

ALAT PENGATUR KEKENTALAN TINTA

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

ALVA KOSASIH

NIM. 0910630032

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

ALAT PENGATUR KEKENTALAN TINTA

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

ALVA KOSASIH

NIM. 0910630032

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Moch. Rif'an, S.T., M.T.
NIP. 19710301 200012 1 001

Zainul Abidin, S.T., M.T., M.Eng
NIK. 86012306110279

LEMBAR PENGESAHAN

ALAT PENGATUR KEKENTALAN TINTA

SKRIPSI

Disusun oleh:

ALVA KOSASIH

NIM. 0910630032

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 23 Juli 2013

MAJELIS PENGUJI

Ir. Ponco Siwindarto M.Eng, Sc
NIP. 19590304 198903 1 001

Ir. Nurussa'adah, M.T.
NIP. 19680706 199203 2 001

Ir. M. Julius St., M.S.
NIP. 19540720 198203 1 002

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.
NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Alat Pengatur Kekentalan Tinta**” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Program Studi Elektronika Universitas Brawijaya Malang.

Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik, antara lain:

1. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang
2. Bapak Mochammad Rif'an, ST., MT. dan Bapak Zainul Abidin, ST., MT., M.Eng selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah meluangkan tenaga, waktu, dan pikirannya untuk mengarahkan penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
3. Keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan doa serta moril dan material
4. Segenap dosen dan staff pengajar di Jurusan teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Teman-teman asisten Laboratorium Elektronika dan Sistem Kontrol serta teman-teman angkatan 2009 yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Sdr. Rochelle Vernique Siem yang memberikan semangat, dukungan, dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
7. Sdr. Grace Iriana Marthinus yang telah menjadi kakak dan sahabat selama ini
8. Wie-Wie Chandra, Linda Veronica, Felicia Irene, Daniel Prasetya, Deded Indra Kurniawan yang banyak membantu dalam hal non-teknis dan dukungan moril.
9. Jayadhi Wenardo, Ahmad doniarsyah, dan Ranu Adi Aldaka yang banyak membantu dalam hal pembuatan dan dukungan.

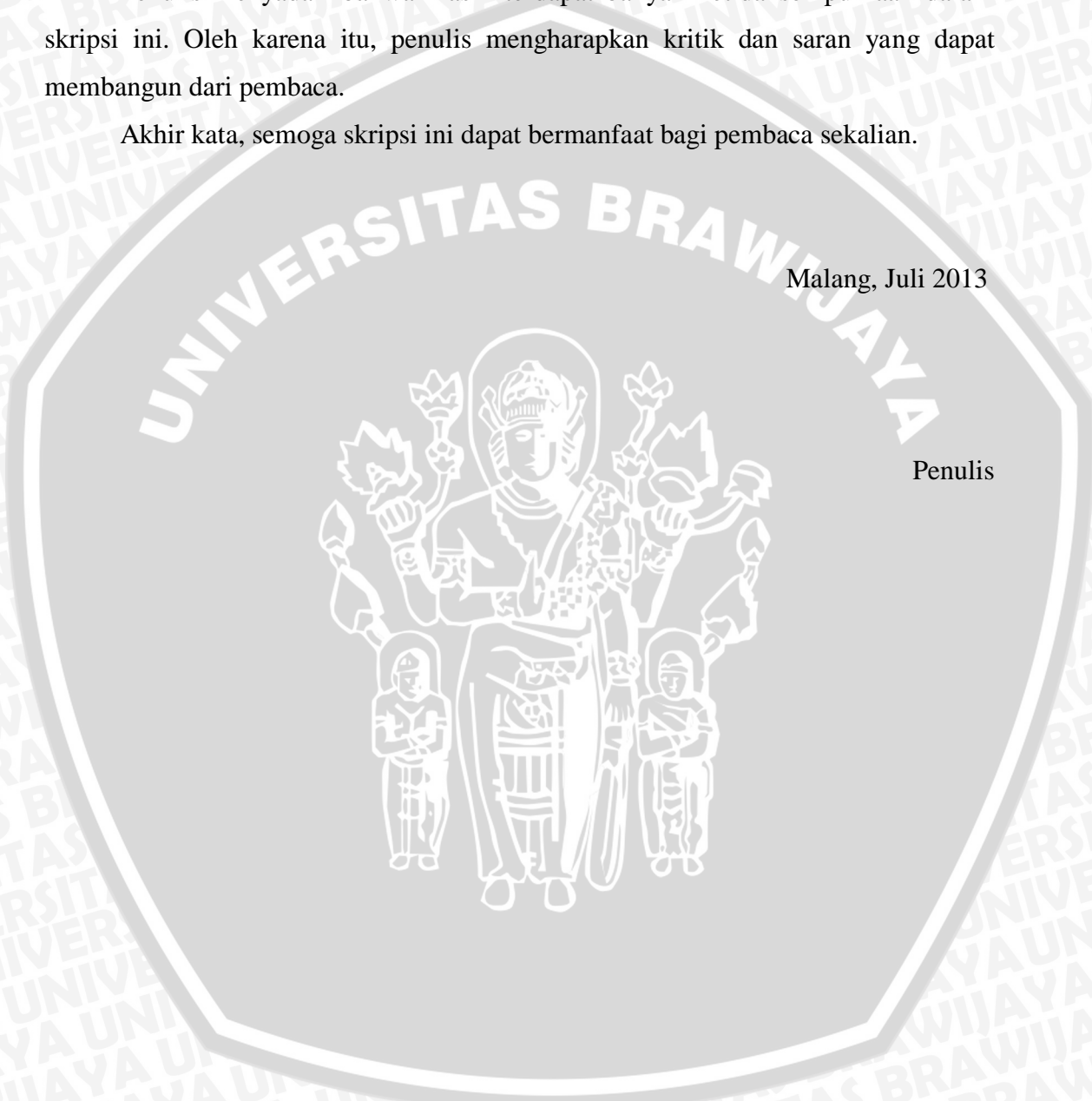
10. Semua pihak yang telah mendukung pengerjaan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak ketidaksempurnaan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dari pembaca.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Malang, Juli 2013

Penulis



ABSTRAK

Alva Kosasih, 2013 : Alat Pengukur Kekentalan Tinta, Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Dosen Pembimbing : Mochammad Rif'an,ST.,MT. dan Zainul Abidin, ST., MT., M.Eng.

Abstrak—Pengaturan kekentalan tinta adalah hal yang dibutuhkan oleh setiap pelaku industri percetakan. Dalam industri percetakan kekentalan tinta akan menjadi penentu baik tidaknya kualitas hasil percetakan. Hal ini disebabkan kekentalan tinta akan menentukan pudar dan pekatnya warna yang tinta yang dihasilkan. Metode yang digunakan untuk pengaturan kekentalan tinta ini berbasis fuzzy. Selain itu pada alat pengatur tersebut dilengkapi dengan fasilitas bagi pengguna untuk mengubah-ubah target parameter baik suhu maupun kekentalan itu sendiri.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa untuk keadaan encer didapatkan waktu tempuh silinder jatuh sebesar 126 ms, keadaan encer cenderung sedang sebesar 513 ms, keadaan sedang sebesar 1053 ms, keadaan sedang cenderung kental sebesar 1345 ms, keadaan kental sebesar 2949 ms.

Parameter membership function fuzzy adalah eror antara ≤ -2436 sampai -5 adalah Negative Big (NB), eror antara -292 sampai $+5$ adalah Negative Small (NS), eror antara -5 sampai $+5$ adalah Zero (Z), eror antara $+5$ sampai $+292$ adalah Positive Small (PS), dan eror antara $+292$ sampai ≥ 2436 adalah Positive Big (PB).

***Kata Kunci*—Tinta, pengaturan kekentalan, fuzzy**

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Viskositas dan Karakteristik.....	10
2.2 Viskometer.....	10
2.2.1 Viskometer Kapiler.....	11
2.2.2 Viskometer Orifice.....	15
2.2.3 Viskometer HTHS.....	17
2.2.4 Viskometer Rotasional.....	18
2.2.4.1 Viskometer Silinder Koaksial.....	19
2.2.4.2 Viskometer Cone and Plate.....	20
2.2.4.3 Viskometer Coni-Cilynder.....	21
2.2.4.4 Viskometer Piringan Berputar.....	22
2.2.5 Viskometer Bola Jatuh.....	23
2.2.5.1 Viskometer Silinder Jatuh.....	24
2.2.6 Viskometer Vibrasional.....	26
2.2.7 Viskometer Ultrasonik.....	27
2.3 Sensor Magnetik.....	28
2.4 Sensor Suhu dan Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	30

2.4.1	<i>Resistance Temperature Detectors (RTD)</i>	31
2.4.2	Rangkaian Pengkondisi Sinyal	32
2.4.2.1	Penguat Instrumentasi	33
2.4.2.2	Rangkaian Jembatan <i>Wheatstone</i>	34
2.4.2.3	<i>Low Pass Filter</i>	35
2.4.2.4	Komparator.....	37
2.5	Mikrokontroler Arduino-UNO	38
2.6	Transfer Data Serial Komputer – Arduino	39
2.7	Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	42
2.7.1	Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy	42
2.7.2	Fungsi Keanggotaan	43
2.7.3	Kontroler Logika Fuzzy	44
2.7.4	<i>Fuzzyfikasi</i>	45
2.7.5	Kaidah Aturan Fuzzy.....	46
2.7.6	Metode Inferensi MAX-MIN	46
2.7.7	Metode Defuzzifikasi <i>Center of Gravity</i>	47
BAB III : METODOLOGI		48
3.1	Perancangan dan Pembuatan Alat.....	48
3.2	Pengujian Alat.....	50
3.2.1	Pengujian Karakteristik Fluida.....	50
3.2.2	Pengujian Sensor	50
3.2.3	Pengujian Program <i>Input Output Data</i>	51
3.3	Pengujian Sistem secara Keseluruhan.....	51
3.4	Realisasi Alat	51
3.5	Pengambilan Keputusan.....	51
BAB IV : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT		52
4.1	Penentuan Spesifikasi Alat.....	52
4.2	Diagram Blok Sistem	53
4.3	Perancangan Sistem Instrumentasi Elektronika	56
4.3.1	Perancangan Rangkaian Sensor Magnetik	56

4.3.2	Perancangan Rangkaian Sensor Suhu	58
4.3.2.1	PT 100 dan Rangkaian Jembatan <i>Wheatstone</i>	58
4.3.2.2	Penguat Instrumentasi dan Low Pass Filter	59
4.3.2.3	ADC 10 bit dan Skematik Rangkaian Sensor Suhu	60
4.3.3	Rangkaian Driver Pompa	63
4.3.4	Perancangan Program <i>Input Output</i> pada Mikrokontroler	65
4.3.5	Perancangan Kontrol Logika Fuzzy	66
BAB V : PENGUJIAN DAN ANALISIS		72
5.1	Pengujian Rangkaian Sensor Magnetik.....	72
5.2	Analisis Data Pengujian Rangkaian Sensor Magnetik	73
5.3	Pengujian Rangkaian <i>Driver Pompa</i>	75
5.4	Analisis Data Pengujian <i>Driver Pompa</i>	76
5.5	Pengujian Program <i>Input Output Data</i>	76
5.6	Analisis Pengujian Program <i>Input Output Data</i>	77
5.7	Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.....	78
5.8	Analisis Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.....	82
5.9	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	82
5.10	Analisis Pengujian Keseluruhan Sistem.....	85
BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN		86
6.1	Kesimpulan.....	86
6.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA		88
LAMPIRAN.....		90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Derivasi dari Persamaan Poiseuille	12
Gambar 2.2. Viskometer sel.....	18
Gambar 2.3. Desain Viskometer Koaksial-Silinder.....	23
Gambar 2.4. Desain Viskometer <i>Cone and Plate</i>	24
Gambar 2.5. Desain Viskometer <i>CONI-CYLINDER</i>	22
Gambar 2.6. Desain Viskometer Piringan Berputar.....	22
Gambar 2.7. Skema Bola Jatuh.....	24
Gambar 2.8. Skema Silinder Jatuh.....	25
Gambar 2.9. Diagram Skema Viskometer Ultrasonik	27
Gambar 2.10. Skema Medan Magnet Partikel Positif.....	28
Gambar 2.11. Skema Medan Magnet Partikel Negatif.....	29
Gambar 2.12. Arah Medan Magnetik.....	30
Gambar 2.13. PT 100	31
Gambar 2.14. Penguat Instrumentasi.....	33
Gambar 2.15. Rangkaian Jembatan Wheatstone.....	34
Gambar 2.16. Analisis Rangkaian Jembatan Wheatstone.....	35
Gambar 2.17. Rangkaian Dasar dan Grafik Respon Frekuensi <i>Low Pass Filter</i> RC.....	36
Gambar 2.18. Rangkaian Dasar dan Grafik Respon Komparator.....	37
Gambar 2.19. Hubungan Pin Atmega 328 dengan Pin Arduino-UNO.....	39
Gambar 2.20. Transfer Bit Serial.....	40
Gambar 2.21. <i>Led</i> Pengiriman Data.....	40
Gambar 2.22. Serial monitor.....	41
Gambar 2.23. Pengendali Fuzzy	43
Gambar 2.24. Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular	44
Gambar 2.25. Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium	44
Gambar 2.26. <i>Inferensi Fuzzy dengan Metode MAX-MIN</i>	47
Gambar 3.1. Skema Tata Letak Sensor Magnet dan Silinder Uji	48

Gambar 4.1. Diagram Blok Sistem Alat Pengatur Kekentalan 53

Gambar 4.2. Diagram Alir Cara Kerja Sistem Mikrokontroler 55

Gambar 4.3. Diagram Blok Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Magnetik 56

Gambar 4.4. Rangkaian Pembagi Tegangan 57

Gambar 4.5. Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Magnetik 57

Gambar 4.6. Skematik PT 100 pada Rangkaian Jembatan *Wheatstone* 58

Gambar 4.7. Skematik Rangkaian Keseluruhan Sensor Suhu 60

Gambar 4.8. Rangkaian *Driver* Pompa 63

Gambar 4.9. Diagram Alir Perancangan Program *Input Output* Data 66

Gambar 4.10. Grafik Perubahan Kekentalan terhadap Perubahan Cairan 69

Gambar 4.11. Grafik *Input Membership Function* Nilai Error 69

Gambar 4.12. Grafik *Input Membership Function* Nilai Waktu Tempuh 68

Gambar 4.13. Grafik *Single Tone Output* Fuzzy dalam Satuan ml 70

Gambar 4.14. Grafik *Single Tone Output* Fuzzy dalam Satuan ms 71

Gambar 5.1. Hasil Pengujian Sensor Atas 73

Gambar 5.2. Hasil Perbesaran Pengujian Sensor Atas 73

Gambar 5.3. Hasil Pengujian Sensor Bawah 73

Gambar 5.4. Hasil Perbesaran Pengujian Sensor Bawah 73

Gambar 5.5. Hasil Percobaan Langkah Ketiga 76

Gambar 5.6. Hasil Percobaan Langkah Keempat 77

Gambar 5.7. Hasil Percobaan Langkah Kelima 77

Gambar 5.8. Perubahan Suhu Dalam Dua Puluh Kali Pengambilan Data 80

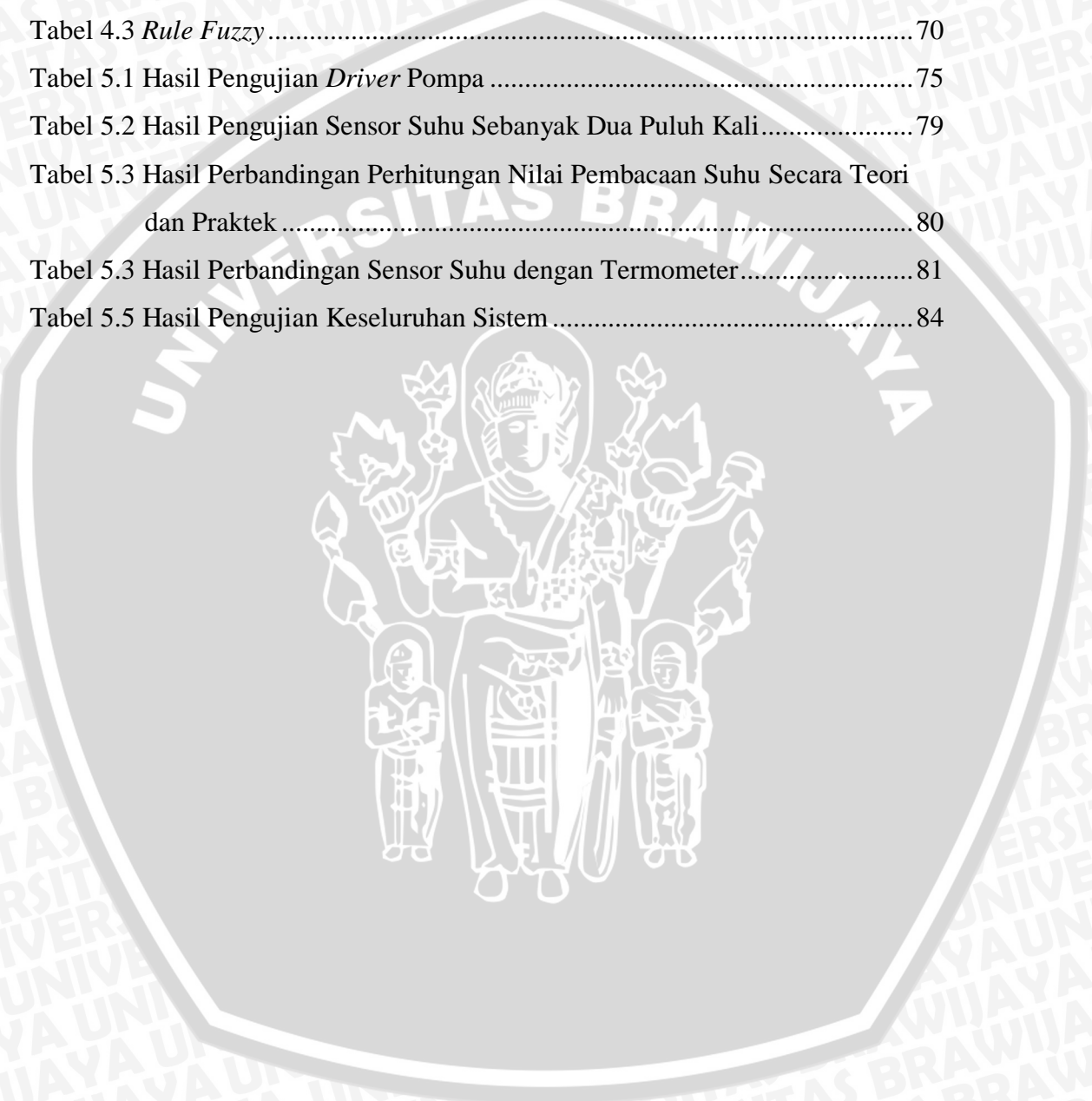
Gambar 5.9. Grafik Perubahan Tegangan Masukkan ADC terhadap Perubahan Suhu secara Teori dan Praktek 81

Gambar 5.10. Tampilan Software Arduino pada Saat Pengujian Keseluruhan 83

Gambar 5.11. Grafik Perubahan Besar Kekentalan terhadap Lama Pengaktifan Pompa pada Target 300 ms 85

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perhitungan Besar Kesalahan Relatif.....	67
Tabel 4.2 Perhitungan perubahan kekentalan terhadap perubahan cairan	68
Tabel 4.3 <i>Rule Fuzzy</i>	70
Tabel 5.1 Hasil Pengujian <i>Driver</i> Pompa	75
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor Suhu Sebanyak Dua Puluh Kali.....	79
Tabel 5.3 Hasil Perbandingan Perhitungan Nilai Pembacaan Suhu Secara Teori dan Praktek	80
Tabel 5.3 Hasil Perbandingan Sensor Suhu dengan Termometer.....	81
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem	84



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri percetakan mengalami pertumbuhan yang pesat pada saat ini. Para pelaku usaha di industri percetakan memperkirakan industri berbasis percetakan, penerbitan dan *converting* pada tahun 2012 dapat tumbuh menjadi 5,3% dimana pada tahun 2011 hanya 4,7%. Ketua Persatuan Grafika Indonesia, Jimmy Juneanto mengatakan Indonesia adalah produsen kertas nomor enam dunia yang mengekspor produksinya. Hal-hal ini menjadi bukti yang menunjang pernyataan bahwa industri percetakan Indonesia memainkan peranan penting dalam dunia perekonomian. Dengan pertumbuhan tersebut, tentu dibutuhkan peningkatan kualitas serta kuantitas dalam semua aspek industri percetakan. Salah satu aspek penting tersebut adalah aspek peningkatan kualitas hasil produksi. Dalam peningkatan kualitas hasil produksi diperlukan suatu alat yang dapat mengukur viskositas/kekentalan tinta sekaligus melakukan suatu tindakan/kontrol sehingga viskositas tinta sesuai dengan yang diinginkan.

Nilai viskositas di satu sisi adalah besaran yang sangat penting dalam menentukan kualitas hasil produksi. Jika nilainya terlalu besar akan berakibat pada tidak ratanya ketebalan tinta pada hasil percetakan demikian pula warnanya akan cenderung lebih gelap daripada yang diinginkan. Jika nilainya terlalu kecil maka warna yang dihasilkan akan pudar atau terlalu muda.

Viskositas sebenarnya merupakan gaya gesekan antara molekul-molekul yang menyusun suatu fluida. Viskositas adalah gaya gesekan dalam fluida. Jadi molekul molekul yang membentuk suatu fluida saling bergesekan ketika fluida tersebut mengalir. Pada zat cair, viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Fluida yang lebih cair biasanya lebih mudah mengalir, contohnya air. Sebaliknya, fluida yang lebih kental lebih sulit mengalir, contohnya minyak goreng, oli, madu dan lain-lain.

Dalam industri percetakan dibutuhkan pengukur dan pengontrol viskositas tinta yang dapat bekerja pada berbagai variasi nilai viskositas. Karena setiap merk tinta dengan warna yang sama memiliki nilai viskositas berbeda. Tentu pula setiap warna pada suatu merk tinta yang sama juga memiliki nilai viskositas yang berbeda. Hal ini merupakan kesulitan tersendiri, karena dengan begitu banyaknya variasi nilai viskositas yang diukur berarti tingkat ketelitian alat juga menjadi faktor penentu berhasil gunanya alat yang penulis buat.

