu *high-pressure homogenization* ($p = 100\text{-}350$ bar) dan *low-pressure homogenization* ($p = 5\text{-}30$ bar).

“Semakin rendah kandungan lemak susu dan semakin tinggi temperatur dan tekanannya, semakin baik hasil dari homogenisasi.” (Spreer, 1998:90).

Penelitian ini membahas tentang pengendalian tekanan pada sistem homogenisasi susu dengan merancang alat yang lebih sederhana dengan prinsip kerja yang sama, sehingga alat tersebut dapat meningkatkan kualitas susu. Pengendalian tersebut dilakukan dengan cara mengendalikan putaran motor induksi yang berada pada pompa. Sistem homogenisasi susu pada penelitian ini berbasis Arduino Uno dan memakai Kontroler PID sebagai kontrolernya. Diharapkan dengan menggunakan Kontroler PID berbasis Arduino Uno, tekanan dapat dikendalikan dengan sesuai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan pada latar belakang, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai parameter K_p , K_i , dan K_d yang sesuai dengan sistem pengendalian tekanan pada proses homogenisasi susu menggunakan kontroler PID berbasis mikrokontroler Arduino Uno.
2. Berapa nilai *settling time* dan waktu tunda pada sistem pengendalian tekanan pada proses homogenisasi susu menggunakan kontroler PID berbasis mikrokontroler arduino Uno.
3. Apakah sistem homogenisasi susu dengan kontroler PID berbasis mikrokontroler Arduino Uno dapat memecah besar diameter globula lemak.

1.3 Batasan Masalah

Dalam perencanaan pembuatan skripsi ini permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Perencanaan dan pembuatan alat pengendalian tekanan pada sistem homogenisasi susu yang digunakan adalah *prototype* dengan desain sendiri.
2. Pengendalian yang dilakukan adalah pengendalian tekanan melalui pengendalian kecepatan putaran motor pompa.
3. Pengujian dilakukan pada suhu antara 60-70°C.
4. Tekanan yang digunakan pada sistem homogenisasi susu adalah 3 bar yang merupakan tekanan *prototype*.
5. Pembahasan ditekankan pada pengendalian tekanan pada sistem dengan menggunakan kontroler PID berbasis Mikrokontroler Arduino Uno.
6. Pembahasan mengenai globula-globula lemak, pengendalian suhu, mekanik (termasuk motor pompa), analisa perhitungan daya motor pompa, model matematis, dan rangkaian elektronika tidak dibahas secara mendalam.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai parameter K_p , K_i , dan K_d yang sesuai dengan sistem pengendalian tekanan pada proses homogenisasi susu menggunakan kontroler PID berbasis mikrokontroler Arduino Uno
2. Mengetahui nilai *settling time* dan waktu tunda pada sistem pengendalian tekanan pada proses homogenisasi susu menggunakan kontroler PID berbasis mikrokontroler Arduino Uno.
3. Mengetahui apakah sistem homogenisasi susu dengan kontroler PID berbasis mikrokontroler Arduino Uno dapat memecah besar diameter globula lemak.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari enam bagian dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

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

BAB III Metodologi

Membahas metode penelitian dan perencanaan alat.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Alat

Membahas perancangan alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja dan pembuatan alat. Selanjutnya, bagaimana penerapannya dalam sistem secara keseluruhan.

BAB V Pengujian dan Analisis

Membahas hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Membahas kesimpulan perancangan ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Susu

Susu merupakan minuman bergizi tinggi yang dihasilkan ternak perah menyusui, seperti sapi perah, kambing perah, atau bahkan kerbau perah. Susu sangat mudah rusak dan tidak tahan lama di simpan kecuali telah mengalami perlakuan khusus. Susu segar yang dibiarkan di kandang selama beberapa waktu, maka lemak susu akan menggumpal di permukaan berupa krim susu, kemudian bakteri perusak susu yang bertebaran di udara kandang, yang berasal dari sapi masuk ke dalam susu dan berkembang biak dengan cepat. Oleh bakteri, gula susu di ubah menjadi asam yang mengakibatkan susu berubah rasa menjadi asam. Lama kelamaan susu yang demikian itu sudah rusak. Kombinasi oleh bakteri pada susu dapat berasal dari sapi, udara, lingkungan, manusia yang bertugas, atau peralatan yang digunakan (Sumoprastowo, 2000:48). Susu sapi segar dapat dilihat dari Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Susu Sapi Segar

(Sumber: http://rumahsusubekasi.blogspot.com/2011_05_01_archive.html)

Susu juga bisa terkontaminasi oleh mikroorganisme penyebab penyakit menular pada manusia seperti *tuberculosis*, *difteri*, dan *tifus*. Oleh karena itu, susu harus ditangani secara baik dan memenuhi syarat-syarat kualitas dari pemerintah.

Dalam melindungi konsumen susu, pemerintah dalam hal ini Dinas Peternakan, selalu mengadakan pengawasan peredaran susu, kesehatan sapi perah dan ternak perah, petugas yang terlibat pada penanganan susu, dan bahan makanan ternak (Sumoprastowo, 2000:48)

2.2. Homogenisasi Susu

Hadiwiyoto (1983:9) menjelaskan bahwa susu homogen adalah susu yang telah mengalami proses homogenisasi. Proses homogenisasi bertujuan untuk menyeragamkan besarnya globula-globula lemak susu. Di dalam susu yang belum dihomogenisasi, globula-globula lemak ini besarnya tidak seragam yaitu antara 2-20 mikrometer. Alat untuk menyeragamkan globula-globula lemak tersebut disebut *homogenizer*. Prinsip kerja alat tersebut adalah sebagai berikut. Susu ditekan melalui suatu lubang kecil, kemudian setelah keluar akan menghantam pada suatu bidang atau dinding yang keras, maka globula-globula lemak yang berukuran besar akan pecah menjadi beberapa globula lemak yang kecil-kecil. Tekanan yang digunakan dalam proses homogenisasi ini adalah antara 2.000-4.000 psi. Ada beberapa macam tipe *homogenizer*, yaitu:

- a. *Single stage homogenizer*, apabila penekanan susu dikerjakan hanya satu kali selama proses dalam satu alat.
- b. *Two stage homogenizer*, apabila penekanan susu dikerjakan dua kali selama proses dalam satu alat.
- c. *Multi stage homogenizer*, apabila penekanan susu dikerjakan lebih dari dua kali selama proses dalam satu alat.

Lampert (dalam Rohma, 2006:22) menjelaskan bahwa proses homogenisasi dapat dilakukan dengan melewati susu kental pada lubang sempit dan disertai tekanan tinggi. Proses homogenisasi dapat dilakukan dengan dua tahap yaitu homogenisasi tingkat pertama dilakukan pada tekanan tinggi sebesar 10 Mpa yang bertujuan untuk memecah globula-globula lemak sehingga ukurannya menjadi ± 2 mikrom dan homogenisasi tingkat kedua dilakukan pada tekanan rendah sebesar 3-6 Mpa yang bertujuan untuk menyeragamkan ukuran globula lemak.

Menurut Eckles, Combs, dan Macy (dalam Rohma, 2006:22) tipe dari *homogenizer* dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. *Homogenizer* tekanan tinggi (*High Pressure Homogenizer*)

Pada umumnya *homogenizer* tekanan tinggi dipasaran terdiri dari satu perlakuan (satu tingkat), tiga pompa dengan silinder penghisap dan katup pemberhentian. *Homogenizer* ini dioperasikan pada tekanan rata-rata 3 Mpa sampai 34 Mpa.

2. *Homogenizer* tipe putaran tekanan rendah (*Rotary Homogenizer*)

Homogenizer tipe ini biasanya digunakan untuk penggilingan lemak susu dan pengukuran dilakukan di bawah tekanan rendah. Tekanan yang digunakan pada *homogenizer* tipe ini adalah 3 Mpa.

3. Getaran Sonik

Pada tipe ini *homogenizer* dilakukan dengan menggunakan getaran pada frekuensi tinggi. Tipe jenis ini tidak banyak digunakan pada industri susu.

Hadiwiyoto (1983:10) menjelaskan bahwa ketidakseragaman ukuran globula lemak susu tidak dikehendaki di dalam pembuatan produk-produk olahan susu tertentu, salah satu misal es krim, karena hasilnya tidak akan terasa halus.

2.3. Pompa Sentrifugal

Nouwen (1981:3) menjelaskan bahwa sebuah pompa merupakan pesawat angkut yang bertujuan antara lain memindahkan zat cair. Zat cair hanya mengalir bila terdapat perbedaan tekanan tertentu. Jadi pompa itulah yang harus membangkitkan perbedaan tekanan tersebut. Sesuai dengan prinsip kerjanya, pompa dibedakan dalam kelompok utama sebagai berikut:

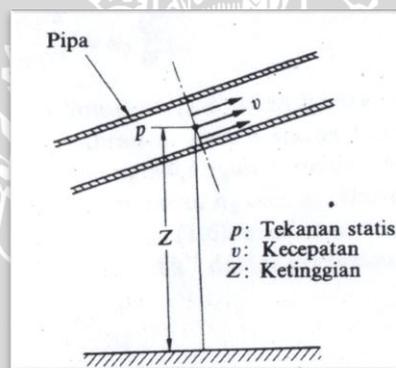
1. Pompa desak
2. Pompa sentrifugal
3. Pompa sekrup
4. Pompa aliran pusar
5. dll.

2.3.1 Head Zat Cair

Sularso (2004:3) menjelaskan bahwa pandanglah aliran suatu zat cair (atau fluida inkompresibel, misalnya air) melalui suatu penampang saluran seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.2. Pada penampang tersebut zat cair mempunyai tekanan statis p (dalam kgf/m^2), kecepatan rata-rata v (dalam m/s), dan ketinggian Z (dalam m) diukur dari bidang referensi. Maka zat cair tersebut pada penampang yang bersangkutan dikatakan mempunyai *head* total H (dalam m) yang dapat dinyatakan pada persamaan 2.1.

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (2.1)$$

dimana g (dalam m/s^2) adalah percepatan gravitasi, dan γ adalah berat zat cair per satuan volume (kgf/m^3).



Gambar 2. 2 Aliran Melalui Pipa

(Sumber: Sularso, 2004)

Adapun masing-masing suku dari persamaan tersebut di atas, yaitu p/γ , $v^2/2g$, dan Z , berturut-turut disebut *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial. Ketiaga *head* ini tidak lain adalah energi mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat (1 kgf) zat cair yang mengalir pada penampang yang bersangkutan. Satuan energi per satuan berat adalah ekuivalen dengan satuan panjang (atau tinggi). Maka *head* total H yang merupakan jumlahan dari *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial, adalah energi mekanik total per satuan berat zat cair, dan dinyatakan dengan satuan tinggi kolom zat cair dalam meter.

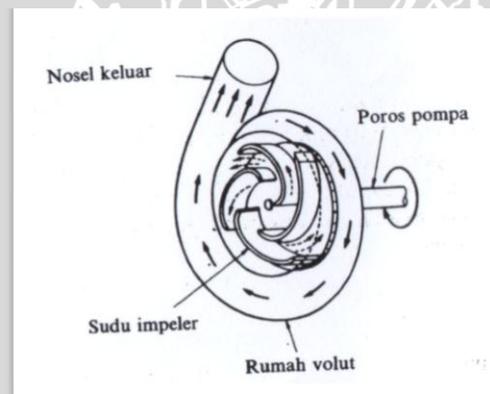
Dalam satuan SI, *head* H sering kali dinyatakan sebagai energi spesifik Y , yaitu energi mekanik yang dikandung oleh aliran per satuan massa (1 kg) zat cair. Satuan Y adalah J/kg. Dengan satuan ini, energi spesifik tekanan, kecepatan, dan potensial dapat dinyatakan berturut-turut sebagai p/ρ , $v^2/2$, dan gZ . Maka persamaan energi spesifik total dapat ditulis seperti pada persamaan 2.2.

$$Y = gH = \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gZ \quad (2.2)$$

dimana ρ adalah massa zat cair per satuan volume (kg/m^3).

2.3.2 Kerja Pompa Sentrifugal

Sularso (2004:4) menjelaskan bahwa pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.3, mempunyai sebuah impeler (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi.



Gambar 2. 3 Bagan Aliran Fluida di Dalam Pompa Sentrifugal

(Sumber: Sularso, 2004)

Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeler, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya setrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler ke luar melalui saluran di antara sudu-sudu. Disini *head* tekanan zat cair menjadi lebih tinggi. Demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di keliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head*

tekanan. Jadi impeler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang diakandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau *head* total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut *head* total pompa.

Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.