Terdapat beberapa metode dalam mengukur viskositas tinta:

- 1) Viskometer bola jatuh, mendapatkan nilai viskositas dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan oleh suatu bola jatuh melalui *sample* pada jarak tertentu.
- 2) Viskometer *orifice*, mendapatkan nilai viskositas dengan mengukur waktu yang diperlukan oleh suatu *sample* untuk mengalir pada suatu celah sempit (*orifice*), digunakan untuk perminyakan.
- 3) Viskometer vibrasional, mendapatkan nilai viskositas dengan cara mengendalikan amplitudo sebuah pelat sensor yang dicelupkan ke dalam *sample* dan mengukur arus listrik yang diperlukan untuk menggerakkan sensor tersebut. Digunakan untuk industri kimia.
- 4) Viskometer kapiler, mendapatkan nilai viskositas dengan cara membiarkan *sample* mengalir di dalam sebuah pipa kapiler dan mengukur beda tekanan di kedua ujung kapiler tersebut.
- 5) Viskometer rotasional, mendapatkan nilai viskositas dengan mengukur gaya puntir sebuah rotor silinder (*spindle*) yang dicelupkan ke dalam *sample*.
- 6) Viskometer HTHS (*High Temperature-High Shear*), viskometer ini menggunakan silinder piston. Dalam viskometer ini terdapat sebuah silinder sebagai penampung cairan. Cairan tersebut dipindahkan oleh piston yang digerakkan secara mekanis. Mekanisme yang digunakan untuk memindahkan cairan adalah mekanisme tekanan hidrolik.

- 7) Viskometer ultrasonik, viskometer yang menggunakan gelombang ultrasonik sebagai detektor kekentalannya.

Berdasarkan ketepatan dan kecocokan pengukuran kekentalan tinta yang dapat digolongkan sebagai cairan Newtonian metode-metode tersebut adalah metode rotasional, bola jatuh, dan ultrasonik adalah metode – metode yang telah digunakan pada dunia industri untuk mengukur kekentalan tinta. Namun demikian dari ketiga metode tersebut dapat dikatakan metode bola jatuh adalah metode yang secara kinetika menampilkan hasil maksimal dari suatu tingkat kekentalan. Hal ini juga didukung dengan mudahnya sistem pengoperasian dan proses pengujian pada metode bola jatuh.

Di dalam perancangan ini penulis tidak membuat alat pengukur viskositas yang baru melainkan mengembangkan perancangan alat viskositas dengan metode bola jatuh yang telah dibuat sebelumnya. Dari studi literatur perancangan alat viskositas yang telah dibuat sebelumnya terdapat beberapa kesimpulan dan solusi pengembangannya.

Berikut ini adalah algoritma dari perancangan yang dilakukan sebelumnya:

- 1) Pilih mode ukur/target
- 2) Hidupkan pompa
- 3) *Delay* 1 detik
- 4) Jika mode ukur, maka :
 - a) Panel eksekusi *ON*
 - b) Pendingin Hidup
 - c) *Delay* 20 detik
 - d) Baca waktu pengukuran
 - e) Baca suhu sekarang
 - f) Hidupkan pompa air
 - g) Matikan pendingin
 - h) Tampilkan nilai suhu dan waktu yang telah dibaca

- 5) Jika mode target, maka :
 - a) Masukkan nilai target
 - b) Baca nilai suhu
 - c) Baca nilai target
 - d) Tampilkan nilai waktu, suhu, target
- 6) Jika $suhu \geq 28$ jalankan Subprogram A
- 7) Selain itu jalankan Subprogram B
- 8) Subprogram A :
 - a) Pompa air mati
 - b) Pendingin aktif
 - c) Tunggu 20 detik
 - d) Pompa air hidup
 - e) Pendingin dimatikan
 - f) Apakah target \geq waktu?
- 9) Jika ya, maka : jalankan kontrol
- 10) Jika tidak, maka:
 - a) Aktifkan *resolvent* 5 detik
 - b) Tunggu 20 detik
 - c) Kembali lagi ke Subprogram A
- 11) Subprogram B : sama seperti Subprogram A hanya pada Subprogram B langkah a dan b tidak dilakukan
- 12) Subprogram kontrol :
 - a) Nyalakan pompa
 - b) Setelah 60 detik matikan pompa air dan pendingin
 - c) Tunggu 20 detik
 - d) Baca, kemudian tampilkan nilai hasil pengukuran suhu dan waktu
 - e) Apakah waktu lebih dari target + 250?

Jika benar, maka:

- 1) Nyalakan pompa resolvent selama 5 detik
- 2) Nyalakan pompa air selama 20 detik
- 3) Baca dan tampilkan nilai suhu, waktu, target
- 4) Jika tidak, maka:

5) Kembali ke awal

Berikut ini adalah kelemahan dari alat sebelumnya:

- 1) Waktu pengujian dan mencapai nilai dengan target tertentu relatif lama dan kurang efisien (lama waktu pengencerannya tidak disesuaikan besar selisih target dan hasil pengukuran).
- 2) Tidak ada penjelasan cara yang digunakan memasukkan nilai variabel target.
- 3) Parameter nilai suhu, target nilai viskositas tidak dapat diubah.
- 4) Mode kontrol dengan mode target A-, B-, dapat digabungkan. Jadi kurang efisien jika dipisahkan dan menambah kerumitan program.
- 5) LM 35 mengukur suhu di media wadah tinta, tidak langsung pada tintanya.

Berikut ini adalah solusi dan pengembangan yang ditawarkan:

- a) Kelemahan nomor 1 diperbaiki menggunakan sistem kontroler *Fuzzy*.
- b) Mensinergikan alat dengan komputer sehingga pengguna dapat melakukan input data melalui komputer sehingga menghilangkan kelemahan nomor 2 dan 3.
- c) Membuat sistem kontrol yang terpisah. Kontrol suhu dilakukan setiap saat, sedangkan kontrol tinta dilakukan saat dikehendaki mode kontrol saja.
- d) Mengganti sensor LM 35 dengan PT 100.

Jadi tujuan akhir perancangan tersebut adalah membuat suatu alat yang berhasil guna dan berdaya guna dalam pengukuran viskositas tinta pada industri percetakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana melakukan pengujian terhadap suatu viskositas tinta dengan memanfaatkan besaran waktu?
- 2) Apakah keluaran sensor sudah ideal? Jika tidak bagaimana mengatur/mengolah keluaran sensor ini?

- 3) Bagaimana cara untuk mensinergikan alat pengukur viskositas ini dengan sebuah komputer?

1.3 Batasan Masalah

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

- 1) Perancangan ini tidak menitikberatkan proses kontrol yang dilakukan pada tinta.
- 2) Dalam pengujian hanya akan digunakan jenis tinta dengan merk tertentu dan warna tertentu saja. Tidak dilakukan pengujian untuk semua jenis tinta.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat alat pengukur viskositas yang dapat digunakan untuk aplikasi langsung pada dunia industri percetakan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas mengenai teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat atau sistem.

BAB III Metodologi

Membahas mengenai metode-metode yang digunakan dalam perancangan, pengujian, dan analisis data.

BAB IV Perancangan

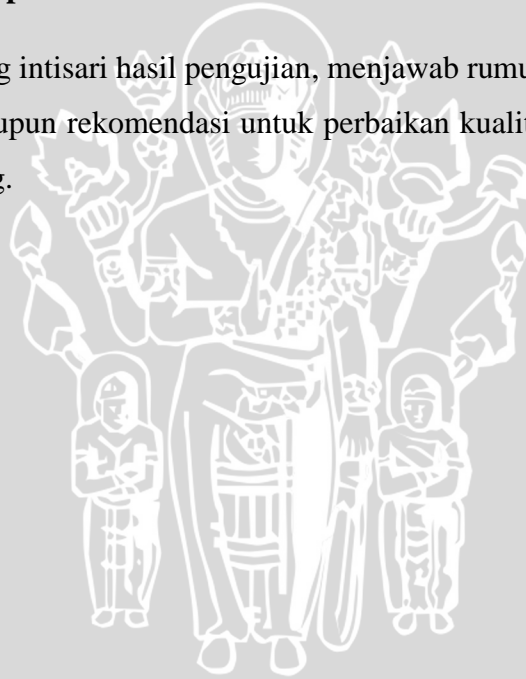
Membahas mengenai penentuan spesifikasi alat beserta fungsi dan prinsip kerjanya, perancangan diagram blok, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat tentang aspek-aspek pengujian yaitu penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis dilakukan pada seluruh sub sistem dan sistem secara keseluruhan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat tentang intisari hasil pengujian, menjawab rumusan masalah, serta memberikan saran ataupun rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian pada masa yang akan datang.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem perancangan alat pengukur viskositas tinta ini telah dibuat sebelumnya oleh Yudi Yurianto. Dalam perancangan sebelumnya sistem bekerja berdasarkan mode operasi yang dikendalikan melalui panel kontrol. Mikrokontroler akan menerima masukan dari panel kontrol. Mode operasi pada panel kontrol akan bekerja hanya jika panel eksekusi diaktifkan dan akan berhenti jika tombol reset atau panel eksekusi dinonaktifkan. Metode ini diharapkan dapat berfungsi sebagai pengaman dalam melakukan proses pengaturan.

Terdapat dua mode dalam sistem alat pengatur viskositas, yaitu:

- a) Mode ukur merupakan mode yang berfungsi mengukur nilai kekentalan tinta. Nilai kekentalan ditampilkan dalam satuan ms.
- b) Mode Target merupakan mode yang berfungsi untuk menghasilkan nilai kekentalan yang diinginkan (dalam satuan ms). Khusus pada mode operasi ini tersedia *set-point* yang dapat diatur sebagai acuan target kekentalan yang akan dihasilkan.

Setelah salah satu mode operasi diaktifkan, mikrokontroler ATmega8535 akan mengatur *port* keluaran mana yang akan diaktifkan. Sinyal dari mikrokontroler akan dikuatkan menggunakan rangkaian *driver* untuk mengaktifkan *relay* pada pompa. *Relay* difungsikan dalam mode *normaly-open* sehingga jika *relay* aktif, maka pompa akan bekerja.

Sensor magnet menempel pada selang transparan akan mendeteksi pergerakan magnet yang mengikuti aliran tinta. Keluaran sensor akan dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal yang selanjutnya akan diolah oleh mikrokontroler.

Sensor suhu pada wadah tinta akan mengindera suhu tinta. Kontrol suhu kerja tinta dalam suhu yang ideal tinta tersebut diharapkan dapat menghasilkan

produk yang baik dalam proses pengaturan. Kontrol suhu oleh alat pengatur viskositas menggunakan aliran pendingin sebagai mediana.

Jika pompa tinta telah aktif, tinta akan mengalir sesuai dengan jalur pipa yang diberikan. Pompa tinta akan aktif dengan selang waktu tertentu. Ketika pompa tidak aktif, magnet yang terdorong ke atas oleh aliran tinta akan berbalik turun mengikuti gaya gravitasi. LCD akan menampilkan status dari mode operasi yang sedang dijalankan.

Kelemahan sistem diatas pada prinsipnya adalah:

- 1) Tidak adanya cara memasukkan nilai parameter kekentalan dan suhu tinta oleh operator.
- 2) Pada proses kontrol kekentalan tidak digunakan metode kontrol proporsional, sehingga terdapat unsur ketidaktepatan hasil proses kontrol.

Dalam perancangan kali ini kelemahan-kelemahan tersebut akan menjadi fokus untuk mengembangkan alat pengatur viskositas tinta yang telah dibuat sebelumnya.

Untuk memudahkan dalam memahami prinsip kerja perancangan alat atau sistem yang akan dibuat, maka perlu adanya penjelasan mengenai teori yang digunakan dalam penelitian ini. Teori yang akan dijelaskan dalam bab ini adalah:

- a) Viskositas dan Karakteristiknya
- b) Viskometer
- c) Sensor Magnet
- d) Sensor Suhu dan Rangkaian Pengondisi Sinyal
- e) Transfer Serial Data PC ke Mikrokontroler
- f) Mikrokontroler Atmega328 (Atmel) dan Modul Arduino
- g) Kontrol Logika *Fuzzy*

2.1 Viskositas dan Karakteristik

Viskositas adalah sifat fisik zat yg bergantung pada geseran molekul komponennya. Dalam terjemahan yang lain viskositas zat cair adalah gesekan yang ditimbulkan oleh fluida yang bergerak. Besarnya gesekan inilah yang disebut derajat kekentalan zat cair. Semakin besar viskositas fluida semakin sulit pula fluida tersebut untuk mengalir sehingga benda yang ada di dalamnya juga akan sulit bergerak.

Viskositas dihasilkan oleh kohesi dan momentum molekular yang terjadi di antara lapisan-lapisan fluida. Molekul zat cair yang tersusun lebih rapat memiliki gaya kohesi yang jauh lebih besar dari pada molekul gas. Kohesi merupakan penyebab utama viskositas zat cair. Penyebab viskositas ini dapat menjelaskan perbedaan dalam kecenderungan terhadap suhu. Gaya kohesi cairan berkurang dengan naiknya suhu, viskositasnya juga demikian. Sebaliknya, viskositas gas akan bertambah dengan naiknya suhu. Sedangkan kegiatan molekular yang menimbulkan tegangan geser semu dalam gas meningkat terhadap naiknya suhu dan viskositas gas. Di dalam fluida yang tidak bergerak atau statik tidak akan timbul gaya geser semu berapapun viskositasnya.

Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan koefisien viskositas. Apabila suatu benda bergerak dengan kelajuan v dalam suatu fluida kental, maka benda tersebut akan mengalami gaya gesekan fluida sebesar

$$F_1 = k \cdot \eta \cdot v \quad (2.1)$$

Dengan nilai k adalah konstanta yang bergantung pada bentuk geometris benda.

2.2 Viskometer

Pengukuran viskositas sangat penting untuk dunia industri dan akademik. Pengukuran viskositas dikembangkan dari berbagai teori telah diverifikasi dengan beberapa pengujian. Melalui pengujian tersebut alat-alat yang digunakan untuk mengukur viskositas cairan dapat diklasifikasikan secara luas ke dalam tujuh kategori yaitu:

- 1) Viskometer Kapiler
- 2) Viskometer *Orifice*
- 3) Viskometer HTHS (*High Temperature-High Shear*)
- 4) Viskometer rotasional
- 5) Viskometer bola jatuh
- 6) Viskometer vibrational
- 7) Viskometer ultrasonik

Sejumlah viskometer yang terdapat di dunia ini juga melakukan penggabungan dua atau tiga metode dari metode-metode viskometer yang ada. Sejumlah alat juga diotomatiskan untuk pengukuran viskositas yang lebih kompleks dan untuk kontrol proses.

2.2.1 Viskometer Kapiler

Viskometer Kapiler digunakan untuk mengukur cairan Newtonian. Cairan Newtonian adalah cairan yang tekanan disetiap titiknya proporsional terhadap laju waktu dari regangan pada titik tersebut. Dimana faktor proporsionalnya adalah koefisien viskositas cairan tersebut.

Viskometer ini tergolong sebagai viskometer yang sederhana dalam pengoperasiannya dan membutuhkan hanya sedikit *sample* volume dan pengaturan suhunya. Dalam viskometer kapiler tingkat laju volume dalam cairan yang mengalir adalah variabel yang diukur. Biasanya dilakukan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan suatu volume cairan untuk melalui dua tanda yang telah ditetapkan. Cairan dapat melalui tabung kapiler baik dalam pengaruh gravitasi ataupun tekanan dari luar. Dalam alat dimana tekanan dari luar diaplikasikan, cairan dipaksa melalui tabung kapiler dalam laju yang telah ditentukan dan tekanannya diukur.

Viskometer kapiler mampu menyediakan perhitungan langsung dari viskositas berdasarkan laju aliran, tekanan, dan berbagai dimensi peralatan. Akan tetapi kebanyakan viskometer kapiler ini harus dikalibrasikan dengan suatu cairan

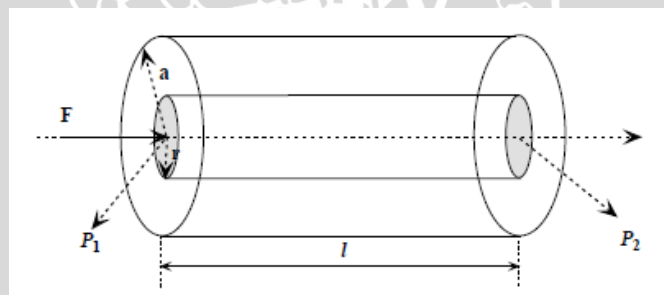
yang telah diketahui viskositasnya. Hal ini digunakan untuk mengetahui berapa besar konstanta kesebandingan yang diperlukan pada alat yang dibuat.

Beberapa jenis viskometer kapiler telah dirancang melalui variasi dari komponen komponen diatas. Dan secara umum terdapat tiga kategori rancangan untuk viskometer ini, yaitu :

- 1) Viskometer Ostwald yang telah dimodifikasi
- 2) Viskometer *Suspended-level*
- 3) Viskometer aliran balik

Viskometer kapiler kaca adalah yang paling baik untuk menentukan viskositas dari cairan Newtonian. Tekanan yang dihasilkan berasal dari tekanan hidrostatik pada saat pengujian cairan itu sendiri. Viskositas kinematis merupakan viskositas yang sering diukur dengan viskometer ini. Prinsip yang sama dapat diaplikasikan untuk mengukur viskositas dari cairan non-Newtonian.

Perhitungan viskositas dari data yang telah diukur menggunakan viskometer kapiler kaca didasarkan pada persamaan Poiseuille.



Gambar 2.1 Derivasi dari Persamaan Poiseuille

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 11

Berdasarkan Gambar 2.1 dirumuskanlah beberapa asumsi dalam persamaan Poiseuille adalah:

- 1) Aliran cairan paralel terhadap sumbu dari tabung
- 2) Aliran cairan stabil dan tidak ada percepatan di setiap titik di dalam tabung
- 3) Cairan bersifat stasioner di dalam tabung kapiler
- 4) Cairan adalah cairan Newtonian

Karena cairan adalah cairan Newtonian, maka berlaku Persamaan (2.2).

$$\sigma = \mu e = \mu \frac{dv}{dr} \quad (2.2)$$

Dimana σ adalah tekanan, e adalah regangan, μ adalah viskositas dinamis, v adalah kelajuan cairan, dan r adalah jarak dari pusat tabung.

Gaya yang seimbang pada tabung silindris dengan panjang l dan radius r menciptakan Persamaan (2.3):

$$\sigma \times 2\pi r l = \Delta P \times \pi r^2 \quad (2.3)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3) didapatkan sebuah Persamaan (2.4).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\Delta P}{2\mu l} r \quad (2.4)$$

Integrasi Persamaan (2.4) dengan menggunakan kondisi batas tabung kapiler $v(a) = 0$, akan menghasilkan Persamaan (2.5).

$$v = \frac{\Delta P (a^2 - r^2)}{4\mu l} \quad (2.5)$$

Dalam Persamaan (2.5) distribusi kecepatan pada metode kapiler berbentuk seperti lintasan parabola. Laju kecepatan volumetrik melalui kapiler dapat dikalkulasi dengan mencatat waktu antara r dan $r + dr$ dengan volume cairan yaitu $2\pi r v dr$. Laju aliran keseluruhan (Q cm³/s) dapat diperoleh dengan mengintegrasikan rumusan berikut

$$Q = \int_0^a 2\pi r v dr \quad (2.6)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan (2.5) dengan Persamaan (2.6) didapatkan:

$$Q = \int_0^a \frac{2\pi\Delta P}{4\mu l} r(a^2 - r^2)dr = \frac{2\pi\Delta P}{4\mu l} \int_0^a r(a^2 - r^2)dr$$

$$Q = \frac{\pi\Delta P a^4}{8\mu l} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) diketahui sebagai persamaan *Poiseuille* dan digunakan untuk menghitung viskositas saat menggunakan viskometer kapiler. Bagi kebanyakan viskometer ini permasalahan yang sering terjadi adalah pada saat dilakukan pengaturan tabung vertikal. Hal ini disebabkan tekanan hidrostatik bergantung kepada ketinggian (h), massa jenis (ρ), dan gravitasi (g).

$$\Delta P = \rho g h Q \quad (2.8)$$

Dimana h adalah sebuah fungsi waktu.

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2.7) dengan Persamaan (2.8) menghasilkan Persamaan (2.9).

$$\mu = \frac{\pi g h a^4}{8 l V} \rho t \quad (2.9)$$

Dimana Q adalah V/t V didefinisikan sebagai volume dari cairan yang didistribusikan selama percobaan dan t adalah waktu yang dibutuhkan cairan untuk menempuh jarak tertentu yang telah ditentukan sebelumnya.

Untuk viskometer kapiler tertentu Persamaan (2.9) dapat ditulis sebagai Persamaan (2.10).

$$\mu = K \rho t \quad (2.10)$$

K adalah konstanta yang dirumuskan sebagai

$$K = \frac{\pi g h a^4}{8 l V} \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) digunakan untuk mendapatkan persamaan kinematik viskositas dimana

$$v = K t = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.12)$$

Nilai K biasanya dikalibrasi dengan referensi cairan yang telah diketahui nilai viskositas dan densitasnya. Dengan memasukkan nilai viskositas dan densitas yang telah diketahui ke dalam Persamaan (2.10) serta dengan mencatat nilai waktu tempuh cairan untuk jarak tertentu maka akan didapat nilai K yang dikehendaki.

Berikut ini adalah viskometer yang menggunakan prinsip viskometer kapiler :

- 1) Viskometer Ostwald
- 2) Viskometer Ostwald yang telah dimodifikasi:
 - a) Viskometer Cannon-Fenske Routine
 - b) Viskometer Cannon Manning Semi-*Micro*
 - c) Viskometer Pinkevich
 - d) Viskometer Zeitfuchs
 - e) Viskometer SIL
 - f) Viskometer BSU-*Tube*
 - g) Viskometer BSU-*Miniature*
- 3) Viskometer *Suspended Level for Transparent Liquid*
 - a) Viskometer Ubbelohde
 - b) Viskometer Fitzsimons
 - c) Viskometer Atlantic
 - d) Viskometer Cannon – Ubbelohde Dilution
 - e) Viskometer BS/IP/SL
- 4) Viskometer Aliran Balik
 - a) Viskometer Cannon-Fenske *Opaque*
 - b) Viskometer Zeitfuchs Cross-Arm
 - c) Viskometer Lantz-Zeitfuchs *Reverse Flow*
 - d) BS/IP/RF U - *Tube Reverse Flow*

2.2.2 Viskometer Orifice

Viskometer ini digunakan pada industri perminyakan karena kesederhanaan dan kemudahan operasi. Viskometer *orifice* memiliki sebuah

penampung, rongga, dan penerima. Panjang rongga tidak lebih dari sepuluh kali diameter rongga. Konsep rancangan asli dari viskometer ini berdasarkan hukum Hagen-Poiseuille yang menyatakan bahwa aliran keluar dari volume cairan tetap melalui lubang kapiler proporsional terhadap viskositas cairan. Karena beragamnya bentuk tabung hidrostatis dan ada hilangnya gaya gesekan tertentu maka waktu aliran cairan keluar tidak lagi proporsional terhadap nilai viskositas. Waktu yang dibutuhkan bagi *sample* cairan untuk masuk kedalam lubang *orifice* dan keluar melaluinya digunakan untuk menghitung nilai viskositas. Karena itu diperlukan sebuah rumusan konversi yang tersedia pada tabel. Namun demikian terdapat kelemahan alat ini yaitu pengukuran mutlak cairan non-Newtonian tidak dapat ditetapkan nilainya.

Metode umum dari kebanyakan pengoperasian viskometer tersebut pada dasarnya sama. Cairan *sample* dituangkan pada cangkir yang dipertahankan pada suhu tetap oleh air atau minyak. Tingkat dari cairan di dalam viskometer disesuaikan untuk suatu ketinggian tetap yang tertentu. Cairan ini dikondisikan pada temperatur tertentu. Sesaat sesudah tempertatur yang diinginkan tercapai, sebuah katup pada dasar tabung dibuka dan waktu yang dibutuhkan cairan untuk keluar akan mulai diukur.

Persamaan untuk viskometer ini adalah :

$$v = \frac{\mu}{\rho} = kt - \frac{K}{t} \quad (2.13)$$

Dimana t adalah waktu tempuh dan k serta K adalah konstanta spesifik dan harus ditetapkan untuk setiap alatnya.

Berikut ini adalah jenis-jenis viskometer yang menggunakan prinsip kerja

Viskometer *orifice*:

- 1) Viskometer Redwood
- 2) Viskometer Engler
- 3) Viskometer Saybolt
- 4) Viskometer Ford *viscosity cup*

- 5) Viskometer Shell *viscosity cup*
- 6) Viskometer Zahn *cup*

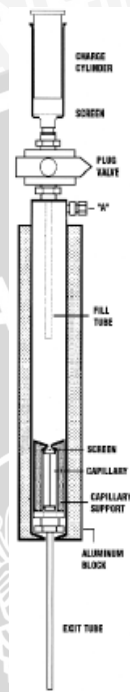
2.2.3 Viskometer HTHS

Viskositas yang mencapai 1000 poise dapat diukur menggunakan Viskometer *suspended level*. Tetapi untuk mengukur viskositas yang lebih tinggi biasanya digunakan viskometer jenis silinder piston. Dalam viskometer silinder piston terdapat sebuah silinder sebagai penampung cairan. Cairan tersebut dipindahkan oleh piston yang digerakkan secara mekanis. Mekanisme yang digunakan untuk memindahkan cairan adalah mekanisme tekanan hidrolik. Viskometer ini bekerja dengan baik untuk viskositas cairan non-Newtonian. Beberapa alat dirancang berdasarkan mekanisme silinder piston termasuk *High Shear Rate Capillary Viscometer*, *Standard oil high pressure capillary viscometer*, *Plunger viscometer*, dan *Erica-Glynn and Grunberg Viscometer*. Viskometer – viskometer itu dapat ditemukan di pasaran industri. Permasalahan utama viskometer ini adalah pengaturan suhu yang tidak akurat. Sebagai konsekuensinya kebanyakan dari viskometer ini sekarang tidak lagi digunakan. Beberapa viskometer baru telah dikembangkan dengan pengaturan suhu yang tepat. Konfigurasi yang berbeda dari viskometer kapiler tersedia untuk mengukur viskositas oli pada temperatur tertentu. Hal ini dapat meningkatkan ketepatan.

Klaus dan teman-teman mengembangkan sebuah viskometer kapiler yang terdiri dari sebuah lubang kapiler panjang yang sesuai untuk memenuhi spesifikasi dalam mengukur viskositas minyak sesuai dengan persyaratan perkumpulan otomotif USA. Akan tetapi alat tersebut membutuhkan waktu lebih lama untuk melakukan pengukuran dan juga koreksi-koreksi terhadap data pengukuran. Selanjutnya Rein, Alexander, Graham, dan teman-temannya menyatakan bahwa penggunaan viskometer kapiler untuk pengukuran viskositas minyak pada suhu tinggi sangat mungkin dilakukan. Manning dan Lloyd merancang sebuah viskometer multisel yang kemudian dikomersialkan oleh Cannon.

Viskometer multisel ini mampu mengukur viskositas minyak mesin pada suhu 150 °C. Dalam metode ini tekanan gas yang ada mendorong sejumlah tetap

cairan melalui sebuah tabung kapiler kaca berdiameter kecil. Teknik ini biasanya digunakan untuk mensimulasi viskositas dari oli motor. Viskositas ini disebut (HTHS) *high temperature-high shear*.



Gambar 2.2 Viskometer sel

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 60

Gambar 2.2 menunjukkan desain viskometer sel. Viskometer ini tergolong sebagai viskometer HTHS. Viskometer HTHS sering digunakan untuk melakukan pengukuran pada minyak mesin.

2.2.4 Viskometer Rotasional

Viskometer rotasional beroperasi pada prinsip pengukuran laju rotasi dari sebuah bentuk padat dalam sebuah media viskositas yang diaplikasikan pada tekanan yang diketahui atau kekuatan puntir yang diminta untuk merotasi bentuk padat pada kelajuan sudut tertentu. Meskipun viskometer rotasional lebih canggih daripada jenis viskometer kapiler namun viskometer rotasional kurang tepat untuk pengukuran cairan non-Newtonian.

Beberapa keuntungan viskometer ini adalah pengukuran dapat dilakukan dibawah kondisi yang stabil, pengukuran dapat dilakukan dengan kelajuan berbeda untuk *sample* yang sama, pengukuran juga dapat dilakukan terhadap *sample* yang nilai viskositasnya adalah fungsi suhu, dan tidak ada variasi atau variasi yang sangat kecil terhadap perubahan laju cairan akibat adanya gaya putar.

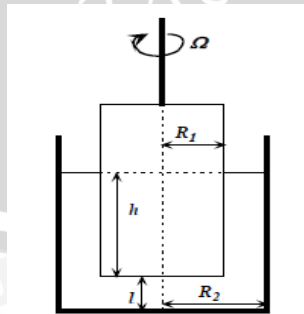
Sejumlah viskometer rotasional dengan berbagai rancangan dapat dengan mudah ditemukan di pasaran. Viskometer-viskometer ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori umum berdasarkan konfigurasi rancangan mereka yaitu:

- 1) Viskometer Silinder - Koaksial
- 2) Viskometer *Cone and Plate*
- 3) Viskometer *Coni Cylinder*

2.2.4.1 Viskometer Koaksial - Silinder

Rancangan Viskometer koaksial-silinder terdiri dari silinder dalam dengan radius R_1 dan ketinggian h . Dan sebuah silinder luar dengan radius R_2 . Silinder bagian dalam adalah silinder stasioner. Silinder bagian luar berisi *sample* dirotasikan dengan kecepatan tetap. Gaya puntir (T) dyne cm diukur dengan sudut defleksi dari silinder dalam yang ditopang oleh sebuah kawat yang kuat. Kecepatan silinder luar divariasikan untuk mendapatkan data guna perhitungan viskositas. Persamaannya ditunjukkan dalam Persamaan (2.14):

$$T = \frac{4 \pi R_1^2 R_2^2 h \mu V k \Omega}{R_2^2 - R_1^2} = C \mu \Omega \quad (2.14)$$



Gambar 2.3 Desain Viskometer Koaksial-Silinder

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 63

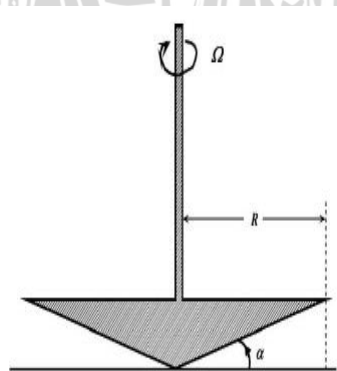
Gambar 2.3 menunjukkan desain dari sebuah viskometer koaksial-silinder yang diklasifikasikan sebagai viskometer rotasional. Viskometer koaksial-silinder adalah viskometer rotasional yang sering digunakan dalam dunia industri.

2.2.4.2 Viskometer *Cone and Plate*

Viskometer ini merupakan viskometer yang paling banyak digunakan untuk cairan non-Newtonian. Cairan *sample* diisi di bagian kosong antara kerucut dan bagian datar viskometer. Jika sudut antara kerucut dengan lempeng kurang dari 0.5 rad, perubahan kecepatan akibat gaya yang diberikan adalah cenderung sama untuk setiap *sample*. Hal yang sama juga berlaku untuk cairan non-Newtonian yang membuat viskometer ini dapat digunakan untuk cairan Newtonian atau non-Newtonian. Persamaan viskositas untuk viskometer ini adalah:

$$\mu = \frac{3T\alpha}{2\pi R^3Q} = \frac{CT}{Q} \quad (2.15)$$

- T = gaya puntir (N)
- α = sudut antara kerucut dan lempeng ($^\circ$)
- R = jarak dari axis (m)
- C = konstanta yang diberikan pabrik
- Q = kecepatan sudut relatif (rad/s)



Gambar 2.4 Desain Viskometer *Cone and Plate*

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 65

Gambar 2.4 menunjukkan desain viskometer *cone and plate* yang dikualifikasikan sebagai viskometer rotasional. Viskometer ini didesain untuk mengukur viskositas cairan non-Newtonian.

Berikut ini beberapa jenis viskometer dengan metode *cone and plate*:

- 1) Haake Rotovisco
- 2) Viskometer Rotasional Agfa
- 3) Rheogoniometer
- 4) Viskometer Cone-Plate Ferranti-Shirley
- 5) Viskometer Stormer

2.2.4.3 Viskometer *Coni-Cylinder*

Viskometer ini merupakan modifikasi dari viskometer koaksial-silinder. Mooney dan Ewart menyarankan perpanjangan kerucut baik silinder dalam dan luar. Keuntungan viskometer ini merata dari perubahan kecepatan terhadap gaya rotasi pada bagian dalam silindris kira-kira sama.

Persamaan viskositasnya adalah :

$$\frac{T}{Q} = \frac{4\pi h \mu}{\left[\frac{1}{Rb^2} - \frac{1}{Rc^2} \right]} \left[1 + \frac{\Delta h}{h} \right] \quad (2.16)$$

Dimana Δh adalah :

$$\Delta h = \frac{hc}{6 \cos \alpha^2} \left[\frac{1}{\tan \alpha^2} - \frac{1}{\tan \alpha^2} \right] \left[\int_{a1}^{a2} \frac{d\alpha}{\sin \alpha^3} \right]^{-1} \quad (2.17)$$

T = gaya puntir (N)

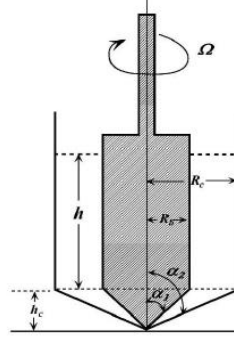
α = sudut silinder dalam dengan silinder luar ($^{\circ}$)

h = panjang bagian silindris (m)

hc = panjang bagian kerucut (m)

Rb = jari-jari silinder dalam (m)

Rc = jari-jari silinder luar (m)



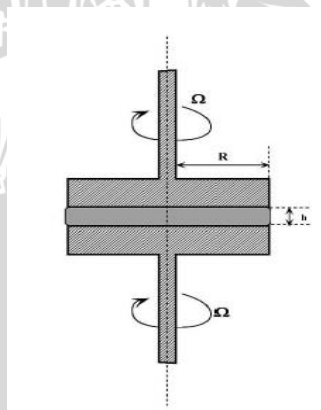
Gambar 2.5 Desain Viskometer *CONI-CYLINDER*

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 69

Gambar 2.5 adalah desain atau skema dari sebuah viskometer *coni-cylinder*. Skema ini dipakai dengan memperhitungkan nilai-nilai variabel yang terdapat dalam Persamaan(2.16) dan (2.17).

2.2.4.4 Viskometer Piringan Berputar

Viskometer ini digagas oleh Mooney berisi sebuah piringan yang berputar dalam sebuah rongga silindri. Rongga silindris ini dibentuk oleh dua buah kubus yang berada pada temperatur tertentu dan tekanan tertentu. Viskometer ini digunakan untuk mengukur getah karet. Beberapa kombinasi dari rancangan Mooney menjadi viskometer yang berada di pasaran. Gambar 2.6 menunjukkan diagram skema viskometer ini:



Gambar 2.6 Desain Viscometer Piringan Berputar

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 71

Gambar 2.6 menunjukkan desain dari viskometer piringan berputar yang sering digunakan pada industri karet. Viskometer piringan berputar ini adalah salah satu pengembangan dari viskometer rotasional.

2.2.5 Viskometer Bola Jatuh

Viskometer bola jatuh adalah viskometer yang bekerja dengan dasar hukum Stokes. Dimana telah diketahui sebelumnya bahwa akibat adanya viskositas setiap benda yang bergerak didalamnya akan mengalami hambatan/perlambatan. Hambatan inilah yang kemudian disebut sebagai gaya gesekan fluida. Besar gaya gesekan fluida ini bergantung kepada koefisien kekentalan dan bentuk benda. Untuk benda berbentuk bola dengan jari-jari r yang bergerak dengan kelajuan v , menurut hukum Stokes besar gaya geseknya adalah

$$F_1 = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (2.18)$$

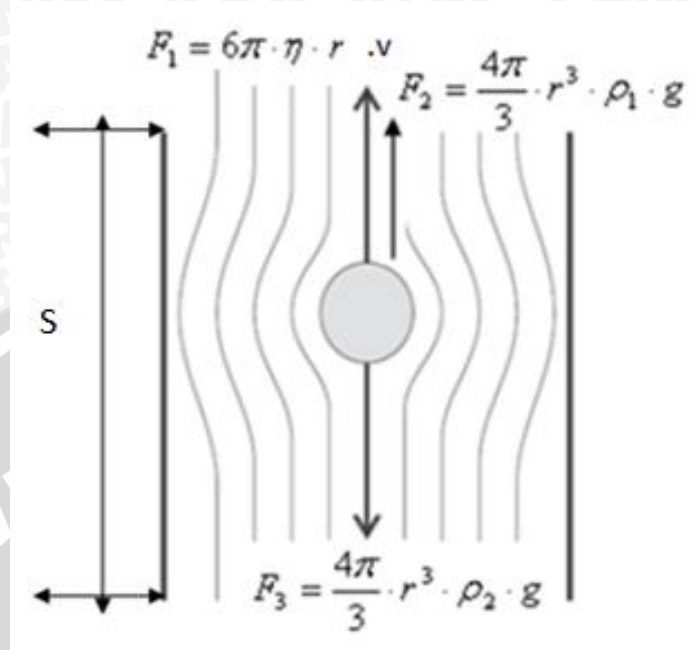
Hukum Stokes memerlukan beberapa syarat dalam penerapannya, yaitu:

- 1) Ruang tempat fluida tidak terbatas (ukurannya \gg ukuran bola)
- 2) Tidak terjadi aliran turbulensi di dalam fluida
- 3) Kecepatan v tidak besar

Di samping gaya gesek sesuai dengan hukum stokes tersebut terdapat pula gaya yang ditimbulkan oleh bola yang bergerak yaitu gaya gravitasi atau gaya berat (F_3). Gaya inilah yang menyebabkan benda bergerak ke bawah dengan suatu percepatan. Berikutnya adalah gaya apung (F_2) atau gaya Archimedes (B). arah gaya ini keatas dan besarnya sama dengan besar fluida yang dipindahkan oleh benda itu.

$$F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho_1 \cdot g \quad (2.19)$$

$$F_3 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho_2 \cdot g \quad (2.20)$$



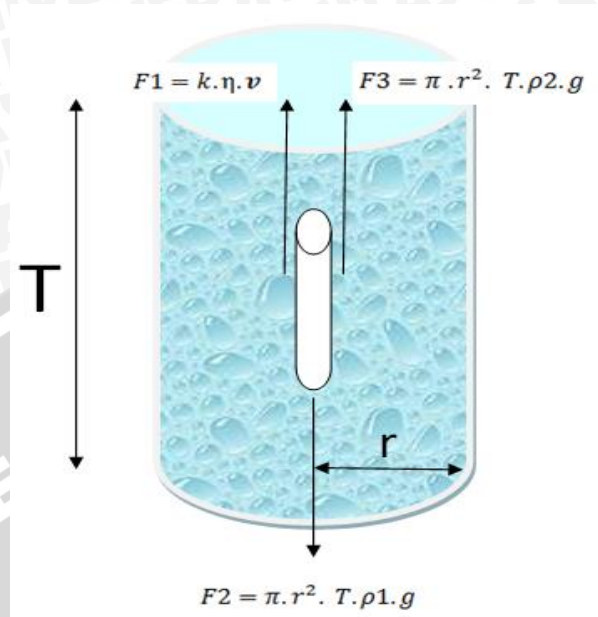
Gambar 2.7 Skema Bola Jatuh

Sumber: D .R .Rohendra etal., .2012: 1457

Gambar 2.7 menunjukkan skema gaya viskometer bola jatuh. Jika g , ρ_2 , ρ_1 , r , S diketahui maka persamaan viskositas bola jatuh hanya bergantung kepada perubahan t . Perubahan t adalah besar waktu tempuh bola untuk jarak sebesar S .

2.2.5.1 Viskometer Silinder Jatuh

Meskipun penggunaan viskometer menggunakan bola jatuh memberikan analisis yang cukup baik namun terdapat geometri lain yang diindikasikan dapat meningkatkan ketepatan pengukuran. Geometri silinder telah digunakan oleh berbagai peneliti untuk mengukur viskositas. Peralatan yang tersedia di pasaran juga banyak menggunakan geometri silinder. Prinsip kerja viskometer ini pada dasarnya sama dengan viskometer bola jatuh .



Gambar 2.8 Skema Silinder Jatuh

Karena $F_3 = F_1 + F_2$ maka didapatkan Persamaan (2.21)

$$\pi \cdot r^2 \cdot T \cdot \rho_2 \cdot g = k \cdot \eta \cdot v + \pi \cdot r^2 \cdot T \cdot \rho_1 \cdot g$$

$$\pi \cdot r^2 \cdot T \cdot g (\rho_2 - \rho_1) = k \cdot \eta \cdot v$$

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot T \cdot g (\rho_2 - \rho_1)}{k \cdot v} \tag{2.21}$$

Jika $v = \frac{s}{t}$

Maka :

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot T \cdot g (\rho_2 - \rho_1) \cdot t}{k \cdot s} \tag{2.22}$$

Persamaan viskositas diatas pada kenyataannya membutuhkan sedikit perbaikan. Hal ini disebabkan karena untuk wadah berdimensi terbatas, arah garis-garis fluida dipengaruhi oleh bentuk geometrinya. Faktor koreksi untuk wadah berupa tabung dengan jari-jari R adalah $1/(1+0.24 r/R)$. Sehingga persamaan diatas dapat ditulis kembali seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2.23).

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot T \cdot g (\rho_2 - \rho_1) \cdot t}{k \cdot s(1+0,24r/R)} \quad (2.23)$$

F1	= gaya gesek	(N)
F2	= gaya apung	(N)
F3	= gaya berat	(N)
g	= percepatan gravitasi	(m/s ²)
ρ_1	= densitas cairan	(kg/m ³)
ρ_2	= densitas silinder	(kg/m ³)
r	= jari-jari silinder	(m)
t	= tinggi silinder	(m)
v	= kecepatan konstan/akhir silinder	(m/s)
R	= jari-jari tabung	(m)
s	= jarak tempuh silinder	(m)
t	= waktu untuk menempuh jarak S	(s)
k	= konstanta geometris silinder	

2.2.6 Viskometer Vibrasional

Dalam industri kimia, pengukuran viskositas adalah salah satu pengukuran terpenting untuk menjaga kualitas produksi. Dalam hal ini viskometer vibrasional adalah pilihan yang tepat untuk digunakan. Keunggulan utama viskometer ini adalah dibutuhkannya sedikit saja cairan *sample*, sensitivitas yang tinggi, kemudahan operasi, pengukuran dapat dilakukan secara kontinu, jangkauan pengukuran yang lebar, mudah untuk dibersihkan, dan konstruksi yang sederhana.

Viskometer vibrasional mengukur redaman dari sebuah resonator elektromekanik yang berada pada cairan uji. Resonator tersebut akan berosilasi di dalam cairan uji, redamannya dapat diukur dengan metode berikut :

- 1) Sebuah daya tertentu sesuai yang disyaratkan untuk membuat osilator berosilasi secara konstan, Amplitudo yang tepat diukur. Semakin tinggi nilai viskositasnya, maka semakin besar pula daya yang dibutuhkan.

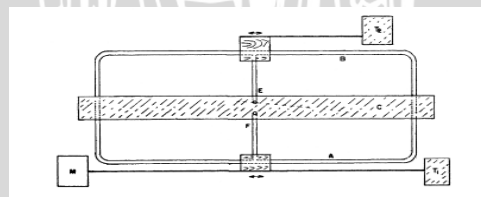
- 2) Getaran resonator dihentikan dan waktu yang dibutuhkan resonator untuk mencapai keadaan diam diukur. Semakin tinggi viskositas maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan
- 3) Frekuensi resonator sebagai fungsi dari sudut fase antara eksitasi dan respon gelombang diukur. Semakin tinggi viskosita maka semakin besar perubahan frekuensi untuk perubahan fase tertentu.

Viskometer vibrasional mempunyai tiga klasifikasi desain yaitu:

- 1) *Tuning Fork Technology*
- 2) *Oscilating Sphere*
- 3) *Vibrating Rod*

2.2.7 Viskometer Ultrasonik

Viskometer ultrasonik menyediakan pengukuran viskositas yang cepat dan kontinu dengan memanfaatkan gelombang suara frekuensi ultra tinggi. Viskometer ultrasonik pertama, yang disebut "Ultra-Viscoson" dikembangkan oleh Kaya-Roth Laboratories, Hartford, Connecticut, USA.¹³⁴ Viskometer ini terdiri dari elemen penginderaan kecil atau *probe* yang direndam dalam cairan uji. Alat ini dapat beroperasi pada rentang temperatur dari - 93 sampai 315°C serta dalam ruang hampa. Alat ini memiliki utilitas tinggi sehubungan dengan sistem distilasi kilang vakum.



Gambar 2.9 Diagram Skema Viskometer Ultrasonik

Sumber: Viswanath, Dabir .S .2007: 84

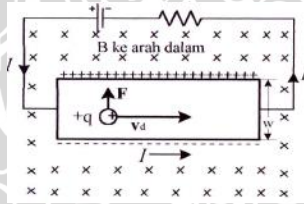
Skema viskometer ultrasonik ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Pada penerapannya metode pengukuran dengan ultrasonik sendiri tidak hanya menggunakan sebuah skema seperti pada Gambar 2.9.