2.4. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor yang umum digunakan dalam dunia industri dan rumah tangga. Motor induksi sering digunakan karena motor induksi merupakan mesin yang ekonomis, handal, dan tersedia untuk berbagai aplikasi dan lingkungan kerja dengan jangkauan daya mulai dari beberapa watt sampai megawatt. Motor induksi multi fasa sering dijumpai dalam berbagai aplikasi berdaya besar sebagai penggerak utama seperti dijumpai di dunia industri sebagai pompa, kipas angin, kompresor dll. Bose (dalam Prima, 2011:4) menjelaskan bahwa motor induksi sering pula digunakan secara luas pada peralatan rumah tangga sebagai kipas angin, mesin cuci, peralatan pertukangan dll.

2.4.1 Prinsip Kerja

Prinsip dasar dari motor induksi ialah proses terciptanya medan yang berputar di celah udara. Medan putar merupakan resultan fluksi yang berputar akibat dari kumparan stator yang disuplai dengan sumber tiga fasa ideal, yang memiliki besaran yang sama, frekuensi yang sama dengan beda fasa masing-masing fasa 120° . Motor induksi tiga fasa dua kutub ideal ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Ketika sumber tiga fasa digunakan sebagai catu daya menyebabkan arus sinus tiga fasa mengalir pada kumparan stator tiga fasa yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:

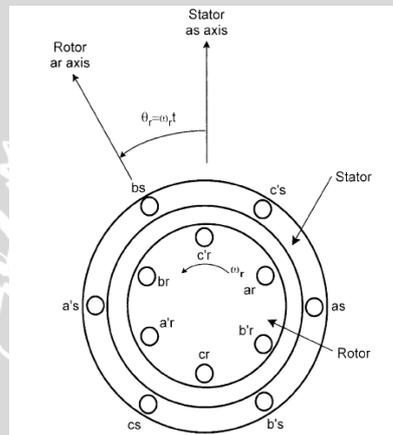
$$I_a = I_m \cos \omega_e t \quad (2.3)$$

$$I_b = I_m \cos(\omega_e t - 120^\circ) \quad (2.4)$$

$$I_c = I_m \cos(\omega_e t - 240^\circ) \tag{2.5}$$

I_a , I_b dan I_c merupakan arus tiga fasa yang mengalir di kumparan stator. Akibat adanya arus yang mengalir di setiap kumparan tiap fasa, maka dihasilkan GGM (gaya gerak magnetik) atau MMF (*magneto motive force*). Bose (dalam Prima, 2011:5) menjelaskan bahwa GGM yang dihasilkan tiap kumparan terdistribusi di setiap titik celah udara dan membentuk gelombang sinus jika ditinjau dari sumbu kumparan tersebut.

Titik acuan diambil ketika $t = 0$, arus mengalir ke kumparan stator tiga fasa sesuai dengan menggunakan Persamaan (2.3) – (2.5) maka arus yang mengalir di tiap fasa ketika $t = 0$, bernilai $I_a = I_m$, $I_b = -I_m/2$, $I_c = -I_m/2$. Bentuk gelombang GGM dan sumbu acuannya ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Motor Induksi Tiga Fasa Dua Kutub Ideal

(Sumber: Bose, 2002:31)

Sudut awal dinotasikan sebagai θ maka GGM yang terbentuk disimbolkan F sebagai fungsi sudut θ ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$F_a(\theta) = NI_a \cos \theta \tag{2.6}$$

$$F_b(\theta) = NI_b \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \tag{2.7}$$

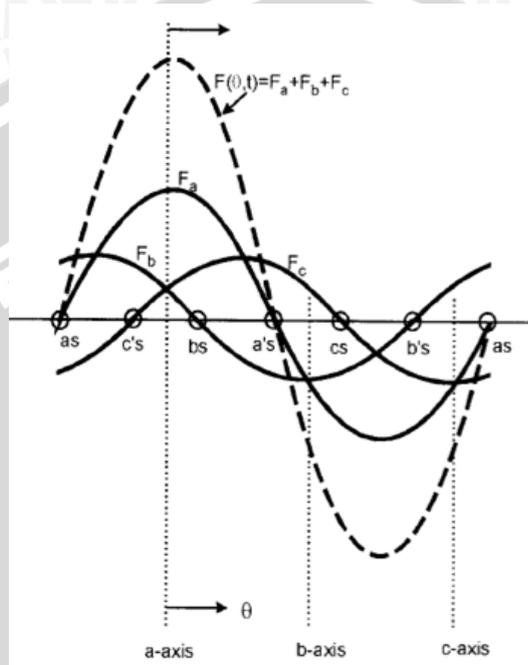
$$F_c(\theta) = NI_c \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \tag{2.8}$$

F_a , F_b dan F_c merupakan GGM yang dihasilkan oleh tiga kumparan. Pada persamaan diatas nilai $2/3\pi$ merupakan perbedaan sudut tergeser antar kumparan stator dan N



merupakan jumlah lilit per kumparan pada tiap fasa, resultan GGM dengan sudut awal θ ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F(\theta) &= F_a(\theta) + F_b(\theta) + F_c(\theta) \\
 &= NI_a \cos \theta + NI_b \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + NI_c \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$



Gambar 2. 5 Distribusi GGM Tiga Fasa Pada Kumparan Stator Pada Saat $t=0$

(Sumber: Bose, 2002:32)

Persamaan (2.3) sampai (2.5) dengan Persamaan (2.9) disubstitusikan dalam satu persamaan maka diperoleh persamaan baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F(\theta, t) &= NI_m \left[\cos \omega_e t \cos \theta + \cos \left(\omega_e t - \frac{2\pi}{3} \right) \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \cos \left(\omega_e t + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

Persamaan (2.10) disederhanakan lagi dengan menjabarkan terlebih dahulu, sehingga $F(\theta, t)$ disederhanakan kembali menjadi:

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} NI_m \cos(\omega_e - \theta)
 \tag{2.11}$$

Pada Persamaan (2.11) dijelaskan bahwa GGM yang terdistribusi memiliki nilai puncak sebesar $\frac{3}{2} NI_m$ yang berputar di celah udara dengan kecepatan sudut

sinkron ω_e . Pada persamaan tersebut dijelaskan pula rotor pada motor induksi tiga fasa dua kutub berputar penuh satu putaran setiap satu siklus gelombang arus sinusoidal. Dengan demikian untuk motor induksi dengan jumlah kutub sebanyak P-kutub, kecepatan sinkron mesin tersebut menjadi:

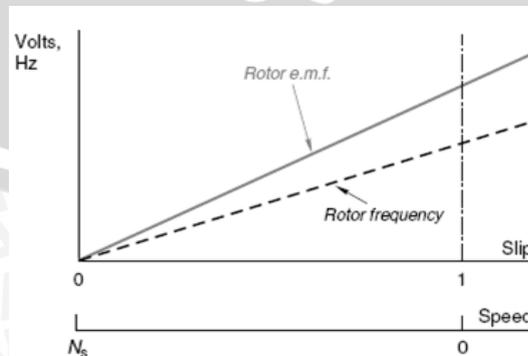
$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (2.12)$$

n_s = kecepatan sinkron dengan satuan rpm (revolusi per menit) dan $f = \frac{\omega_e}{2\pi}$ merupakan frekuensi sumber tiga fasa dengan satuan Hz.

Sifat dari rotor dipengaruhi oleh perbedaan antara kecepatan rotor dengan kecepatan medan putar. Ketika rotor dalam keadaan diam, medan putar akan memotong batang konduktor dengan kecepatan sinkron sehingga muncul beda potensial yang besar di rotor. Namun ketika rotor berputar dalam kecepatan sinkron tidak ada perbedaan kecepatan sehingga tidak muncul beda potensial yang terinduksi di rotor, Huges (dalam Prima, 2008:8). Perbedaan antara kecepatan medan putar (n_s) dengan kecepatan rotor (n_r) disebut kecepatan slip dan dinyatakan dengan rumus:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2.13)$$

Tegangan terinduksi pada rotor sebanding dengan kecepatan slip, tegangan induksi bernilai nol saat kecepatan rotor sama dengan kecepatan medan putar ($s=0$) dan tegangan induksi maksimum saat rotor diam ($s=1$). Frekuensi dari tegangan terinduksi pada rotor juga sebanding dengan slip. Hubungan antara tegangan terinduksi dan frekuensi pada rotor dengan slip ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Grafik Tegangan Terinduksi dan Frekuensi Rotor dengan Slip

(Sumber: Huges, 2006:186)

Bose (dalam Prima, 2011:8) menjelaskan bahwa tegangan terinduksi menghasilkan arus pada batang konduktor di rotor karena konduktor dihubungkan singkat di ujungnya. Arus yg mengalir membentuk jalur tertutup dan arus yang mengalir akan berinteraksi dengan fluksi untuk menghasilkan torsi pada motor dengan arah putaran yang sama dengan arah putar medan putar. Ketika kecepatan sinkron n_s sama dengan kecepatan rotor n_r maka rotor tidak terinduksi sehingga torsi tidak dapat dibangkitkan. Namun pada saat kecepatan rotor berbeda dengan kecepatan sinkron, $(n_s - n_r)$ kecepatan slip muncul dan torsi pun dapat dibangkitkan.

2.4.2 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Model rangkaian ekuivalen motor induksi digunakan untuk mempelajari dan memprediksi performansi dari dari suatu mesin induksi. Untuk mempermudah penyusunan rangkaian ekuivalen motor induksi, mesin tiga fasa terhubung Y sehingga arus yang mengalir merupakan arus *line* dan tegangan merupakan tegangan *line*-netral. Penyusunan rangkaian ekuivalen cukup ditinjau dari sisi satu fasa saja, dengan asumsi tegangan dan arus untuk fasa yang lain berbeda fasa 120° . Rangkaian ekuivalen motor induksi tidak berbeda jauh dengan rangkaian ekuivalen dari transformator. Perbedaan hanya terletak pada besarnya arus dari beberapa parameter seperti arus pemagnetan dan besar reaktansi bocor akibat adanya celah udara pada motor induksi.

Bentuk konfigurasi rotor dari motor induksi dihubungkan singkat di ujungnya menyebabkan impedansi yang timbul di sisi sekunder merupakan impedansi hubung singkat sebagai fungsi slip-frekuensi rotor. Fitzgerald (dalam Prima, 2011:8) menjelaskan bahwa hubungan antara slip dengan impedansi sisi sekunder Z_{2s} yaitu:

$$Z_{2s} = \frac{E_{2s}}{I_{2s}} = R_2 + jsX_2 \quad (2.14)$$

I_{2s} merupakan arus terinduksi di rotor dan E_{2s} merupakan GGL lawan yang timbul dengan notasi 2S merepresentasikan sebagai besaran rotor sebagai fungsi slip. Reaktansi bocor X_2 merupakan reaktansi bocor sisi rotor dengan frekuensi stator (frekuensi sumber), perlu adanya factor pengali s (slip) mengingat frekuensi di rotor merupakan fungsi slip dimana:

$$f_{rotor} = s \cdot f_{stator} \quad (2.15)$$

Rangkaian ekivalen motor induksi sisi rotor ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Hubungan antara GGL induksi fungsi slip E_{2s} dengan GGL induksi direferensikan ke sisi stator E_2 adalah:

$$E_{2s} = s \cdot E_2 \quad (2.16)$$

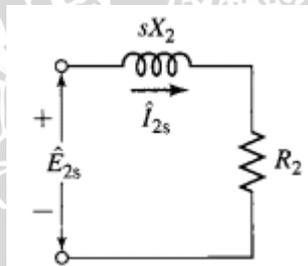
Jika Persamaan (2.14) dan Persamaan (2.16) digabungkan maka persamaan turunannya menjadi:

$$Z_{2s} = \frac{sE_2}{I_2} = R_2 + jsX_2 \quad (2.17)$$

Jika kedua ruas dibagi dengan s maka:

$$Z_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{R_2}{s} + jX_2 \quad (2.18)$$

Hubungan antara beban dan resistansi rotor ditunjukkan dengan nominal R_2/s sebagai fungsi slip. Perlu diperhatikan juga bahwa besaran arus rotor I_2 dan tegangan GGL induksi E_2 merupakan besaran yang telah direferensikan ke sisi stator, sehingga frekuensi referensi merupakan frekuensi stator (sumber).



Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Sisi Rotor Sebagai Fungsi Slip

(Sumber: Fitzgerald, 2003:315)

Penjabaran rumus secara lengkap untuk memisahkan nominal R_2/s antara lain:

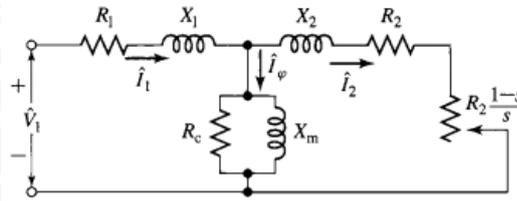
$$\frac{R_2}{s} = R_2 + \frac{R_2}{s} - R_2 \quad (2.19)$$

$$= R_2 + R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right) \quad (2.20)$$

$$= R_2 + R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad (2.21)$$



Sehingga rangkaian ekivalen per fasa motor induksi ditunjukkan pada Gambar 2.8 dengan daya elektromekanik per fasa setara dengan daya yang diserap oleh resistansi $R_2(I-s)/s$.