2.3 Sensor Magnetik

Sensor magnetik adalah sebuah transduser yang mengubah fluksi magnetik menjadi suatu nilai tegangan. Tegangan keluaran sensor akan bertambah besar jika fluksi magnetik yang terdeteksi juga bertambah besar.

Sensor magnet bekerja menggunakan prinsip efek Hall atau memanfaatkan efek *magnetoresistants*. Sensor magnetik memiliki beberapa kelebihan linearitas dan kestabilan yang tinggi, tidak merusak (non-destruktif), sensitivitas yang tinggi, *reliable*, dan relatif sederhana dan biaya operasi yang relatif murah.

Sensor magnetik yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan efek hall sebagai dasar cara kerjanya. Ketika konduktor yang bermuatan/dialiri arus berada pada tengah suatu magnet, secara langsung medan magnet akan memberikan gaya menyamping pada muatan-muatan yang berada di konduktor.



Gambar 2.10 Skema Medan Magnet Partikel Positif

Sumber: Suseno, Jatmiko.2009: 2

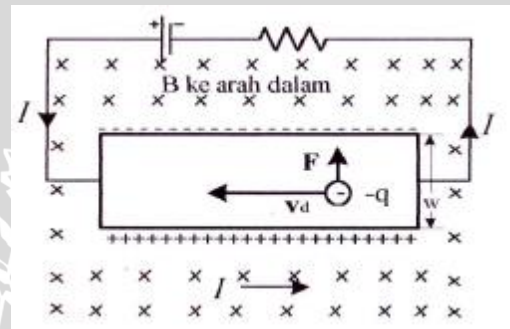
Dalam Gambar 2.10 dua buah lempengan logam mengalirkan arus I ke arah kanan. Lempengan ini berada dalam medan magnetik yang mengarah ke dalam. Dalam Gambar 2.10 diasumsikan bahwa arus tersebut terdiri atas muatan positif yang bergerak ke kanan. Gaya magnetik pada partikel ini adalah

$$F = qv_d \times B \quad (2.24)$$

Dengan v_d adalah kecepatan pembawa muatan. Gaya magnetik ini mengarah ke atas. Sehingga partikel positif bergerak ke atas lempengan, yang membuat bagian bawah lempengan itu mengandung muatan negatif. Pemisahan muatan ini menghasilkan medan elektrostatis pada lempengan yang melawan gaya magnetik pada pembawa muatannya.

Apabila medan elektrostatis dan medan magnetik seimbang, pembawa muatan tidak lagi bergerak ke atas. Pada keadaan setimbang, bagian atas lempengan tadi bermuatan lebih positif sehingga berada pada potensial yang lebih tinggi dari bagian bawah yang bermuatan negatif.

Jika arus itu terdiri atas partikel bermuatan negatif seperti skema yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11 maka pembawa muatan harus bergerak ke kiri (karena arusnya masih tetap ke kanan). Gaya magnetik $q \mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$ dalam hal ini ke atas karena tanda q maupun \mathbf{v}_d telah diubah. Pembawa muatan bergerak ke bagian atas lempengan sehingga keadaan sekarang seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Skema Medan Magnet Partikel Negatif

Sumber: Suseno, Jatmiko.2009: 2

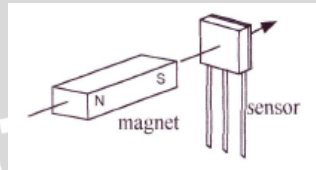
Besar gaya magnetik pembawa muatan dalam lempengan adalah $q\mathbf{v}_d \times \mathbf{B}$. Gaya magnetik ini diimbangi oleh gaya elektrostatis yang besarnya qE dimana E adalah medan listrik akibat pemisahan muatan tersebut sehingga diperoleh Persamaan (2.25).

$$E = v_d \times B \quad (2.25)$$

Jika lebar lempengannya w dan beda potensial adalah Ew maka diperoleh tegangan Hall seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2.26).

$$V_H = Ew = v_d \times Bw \quad (2.26)$$

Semua peralatan Efek Hall diaktifkan oleh adanya medan magnet. Medan magnet mempunyai dua karakteristik yang penting yaitu densitas fluksi dan polaritas. Rata-rata perancangan saklar digital menggunakan Efek Hall dirancang dengan metode tidak aktif jika tidak ada medan magnet (rangkaiian terbuka pada keluaran). Saklar akan aktif jika hanya dikenai medan magnet yang memiliki densitas yang cukup dan arah yang tepat.



Gambar 2.12 Arah Medan Magnetik

Sumber: Suseno, Jatmiko.2009: 3

Syarat pengoperasiannya sesuai prinsip kerja sensor magnetik yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12. Garis fluksi magnet harus tegak lurus pada permukaan sensor, dan harus memiliki polaritas yang tepat. Salah satu jenis sensor efek hall adalah UGN 3503 U. IC ini adalah IC Hall linear dimana terdapat 3 komponen utama yaitu: elemen sensor, amplifier, dan buffer. Sensor ini memberikan tegangan keluaran yang sebanding dengan besarnya fluksi magnetik. Keluaran sensor pada saat medan magnet 0 gauss adalah $\frac{1}{2} * V_{cc}$. Selain itu jika medan bernilai positif (kutub selatan di berhimpit dengan IC) maka tegangan keluaran juga semakin besar. Sebaliknya jika medan bernilai negatif maka tegangan keluaran juga semakin kecil.

2.4 Sensor Suhu dan Rangkaian Pengondisi Sinyal

Sensor suhu yang digunakan dalam perancangan kali ini adalah sensor suhu jenis RTD dengan tipe PT 100. Sensor ini adalah sensor yang cukup lazim digunakan pada dunia industri. Ketelitian dan karakteristik sensor ini tepat untuk mengukur suhu tinta sehingga perancang menggunakan PT 100 dalam perancangan kali ini. Sedangkan rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu yang digunakan adalah penguat differensial, rangkaian jembatan wheatstone, serta *low pass filter*.

2.4.1 Resistance Temperature Detectors (RTD)

Resistance Temperature Detector (RTD) atau dikenal dengan Detektor Temperatur Tahanan adalah sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran suatu temperatur/suhu. Alat ini menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Semakin panas benda tersebut semakin besar atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya.



Gambar 2.13 PT 100

Sumber : pico Technology.2012.PT 100 Platinum Resistance Thermometers.

<http://www.picotech.com/applications/pt100.html>.2013

Gambar 2.13 menunjukkan sebuah sensor PT100 yang dikualifikasikan sebagai sensor RTD. Sensor ini sering digunakan dalam dunia industri. Prinsip dasar RTD adalah jika pada tahanan listrik dari logam yang bervariasi sebanding dengan suhu. Kesebandingan variasi ini adalah presisi dengan tingkat konsisten/kestabilan yang tinggi pada pendeteksian tahanan. Platina adalah bahan yang sering digunakan karena memiliki tahanan suhu, kelinearan, stabilitas, dan reproduksibilitas.

Resistance Temperature Detector merupakan sensor pasif karena sensor ini membutuhkan energi dari luar. Elemen yang umum digunakan pada tahanan resistansi adalah kawat nikel, tembaga, dan platina murni yang dipasang dalam sebuah tabung guna untuk memproteksi terhadap kerusakan mekanis. *Resistance Temperature Detector* (PT100) digunakan pada kisaran suhu -200°C sampai dengan 650°C .

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu.

PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karena itu namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.

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

PT100 tipe DIN (Standard Eropa) memiliki resolusi 0,385 ohm per 1°C. Jadi resistansinya akan naik sebesar 0,385 ohm untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Untuk mengukur suhu secara elektronik menggunakan sensor suhu PT100 maka kita harus mengeksitasinya dengan arus yang tidak boleh melebihi nilai 1 mA. Hal ini karena jika dialiri arus melebihi 1 mA maka akan timbul efek *self-heating*. Jadi, seperti layaknya komponen resistor maka kelebihan arus akan diubah menjadi panas internal. Akibatnya hasil pengukuran menjadi tidak sesuai lagi.

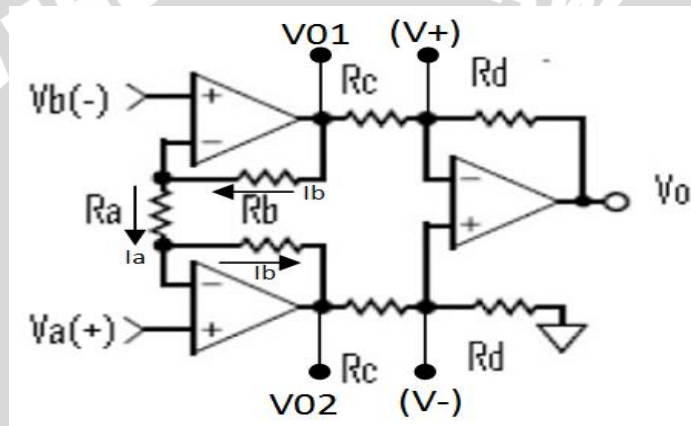
2.4.2 Rangkaian Pengondisi Sinyal

Sebuah sensor digunakan untuk mengukur suatu variabel dinamik dengan mengkonversinya kedalam sinyal elektrik. Untuk mengembangkan sensor ini terdapat pengaruh dari kondisi alam, sehingga hanya ada beberapa tipe yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Efek pengondisi sinyal sering dinyatakan dengan fungsi alihnya (*transfer function*). Dengan istilah ini kita menghubungkan efek yang ditimbulkan dengan sinyal *input*. Jadi, sebuah

amplifier sederhana mempunyai fungsi alih dari beberapa konstanta dan ketika dikalikan dengan tegangan *input*, memberikan tegangan *output*.

2.4.2.1 Penguat Instrumentasi

Rangkaian Penguat instrumentasi adalah rangkaian penguat diferensial yang ditambahkan dengan rangkaian pengikut tegangan. Rangkaian penguat instrumentasi dapat diatur besar penguatannya dengan cara mengatur besar nilai resistansi resistor-resistor yang ada. Skema rangkaian Penguat instrumentasi ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Penguat Instrumentasi

Sumber : Herbert, George. 2011. Instrumentasi akuisisi Data ECG

<http://tryanythingknoweverything.blogspot.com/2011/01/instrumentasi-akuisisi-data-ecg.html>

2013

Sebuah penguat instrumentasi yang terdiri dari rangkaian pengikut tegangan dan rangkaian diferensial ditunjukkan dalam Gambar 2.14. Persamaan (2.31) menyimpulkan persamaan perubahan tegangan keluaran penguat instrumentasi terhadap perubahan $V_a - V_b$.

$$(V+) = \frac{R_d}{R_d + R_c} \cdot V_{O2} \tag{2.27}$$

$$\frac{V_{O1} - (V-)}{R_c} = \frac{(V-) - V_0}{R_d} \tag{2.28}$$



Substitusi persamaan (2.27) pada persamaan (2.28) dimana diketahui $(V+) = (V-)$.

$$V_{01} - \frac{R_d}{R_c + R_d} \cdot V_{02} = \frac{R_c}{R_d + R_c} \cdot V_{02} - V_o \cdot \frac{R_c}{R_d}$$

$$V_o \cdot \frac{R_c}{R_d} = V_{02} - V_{01}$$

$$V_o = \frac{R_d}{R_c} (V_{02} - V_{01}) \quad (2.29)$$

Jika diketahui $I_b = I_a$

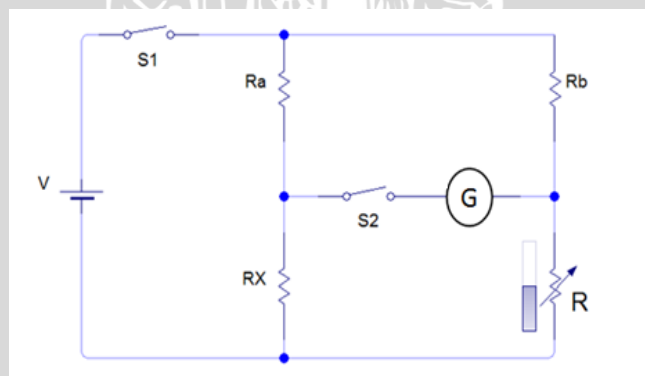
$$\frac{V_b - V_a}{R_a} = \frac{V_{01} - V_{02}}{R_b + R_b + R_a} \quad (2.30)$$

Substitusi persamaan (2.29) pada persamaan (2.30)

$$V_0 = \frac{R_a \cdot R_d + 2R_b \cdot R_d}{R_a \cdot R_c} \cdot (V_a - V_b) \quad (2.31)$$

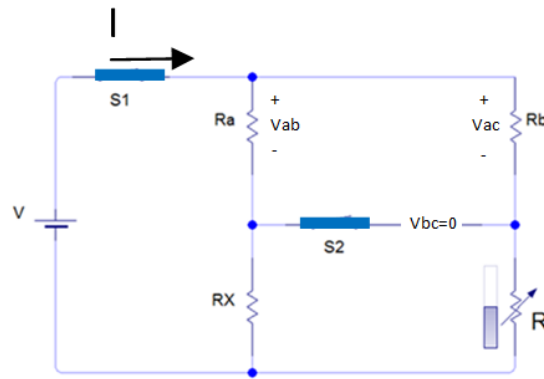
2.4.2.2 Rangkaian Jembatan Wheatstone

Jembatan wheatstone adalah serangkaian resistor yang pada prinsipnya merupakan penggabungan dua buah rangkaian pembagi tegangan. Dimana salah satu resistansi yang digunakan tidak diketahui nilainya. Jembatan wheatstone merupakan salah satu jenis jembatan arus searah.



Gambar 2.15 Rangkaian Jembatan Wheatstone

Dengan menutup saklar S_1 dan S_2 maka pada galvanometer akan mengalir arus sebesar I_g . Dengan mengatur besar resistansi R sedemikian hingga $I_g = 0$ maka galvanometer dapat dilepaskan dari rangkaian.



Gambar 2.16 Analisis Rangkaian Jembatan Wheatstone

Dari Gambar 2.16 didapatkan penurunan rumus untuk mendapatkan Persamaan (2.33). Sehingga untuk $R_a = R_b$, maka $R_x = R$. Dengan demikian nilai R_x dapat dicari tanpa adanya pengaruh dari besar nilai tegangan sumber.

$$\sum V = 0$$

$$-V_{bc} - V_{ab} + V_{ac} = 0$$

$$0 - V_{ab} + V_{ac} = 0$$

$$V_{ab} = V_{ac}$$

$$\frac{R_a}{R_a + R_x} \cdot V = \frac{R_b}{R_b + R} \cdot V$$

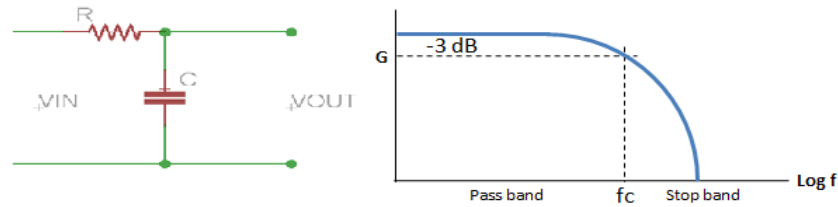
$$R_x = \frac{R_a}{R_b} \cdot R. \tag{2.33}$$

2.4.2.3 Low Pass Filter

Low pass filter atau filter lolos rendah adalah filter yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* (f_c), selain itu juga akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off* (f_c). Pada filter lolos rendah ideal sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi *cut-off* (f_c) tidak akan dilewatkan sama sekali.



Rangkaian *low pass filter* RC merupakan jenis filter pasif dengan respon frekuensi yang ditentukan oleh konfigurasi R dan C. Rangkaian dasar dan grafik respon frekuensi *low pass filter* ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Rangkaian Dasar dan Grafik Respon Frekuensi *Low Pass Filter* RC

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.34)$$

Persamaan matematis frekuensi *cut-off* (f_c) dari *low pass filter* dituliskan dalam Persamaan (2.34). Rangkaian filter pasif RC pada Gambar 2.17 tampak seperti pembagi tegangan menggunakan R. Dimana pada filter RC ini tegangan *output* diambil pada titik pertemuan RC. Tegangan *output* (V_{out}) filter pasif lolos rendah dapat diekspresikan dalam persamaan matematis seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2.35).

$$V_{out} = \frac{1/j\omega C}{1/j\omega C + R} \cdot V_{in} \quad (2.35)$$

Besarnya penguatan tegangan (G) pada filter pasif yang ideal maksimum adalah $1 = 0\text{dB}$ yang hanya terjadi pada frekuensi sinyal input dibawah frekuensi *cut-off* (f_c). Penguatan tegangan (G) filter RC pasif dapat dituliskan dalam persamaan matematis seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2.36). Penguatan tegangan (G) filter lolos rendah RC dapat dituliskan dalam persamaan matematis seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2.37) dan Persamaan (2.38)

$$G = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \quad (2.37)$$

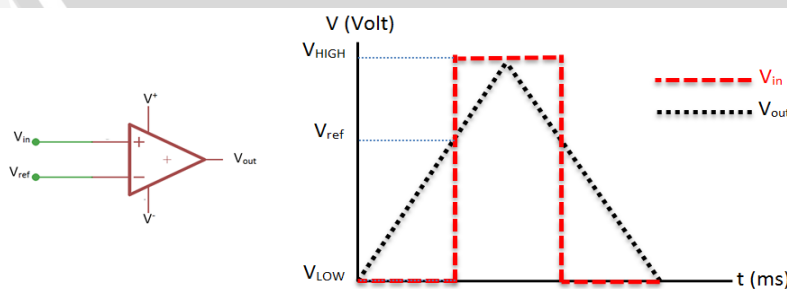
$$G = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} = 20 \log \frac{1}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \quad (2.38)$$

Pada filter lolos rendah terdapat beberapa karakteristik rangkaian yaitu:

- 1) Pada saat frekuensi sinyal *input* lebih rendah dari frekuensi *cut-off* (f_c) ($f_{in} \ll f_c$) maka penguatan tegangan / Gain (G) = 1 atau $G=0\text{dB}$.
- 2) Pada saat frekuensi sinyal *input* sama dengan frekuensi *cut-off* (f_c) ($f_{in} = f_c$) maka $\omega = 1/RC$ sehingga penguatan tegangan / Gain (G) menjadi -3 dB atau terjadi pelemahan tegangan sebesar 3 dB.
- 3) Pada saat frekuensi sinyal *input* lebih tinggi dari frekuensi *cut-off* (f_c) ($f_{in} \gg f_c$) maka besarnya penguatan tegangan (G) = $1/\omega RC$ atau $G = -20 \log \omega RC$.
- 4) Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa filter lolos rendah hanya akan meloloskan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* (f_c).

2.4.2.4 Komparator

Komparator adalah pengkondisi sinyal yang mengolah sebuah sinyal *input* berupa level tegangan (V_{in}) tertentu dan membandingkan sinyal *input* tersebut dengan sebuah tegangan referensi (V_{ref}). Keluaran yang diharapkan dari proses perbandingan sinyal yang dilakukan adalah sinyal *output* (V_{out}) yang berlogika tinggi (V_{HIGH}) jika $V_{in} > V_{ref}$. Sebaliknya jika $V_{in} \leq V_{ref}$ maka V_{out} berada pada logika rendah (V_{LOW}). Grafik respon tegangan sinyal-sinyal pada komparator terhadap waktu serta rangkaian dasar komparator ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Rangkaian Dasar dan Grafik Respon Komparator

2.5 Mikrokontroler Arduino-UNO

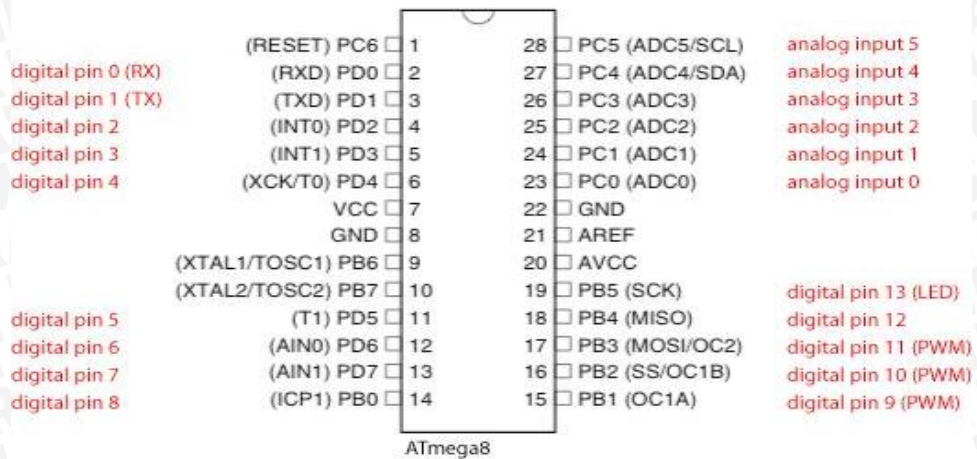
Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa IC (*Integrated Circuit*) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program) yang dibuat oleh *programmer*. Mikrokontroler merupakan contoh suatu sistem komputer sederhana yang masuk dalam kategori *embedded computer*. Dalam sebuah struktur mikrokontroler akan kita temukan juga komponen-komponen seperti: prosesor, memori, *clock*, dan lain lain.

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source* diturunkan dari *wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino adalah kit mikrokontroler yang mudah penggunaannya. Untuk membuatnya diperlukan *chip programmer* (untuk menanamkan *bootloader* Arduino pada *chip*).

Arduino merupakan *single board hardware* yang *open-source* dan juga *softwarena* pun dapat kita akses secara langsung karena bersifat *open source*. Disisi *software*, Arduino dapat dijalankan pada sistem operasi seperti Linux, Windows, atau juga Mac. *Hardware* Arduino merupakan mikrokontroler yang berbasis AVR dari ATMEL yang didalamnya sudah diberi *bootloader* dan juga sudah terdapat standart pin I/Onya. Arduino-UNO berbasis Atmega 328.

Berikut ini adalah kelebihan Arduino:

1. Tidak perlu perangkat *chip programmer* karena di dalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari komputer.
2. Sudah memiliki sarana komunikasi USB sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki *port serial/RS323* bisa menggunakan nya.
3. Bahasa pemrograman relatif mudah karena *software* Arduino dilengkapi dengan kumpulan *library* yang cukup lengkap.
4. Memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada *board* Arduino. Misalnya *shield GPS, Ethernet, SD Card*, dan lain-lain.



Gambar 2.19 Hubungan pin Atmega 328 dengan pin Arduino-UNO

Sumber : Tanpa nama. ATmega8-Arduino Pin Mapping.2012.<http://arduino.cc/>.2013

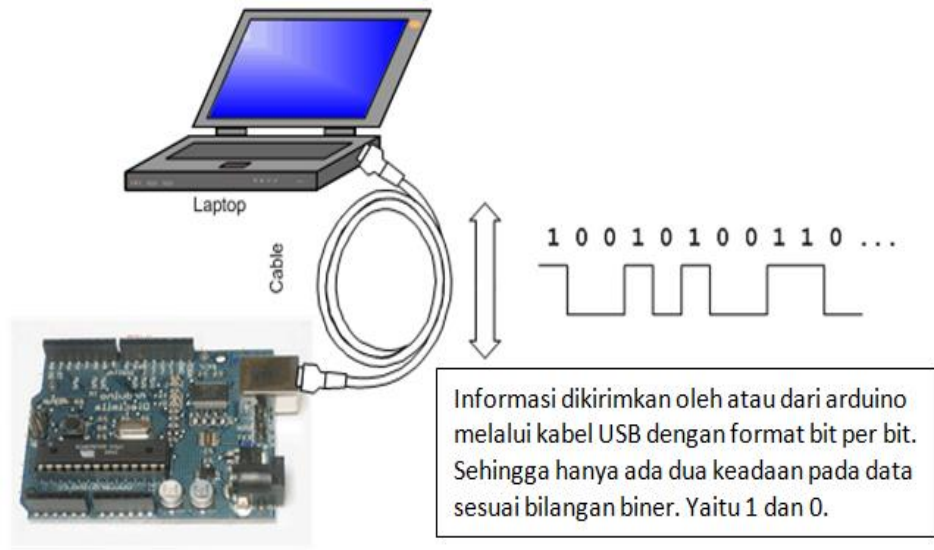
Dapat disimpulkan dari Gambar 2.19 bahwa Atmega 328 memiliki 4 port, 6 buah masukan analog, dan 14 buah pin digital. Dalam sebuah modul mikrokontroler arduino keseluruhan komponen tersebut disinergikan untuk menghasilkan pin-pin yang terdapat dalam Gambar 2.19.

2.6 Transfer Data Serial Komputer – Arduino

Transfer data dari komputer ke mikrokontroler dilakukan melalui komunikasi serial. Proses komunikasi serial adalah proses komunikasi dimana data dikirim atau diterima dari bit ke bit satu persatu.

Proses komunikasi serial tersebut sangat penting dilakukan dalam aplikasi nyata untuk memberikan masukan atau meminta hasil dari proses yang telah terjadi/dilakukan oleh mikrokontroler.

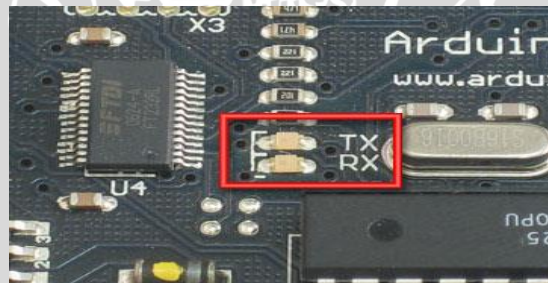
Untuk melakukan komunikasi serial pada mikrokontroler Arduino tidak dibutuhkan lagi kabel RS 232 karena modul Arduino telah dilengkapi dengan fitur kabel USB. Proses komunikasi Arduino dengan komputer ditunjukkan dalam Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Transfer bit serial

Sumber : Tanpa nama. *Serial transfer*.2012. <http://arduino.cc/>.2013

Ketika dilakukan pengiriman data melalui kabel USB oleh komputer, maka pada modul Arduino *led* RX akan berkedip. Sebaliknya ketika dilakukan pengiriman data oleh mikrokontroler, maka *led* TX akan berkedip.



Gambar 2.21 Led Pengiriman Data

Sumber : Tanpa nama. *Serial transfer*.2012.<http://arduino.cc/>.2013

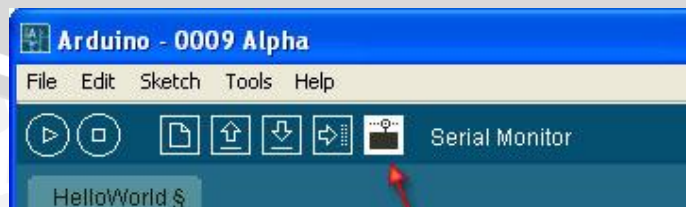
Gambar 2.21 menunjukkan letak *led* yang dimaksudkan pada modul Arduino. Jika terdapat pengiriman data dari mikrokontroler, maka led TX akan berkedip. Sebaliknya jika mikrokontroler menerima data maka led RX yang akan berkedip.

Untuk menggunakan aplikasi transmisi data ini kita perlu melakukan pengaturan pada awal program seperti berikut :

```
Void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
}  
  
Void loop()  
{  
}
```

Pada struktur program diatas *serial* adalah nama *library* yang digunakan, *begin* adalah nama prosedurnya, dan 9600 adalah besar nilai masukannya. 9600 adalah nilai dengan satuan bps atau bit per *second*.

Pada modul arduino terdapat sebuah keuntungan lain pada saat kita ingin menggunakan aplikasi transmisi data serial. Keuntungan ini adalah disediakan tampilan serial (*serial monitor*) pada *software* Arduino. Jadi tidak diperlukan langkah lain untuk mengatur atau membuat tampilan serial dari Java atau *software* lainnya.



Gambar 2.22 Serial monitor

Sumber : Tanpa nama. *Serial Monitor*.2012.<http://arduino.cc/>.2013

Gambar 2.22 menunjukkan tombol yang terdapat pada arduino untuk mengakses tampilan serial pada Arduino. Pada tampilan serial pengguna dapat menampilkan hasil pembacaan data. Selain itu hasil pengolahan data oleh mikrokontroler juga dapat ditampilkan.

2.7 Kontrol Logika Fuzzy

Fuzzy secara harfiah berarti samar sedangkan kebalikannya dalam hal ini adalah *Crisp* yang secara harfiah berarti tegas. Dalam kehidupan sehari-hari nilai samar lebih akrab daripada nilai tegas. Temperatur tertentu biasa dinyatakan sebagai panas, agak panas, atau sangat dingin daripada dinyatakan dalam nilai terukur tertentu.

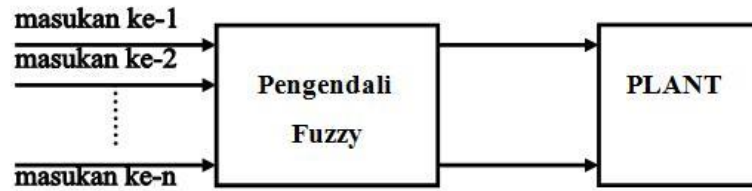
Tahun 1965 L.A. Zadeh memodifikasi teori himpunan yang disebut himpunan kabur (*fuzzy Set*). Himpunan *fuzzy* di dasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu nilai dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Dengan kata lain nilai kebenaran suatu hal tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar, dan masih ada nilai-nilai yang terletak diantaranya.

Sejak tahun 1982 pengendalian berbasis logika *fuzzy* mengalami perkembangan pesat terutama dalam hubungannya dengan penyelesaian masalah kendali. Kesulitan ini disebabkan karena penyelesaian masalah kendali bersifat tak linier, sulit dimodelkan, berubah karakteristiknya terhadap waktu (*time varying*), dan kompleks (Sivanandam, 2006).

2.7.1 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

Dalam sistem pengendalian dengan logika *fuzzy* dilibatkan suatu blok pengendali yang menerima satu atau lebih masukan. Sistem pengendalian fuzzy juga mengumpankan satu atau lebih keluaran ke plant atau blok lain sebagaimana

ditunjukkan dalam Gambar 2.23. Komponen utama penyusun kontrol logika *fuzzy* adalah unit fuzzifikasi, *fuzzy inference*, dan unit defuzzifikasi.



Gambar 2.23 Pengendali Fuzzy
 Sumber : Coughanowr,1991

2.7.2 Fungsi Keanggotaan

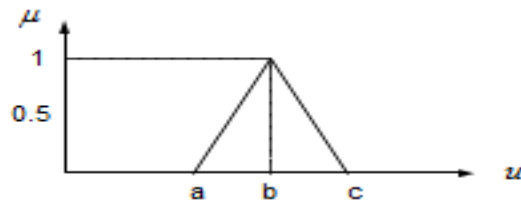
Fungsi keanggotaan menotasikan nilai kebenaran anggota-anggota himpunan *fuzzy*. Interval nilai yang digunakan untuk menentukan fungsi keanggotaan yaitu nol dan satu. Tiap fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan *crisp* ke semesta himpunan *fuzzy*.

Suatu himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan, μ_A yang harganya berada dalam interval [0,1]. Secara matematika hal ini dinyatakan dengan $\mu_A : U \rightarrow [0,1]$.

Terdapat 2 bentuk fungsi keanggotaan yang biasanya digunakan dalam sistem kontrol logika *fuzzy*:

- 1) Fungsi keanggotaan bentuk triangular

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u - a}{b - a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c - u}{c - b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases}$$



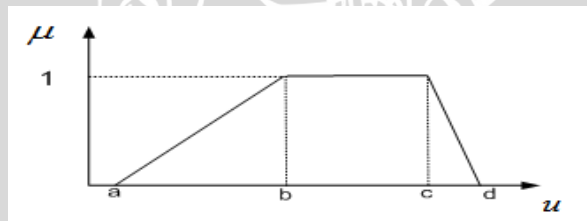
Gambar 2.24 Fungsi Keanggotaan Bentuk Triangular

Sumber : Yan, 1994

Fungsi keanggotaan bentuk triangular ini digunakan bila diinginkan himpunan *fuzzy* mempunyai nilai proporsional terhadap nol maupun satu. Fungsi keanggotaan bentuk triangular ditunjukkan dalam Gambar 2.24.

2) Fungsi Keanggotaan bentuk trapesium

$$T(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & c \leq u \leq d \\ 0 & d \leq u \end{cases}$$



Gambar 2.25 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium

Sumber : Yan, 1994

Fungsi keanggotaan bentuk Trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.25. Fungsi keanggotaan memiliki bagian yang mempunyai nilai keanggotaan 1 pada beberapa titik.

2.7.3 Kontroler Logika *Fuzzy*

Kontroler logika *fuzzy* adalah sistem berbasis aturan (*rule based system*) yang didalamnya terdapat himpunan aturan *fuzzy* yang mempresentasikan

mekanisme pengambilan keputusan. Aturan yang dibuat digunakan untuk memetakan variabel input ke variabel output dengan pernyataan *If - Then*.

Kontroler ini akan menggunakan data tertentu (*crisp*) dari sejumlah sensor kemudian mengubahnya menjadi bentuk linguistik atau fungsi keanggotaan melalui proses *fuzzyfikasi*. Lalu dengan aturan *fuzzy*, *inference engine* yang akan menentukan hasil keluaran *fuzzy*. Setelah itu hasil ini akan diubah kembali menjadi bentuk numerik melalui proses *defuzzyfikasi*.

2.7.4 *Fuzzyfikasi*

Proses *fuzzyfikasi* merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik dikuantisasi dahulu sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy*. Nilai ini harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Proses ini disebut *fuzzyfikasi* (Yan,1994).

$$x = \text{fuzzifier}(x_0) \quad (2.39)$$

Dimana x_0 adalah nilai *crisp* variabel masukan, x adalah himpunan *fuzzy* variabel yang terdefinisi, dan *fuzzifier* adalah operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*.

Pedoman memilih fungsi keanggotaan untuk proses *fuzzyfikasi* menurut Jun Yan, menggunakan :

- 1) Himpunan *fuzzy* dengan distribusi simetris.
- 2) Gunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah kaidah (*rules*).
- 3) Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.
- 4) Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesium.

2.7.5 Kaidah Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule)

Fuzzy rule adalah bagian yang menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan, dikarakteristikan oleh sekumpulan variabel-variabel linguistik dan berbasis pengetahuan seorang operator ahli. Pernyataan tersebut umumnya dinyatakan oleh suatu pernyataan bersyarat.

Dalam pengendali berbasis *fuzzy*, aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk aturan “IF – THEN”. Untuk sebuah sistem *Multi Input Single Output* (MISO) basis aturan pengendalian *fuzzy* berbentuk seperti berikut ini,

Rule 1 IF X is A_1 AND Y is B_1 THEN Z is C_1

Rule 2 IF X is A_2 AND Y is B_2 THEN Z is C_2

Rule n IF X is A_n AND Y is B_n THEN Z is C_n

Dengan X, Y, Z merupakan variabel linguistik dimana X dan Y merupakan variabel masukan dan Z merupakan variabel keluaran sistem. A_n , B_n , dan C_n merupakan nilai linguistik dari X, Y, dan Z (Lee, 1990).

2.7.6 Metode Inferensi MAX-MIN

Metode inferensi merupakan proses untuk mendapatkan keluaran dari suatu kondisi masukan dengan mengikuti aturan-aturan yang telah ditetapkan. Keputusan yang didapatkan pada proses ini masih dalam bentuk *fuzzy* yaitu derajat keanggotaan keluaran.

Pada metode Max–Min aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi *fuzzy*. Persamaan aturan minimum adalah

$$\mu_{C_i} = \bigcup_1^n \alpha_i \wedge \mu_{C_i} \quad (2.40)$$

dengan $\alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$

Sebagai contoh, terdapat dua basis kaidah atur *fuzzy*, yaitu :

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

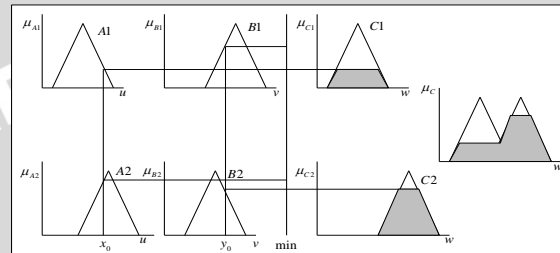
R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

Pada metode penalaran MAX-MIN fungsi keanggotaan dinyatakan dengan persamaan 2.36. Deskripsi metode ditunjukkan dalam Gambar 2.28

$$\mu_{c_1}(W) = \mu_{c_1} \vee \mu_{c_2} = [\alpha_1 \wedge \mu_{c_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{c_2}(w)] \quad (2.41)$$

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad (2.42)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.43)$$



Gambar 2.26 Inferensi Fuzzy dengan Metode MAX-MIN

Sumber : Yan, 1994

2.7.7 Metode Defuzzifikasi Center Of Gravity (COG)

Defuzzifikasi adalah proses untuk mendapatkan nilai numerik dari data fuzzy yang dihasilkan dari proses inferensi (Yan, 1994). Proses defuzzifikasi dinyatakan sebagai berikut

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (2.44)$$

Dimana y adalah aksi kontrol fuzzy, y_0 adalah aksi kontrol crisp, dan defuzzifier adalah operator defuzzifikasi

Metode (Center Of Gravity) didefinisikan dalam persamaan (2.45).

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.45)$$

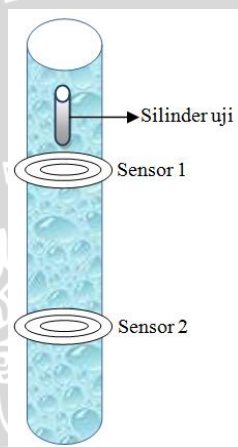
Dimana U adalah keluaran, w_i adalah bobot nilai benar w_i , u_i adalah nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran, n adalah banyak derajat keanggotaan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Skripsi ini disusun dengan berdasarkan suatu masalah yang bersifat aplikatif. Masalah ini meliputi perancangan dan implementasi sistem. Agar perancangan ini dapat bekerja sesuai tujuan penelitian perlu disusun langkah-langkah penelitian yang sistematis. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mengimplementasikan sistem yang dirancang adalah perancangan dan pembuatan alat dan pengujian alat.

3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat



Gambar 3.1 Skema Tata Letak Sensor Magnet dan Silinder Uji

Gambar 3.1 menunjukkan skema letak sensor magnet 1 dan sensor magnet 2. Perancangan dan pembuatan alat akan dilakukan agar alat dapat bekerja sesuai dengan algoritma kerja berikut:

- 1) Alat menunggu perintah *running* dari operator.
- 2) Setelah ada perintah *running*, dan mode yang dimasukkan oleh operator alat akan memproses perintah tersebut. Terdapat 2 mode pada alat tersebut yaitu : mode uji dan mode kontrol.
- 3) Mode uji :
 - a) Pada keadaan awal (keadaan dimana alat berada pada kondisi *standby* sebelumnya) pompa tinta akan dinyalakan selama 1 menit.
 - b) Melakukan pemeriksaan terhadap data kiriman dari PC.
 - c) Pompa akan kembali mati setelah waktu yang ditentukan, sehingga magnet uji akan mulai turun bersama dengan turunnya tinta.

- d) Ketika bola uji melewati sensor 1, maka sensor ini akan aktif, dan kemudian mati kembali.
 - e) Ketika bola uji melewati sensor 2, maka sensor ini akan aktif kemudian mati kembali.
 - f) Ketika sensor 1 aktif, maka akan dihitung berapa waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak sensor 1 dengan sensor 2 oleh mikrokontroler. Perhitungan ini berakhir ketika sensor 2 aktif, yang berarti jarak sensor 1 hingga sensor 2 telah ditempuh.
 - g) Waktu tempuh dicatat sebagai nilai uji.
 - h) Melakukan pemeriksaan terhadap data kiriman dari PC.
 - i) Melakukan pemeriksaan temperatur sesuai dengan *range* yang dikehendaki atau tidak. Jika tidak pendingin akan dinyalakan, hal ini dilakukan dengan asumsi selama proses suhu tinta cenderung akan naik.
- 4) Mode Kontrol :
- a) Pada keadaan awal (keadaan dimana alat berada pada kondisi *standby* sebelumnya) pompa tinta akan dinyalakan selama 1 menit.
 - b) Melakukan pemeriksaan terhadap data kiriman dari PC.
 - c) Pompa akan kembali mati setelah waktu yang ditentukan, sehingga magnet uji akan mulai turun bersama dengan turunnya tinta.
 - d) Ketika bola uji melewati sensor 1, maka sensor ini akan aktif, dan kemudian mati kembali.
 - e) Ketika bola uji melewati sensor 2, maka sensor ini akan aktif kemudian mati kembali.
 - f) Ketika sensor 1 aktif, maka akan dihitung berapa waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak sensor 1 dengan sensor 2 oleh mikrokontroler. Perhitungan ini berakhir ketika sensor 2 aktif, yang berarti jarak sensor 1-sensor 2 telah ditempuh.
 - g) Waktu tempuh diatas dicatat sebagai nilai uji.
 - h) Waktu tempuh yang ada akan dibandingkan dengan standar kekentalan yang telah diberikan PC sebelumnya.

- i) Jika lebih besar dari standar maka akan dihidupkan pompa *solvent* selama waktu tertentu, proses kontroler menggunakan logika *fuzzy*.
- j) Melakukan pemeriksaan terhadap data kiriman dari PC.
- k) Melakukan pemeriksaan terhadap temperatur sesuai dengan *range* yang dikehendaki atau tidak. Jika tidak pendingin akan dinyalakan, hal ini dilakukan dengan asumsi selama proses suhu tinta cenderung akan naik. Selain itu kenaikan suhu akan menyebabkan tinta akan semakin mengental.
- l) Kembali ke langkah c.
- m) Ketika hasil pengujian telah sama dengan standar yang ada maka kekentalan tinta saat ini telah sesuai dengan yang ditentukan.

3.2 Pengujian Alat

Untuk mengetahui kinerja alat terhadap kesesuaian dengan perancangan, maka dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan secara bertahap yaitu pada seluruh sub sistem terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.2.1 Pengujian Karakteristik Fluida

Pengujian karakteristik fluida dilakukan untuk mengetahui:

- a) Berapa besar perbandingan perubahan nilai waktu tempuh magnet uji terhadap penambahan sejumlah volume pengencer.
- b) Data yang dibutuhkan untuk melakukan kontrol *fuzzy*.

3.2.2 Pengujian Sensor

Pengujian sensor ini dilakukan agar diketahui bagaimana keluaran sensor saat adanya bola penguji yang terdeteksi. Dan mengamati bentuk sinyal deteksi sudah ideal atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan menjatuhkan magnet uji pada tabung uji dengan jangka waktu yang bervariasi. Pengujian juga dilakukan pada PT 100 dan mengamati perbandingan kerja alat terhadap kesesuaian dengan kerja yang diharapkan.

3.2.3 Pengujian Program *Input Output Data*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah parameter-parameter variabel pada mikrokontroler dapat diubah-ubah. Dan mengamati proses kerja alat dapat dikontrol melalui komputer atau tidak.

3.3 Pengujian Sistem secara Keseluruhan

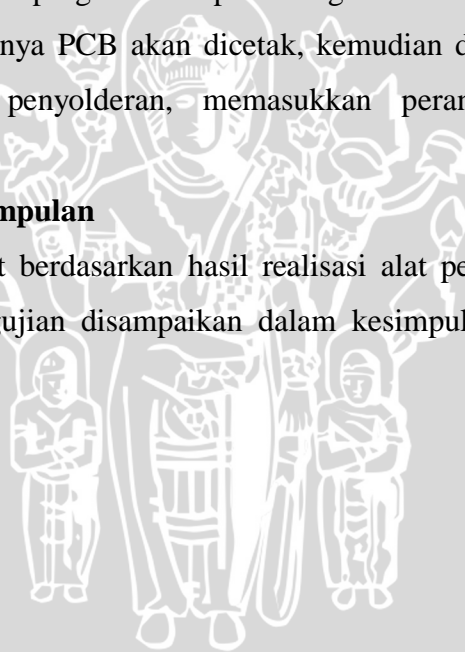
Pengujian ini dilakukan dengan cara menggabungkan semua bagian yang dibuat, kemudian melihat kinerja sistem tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem secara keseluruhan.

3.4 Realisasi Alat

Skema masing-masing blok sistem direalisasikan dalam bentuk desain PCB menggunakan bantuan program komputer Eagle CAD. Setelah tata letak komponen selesai, selanjutnya PCB akan dicetak, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan komponen, penyolderan, memasukkan perangkat lunak dan pengemasan rangkaian.

3.5 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil realisasi alat pengatur kekentalan tinta. Beberapa hasil pengujian disampaikan dalam kesimpulan disertai realita yang ada.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini berisi pembahasan mengenai perancangan dan pembuatan alat pengatur kekentalan tinta. Pembahasan pada bab ini terdiri dari diagram blok sistem, rangkaian *driver* pompa, rangkaian *driver* sensor magnet, rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu, perancangan program pada mikrokontroler, perancangan kontrol *fuzzy*. Perancangan dan pembuatan dilakukan secara bertahap dan sistematis, sehingga mempermudah proses analisis sistem.