Gambar 2. 8 Rangkaian Ekivalen per Fasa Motor Induksi

(Sumber: Fitzgerald, 2003:318)

2.5. Sensor Tekanan

Sensor Tekanan diciptakan untuk mengukur tekanan suatu zat yang memiliki tekanan sangat kecil sehingga sulit untuk diukur apabila menggunakan alat pengukur biasa. Dalam pelajaran Science, kita mengenal adanya alat pengukur untuk suatu benda. Seperti contoh thermometer sebagai alat untuk mengukur suhu, anemometer untuk mengukur kecepatan angin dan speedometer untuk mengukur kecepatan suatu benda. Tekanan yang dilambangkan dalam huruf (p) adalah satuan fisika untuk menyatakan gaya, yang dilambangkan dengan (F) persatuan luas, yang dilambangkan dengan (A). Satuan tekanan sering digunakan untuk mengukur kekuatan atau tekanan dari unsur zat yaitu berupa cairan dan gas. Fungsi dari *sensor tekanan* sebenarnya adalah untuk mengubah tekanan menjadi induktansi.

Sensor tekanan berfungsi untuk mengukur kekuatan tekanan suatu zat, misalnya tekanan zat gas atau zat cair. Tekanan yang dimaksud ialah tenaga/kekuatan yang dibutuhkan agar suatu zat tidak berkembang. Sensor tekanan banyak digunakan untuk mengontrol dan mengawasi banyak pekerjaan sehari-hari. Sensor tekanan juga biasanya digunakan secara tidak langsung untuk mengukur variabel lain seperti arus gas, kecepatan, tekanan air, dan alat pengukur tinggi.

Prinsip kerja dari sensor tekanan adalah mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Ukuran tegangan didasarkan pada prinsip bahwa tahanan pengantar berubah dengan panjang dan luas penampang. Perubahan tekanan pada kantung menyebabkan perubahan posisi inti kumparan sehingga mengakibatkan

perubahan induksi magnetik pada kumparan. Kumparan yang digunakan adalah kumparan CT (*senter tap*), dengan demikian apabila inti mengalami pergeseran maka induktansi pada salah satu kumparan bertambah sementara induktansi pada kumparan yang lain berkurang. Kemudian pengubah sinyal berfungsi untuk mengubah induktansi magnetik yang timbul pada kumparan menjadi tegangan yang sebanding.

2.6. Mikrikontroler Arduino Uno

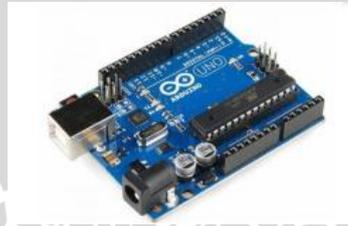
Terdapat bermacam-macam bentuk produk dari arduino, salah satunya adalah model Arduino Uno. Arduino Uno memiliki spesifikasi yang diterangkan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino

Nama	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega 328
<i>Operating Voltage</i>	5 V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12 V
<i>Input Voltage (limits)</i>	6-20 V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (<i>of which 6 provide PWM output</i>)
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current for I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3 V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	16 KB (ATmega 168) atau 32 KB (ATmega 328) dimana 2 KB digunakan sebagai <i>bootloader</i>
SRAM	1 KB (ATmega 168) atau 2 KB (ATmega 328)

EEPROM	512 bytes (ATmega 168) atau 1 KB (ATmega 328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Arduino Uno merupakan modul mikrokontroler yang didalamnya tertanam mikrokontroler. Untuk mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Uno adalah jenis ATmega328. Dengan arduino Uno dapat dibuat sebuah sistem atau perangkat fisik menggunakan *software* dan *hardware* yang sifatnya interaktif, yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan merespon balik. Bentuk fisik arduino ditunjukkan dalam Gambar 2.9.

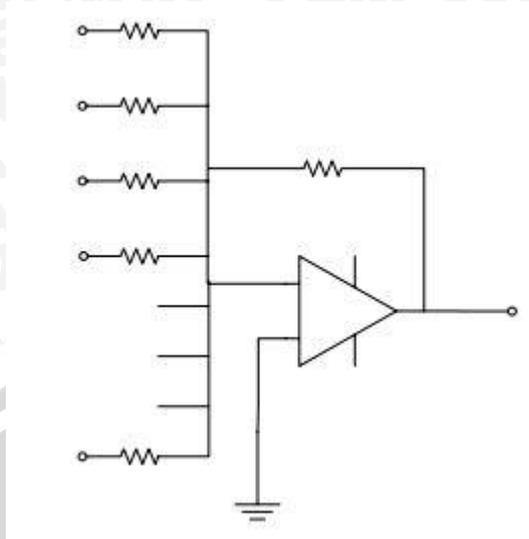


Gambar 2. 9 Bentuk Fisik Arduino Uno
(Sumber: Arduino.com)

2.7.Digital to Analog Converter (DAC)

DAC adalah perangkat untuk mengkonversi sinyal masukan dalam bentuk *digital* menjadi sinyal keluaran dalam bentuk *analog* (tegangan). Tegangan keluaran yang dihasilkan DAC sebanding dengan nilai *digital* yang masuk ke dalam DAC (Aji, 2011:38).

Contoh sederhana dari DAC dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Rangkaian Sederhana DAC

(Sumber: Aji, 2011)

Tegangan keluar dari Gambar 2.10 adalah sebagai berikut:

$$V_o = -R_f \left(\frac{b_1 V_{REF}}{R} + \frac{b_2 V_{REF}}{2R} + \dots + \frac{b_N V_{REF}}{2^{N-1}R} \right) \quad (2.22)$$

$$= -2 \frac{R_f}{R} V_{REF} \left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{4} + \dots + \frac{b_N}{2^N} \right) \quad (2.23)$$

Dengan b_1 sebagai MSB, b_N sebagai LSN, dan V_{REF} adalah tegangan sinyal digital.

2.8.Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping 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 merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

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 *outputnya* 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*.

2.8.1 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ ditunjukkan pada persamaan 2.24:

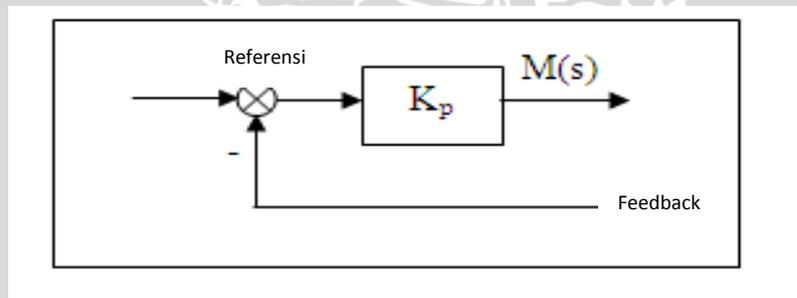
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.24)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2.25

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.25)$$

Dimana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggerakannya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K., 1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Diagram Blok Kontroler Proporsional

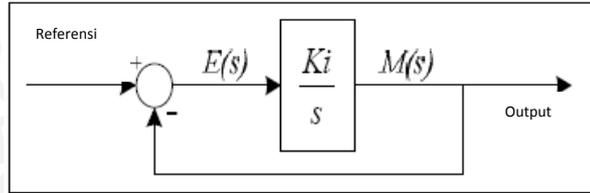
(Sumber: OgataK., 1997)

2.8.2 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Persamaan kontroler K_i ditunjukkan dalam persamaan 2.26.(Ogata K.,1997).

$$\frac{dm(t)}{dt} = Kie(t) \tag{2.26}$$

Ki adalah penguatan integral. Gambar 2.12 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2. 12 Diagram Blok Kontroler Integral

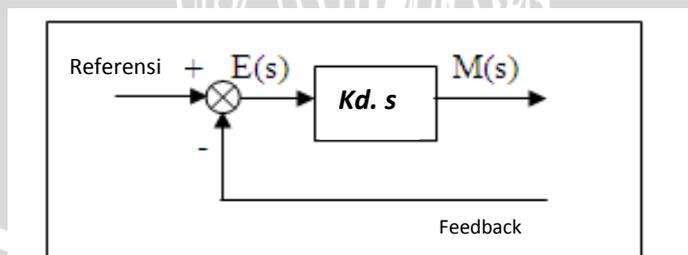
(Sumber: OgataK., 1997)

2.8.3 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler differensial 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 $e(t)$ dinyatakan pada persamaan 2.27:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd.s \tag{2.27}$$

Kd adalah penguatan differensial. Gambar 2.13 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2. 13 Diagram Blok Kontroler Differensial

(Sumber: OgataK., 1997)



2.8.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing – masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

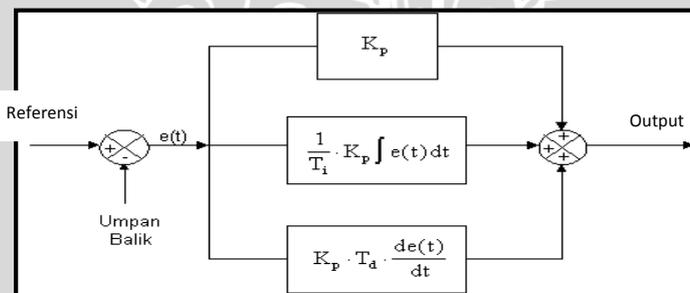
Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.28:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.28)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan 2.29:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2.29)$$

T_i adalah waktu integral dan T_d adalah waktu derivatif. Gambar 2.14 menunjukkan diagram blok kontroler PID.



Gambar 2. 14 Diagram Kontroler PID

(Sumber: Ogata, 1997)

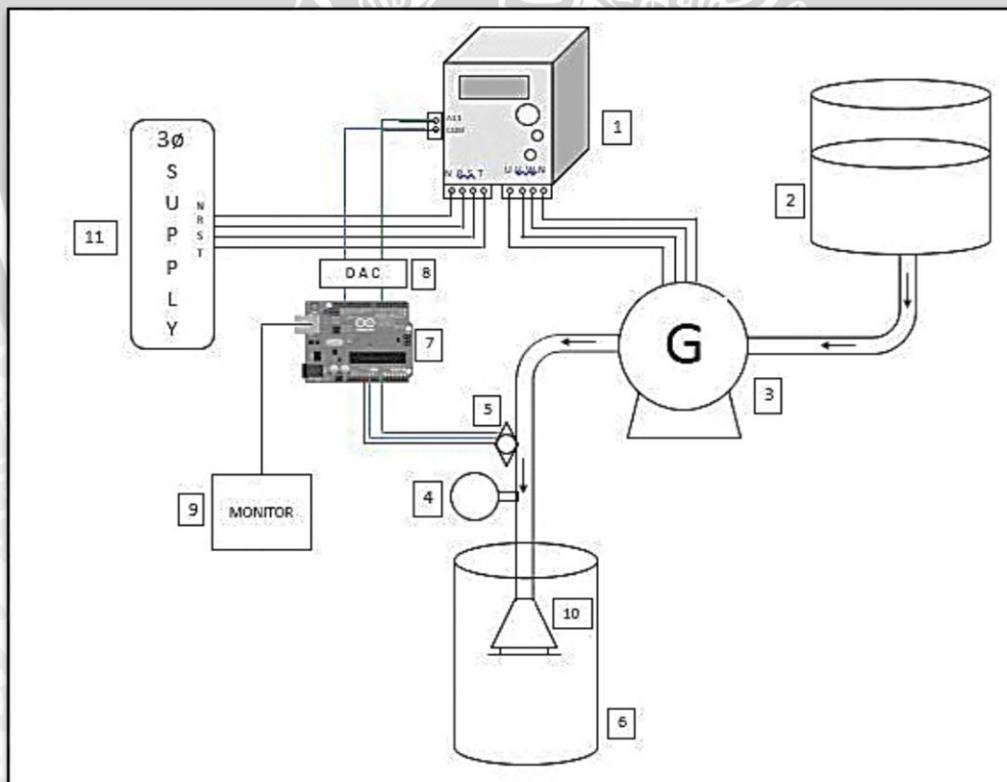
BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat pada bab pendahuluan, maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan diuraikan sebagai berikut:

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektrik serta pemrogramannya. Hal ini dimaksudkan agar pengendalian tekanan pada sistem homogenisasi susu dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan. Gambar 3.1 menunjukkan skema kerja sistem



Gambar 3. 1 Skema Kerja Sistem Homogenisasi Susu

Keterangan:

1. VSD (*Variable Speed Drive*)
2. Tempat Penampungan Susu Awal
3. Motor Pompa Induksi Tiga Fasa
4. Manometer
5. Sensor Tekanan MPX5700AP
6. Tempat Penampungan Susu Akhir
7. Mikrokontroler Arduino Uno
8. Rangkaian DAC
9. Monitor
10. *Shower*
11. Sumber AC Tiga Fasa

Penjelasan sistem:

- Susu yang digunakan merupakan susu yang telah dipanaskan pada suhu 60-70° C.
- VSD dicatu oleh sumber AC tiga fasa, kemudian VSD tersebut akan menggerakkan motor pompa.
- Pompa akan menyedot susu yang berada pada tempat penampungan awal, kemudian susu akan disemprotkan di *shower* dan ditabrakkan ke plat pejal yang berada di bawah *shower*.
- Sensor yang digunakan adalah sensor tekanan MPX5700AP.
- Pada saat proses ini berjalan, sensor tekanan akan membaca tekanan yang berada pada pipa dan kemudian sensor tekanan akan mengirimkan hasil dari pembacaan ke mikrokontroler Arduino Uno untuk diolah.
- Sinyal keluaran dari mikrokontroler adalah berupa sinyal *digital*, sinyal ini akan diubah menjadi sinyal *analog* oleh rangkaian DAC karena masukan dari VSD adalah sinyal *analog*.

3.2 Realisasi Pembuatan Sistem

Untuk merealisasikan alat yang telah dirancang sebelumnya, tahapan – tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.2.1 Diagram Blok

Perancangan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perencanaan dan perealisasiannya berjalan sistematis.

3.2.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian DAC dan rangkaian mikrokontroler Arduino Uno.

3.2.2.1 Rangkaian DAC

Rangkaian DAC merupakan rangkaian untuk mengonversi sinyal masukan dalam bentuk *digital* menjadi sinyal *output* dalam bentuk *analog* (tegangan). Tegangan *output* yang dihasilkan DAC sebanding dengan nilai *digital* yang masuk ke dalam DAC.

3.2.2.2 Rangkaian mikrokontroler Arduino Uno

Praktiknya, mikrokontroler Arduino Uno berfungsi untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa. Mikrokontroler diisi program berupa kontroler PID yang kemudian dengan perantara VSD digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa.

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 :

3.3.1 Pengujian Perangkat Keras

Pengujian dilakukan pada masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing-masing blok bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Pengujian tersebut meliputi:

3.3.1.1 Pengujian DAC

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah tegangan *output* dari DAC sebanding dengan nilai *digital* yang masuk ke dalam DAC.

3.3.1.2 Pengujian *Variable Speed Drive* (VSD) ATV 312HU30N4

Pengujian ini memiliki dua tujuan, yaitu untuk mengetahui apakah VSD dapat bekerja dengan baik sesuai pengaturan *default* dan untuk mengetahui hubungan antara frekuensi yang diberikan oleh VSD dengan putaran kecepatan motor.

3.3.1.3 Pengujian sensor tekanan MPX5700AP

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor tersebut dapat membaca tekanan dengan baik.

3.3.1.4 Pengujian Rangkaian Arduino Uno

Pengujian bertujuan untuk mengetahui *port-port* dari Arduino dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menyambungkan LED pada masing-masing *port* Arduino dan diberi logika *high* atau *low*.

3.3.1.5 Pengujian *Software*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *software* yang telah diprogram dapat berjalan dengan baik dan mencapai tujuan.

3.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dengan menyambungkan semua *hardware* berdasarkan diagram blok yang telah dirancang sebelumnya dan memasukkan program berupa *software* untuk mengendalikan *hardware*. Sistem bekerja dengan baik jika memenuhi *flowchart* yang telah direncanakan.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Apabila hasil yang didapatkan sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya untuk disempurnakan.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan alat homogenisasi susu dilakukan secara bertahap sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknya maupun secara keseluruhan.

Perancangan ini terdiri atas:

1. Perancangan sistem
2. Perancang perangkat keras (*hardware*) yang terdiri atas:
 - Rangkaian DAC
 - Rangkaian sistem mikrokontroler
3. Perancangan perangkat lunak (*software*) yang terdiri atas:
 - Program utama
 - *Sub program* DAC
 - *Sub program* sensor tekanan MPX5700AP
 - *Sub program* kontroler

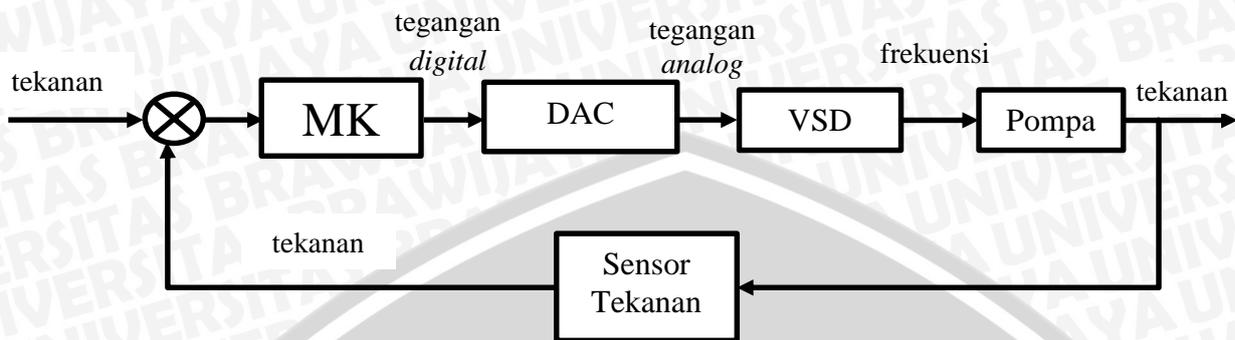
4.1 Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan alat homogenisasi susu ditunjukkan dalam Gambar 4.1.

Penjelasan mengenai diagram blok sistem sebagai berikut:

1. *Input* atau *set point* berupa tekanan 3 Bar.
2. Pusat pengendalian sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno.
3. Rangkaian DAC digunakan sebagai pengubah sinyal *output* dari mikrokontroler Arduino Uno yang berupa sinyal *digital* menuju *input Variable Speed Drive* (VSD) yang berupa sinyal *analog*.
4. VSD digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor induksi yang berada pada pompa. Keluaran VSD adalah frekuensi.
5. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan motor induksi tiga fasa yang berfungsi sebagai aktuator.
6. *Output* dari diagram blok ini adalah tekanan.

7. Sebagai *feedback* digunakan sensor tekanan MPX5700AP.



Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem

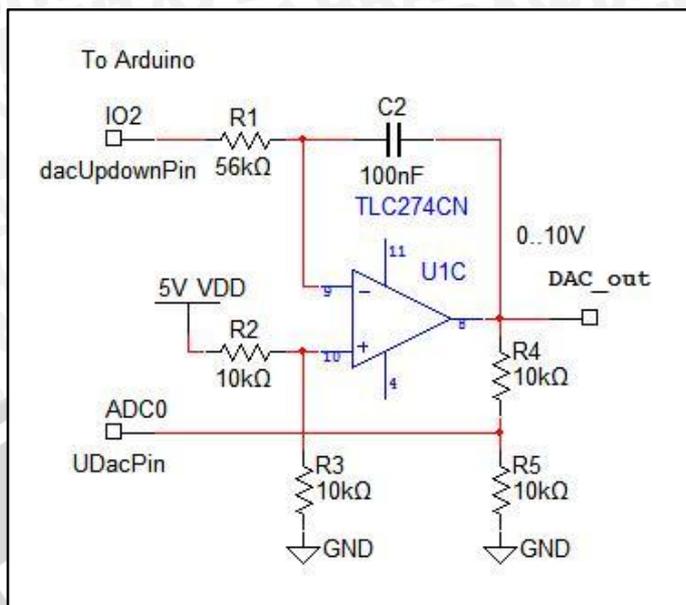
4.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

4.2.1 Sensor Tekanan

Sensor tekanan pada perancangan ini berfungsi sebagai sensor pengukur tekanan pada sistem homogenisasi susu. *Output* dari sensor tekanan ini digunakan sebagai *input* untuk perhitungan algoritma PID yang dirancang. Sensor tekanan mampu melakukan pembacaan pada rentang tekanan 0-700 kPa.

4.2.2 Rangkaian DAC

Rangkaian DAC pada perancangan ini berfungsi sebagai pengubah sinyal *digital* dari *output* mikrokontroler Arduino Uno menjadi sinyal *analog* menuju *input* VSD. Arduino Uno memiliki rentang tegangan antara 0-5V, sedangkan *input* VSD memiliki rentang tegangan antara 0-10V, sehingga diperlukan diperlukan suatu rangkaian yang dapat menaikkan tegangan menjadi 10V sebelum masuk ke VSD. Pada rangkaian DAC ini juga dapat mengubah tegangan keluaran menjadi 10V. Skema rangkaian DAC ditunjukkan pada Gambar 4.2.



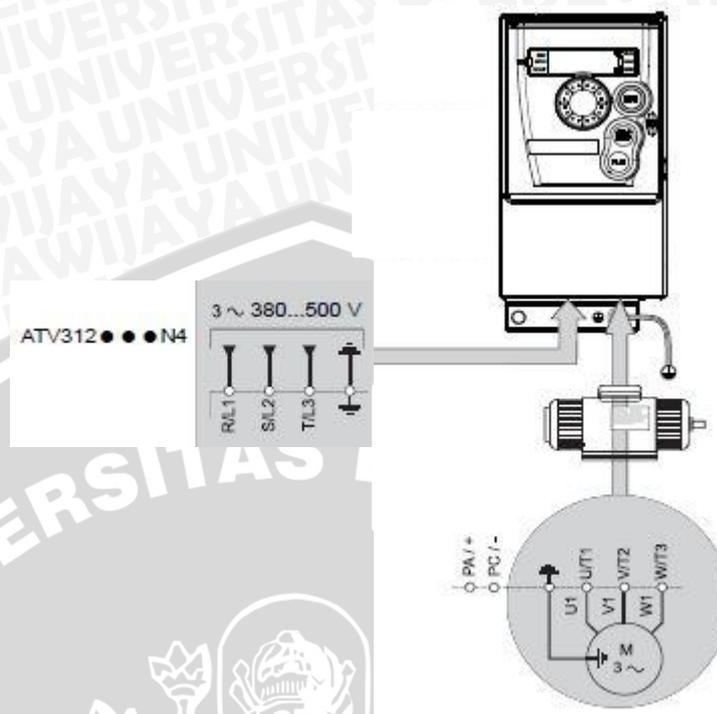
Gambar 4. 2 Skema Rangkaian DAC

4.2.3 Variable Speed Drive (VSD) ATV312HU30N4

Variable Speed Drive (VSD) adalah alat untuk mengatur kecepatan putaran motor. Dalam penelitian ini akan menggunakan VSD untuk mengatur besar frekuensi motor agar kecepatan putaran motor sesuai dengan yang telah ditentukan dalam penelitian ini.

VSD ATV312HU30N4 dapat langsung digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor. Langkah – langkah yang harus dilakukan adalah:

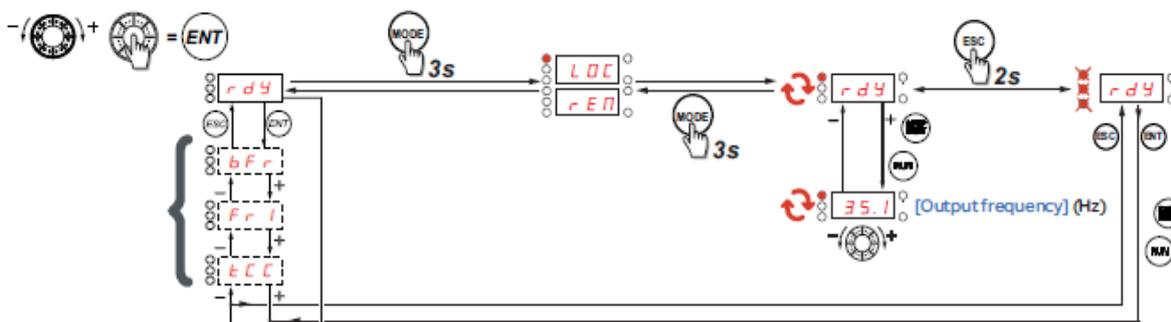
1. Pengkabelan VSD.



Gambar 4. 3 Pengkabelan Variable Speed Drive (VSD)

Pengkabelan harus dilakukan sesuai dengan penamaannya agar VSD dapat mengatur motor pompa sesuai dengan standar yang diberikan oleh pabrik. Cara melakukan pengkabelan dapat dilihat pada Gambar 4.3.

2. Proses Pengaktifan VSD



Gambar 4. 4 Proses Pengaktifan VSD

Cara mengaktifkan VSD dapat dilihat pada Gambar 4.4.

- a. Tekan dan tahan tombol MODE selama 3 detik

- b. Kemudian akan muncul tulisan “rdy” pada monitor.
- c. Tekan tomon RUN untuk memulai pengaturan.
- d. Putar potensiometer untuk mengatur besar frekuensi yang diinginkan.
- e. Jika ingin menghentikan proses, tekan tombol STOP.