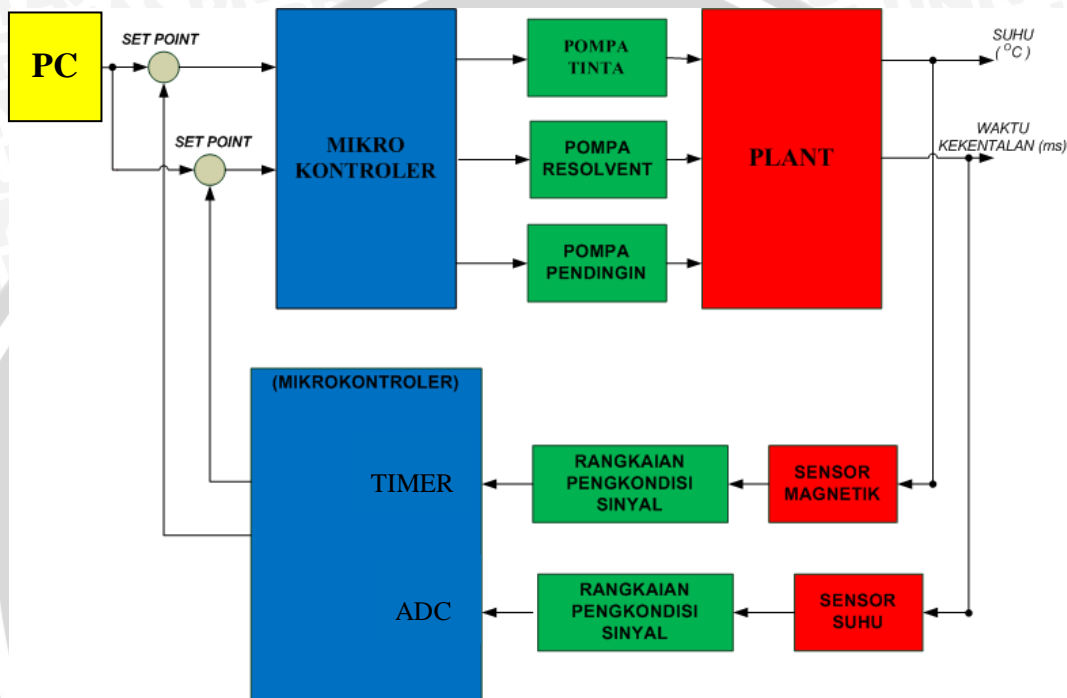
4.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang digunakan dalam perancangan ini adalah:

- 1) Menggunakan dua mode operasi dalam melakukan operasi pengatur viskositas tinta percetakan, yaitu mode kontrol viskositas dan mode uji viskositas dalam satuan waktu (ms).
- 2) Menggunakan sensor magnet UGN3503 dengan *range* deteksi fluksi optimal pada jarak 0.51mm dari filamen sensor. Jarak antara sensor atas dengan sensor bawah adalah 10,1 mm.
- 3) *Range* pengukuran pada sistem mencapai 2949 ms.
- 4) Menggunakan pompa tinta dengan debit 30 liter/menit dan pompa pengencer dengan debit 800 liter/jam.
- 5) Bekerja pada volume cairan minimal 1 liter.
- 6) Menggunakan sensor suhu PT 100 dengan *range* pengukuran 0 – 200 °C.

4.2 Diagram Blok Sistem

Sistem kerja alat pengatur kekentalan yang terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: sensor magnet, sensor suhu, rangkaian pengondisi sinyal, mikrokontroler, dan pompa aksi. Sistem kerja alat ditunjukkan dalam Gambar 4.1 melalui sebuah diagram blok.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem Alat Pengatur Kekentalan

Sistem bekerja berdasarkan mode operasi yang dikendalikan melalui panel kontrol. Mikrokontroler akan menerima masukan *user* melalui *PC* (*Personal Computer*). Masukan tersebut berupa kode untuk memulai serta memilih mode operasi alat. Terdapat dua mode dalam sistem alat pengatur viskositas, yaitu:

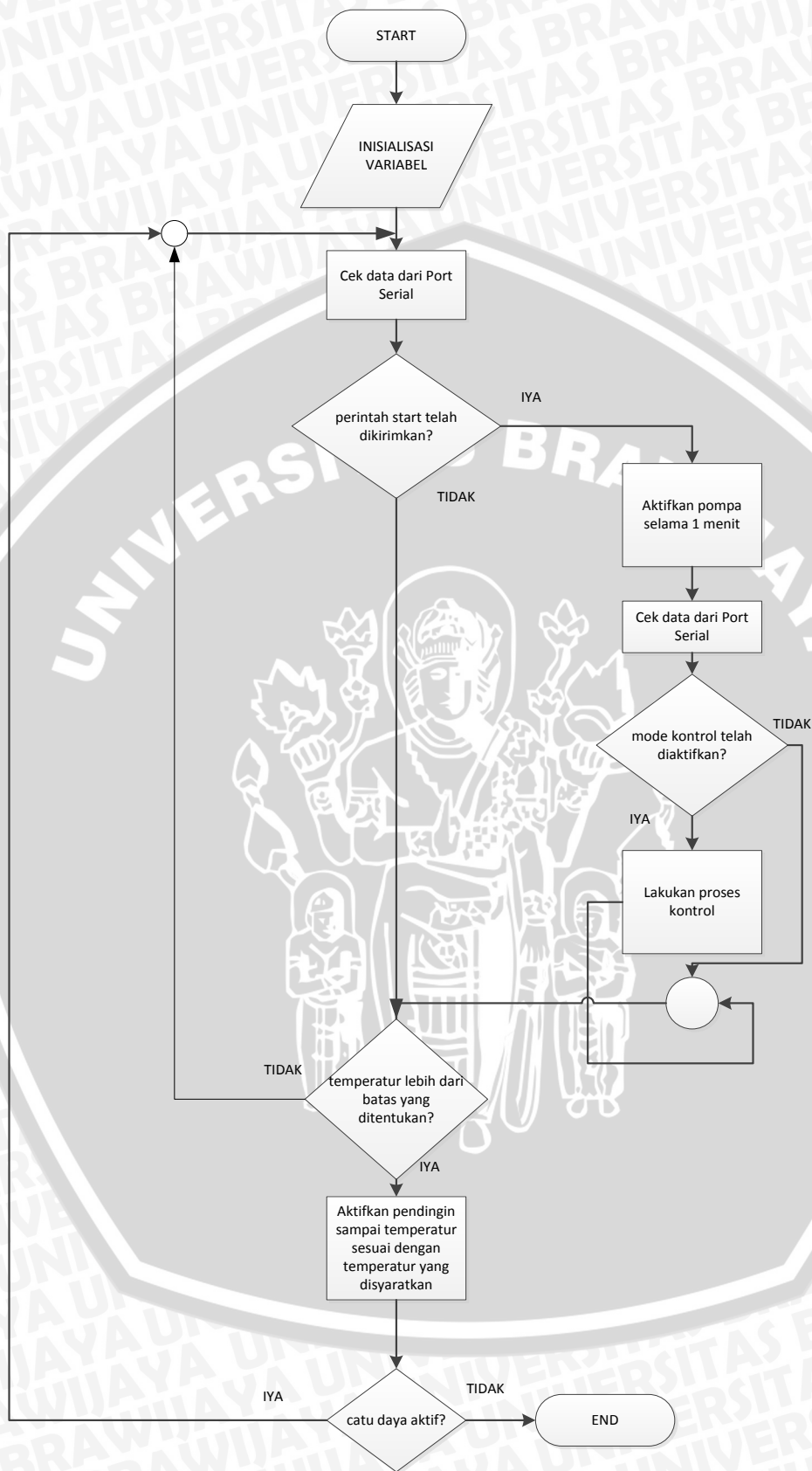
- a) Mode uji merupakan mode yang berfungsi mengukur nilai kekentalan tinta. Nilai kekentalan ditampilkan dalam satuan ms.

- b) Mode kontrol merupakan mode yang berfungsi untuk menghasilkan nilai kekentalan yang diinginkan (dalam satuan ms). Khusus pada mode operasi ini tersedia *set-point* yang dapat diatur sebagai acuan target kekentalan yang akan dihasilkan.

Setelah salah satu mode operasi diaktifkan, mikrokontroler akan memberi sinyal masukkan pada *driver*. Sinyal dari mikrokontroler yang dikuatkan menggunakan rangkaian *driver* digunakan untuk mengaktifkan pompa. Rangkaian *driver* tersebut mempunyai komponen utama yaitu *relay* difungsikan dalam mode *normaly-open* sehingga jika *relay* aktif, maka pompa akan bekerja.

Sensor magnet menempel pada selang transparan akan mendeteksi pergerakan magnet yang mengikuti aliran tinta. Keluaran sensor akan dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal yang selanjutnya akan diolah oleh mikrokontroler.

Sensor suhu pada tinta akan mengindera suhu tinta. Kontrol suhu kerja tinta diharapkan dapat menghasilkan produk yang baik dalam proses pengaturan. Kontrol suhu oleh alat pengatur viskositas menggunakan aliran pendingin sebagai medianya. Jika pompa tinta telah aktif maka tinta akan mengalir sesuai dengan jalur pipa yang diberikan. Pompa tinta akan aktif dengan selang waktu tertentu. Ketika pompa tidak aktif, magnet yang terdorong ke atas oleh aliran tinta akan berbalik turun mengikuti gaya gravitasi. Keseluruhan cara kerja sistem ditunjukkan oleh Gambar 4.2 Diagram alir cara kerja sistem.



Gambar 4.2 Diagram Alir Cara Kerja Sistem Mikrokontroler



4.3 Perancangan Sistem Instrumentasi Elektronika

Perancangan sistem elektronika terdiri dari perancangan rangkaian sensor magnetik, perancangan rangkaian sensor suhu, perancangan rangkaian *driver* pompa, perancangan program *input-output* data pada mikrokontroler, perancangan kontrol logika *fuzzy*.

4.3.1 Perancangan Rangkaian Sensor Magnetik

Rangkaian sensor magnetik terdiri dari pengondisi sinyal sensor magnetik dan sensor magnetik UGN 3503. Rangkaian pengondisi sinyal sensor magnetik berfungsi untuk mengkondisikan sinyal keluaran UGN 3503 agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Kondisi yang diinginkan adalah keluaran sensor magnetik akan berlogika tinggi, yaitu antara 4-5 Volt jika sensor mendeteksi adanya fluksi magnet. Dan berlogika rendah yaitu 0 Volt jika sensor tidak mendeteksi fluksi magnet.

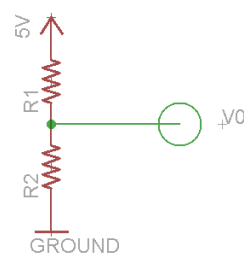
Pengondisi sinyal sensor magnetik tersebut terdiri dari komparator dan *buffer*. Garis besar sistem tersebut ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Diagram Blok Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Magnetik

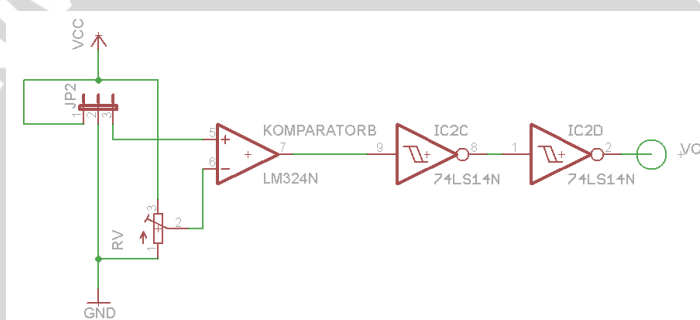
Komparator berfungsi untuk membandingkan tegangan keluaran sensor magnetik UGN 3503 pada saat fluksi tidak terdeteksi dengan keadaan pada saat fluksi terdeteksi. Tegangan saat fluksi maksimal terdeteksi adalah 4 V dan pada saat fluksi kosong adalah 2.5 V. Sehingga diharapkan keluaran komparator akan setara dengan tegangan logika tinggi pada saat fluksi terdeteksi.

Tegangan referensi komparator sebesar 2.5 V didapatkan dari keluaran rangkaian pembagi tegangan. Gambar 4.4 menunjukkan skema rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 4.4 Rangkaian Pembagi Tegangan

Keluaran rangkaian pembagi tegangan yaitu V_o diatur sedemikian hingga sebesar 2.5 V. R_1 dan R_2 masing-masing bernilai sama yaitu 25 k Ω . Keduanya dipadukan melalui sebuah resistor variabel 50 k Ω .



Gambar 4.5 Rangkaian Pengondisi Sinyal Magnetik

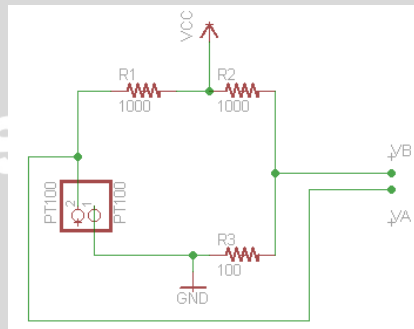
Buffer ditambahkan pada rangkaian pengondisi sinyal magnetik agar keluaran dari komparator dapat mendekati ideal. *Buffer* yang digunakan dalam perancangan ini adalah IC 7414. IC ini adalah IC *Schmit Trigger Inverting* yang akan membalik tegangan keluaran logika tinggi menjadi logika rendah dan sebaliknya.

IC 7414 ini digunakan sebanyak dua kali untuk setiap sensor magnetik. Hal ini dilakukan agar keluaran logika yang terbalik pada IC 7414 pertama dapat dikembalikan seperti semula pada IC 7414 kedua. Keseluruhan sistem perancangan pengondisi sinyal sensor magnetik ditunjukkan dalam Gambar 4.5.

4.3.2 Perancangan Rangkaian Sensor Suhu

Komponen rangkaian sensor suhu terdiri dari sensor suhu PT 100, rangkaian jembatan wheatstone, penguat instrumentasi, rangkaian *low-pass* filter, dan ADC 10 bit.

4.3.2.1 PT 100 dan Rangkaian Jembatan *Wheatstone*



Gambar 4.6 Skematik PT 100 pada Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

PT 100 adalah sensor suhu yang mengindera perubahan suhu dengan cara mengubah pula besar resistansinya sesuai dengan Persamaan (4.1). Karena itu dibutuhkan suatu rangkaian untuk mengubah besar resistansi PT 100 ke dalam suatu tegangan tertentu. Hal ini dilakukan agar perubahan suhu yang dideteksi oleh PT 100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT 100 tersebut adalah rangkaian jembatan *wheatstone*.

Sesuai dengan datasheet diketahui dua karakteristik PT 100 yaitu persamaan perubahan resistansi PT 100 terhadap perubahan suhu:

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \quad (4.1)$$

Selain itu PT 100 mampu mengukur suhu dari 0 °C hingga 200 °C. Dari kedua keadaan batas tersebut didapatkan *range* resistansi PT 100 adalah 100 ohm hingga 177 ohm.

Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan pada jembatan wheatstone didapatkan nilai V_B selalu tetap yaitu 0.45 V dan nilai maksimal V_A yaitu 0.75191164 V maka didapatkan *range* ΔV yaitu V_A dikurangi V_B adalah 0 – 0.297366195 V.

Dalam perancangan ini juga digunakan sistem dimana suhu dijaga agar tidak melebihi batas tertentu yang nilainya dapat dimasukkan oleh operator. Apabila nilai suhu melebihi kondisi batas atas maka pendingin akan dijalankan hingga suhu kembali ke keadaan batas bawah yang nilainya dimasukkan juga oleh operator.

4.3.2.2 Penguat Instrumentasi dan Rangkaian *Low Pass filter*

Setelah perubahan resistansi pada PT 100 dapat diubah menjadi perubahan tegangan pada *range* 0 - 0.297366195 V, maka dibutuhkan suatu rangkaian kembali yang dapat mengubah besar level tegangan 0 - 0.297366195 V menjadi 0 - 4.9951 V. Hal ini disebabkan karena ADC bertegangan referensi 5V menerima *range* tegangan yaitu sebesar 0 – 4.9951 V. Rangkaian tersebut adalah rangkaian penguat instrumentasi.

Rangkaian penguat instrumentasi adalah rangkaian penguat diferensial yang ditambahkan *buffer* untuk memperbesar impedansi penguat dimana hal ini adalah salah satu syarat sebuah penguat dapat dikatakan baik. Persamaan penguat instrumentasi ditunjukkan dalam Persamaan (4.2).

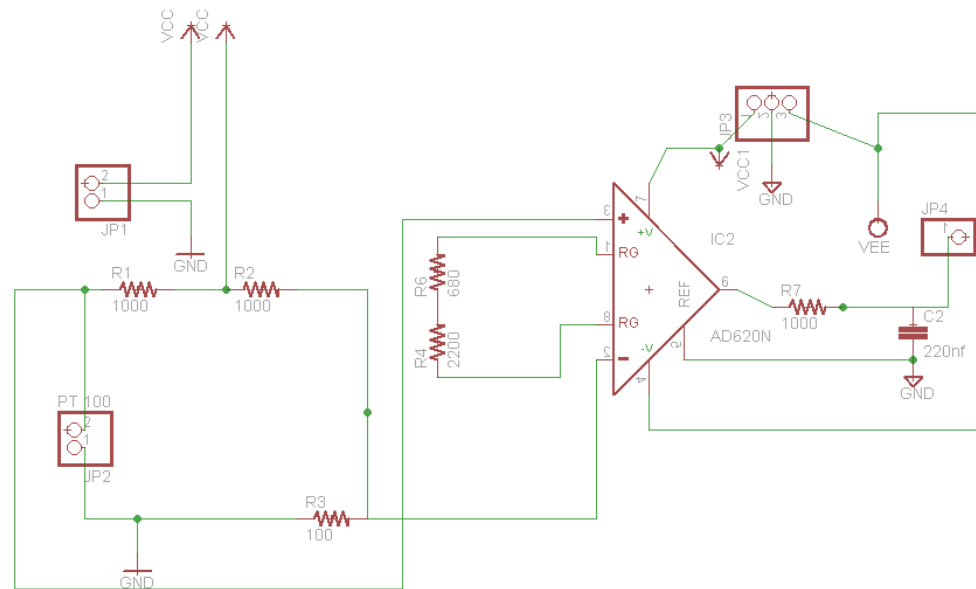
$$V_o = \text{Penguatan} * (V^+ - V^-) \quad (4.2)$$

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) adalah persamaan penguat instrumentasi AD 620 yang digunakan dalam perancangan ini. Dari perhitungan nilai R_g didapatkan hasil yaitu $R_g = 3127.016159 \Omega$. Resistansi tersebut kemudian dibulatkan menjadi 2900 Ω menyesuaikan dengan nilai yang terdapat pada pasaran.

Keluaran penguat instrumentasi kemudian dimasukkan pada rangkaian *low pass filter* untuk meredam *noise*. Rangkaian *low pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C yang masing – masing bernilai 1000 ohm dan 220 nF agar dapat meredam frekuensi diatas 723.7985 Hz.

Rangkaian keseluruhan pengondisi sinyal sensor suhu ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian Keseluruhan Sensor Suhu

4.3.2.3 ADC 10 bit dan Perhitungan Keseluruhan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu

Setelah sinyal pada sensor suhu dikondisikan sesuai syarat dan ketentuan ADC *internal* mikrokontroler, maka sinyal tersebut dimasukkan pada bagian *port analog* atau *port* ADC mikrokontroler Atmega 328 untuk dicacah menjadi suatu sinyal digital. Hasil cacahan tersebut menunjukkan besar resolusi suhu yang dapat diukur adalah 0.182725792 °C.

Pada saat keadaan 0 °C:

$$V_b = \frac{100}{1100} * 5 = 0.4545$$

$$V_a = \frac{100}{1100} * 5 = 0.4545$$

Pada saat keadaan 200 °C:

$$V_b = \frac{177}{1177} * 5 = 0.75191164$$

$$V_a = \frac{100}{1100} * 5 = 0.4545$$

ΔV adalah $V_b - V_a$; G adalah besar penguatan penguat instrumentasi:

$$\Delta V_{max} = 0.297366185$$

$$G = \frac{4.9551}{\Delta V_{max}}$$

$$G = \frac{4.9551}{0.297366185} = 16.79780771$$

$$V_{ADC} = \Delta V * G$$

$$V_b = \Delta V + V_a$$

$$\frac{R_{pt}}{R_{pt} + 1000} * 5 = \Delta V + V_a$$

$$R_{pt} = R_0 + (0.385 * Suhu)$$

$$\Delta V + V_a = \frac{(suhu * 0.385) + 100}{[(suhu * 0.385) + 100] + 1000} * 5$$

V_{ADC} adalah tegangan masukkan ADC. Sedangkan suhu adalah nilai suhu yang terukur.

$$V_{ADC} = \left(\frac{1.925 * suhu + 500}{0,385 * suhu + 1100} - 0.4545 \right) * 16,79780771$$

$$suhu = \left[\frac{1100 V_{ADC}}{(75.2157915 - V_{ADC})} \right]$$

$$suhu = \left[\frac{1100 V_{ADC}}{(75.2157915 - V_{ADC}) * 0.385} \right]$$

Dari datasheet AD 620 didapatkan persamaan resistor penguat dengan besar nilai penguat sesuai dengan persamaan:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1$$

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

Untuk besar penguatan senilai 16.79780771 maka dibutuhkan resistansi penguat sebesar:

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{16.79780771 - 1} = 3127.016159$$

Karena nilai 3127.016159 tidak terdapat di pasaran, maka diambil nilai yang mendekati yaitu sebesar 2900 Ω . Dengan demikian maka besar penguatan menjadi sebesar:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{2880} + 1 = 18.1527778$$

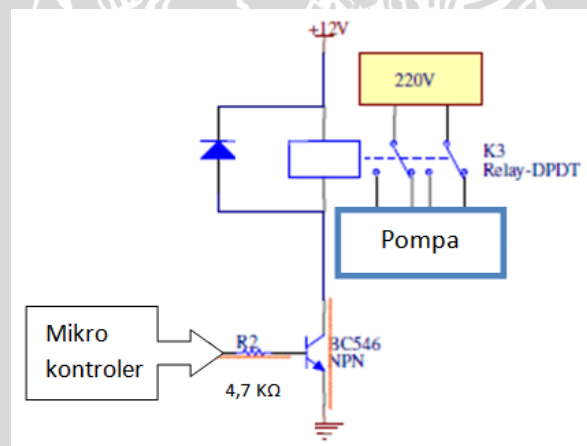
Besar persamaan tegangan masukkan ADC terhadap suhu dan sebaliknya menjadi:

$$V_{ADC} = \left(\frac{1.925 * suhu + 500}{0,385 * suhu + 1100} - 0.4545 \right) * 18.1527778$$

$$suhu = \left[\frac{1100 VADC}{(82.516263 - VADC) * 0.385} \right]$$

4.3.3 Rangkaian *Driver* Pompa

Rangkaian *driver* pompa digunakan untuk mengaktifkan pompa-pompa melalui sinyal pemicu yang berasal dari level tegangan mikrokontroler. *Driver* pompa dirancang menggunakan transistor NPN, yaitu BC 546 dengan memanfaatkan fungsi transistor sebagai saklar. Tegangan yang terdapat pada basis transistor akan digunakan untuk memicu terjadinya keadaan dimana bagian kolektor dan emitor saling terhubung. Dan sebaliknya ketika tidak ada tegangan pada basis, kolektor, dan emitor tidak akan terhubung. Ketika kolektor dan emitor terhubung, maka *relay* yang terletak pada bagian kolektor akan terhubung dengan *ground* pada bagian emitor. Hal ini akan membuat *relay* berada pada posisi aktif. Sehingga pompa akan menyala. Rangkaian *driver* pompa ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Rangkaian *Driver* Pompa

Rangkaian *driver* pompa menerima masukan dari mikrokontroler dengan dua macam keadaan saja, yaitu keadaan logika tinggi dimana sesuai datasheet arduino logika tinggi berada pada level tegangan 4.2 V dan logika rendah pada level tegangan 0V. Disamping itu jenis *relay* yang digunakan adalah *relay single coil* 12V dengan hambatan dalam sebesar 160Ω.