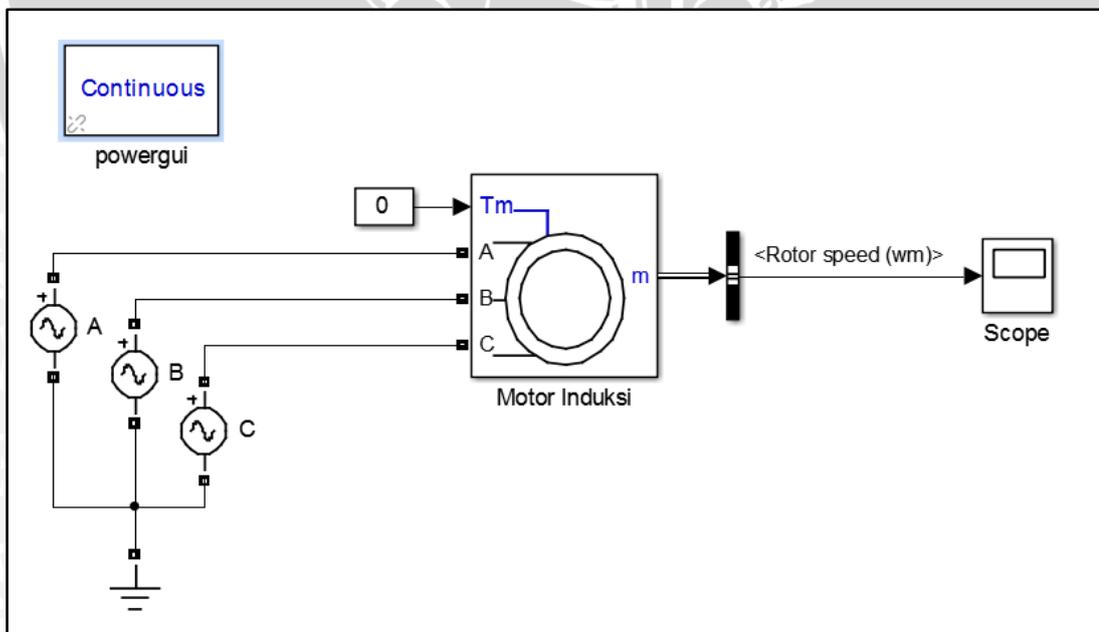
4.2.4 Mikrokontroler Arduino Uno

Perancangan sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno atau ATMEGA 328. Mikrokontroler berfungsi untuk mengolah data masukan dari sensor tekanan MPX5700AP. Fungsi setiap pin sistem minimum mikrokontroler Arduino Uno adalah sebagai berikut:

1. Pin A.0 digunakan untuk *analogRead* tekanan.
2. Pin 5 digunakan untuk masukan VSD.

4.2.5 Karakteristik Motor Induksi

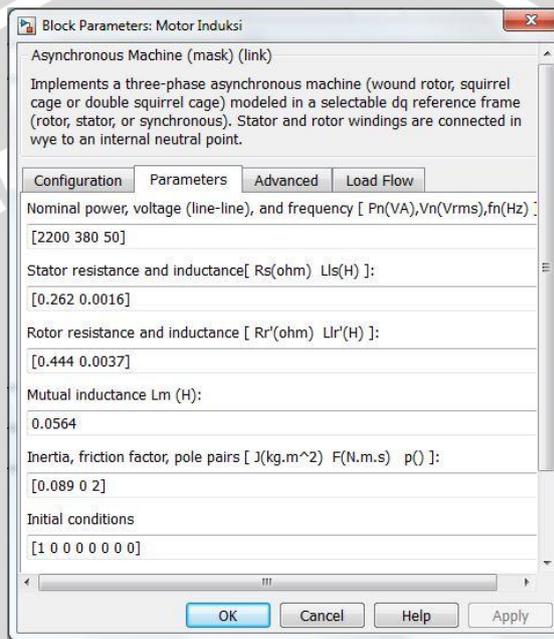
Penentuan karakteristik motor induksi dilakukan melalui *software* Matlab R2013a dengan *subprogram* Simulink. Rangkaian Simulink pada Matlab dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Rangkaian Simulasi Pada Matlab

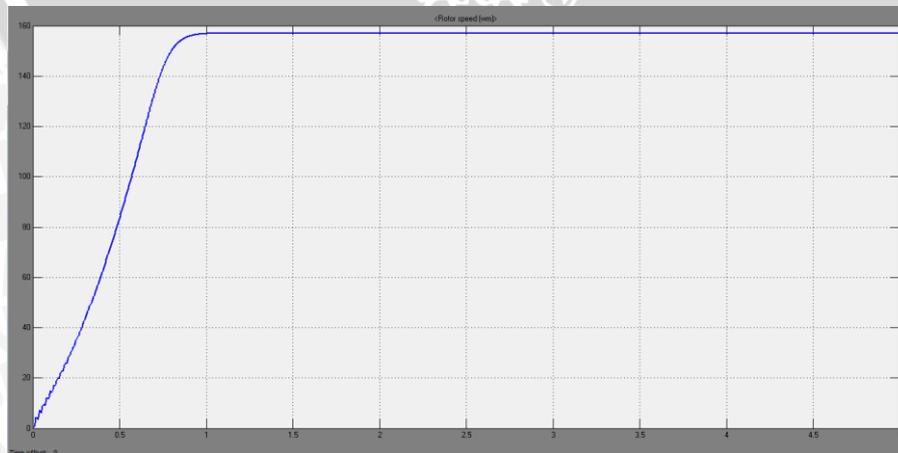
Parameter motor induksi didapatkan dari *nameplate* pompa dan *block rotor test*. *Block rotor test* adalah tes dimana motor dibebani semaksimal mungkin hingga putaran rotor menjadi nol, sehingga akan didapatkan tegangan, arus, dan daya *block rotor*. Dari tiga parameter tersebut dapat dihitung besar resistansi rotor, induktansi rotor dan stator.

Blok parameter motor induksi pada Matlab dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Blok Parameter Motor Induksi Pada Matlab

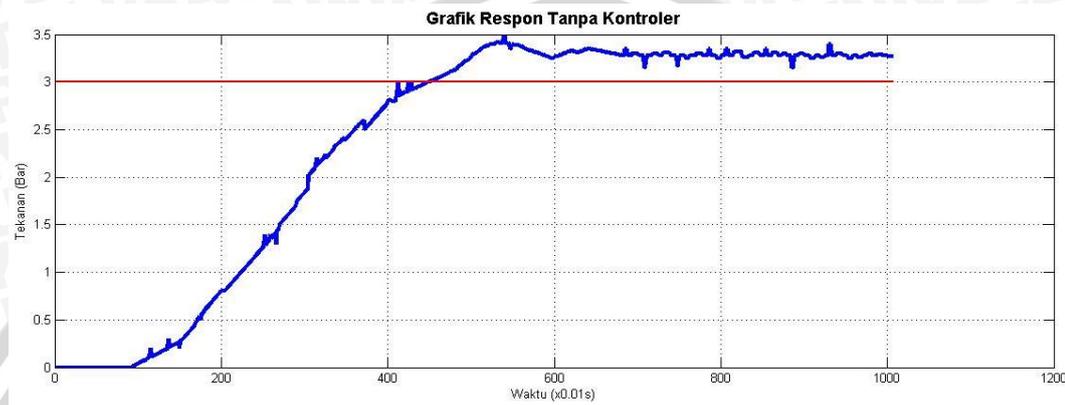
Dari rangkaian Simulink tersebut, akan didapatkan grafik respon karakteristik motor induksi seperti pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Grafik Respon Karakteristik Motor Induksi

4.2.6 Perancangan Kontroler

Perancangan kontroler diperlukan untuk mengetahui parameter kontroler yang tepat untuk sistem pengendalian tekanan pada alat homogenisasi susu. Pertama dicari terlebih dahulu grafik respon sistem tanpa kontroler yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

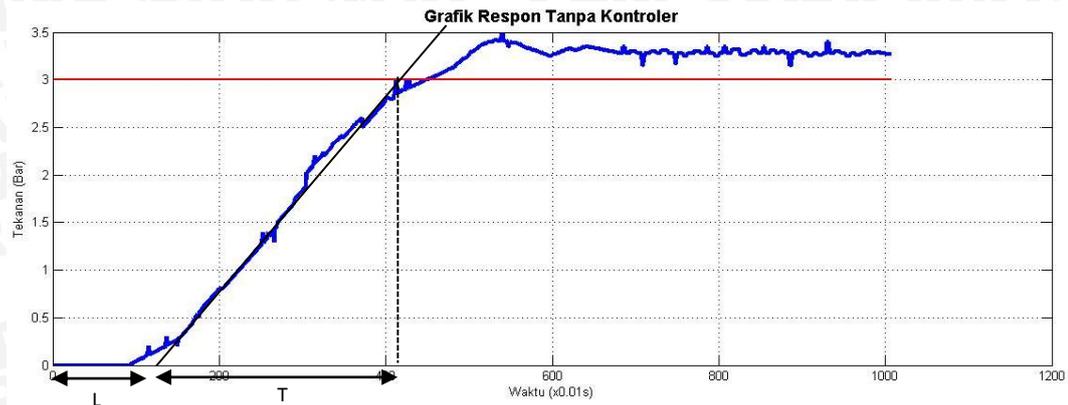


Gambar 4. 8 Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler

Grafik respon sistem tanpa kontroler pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa bentuk kurva menyerupai huruf S (*S-shaped curve*). Sehingga dapat dicari menggunakan teori pertama metode Ziegler-Nichols. Langkah awal *tuning* parameter dengan teori pertama metode Ziegler-Nichols adalah menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik respon sistem tanpa kontroler. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya Kp, Ti dan Td yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.1 aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols.

Tabel 4. 1 Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K.)

Tipe Kontroler	Kp	Ti=Kp/Ki	Td=Kd/Kp
P	T/L	∞	0
PI	0.9(T/L)	L/0.3	0
PID	1.2(T/L)	2 x L	0.5 x L



Gambar 4.9 Tuning dengan Teori Pertama Metode Ziegler-Nichols

Gambar 4.9 menunjukkan penentuan parameter K_p , T_i , dan T_d menggunakan teori pertama metode Ziegler-Nichols. Berdasarkan Gambar 4.8 didapatkan nilai $L=1.55$ dan $T = 2.47$, sehingga didapatkan nilai $K_p=1.91$, $T_i=3.1$, dan $T_d=0.775$.

$$K_p = 1.2 \left(\frac{T}{L} \right) = 1.2 \left(\frac{2.47}{1.55} \right) = 1.91 \quad (4.1)$$

$$T_i = 2L = 2 \times 1.55 = 3.1 \quad (4.2)$$

$$T_d = 0.5L = 0.5 \times 1.55 = 0.775 \quad (4.3)$$

Dari hasil perhitungan K_p , T_i , dan T_d didapatkan besar parameter $K_i=0.62$ dan $K_d= 1.48$.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{1.91}{3.1} = 0.62 \quad (4.4)$$

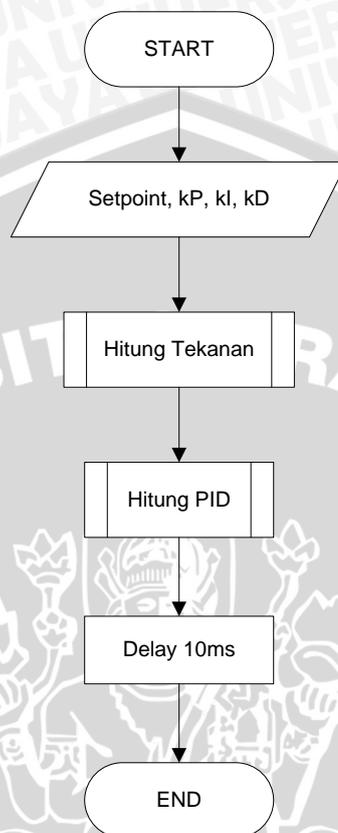
$$K_d = K_p \times T_d = 1.91 \times 0.775 = 1.48 \quad (4.5)$$

4.3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

4.3.1 Program Utama

Tujuan program utama adalah mengatur urutan kerja sistem yang diwujudkan dengan melalui algoritma sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dengan baik. Tugas yang harus dikerjakan oleh program utama adalah mengatur urutan kerja sistem. Urutan kerja sistem diawali dengan penentuan parameter *set point*, K_p , K_i , dan K_d . Kemudian sistem dilanjutkan ke *sub program* Hitung Tekanan dan dilanjutkan ke *sub program* Hitung PID.

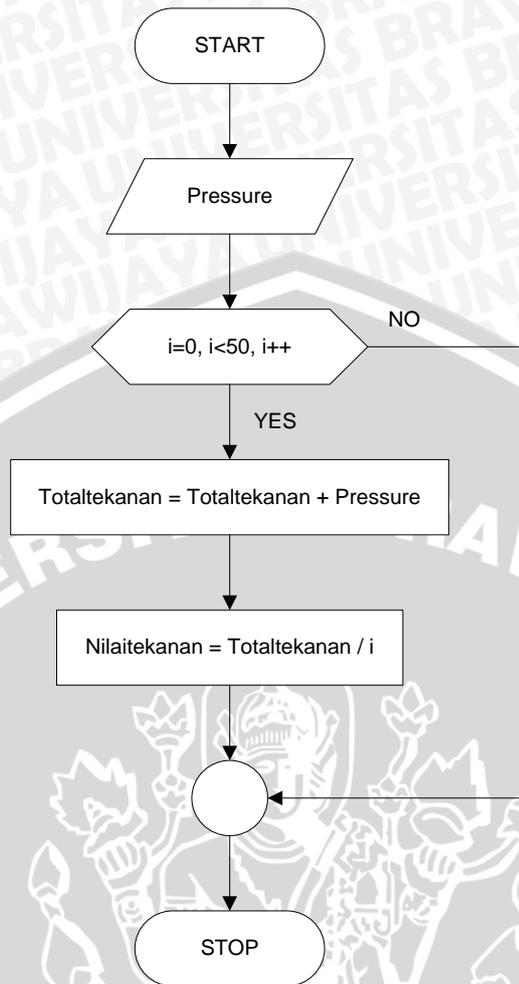
Pengambilan data dilakukan tiap 10 ms. *Flow Chart* algoritma program utama ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 10 *Flow Chart* Algoritma Program Utama

4.3.2 Sub Program Sensor Tekanan MPX5700AP

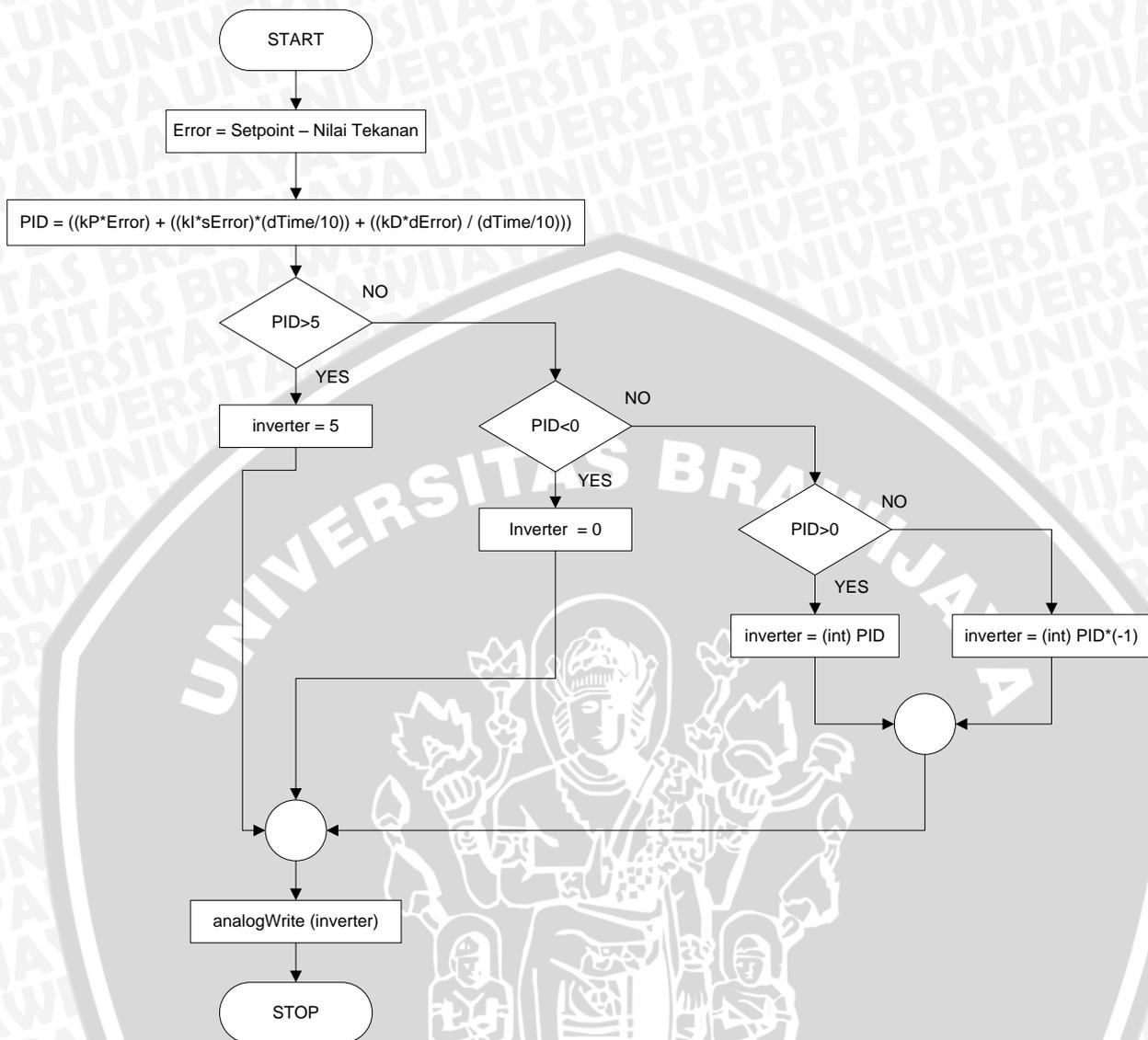
Pembacaan tekanan digunakan sebagai acuan penentuan parameter PID. Pengambilan data dilakukan sebanyak 50 kali. Jika pengambilan data memenuhi persyaratan sistem dilanjutkan ke perhitungan total tekanan, total tekanan yang didapat dibagi dengan banyaknya data. Sehingga didapat pembacaan nilai tekanan. Jika pengambilan data tidak memenuhi persyaratan, sistem selesai. *Flow Chart* algoritma sub program sensor tekanan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.11 Flow Chart Algoritma Sub Program Sensor Tekanan

4.3.3 Sub Program Kontroler

Pembacaan parameter PID digunakan sebagai acuan penentuan nilai masukan VSD. Jika nilai tekanan sudah didapat berdasarkan sub program sensor tekanan, dimulai dengan perhitungan *Error*, jika *Error* sudah didapat dilanjutkan ke perhitungan PID. Jika nilai PID lebih dari 5, maka nilai inverter ditetapkan 5. Jika nilai PID kurang dari 0, maka nilai inverter ditetapkan 0. Jika nilai PID lebih dari 0, maka nilai inverter ditetapkan sama dengan nilai PID. Hasil akhir perhitungan PID ditulis dalam mikrokontroler. *Flow Chart* algoritma sub program kontroler dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 12 Flow Chart Algoritma Sub Program Kontroler

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini 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 Tekanan

a. Tujuan

Mengetahui kemampuan sensor tekanan dalam membaca perubahan tekanan.

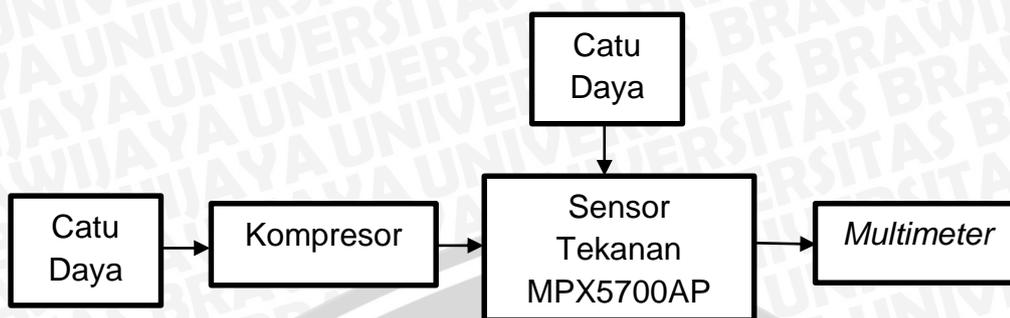
b. Peralatan yang digunakan

- Sensor tekanan
- Multimeter
- Kompresor
- Catu daya 5V

c. Langkah pengujian:

Diagram blok pengujian sensor tekanan MPX5700AP dapat dilihat pada Gambar 5.1.





Gambar 5. 1 Digram Blok Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

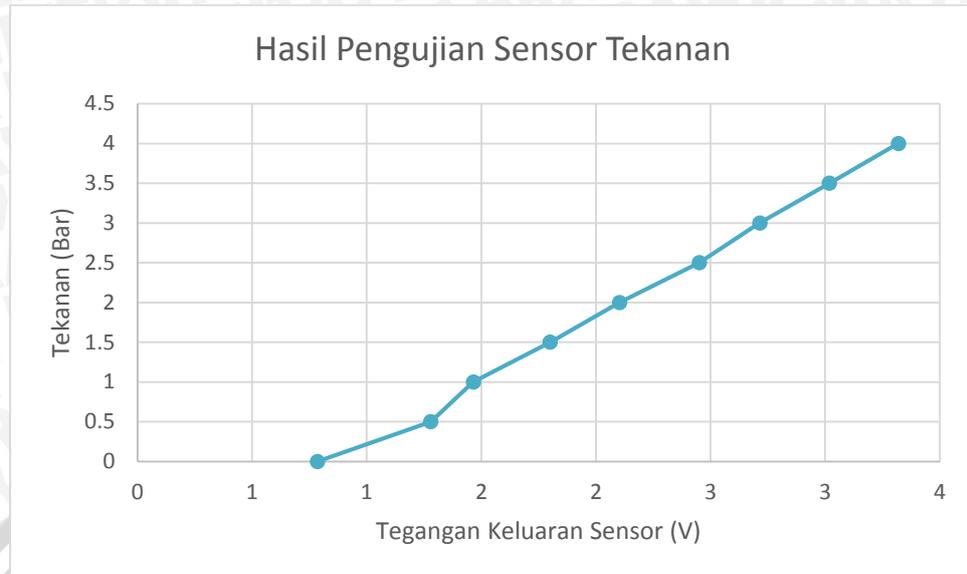
1. Hubungkan sensor dengan catu daya 5V.
2. Hubungkan kompresor dengan catu daya 220 V.
3. Turunkan tekanan kompresor sampai dengan 0 Bar.
4. Ukur perubahan tegangan keluaran sensor menggunakan multimeter.

d. Hasil Pengujian

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

No.	Tekanan (Bar)	Tegangan Keluaran Sensor (V)
1.	4	3,319
2.	3.5	3,018
3.	3	2,714
4.	2.5	2,45
5.	2	2,103
6.	1.5	1,8
7.	1	1,465
8.	0.5	1,279
9.	0	0,785

Tabel hasil pengujian sensor tekanan MPX5700AP dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan grafik hasil pengujian sensor tekanan MPX5700AP dapat dilihat pada Gambar 5.2



Gambar 5. 2 Grafik Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada sensor tekanan dapat dilihat bahwa hasil pembacaan sensor tekanan yang digunakan mampu mendeteksi perubahan tekanan.

5.2 Pengujian Rangkaian DAC

a. Tujuan

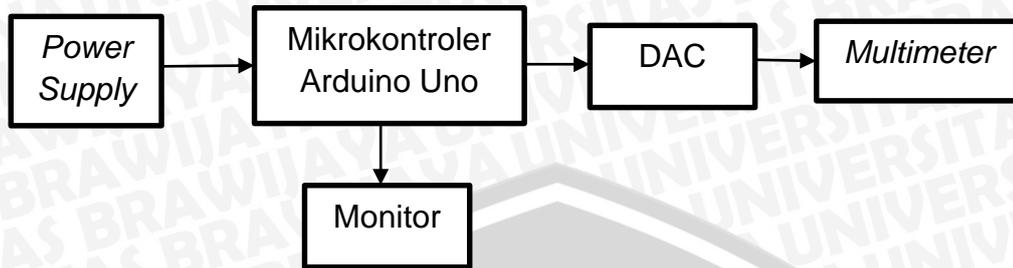
Mengetahui kemampuan rangkaian DAC apakah dapat mengubah nilai *digital* menjadi *analog*.

b. Peralatan yang Digunakan

- Rangkaian DAC
- *Multimeter*
- *Power Supply* DC
- Mikrokontroler Arduino Uno

c. Langkah Pengujian

Diagram blok hasil pengujian rangkaian DAC dapat dilihat pada Gambar 5.3.