Perhitungan untuk rangkaian *driver* pompa adalah sebagai berikut:

$$V_{OH} = 4.2 \text{ V}$$

$$I_{OH} = 20 \text{ mA}$$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_c R_{relay}$$

$$R \text{ internal relay} = 160 \Omega$$

Kondisi *relay* aktif adalah saat $V_{CE \text{ sat}} \neq 0$. Dari *datasheet* BC546 $V_{CE \text{ sat max}} = 0.25 \text{ V}$, sehingga:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{CE \text{ sat max}}}{R_{relay}}$$

$$= \frac{12 - 0.25}{160}$$

$$= 73.437 \text{ mA}$$

Agar dapat mengaktifkan *relay*, I_C harus $> 73.4375 \text{ mA}$. Dari *datasheet* BC546 diketahui:

$$I_{C \text{ max}} = 100 \text{ mA}$$

$$\beta_{\text{min}} = 110$$

$$\beta_{\text{max}} = 800$$

Sehingga I_B :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{\text{min}}}$$

$$= 0.667 \text{ mA}$$

Tegangan $V_{OH\ min}$ dari mikrokontroler = 4.2V maka besar R_B adalah:

$$V_{OH\ min} = I_B \times R_B + V_{BE\ sat}$$

$$R_B = \frac{V_{OH\ min} - V_{BE\ sat\ max}}{I_B}$$

$$= \frac{4.2 - 1}{0.667 \times 10^{-3}} = 4.797\ k\Omega$$

Karena nilai tahanan tersebut tidak ada di pasaran maka diambil nilai terdekat yang lebih kecil dari nilai di atas. Nilai tahanan yang dipakai yaitu sebesar 4.7 k Ω . Perhitungan I_B adalah:

$$I_B = \frac{V_{OH\ min} - V_{BE\ sat\ max}}{R_B}$$

$$= \frac{4.2 - 1}{4700}$$

$$= 0.685106\ mA$$

$$= \frac{I_C}{\beta_{min}}$$

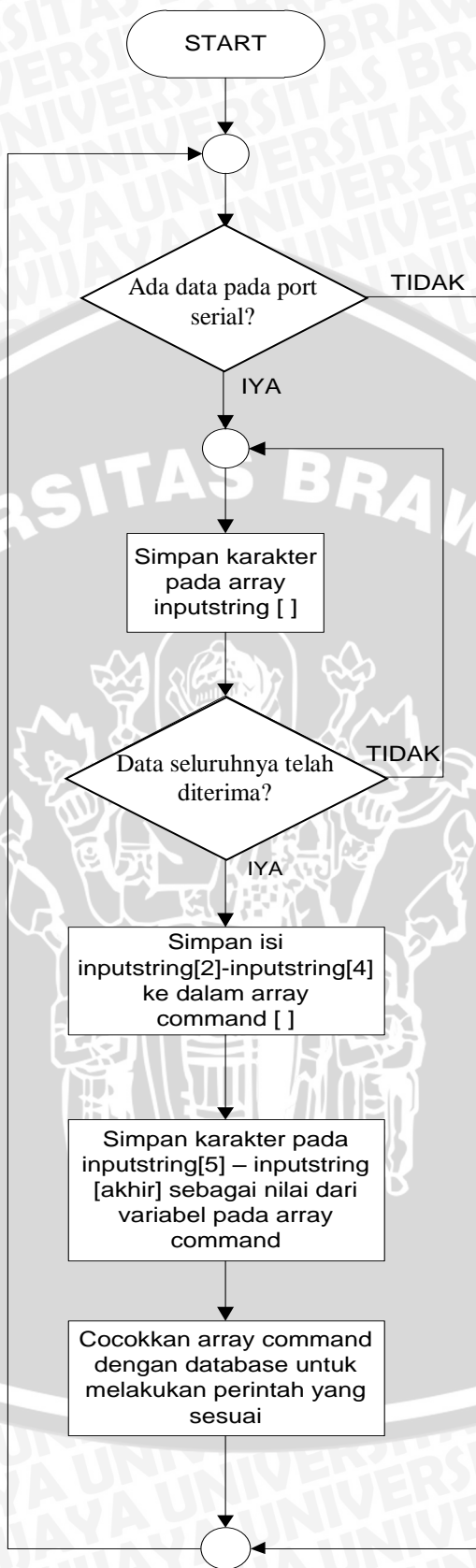
$$I_C = 74,89\ mA$$

Nilai tersebut telah memenuhi nilai minimum I_C saturasi. Dengan nilai I_C diatur kurang dari $I_{C\ max}$. Sebaliknya saat kondisi *cut off* $I_C = 0A$ dan V_{CE} maksimum maka kolektor dan emitor tidak akan terhubung dan *relay* tidak akan terhubung dengan *ground*. *Relay* tidak akan aktif dalam keadaan $I_C = 0A$.

4.3.4 Perancangan Program *Input-Output Data* Mikrokontroler

Perancangan program penerimaan dan pengiriman data pada mikrokontroler oleh komputer ditunjukkan dalam Gambar 4.9.

Proses penerimaan dan pengiriman data ke mikrokontroler dibagi menjadi tiga bagian yaitu proses penyimpanan data oleh mikrokontroler, pemilahan data, dan eksekusi perintah.



Gambar 4.9 Diagram Alir Perancangan Program *Input Output Data*

Jika data telah dikirimkan oleh operator melalui komputer maka seluruh data akan disimpan kedalam *array inputstring[]*. Array tersebut berfungsi sebagai penyimpan dari tiga jenis variabel yang dikandung pada data yang dikirimkan yaitu nomor sebanyak dua *digit* pertama. Kode perintah yang ada pada *digit* ke 3 hingga *digit* ke 5. Nilai dari variabel tertentu yang terletak pada *digit* berikutnya hingga yang terakhir. Nilai tersebut dibatasi hingga 5 *digit* saja.

Nomor perintah tidak akan berdampak apapun terhadap program. Kode perintah terdiri dari dua macam perintah yaitu berinisial s atau berinisial g. Inisial s menandakan *set*, berarti nilai suatu variabel akan diubah sesuai dengan nilai yang dikirimkan pada *digit* ke 6 hingga *digit* terakhir. Selain itu inisial g berarti *get*, mikrokontroler diminta mengirimkan data yang dibutuhkan oleh operator untuk mengetahui nilai dari suatu variabel pada keadaan itu. Dalam kode perintah berinisial g nilai variabel pada *digit* ke 6 hingga *digit* terakhir tidak akan berdampak apapun terhadap sistem. Jadi dapat diisikan ataupun juga tidak diisikan.

4.3.5 Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

Perancangan logika *Fuzzy* dilakukan dengan cara:

1. Mengambil data fluida yang akan digunakan untuk membuat batasan *membership function*.
2. Mengambil data karakteristik fluida.
3. Menghitung besar kesalahan relatif data seperti tertera pada Tabel 4.1.

Jenis Kekentalan	Encer	Sedang	Kental Sekali
Data 1	121	1107	2929
Data 2	125	1114	2908
Data 3	125	1061	2812
Data 4	129	969	2948
Data 5	130	980	3096
Mean	126	1046.2	2938.6
KR	0.361	68.656	10.237
Nilai Terpakai	126.4	1053.1	2,948
Pembulatan	126	1053	2949

Tabel 4.1 Perhitungan Besar Kesalahan Relatif

4. Memperkirakan fungsi karakteristik perubahan fluida terhadap perubahan kekentalan menggunakan regresi kuadratik. Seperti tertera pada Tabel 4.2.

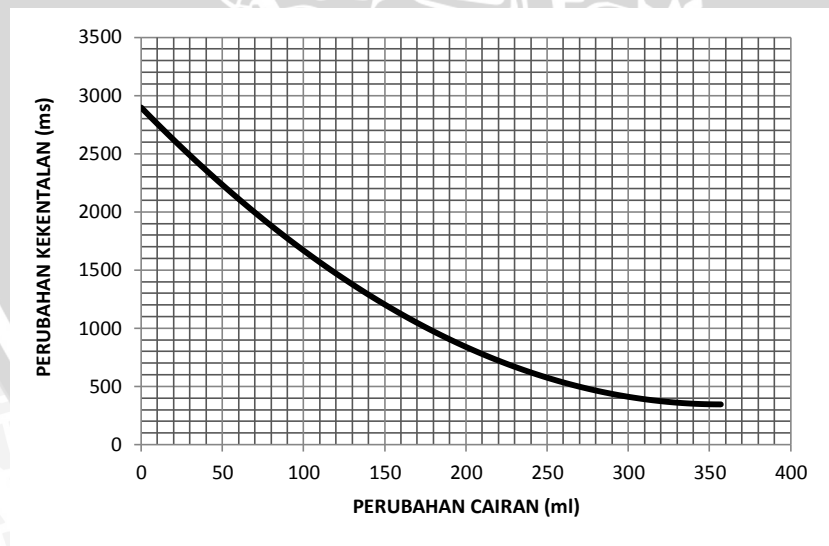
i	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Zigma
xi	0	120	300	420	840
yi	2949	1345	513	333	5140
xiyi	0	161400	153900	139860	455160
xi ²	0	14400	90000	176400	280800
xi ³	0	1728000	2.7 x 10 ⁷	74088000	102816000
xi ⁴	0	207360000	8.1 x 10 ⁹	31116960000	39424320000
xi ² yi	0	19368000	46170000	58741200	124279200

Tabel 4.2 Perhitungan Perubahan Kekentalan Terhadap Perubahan Cairan

Dari hasil perhitungan didapatkan fungsi :

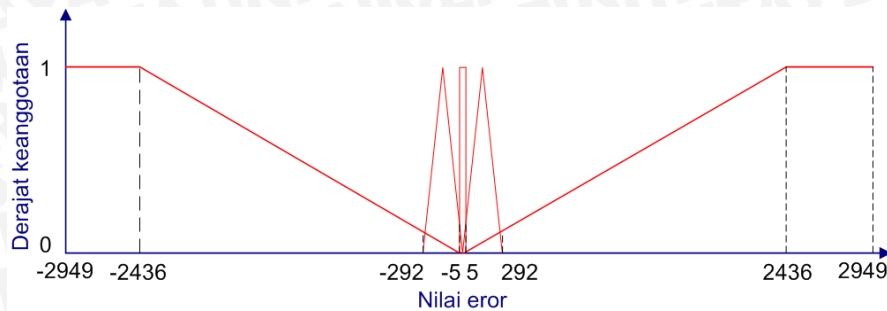
$$y = 0.0198 x^2 - 14,29 x + 2896.655 \quad (4.4)$$

Gambar 4.10 menunjukkan grafik respon yang diambil berdasarkan fungsi pada persamaan 4.4.

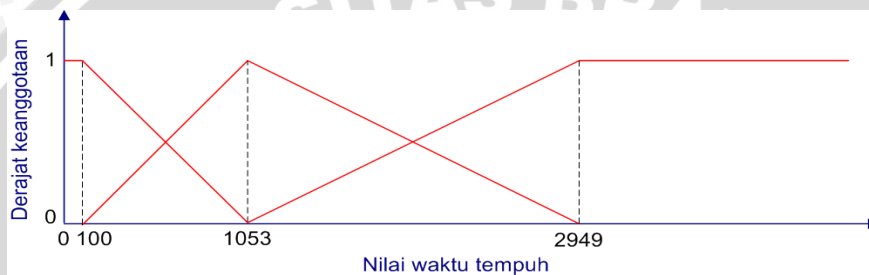


Gambar 4.10 Grafik Perubahan Kekentalan Terhadap Perubahan Cairan

5. Menentukan nilai-nilai batas *membership function* yang nilainya ditentukan berdasarkan Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Grafik *Input Membership Function* Nilai Error



Gambar 4.12 Grafik *Input Membership Function* Nilai Waktu Tempuh

Gambar 4.11 menunjukkan grafik *input membership function* dari nilai error dimana pada *negative big* -2949 ms sampai -2436 ms dikualifikasikan sangat kental. Nilai 2949 ms adalah nilai batas terkental yang dapat diukur sedangkan 2436 ms adalah 2949 ms dikurangi dengan 513 ms. Nilai 513 ms adalah nilai yang didapatkan berdasarkan percobaan karakteristik fluida tinta sebagai nilai kategori encer.

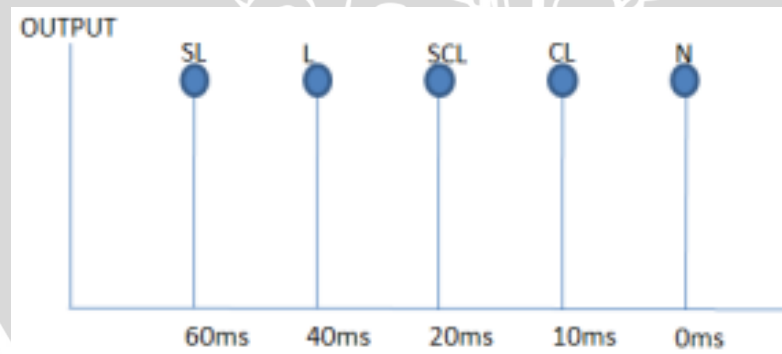
Pada *negative small*, *input membership function* terdapat nilai -292 ms sampai -5 ms. Nilai -292 ms adalah nilai yang didapatkan dari nilai kategori kental yaitu 1345 ms dikurangi nilai kategori sedang yaitu 1053 ms. Dan nilai -5 ms didapatkan dari nilai toleransi error. Nilai -5 ms sampai 5 ms juga dikategorikan sebagai Zero karena ± 5 ms adalah nilai toleransi error kekentalan. Pada *positive small* dan *positive big* nilainya diambil simetris dengan kategori *negative small* dan *negative big* karena pada error positive tidak dilakukan kontrol apapun, hanya dilakukan kualifikasi tingkat error kekentalan.

6. Menentukan *rule fuzzy* serta menentukan inferensinya.

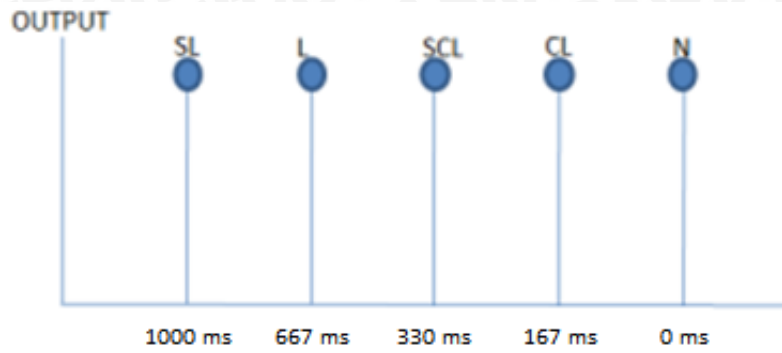
Eror	Kekentalan			
		Encer	Sedang	Kental
PB		N	N	N
PS		N	N	N
Z		N	N	N
NS		L	SCL	CL
NB		SL	L	SCL

Tabel 4.3 *Rule Fuzzy*

Tabel 4.3 adalah tabel *rule fuzzy* dimana N adalah *None* atau tidak melakukan apa-apa, L adalah CL adalah cenderung lambat, SCL adalah sangat cenderung lambat, L adalah lambat, dan SL adalah sangat lambat. Parameter sinyal keluaran berdasarkan *rule fuzzy* ditunjukkan dalam Gambar 4.13 dan 4.14.

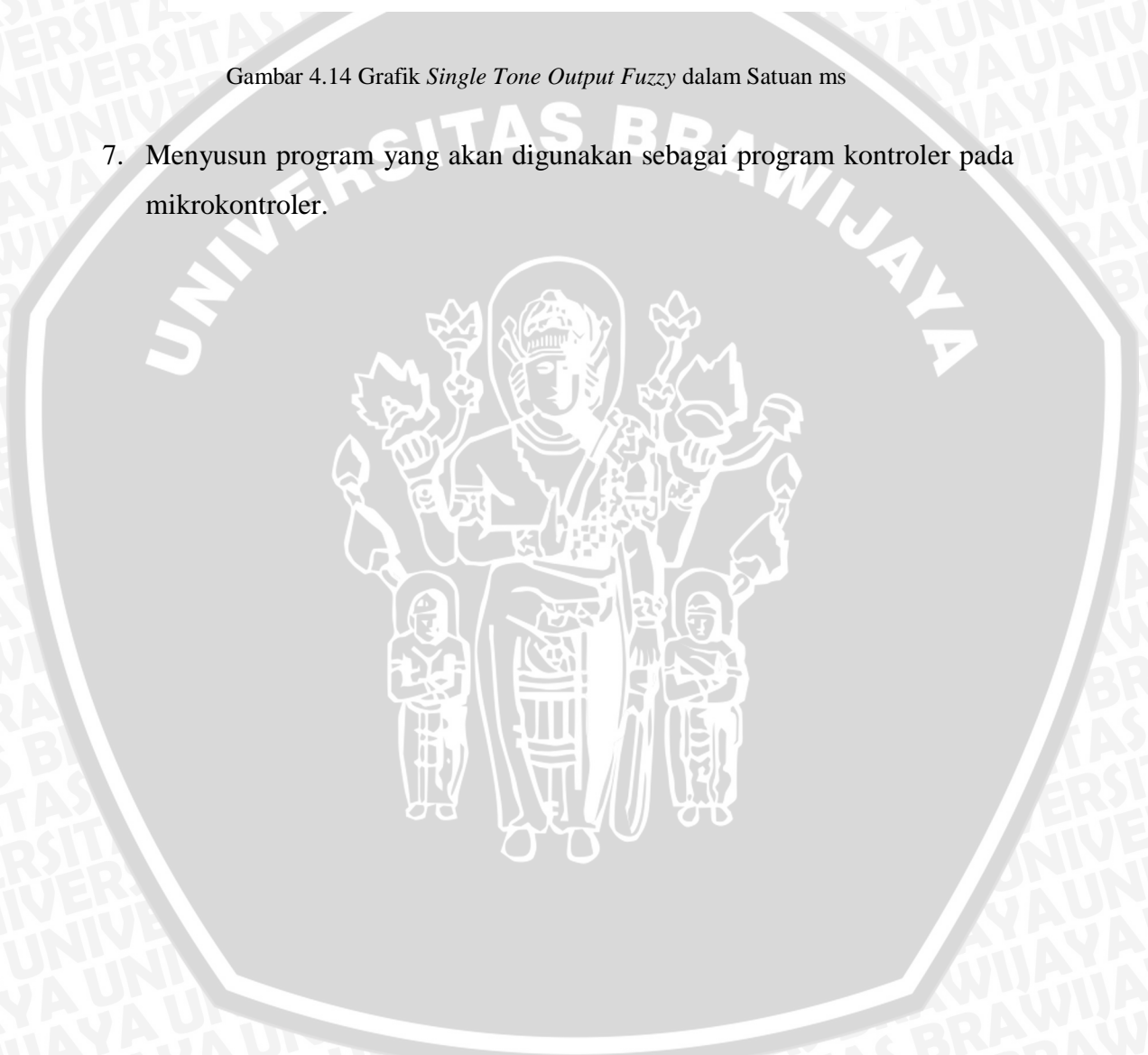


Gambar 4.13 Grafik *Single Tone Output Fuzzy* dalam Satuan ml



Gambar 4.14 Grafik *Single Tone Output Fuzzy* dalam Satuan ms

7. Menyusun program yang akan digunakan sebagai program kontroler pada mikrokontroler.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Setelah merancang alat pengatur kekentalan viskositas dilakukan pengujian terhadap baik tiap-tiap blok sistem maupun keseluruhan sistem.

Pengujian dilakukan pada komponen-komponen melalui berbagai jenis cara dan pengukuran besaran tertentu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui alat bekerja sesuai harapan atau tidak.

Selain hal itu pada bab ini juga akan dijelaskan kesimpulan-kesimpulan yang dibuat berdasarkan analisis data mengenai sistem kerja alat. Pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi :

- 1) Pengujian rangkaian sensor magnetik
- 2) Pengujian rangkaian *driver relay*
- 3) Pengujian program *input output* data
- 4) Pengujian rangkaian sensor suhu
- 5) Pengujian sistem secara keseluruhan

5.1 Pengujian Rangkaian Sensor Magnetik

Tujuan dari pengujian rangkaian sensor magnetik adalah mengetahui karakteristik sensor tersebut, keadaan logika tinggi dan rendah keluaran *driver* sensor magnet, dan respon keseluruhan rangkaian sensor magnet.