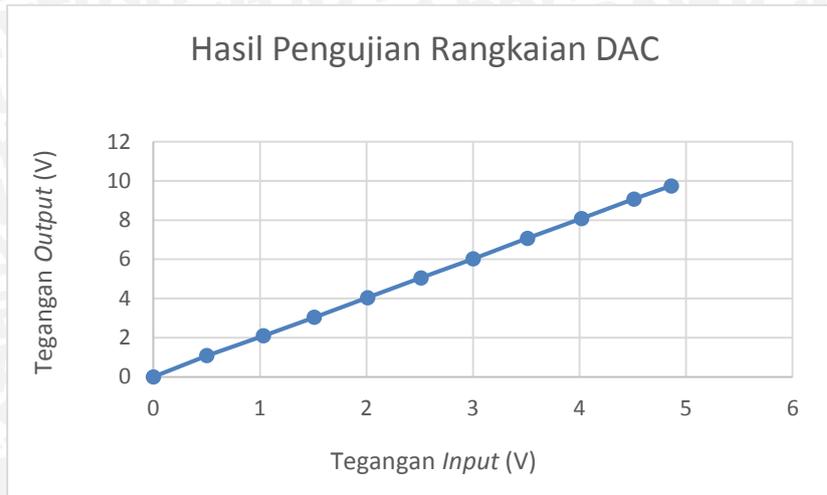
Gambar 5. 3 Digram Blok Hasil Pengujian Rangkaian DAC

1. Hubungkan mikrokontroler Arduino Uno dengan *power supply* 5V.
 2. Buat program pada *software* dan *upload* pada Arduino Uno.
 3. Hubungkan keluaran Arduino Uno ke masukan DAC.
 4. Baca tegangan masukan DAC dari monitor.
 5. Ukur tegangan keluaran DAC menggunakan *multimeter*.
- d. Hasil Pengujian

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Rangkaian DAC

No.	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)
1.	0	0
2.	0.5	1.08
3.	1.03	2.09
4.	1.51	3.04
5.	2.01	4.04
6.	2.51	5.05
7.	3.00	6.02
8.	3.51	7.07
9.	4.02	8.08
10.	4.51	9.07
11.	4.86	9.74

Tabel hasil pengujian rangkaian DAC dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan grafik hasil pengujian rangkaian DAC dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian DAC

Dari hasil pengujian di atas, dapat dilihat bahwa rangkaian DAC mampu bekerja dengan baik.

5.3 Pengujian Variable Speed Drive (VSD)

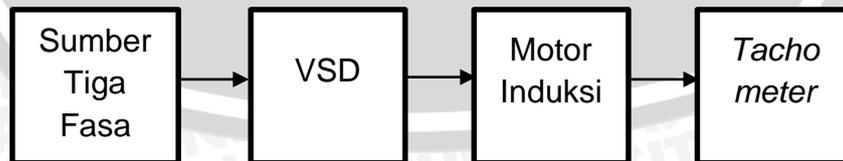
a. Tujuan

- Mengetahui hubungan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor.
- Mengetahui apakah pengaturan *default* VSD dapat dijalankan dengan baik.

b. Peralatan yang Digunakan

- *Variable Speed Drive (VSD)*
- Motor induksi
- *Tachometer*

c. Langkah Pengujian



Gambar 5. 5 Diagram Blok Pengujian *Variable Speed Drive (VSD)*

Diagram blok pengujian motor induksi dapat dilihat pada Gambar 5.5. Langkah pengujian motor induksi sebagai berikut:

1. Hubungkan motor dengan VSD.
2. Hubungkan VSD dengan sumber tiga fasa.
3. Atur nilai frekuensi melalui VSD.
4. Ukur kecepatan putaran motor induksi menggunakan *tachometer*.

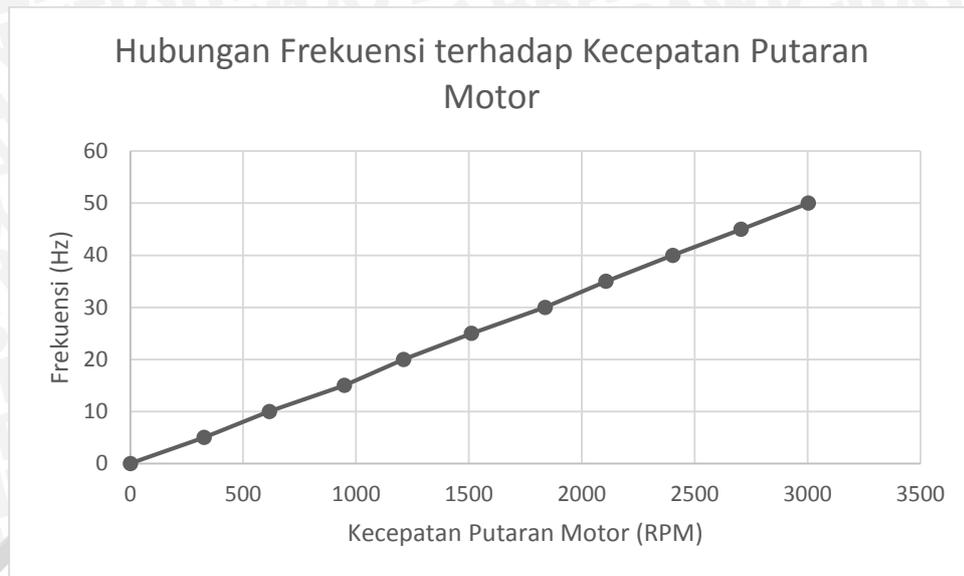
d. Hasil Pengujian

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Variable Speed Drive (VSD)

No.	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putaran (RPM)	No.	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putaran (RPM)
1.	0	0	12.	50	2956
2.	5	320	13.	45	2693
3.	10	613	14.	40	2402
4.	15	920	15.	35	2100
5.	20	1222	16.	30	1813
6.	25	1519	17.	25	1504
7.	30	1861	18.	20	1200
8.	35	2114	19.	15	976
9.	40	2404	20.	10	618
10.	45	2719	21.	5	333
11.	50	2956	22.	0	0

Dari hasil pengujian yang didapat seperti yang terlihat pada Tabel 5.3, dicari rata – rata dari kecepatan putaran motor dan akan didapatkan grafik linier seperti pada Gambar 5.6.





Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Frekuensi Terhadap Kecepatan Putaran Motor

Dapat dilihat bahwa hubungan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor adalah linier, dari pengujian ini juga dapat dibuktikan bahwa VSD dapat mengontrol motor dengan baik.

5.4 Pengujian Sistem Keseluruhan

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

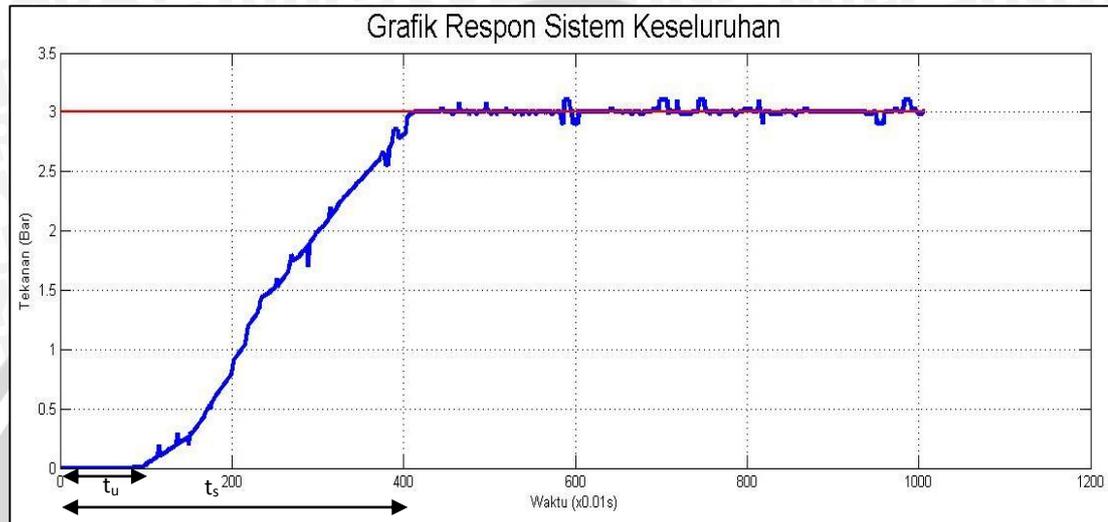
Pengujian keseluruhan sistem tentu menggunakan susu sebagai obyek pengujian alat homogenisasi susu. Susu yang digunakan adalah susu yang telah dipanaskan pada suhu 60-70°.

Langkah – langkah pengujian keseluruhan sistem adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d dari hasil perhitungan.
2. Memasukkan *set point* yang diinginkan, yaitu tekanan sebesar 3 Bar.
3. Mengamati dan menganalisa hasil dari kinerja sistem, meliputi: kinerja Arduino Uno dalam memberikan sinyal kepada VSD melalui DAC, kinerja VSD dalam menggerakkan motor pompa, kinerja

motor pompa dalam menerima frekuensi yang diberikan oleh VSD, dan kinerja sensor tekanan dalam membaca tekanan.

Gambar 5.8 menunjukkan grafik respon sistem dengan pengaturan $K_p=1.91$, $K_i=0.62$, dan $K_d=1.48$ dengan *set point* berupa tekanan sebesar 3 Bar.



Gambar 5. 7 Grafik Respon Sistem Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.7 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika tekanan belum naik karena motor pompa masih dalam proses penyedotan susu. t_u berdasarkan pengujian adalah 0.83 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 4.03 detik. *Settling time* didapat ketika tekanan telah mencapai 2.95 Bar, dengan asumsi bahwa pada tekanan tersebut memiliki toleransi kurang dari 2% sehingga masih memenuhi syarat penentuan t_s .

Berdasarkan analisis kinerja pengujian sistem secara keseluruhan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengendalian tekanan pada alat homogenisasi susu dapat berjalan dengan baik menggunakan parameter $K_p=1.91$, $K_i=0.62$, dan $K_d=1.48$.

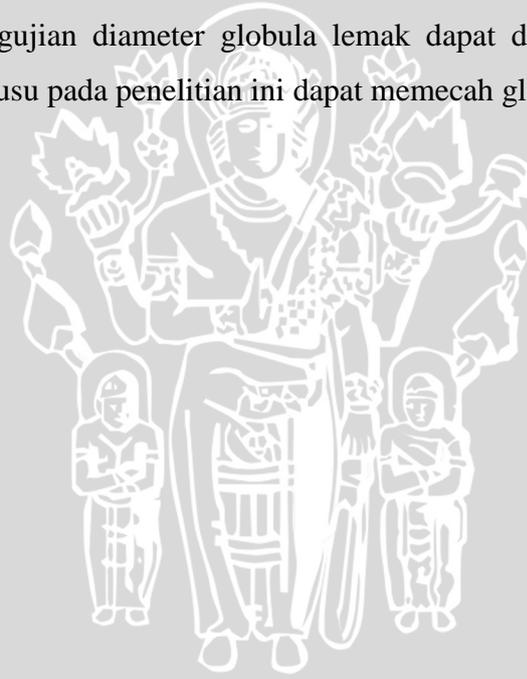
5.5 Pengujian Diameter Globula Lemak

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besar diameter globula lemak sebelum dan sesudah dilakukan proses homogenisasi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Diameter Globula Lemak

pengujian diameter	I	II	III
Sebelum	$\pm 14.17 \mu\text{m}$	$\pm 16.26 \mu\text{m}$	$\pm 16.57 \mu\text{m}$
Sesudah	$\pm 12.38 \mu\text{m}$	$\pm 14.3 \mu\text{m}$	$\pm 14.73 \mu\text{m}$

Dari hasil pengujian diameter globula lemak dapat disimpulkan bahwa sistem homogenisasi susu pada penelitian ini dapat memecah globula lemak.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan perancangan dan pembuatan sistem homogenisasi susu ini dapat diimplementasikan dengan baik. Setelah dilakukan pengujian diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode pertama dari teori Ziegler-Nichols didapat nilai parameter kontroler PID dengan penguatan sebesar $K_p = 1.91$, $K_i = 0.62$, dan $K_d = 1.48$.
2. Setelah diimplementasikan, sistem homogenisasi susu dapat mencapai *set point* 3 Bar dengan *settling time* (t_s) = 4.03 detik dan waktu tunda (t_u) = 0.83 detik.
3. Sistem homogenisasi susu dengan kontroler PID berbasis mikrokontroler Arduino Uno dapat memecah besar diameter globula lemak.

6.2 Saran

Saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini adalah sebaiknya menggunakan pompa torak sebagai aktuator agar tekanan yang dihasilkan lebih besar dan besar globula – globula lemak hasil olahan susu semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, Mochamad. 1984. *Kimia dan Teknologi Pengolahan Air Susu*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Aji, Ika Sasmita. 2011. *Perancangan dan Implementasi Direct Torque Control untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler Fuzzy PI*. TA tidak diterbitkan. Surabaya: ITS.
- Hadiwiyoto, Soewedo. 1983. *Hasil-hasil Olahan (Susu, Ikan, Daging, dan Telur)*. Yogyakarta: Liberty.
- Hardi, Firman Pradita. 2011. *Aplikasi Kontrol Logika Fuzzy pada Pengaturan Suhu dan Kelembaban Otomatis "Kumbang" Jamur Tiram*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Nouwen, A. 1979. *Pompa 1*. Terjemahan oleh PT Bhratara Karya Aksara. 1981. Jakarta: PT Bhratara Karya Aksara.
- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Prima, Muh. Iqbal Dias. 2011. *Perancangan Modul Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Metode Soft-Starting pada Praktikum Mesin Elektrik*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Rohma, Noor Laily. 2006. *Perancangan dan Uji Coba Alat Pembangkit Gelombang Ultrasonik Berintensitas Tinggi (Maorsonics) untuk Homogenisasi Lemak Susu*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
- Spreer, Edgar. 1995. *Milk and Dairy Product Technology*. Terjemahan oleh Axel Mixa. 1998. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Sularso & Haruo Tahara. 2004. *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sumoprastowo. 2000. *Memilih dan Menyimpan Sayur-mayur, Buah-buahan, dan Bahan Makanan*. Jakarta: Bumi Aksara.

LAMPIRAN

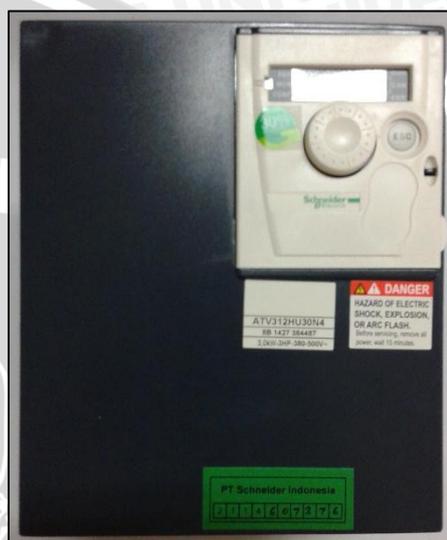


LAMPIRAN I

FOTO ALAT



Alat Homogenisasi Tampak Belakang



VSD ATV312HU30N4



Alat Homogenisasi Tampak Depan

LISTING PROGRAM

program arduino

```
#include <Arduino.h>
```

```
#include "Dac.h"
```

```
const int pwm = 2;
```

```
const int UDacPin = 0;
```

```
Dac dac(pwm, UDacPin);
```

```
int i, sensorValue;
```

```
double tegangan, pressure,
```

```
setPoint, error, dError, sError, lError, dTime,
```

```
PID, errorTop, PID1, errorBot,
```

```
kP, kI, kD, nilaitekanan;
```

```
float totaltekanan;
```

```
long inverter;
```

```
unsigned long now, lTime;
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode (A0,INPUT);
```

```
    pinMode (pwm, OUTPUT);
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
nilaitekanan = 0;
```

```
pressure = 0;
```

```
error = 0;
```

```
dError = 0;
```

```
sError = 0;
```

```
lError = 0;
```

```
dTime = 0;
```

```
PID = 0;
```

```
setPoint = 3.0;
```

```
errorTop = 0.05;
```

```
errorBot = -0.05;
```

```
kP = 1.91;
```

```
kI = 0.62;
```

```
kD = 1.48;
```

```
}
```

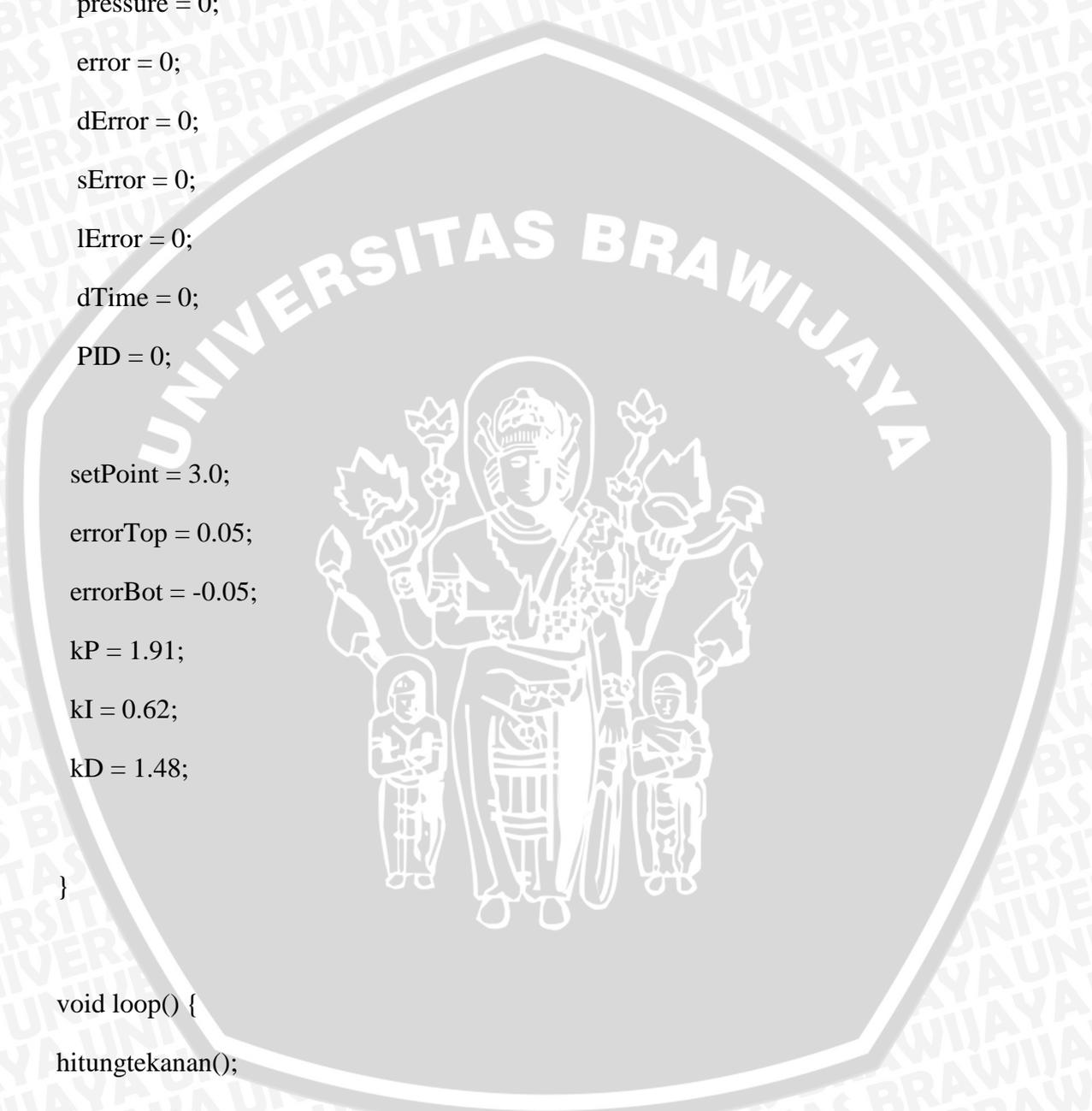
```
void loop() {
```

```
  hitungtekanan();
```

```
  hitungPID();
```

```
  //dac.write (pwmMotor);
```

```
  analogWrite (pwm, inverter);
```



```
Serial.println();
Serial.print(millis()/1000);
Serial.print("|");
Serial.print(nilaitekanan);
//Serial.println(voltage);
//Serial.println (analogRead(A0));
Serial.print("|");
Serial.print(inverter);
//Serial.println();

delay (10);

}

void hitungtekanan()
{
    sensorValue = analogRead(A0);
    tegangan = sensorValue * (4.96 / 1024.0);
    pressure = tegangan - 0.78;
    if (pressure<0)
    (pressure=0);
    i=0;
    totaltekanan=0.0;
    for (i=0;i<50;i++){
        }
```

```
totaltekanan = totaltekanan + pressure;
```

```
//delay(20);
```

```
}
```

```
nilaitekanan = totaltekanan/i;
```

```
}
```

```
//delay (10);
```

```
}
```

```
void hitungPID()
```

```
{
```

```
now = millis();
```

```
dTime = (double)(now-ITime);
```

```
error = setPoint - nilaitekanan;
```

```
sError = (sError + error);
```

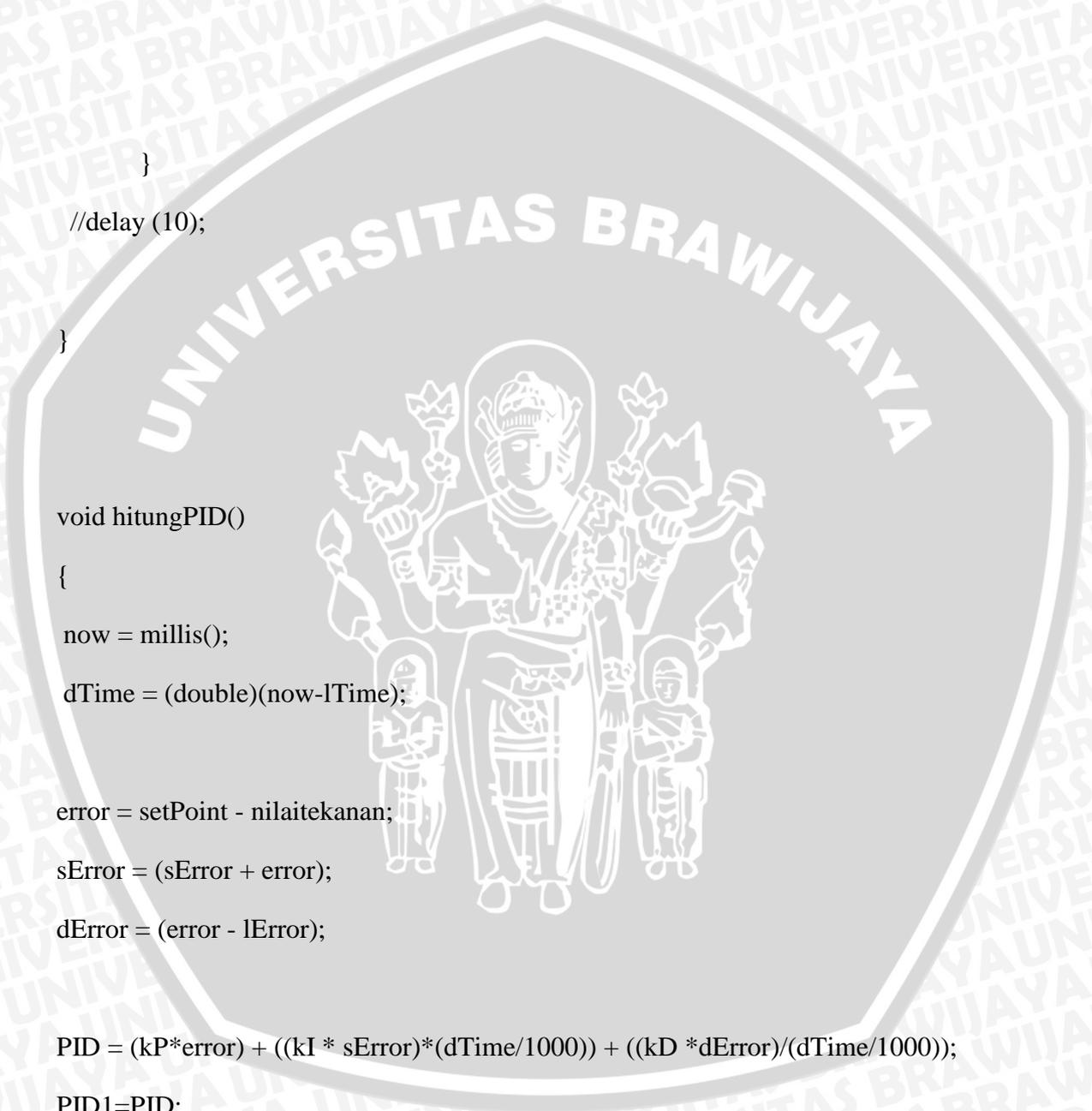
```
dError = (error - lError);
```

```
PID = (kP*error) + ((kI * sError)*(dTime/1000)) + ((kD *dError)/(dTime/1000));
```

```
PID1=PID;
```

```
if (PID1>5)
```

```
inverter= 5;
```



```
else if (PID1<0)
    inverter = 0;
else{
    if (PID1>0)
        inverter = (int) PID1;
    else
        inverter = (int)(PID1*(-1));
```

```
//for(int i=0; i<1024; i++) dac.write(PID);
```

```
//analogWrite (PWM, PID);
```

```
//digitalWrite (inverter, PID);
```

```
IError = error;
```

```
ITime = now;
```

```
}
```

```
}
```



LAMPIRAN III

DATASHEET