Peralatan pengujian rangkaian sensor magnet adalah:

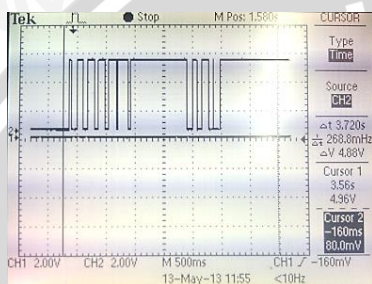
- 1) Dua buah UGN 3503
- 2) *Driver* sensor magnet
- 3) Catu daya 5V
- 4) Osiloskop
- 5) Magnet silinder



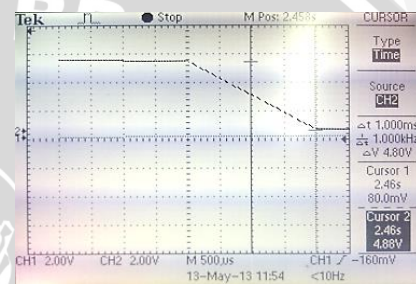
Prosedur pengujian yang dilakukan adalah :

- 1) UGN 3503 dirangkai pada *driver* sensor magnet
- 2) Osiloskop dihubungkan pada keluaran *driver* sensor magnetik
- 3) Catu daya 5 V dihubungkan pada rangkaian driver sensor magnetik
- 4) Mendekatkan magnet secara cepat dan berkala pada sensor magnet
- 5) Mengamati keluaran sinyal pada osiloskop

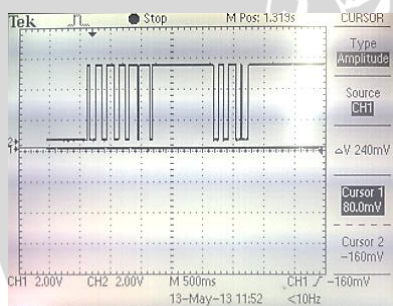
Data hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.1, 5.2, 5.3, 5.4.



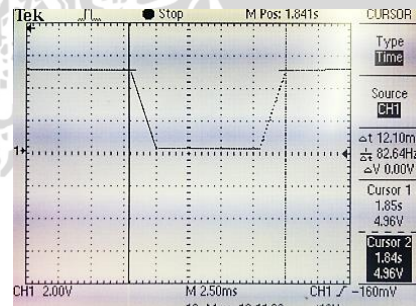
Gambar 5.1 Hasil Pengujian Sensor Atas



Gambar 5.2 Hasil Perbesaran Pengujian Sensor Atas



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Sensor Bawah



Gambar 5.4 Hasil Perbesaran Pengujian Sensor Bawah

5.2 Analisis Data Pengujian Rangkaian Sensor Magnetik

Pengujian rangkaian sensor magnet atas dan bawah yang dilakukan dengan cara mengamati perubahan level tegangan sinyal keluaran sensor magnetik terhadap perubahan fluksi magnetik didapatkan beberapa kesimpulan analisis sebagai berikut:

- 1) Perubahan fluksi pada sensor magnet menyebabkan logika keluaran sinyal sensor magnet berubah menjadi logika tinggi. Hal ini disebabkan karena komparator akan mendeteksi level tegangan yang

lebih tinggi dari 2.5 V. Dimana 2.5 V adalah tegangan referensi komparator yang didapatkan nilainya dari keadaan level tegangan keluaran sensor magnet saat fluksi kosong. Karena komparator mendeteksi level tegangan yang lebih dari tegangan referensi maka keluaran komparator akan sebesar 5 V. Keluaran komparator tersebut akan dibalik oleh IC 7414 yang pertama dan sekaligus IC 7414 akan memperhalus keluaran sinyal tersebut agar benar-benar menyerupai sinyal kotak. Setelah melalui IC pertama, sinyal keluaran akan masuk ke IC kedua. IC kedua melakukan pekerjaan seperti IC pertama. Dalam hal ini sinyal keluaran bentuknya akan kembali sama seperti keadaan semula namun sinyal sudah lebih halus.

2) Respon rangkaian sensor magnetik dapat dikatakan cukup baik.

Kesimpulan ini didapatkan dengan melihat dua parameter yaitu :

- a) Sinyal keluaran pada saat logika rendah berada pada level tegangan 0-80 mV. Pada saat logika tinggi sinyal keluaran berada pada level tegangan 4.88-4.96 V. Dengan melihat kedua keadaan tersebut maka dapat disimpulkan mikrokontroler tidak akan pernah membaca suatu kesalahan logika yang disebabkan oleh rangkaian sensor magnetik. Hal ini berarti mikrokontroler akan menerima suatu keadaan logika yang sesuai dengan pembacaan data pada saat itu, karena *range* level tegangan logika keadaan tinggi maupun rendah berada dalam rentang yang masih jauh dengan ambang batas pembacaan logika keadaan tinggi maupun rendah.
- b) Tingkat kesalahan pembacaan pada saat sinyal keluaran berada dalam keadaan picu naik dan picu turun sangat kecil. Dari Gambar 5.2 untuk sensor atas dan Gambar 5.4 untuk sensor bawah dapat disimpulkan keadaan logika abu-abu tersebut hanya berlangsung selama 1 ms. Waktu yang dibutuhkan oleh sinyal keluaran untuk mengubah keadaan dari tinggi menjadi rendah maupun dari rendah menjadi tinggi hanya berlangsung selama 1 ms. Dimana angka ini masih dapat ditoleransi karena

resolusi pengukuran juga tidak lebih kecil dari perubahan keadaan tersebut yaitu 1 ms.

5.3 Pengujian Rangkaian Driver Pompa

Tujuan dari pengujian *driver* pompa ini adalah guna mengetahui apakah rangkaian tersebut telah bekerja dengan baik.

Peralatan yang digunakan adalah:

- 1) Rangkaian driver pompa
- 2) Catu daya 5 V
- 3) Mikrokontroler Arduino Uno

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah:

- 1) Rangkaian driver pompa diatur sesuai gambar skematik rangkaian driver pompa
- 2) *Port trigger* pada masing-masing sisi basis transistor diberikan tegangan catu daya 5V. mengamati apa yang terjadi
- 3) Menyambungkan *port trigger* tersebut pada mikrokontroler yang telah diprogram untuk melakukan program berkedip

Data hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Relay	Logika	Status Relay
Pompa Tinta	0	Tidak aktif
	1	Aktif
Pompa Air	0	Tidak aktif
	1	Aktif
Pompa Pendingin	0	Tidak aktif
	1	Aktif

Tabel 5.1 Hasil Pengujian *Driver* Pompa

5.4 Analisis Data Pengujian *Driver* Pompa

Dari Tabel 5.1 diketahui relay akan aktif jika ada tegangan logika tinggi dan tidak akan aktif pada keadaan selain itu. Dari data berikut dapat disimpulkan bahwa rangkaian *driver* pompa dapat bekerja dengan baik.

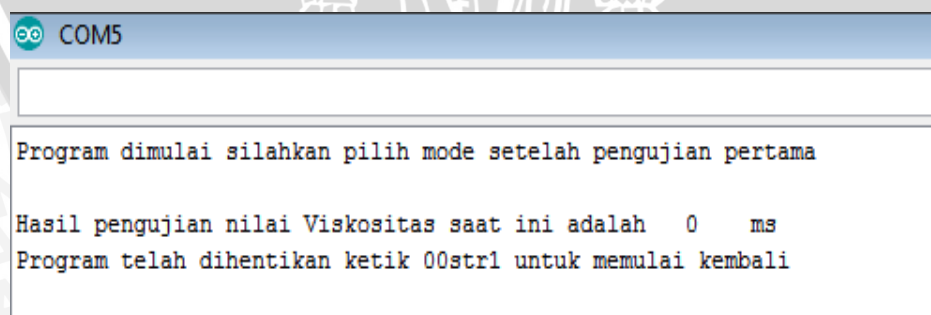
5.5 Pengujian Program *Input Output* data

Tujuan dari pengujian tersebut adalah guna mengetahui apakah variabel-variabel pada mikrokontroler dapat diakses oleh operator melalui komputer. Selain itu guna mengetahui pula apakah kontrol sistem pada mikrokontroler dapat dikendalikan operator melalui komputer.

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

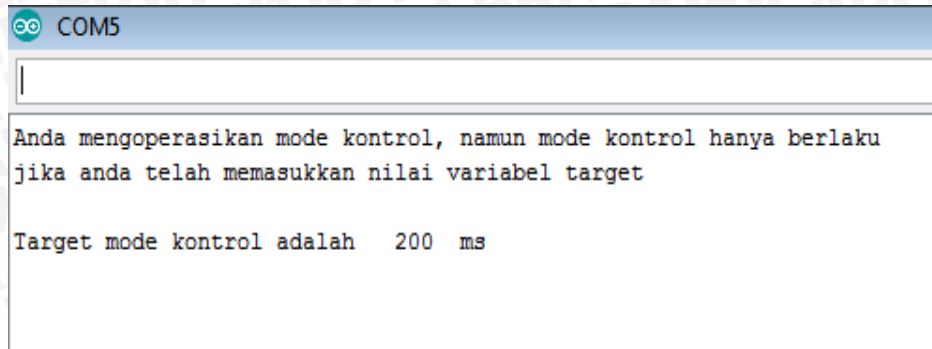
- 1) Merangkai mikrokontroler dengan komputer melalui kabel USB
- 2) Membuka software *compiler* arduino
- 3) Memberikan input berupa 00str1, kemudian menunggu beberapa saat
- 4) Memberikan input berupa 01smk000 dan 02sk1200, menunggu beberapa saat
- 5) Memberikan input berupa 03smu000 dan 04str1 kemudian menunggu beberapa saat

Data hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 5.5, 5.6, 5.7.



```
COM5
Program dimulai silahkan pilih mode setelah pengujian pertama
Hasil pengujian nilai Viskositas saat ini adalah 0 ms
Program telah dihentikan ketik 00str1 untuk memulai kembali
```

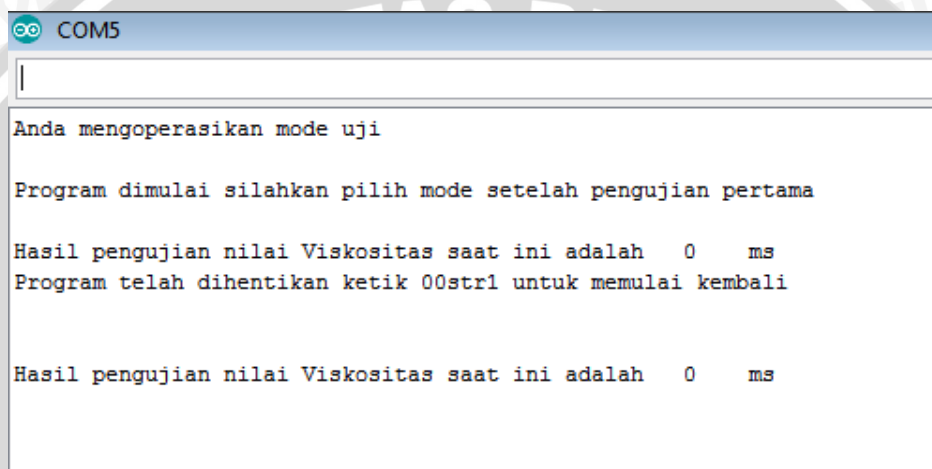
Gambar 5.5 Hasil Percobaan Langkah Ketiga



```
COM5
|
Anda mengoperasikan mode kontrol, namun mode kontrol hanya berlaku
jika anda telah memasukkan nilai variabel target

Target mode kontrol adalah 200 ms
```

Gambar 5.6 Hasil Percobaan Langkah Keempat



```
COM5
|
Anda mengoperasikan mode uji

Program dimulai silahkan pilih mode setelah pengujian pertama

Hasil pengujian nilai Viskositas saat ini adalah 0 ms
Program telah dihentikan ketik 00str1 untuk memulai kembali

Hasil pengujian nilai Viskositas saat ini adalah 0 ms
```

Gambar 5.7 Hasil Percobaan Langkah Kelima

5.6 Analisis Pengujian Program *Input Output Data*

Pada saat prosedur langkah ketiga pada prosedur dilakukan maka data berupa karakter 00str1 akan diterima oleh mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian akan membandingkan karakter “str” dengan kode-kode yang terdapat pada *database*. Ditemukan pada *database* kode str adalah perintah untuk mengaktifkan sistem. Sehingga tampilan pertama yang dikeluarkan oleh mikrokontroler adalah “program dimulai, silahkan pilih mode setelah pengujian pertama”. Setelah ditunggu beberapa saat karena pin-pin sensor pendeteksi tidak diberi logika apapun (logika ambang) maka sensor pendeteksi akan diasumsikan oleh mikrokontroler berada pada posisi aktif. Hal ini membuat tampilan berubah menjadi “Nilai pengujian viskositas anda adalah 0 ms”.

Pada saat langkah keempat pada prosedur dijalankan oleh mikrokontroler akan bekerja sama seperti sebelumnya untuk mengolah karakter 01smk000 dan 02sk1200. Dimana “smk” adalah kode untuk melakukan proses kontrol dan “sk1” adalah kode untuk memasukkan nilai target kekentalan yang diinginkan. Angka dibelakang kode “sk1” adalah 200 yang berarti target kekentalan yang diinginkan adalah 200 ms.

Pada saat langkah kelima pada prosedur dijalankan oleh mikrokontroler, karakter 03smu000 dan 04str1 akan diolah oleh mikrokontroler. Dimana “smu” adalah kode untuk melakukan mode pengujian dan str adalah kode untuk memulai proses. Dari ketiga langkah pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa proses pengiriman dan penerimaan data dapat dilakukan dengan baik.

5.7 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk melihat bagaimana penyimpangan yang dilakukan sensor suhu dalam dua puluh kali pengukuran.

Peralatan yang digunakan sebagai berikut:

- 1) Rangkaian sensor suhu
- 2) Komputer
- 3) Program dan software arduino

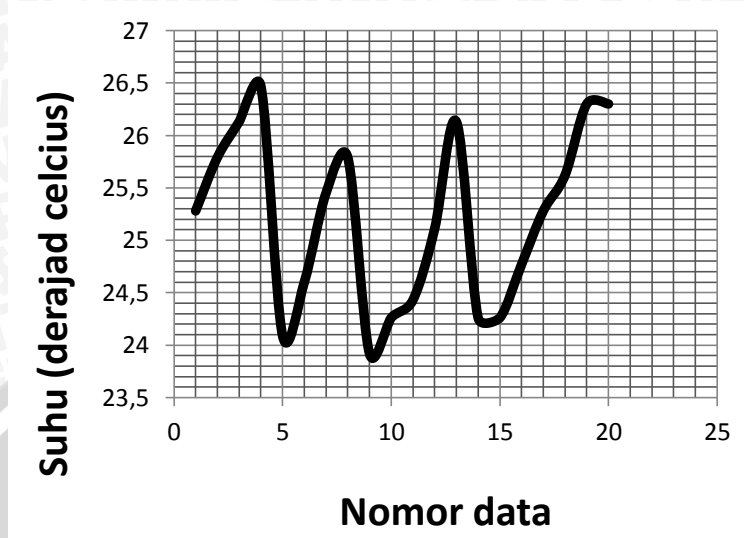
Prosedur pengujian adalah:

- 1) Rangkaian sensor suhu dirangkai sesuai dengan skematik yang ada pada perancangan rangkaian sensor suhu
- 2) Program pembacaan suhu dimasukkan kedalam mikrokontroler
- 3) Mengamati tampilan serial monitor selama beberapa saat untuk mendapatkan pembacaan sebanyak dua puluh kali
- 4) Menghitung besar kesalahan relatif pembacaan berdasarkan perhitungan standar deviasi

Data hasil percobaan ditunjukkan dalam Tabel 5.2, 5.3, 5.4 dan Gambar 5.8 dan 5.9.

Urutan ke-	Hasil pengukuran suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Batas bawah nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Batas atas nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	25.28	21.787965	28.772035
2	25.79	22.297965	29.282035
3	26.13	22.637965	29.622035
4	26.47	22.977965	29.962035
5	24.09	20.597965	27.582035
6	24.6	21.107965	28.092035
7	25.45	21.957965	28.942035
8	25.79	22.297965	29.282035
9	23.92	20.427965	27.412035
10	24.26	20.767965	27.752035
11	24.43	20.937965	27.922035
12	25.11	21.617965	28.602035
13	26.13	22.637965	29.622035
14	24.26	20.767965	27.752035
15	24.26	20.767965	27.752035
16	24.77	21.277965	28.262035
17	25.28	21.787965	28.772035
18	25.62	22.127965	29.112035
19	26.3	22.807965	29.792035
20	26.3	22.807965	29.792035
mean	25.212		
kesalahan relatif	3.4920325		

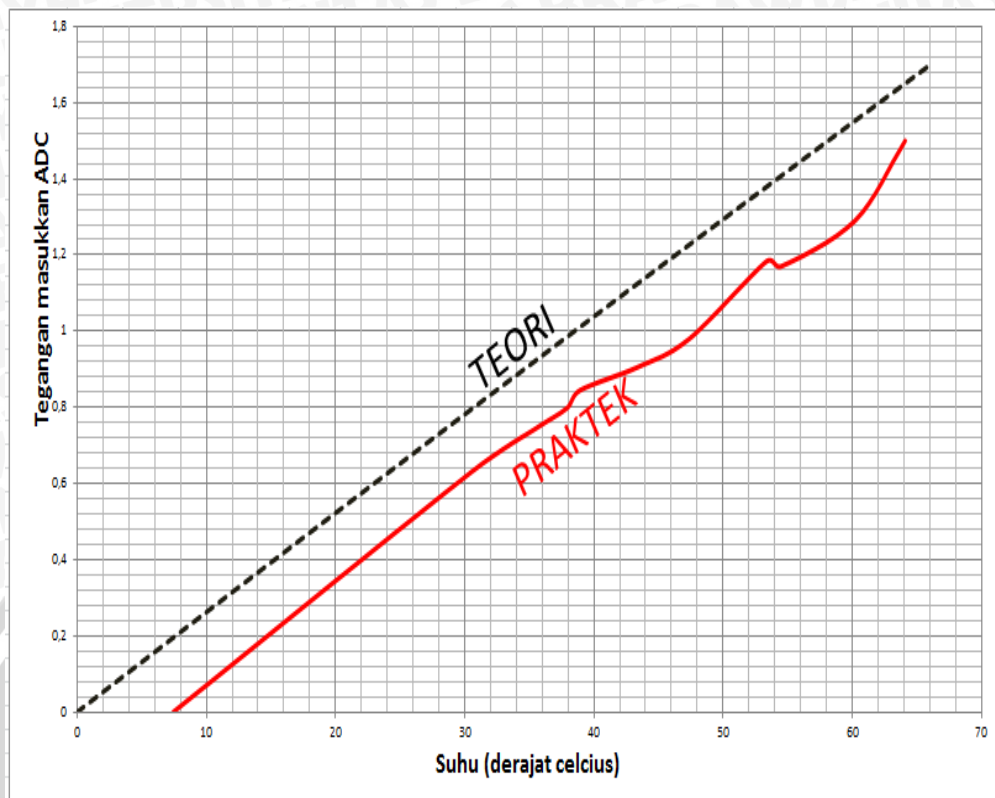
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor Suhu Sebanyak Dua Puluh Kali



Gambar 5.8 Perubahan Suhu Dalam Dua Puluh Kali Pengambilan Data

Nilai Tegangan ADC Perhitungan (Volt)	Nilai Suhu Perhitungan (°C)	Nilai Resistansi PT 100 (Ω)	Nilai Pembacaan Suhu (°C)	Selisih Perhitungan dan praktek	Nilai Tegangan ADC Praktek (Volt)
0,630584027	24,15584416	109,3	30,51	6,354155844	0,794705566
1,290335237	49,87012987	119,2	60,21	10,33987013	1,552346606
0,845121253	32,46753247	112,5	38,93	6,462467532	1,011076346
1,606031135	62,33766234	124	64,08	1,742337662	1,649935029
1,184500654	45,71428571	117,6	53,39	7,678475151	1,379807464
0,978581406	37,66233766	114,5	47,39	9,73272418	1,227340523
0,905237656	34,80519481	113,4	43,36	8,554805195	1,124410794
1,17125002	45,19480519	117,4	54,49	9,295194805	1,407632308
0,798296762	30,64935065	111,8	37,92	7,270649351	0,985188562
0,744710807	28,57142857	111	35,51	6,938571429	0,923343688

Tabel 5.3 Hasil Perbandingan Perhitungan Nilai Pembacaan Suhu Secara Teori dan Praktek



Gambar 5.9 Grafik Perubahan Tegangan Masukan ADC terhadap Perubahan Suhu Secara Teori dan Praktek

Pembacaan Suhu sebelum Kalibrasi(°C)	Pembacaan Suhu dari Termometer(°C)	Pembacaan Suhu sesudah Kalibrasi(°C)
28,09692513	20,7	20,66
28,91692513	21	21,48
28,16692513	20,7	20,73
29,91692513	22,66	22,48
43,16	35,4	35,72307487

Tabel 5.4 Hasil Perbandingan Sensor Suhu dengan Termometer

5.8 Analisis Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Pada pengujian sensor suhu tersebut dapat disimpulkan bahwa standar deviasi adalah 3.4920325. Hal ini disebabkan adanya *noise* yang mempengaruhi pembacaan suhu.

Pada saat sebelum dilakukan peneraan dapat dilihat pada Tabel 5.4 bahwa hasil pembacaan suhu lebih tinggi dibandingkan hasil pembacaan suhu pada termometer. Disinyalir hal ini disebabkan oleh adanya *self heating* pada sensor suhu. Hipotesis ini dikuatkan dengan teori rangkaian elektrik yaitu jika terjadi peningkatan arus listrik dengan hambatan yang sama, maka daya listrik juga akan meningkat ($P = I^2 \cdot R$). Daya yang meningkat akan menyebabkan panas yang meningkat pula dan dapat dikategorikan sebagai *self heating*. Masalah tersebut dapat diatasi dengan melakukan peneraan sensor suhu. Peneraan dilakukan dengan cara mengurangi suhu pembacaan sebelum peneraan dengan konstanta sebesar 7,436925128 yang didapatkan dari Gambar 5.9; grafik perubahan tegangan masukkan ADC terhadap perubahan suhu secara teori dan praktek.

Melalui pengujian ini disimpulkan bahwa data tidak akan diambil melalui satu kali *sampling*. Namun pengambilan data suhu akan direrata dari 100 kali *sampling* suhu. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai suhu yang mendekati sebenarnya dan memperkecil error.

5.9 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja seperti yang diharapkan.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian secara keseluruhan adalah:

- 1) Rangkaian sistem pengatur kekentalan
- 2) Program arduino untuk pengatur kekentalan
- 3) Cairan cat tembok sebagai objek uji
- 4) Air

Prosedur yang dilakukan pada pengujian alat secara keseluruhan adalah :

- 1) Merangkai seluruh rangkaian sistem pengatur kekentalan
- 2) Memasukkan program ke dalam mikrokontroler arduino
- 3) Memberikan perintah 00str1
- 4) Mencatat hasil pengujian kekentalan
- 5) Melakukan mode target dengan memasukkan kode 00smk
- 6) Memasukkan target kekentalan 200 ms dengan memasukkan kode 00sk200
- 7) Memulai proses kontrol dengan memasukkan kode 00str1
- 8) Mengganti target kekentalan menjadi 300 ms
- 9) Mengamati proses kontrol secara keseluruhan

Data hasil pengujian yang didapatkan ditunjukkan dalam Gambar 5.10, 5.11, dan Tabel 5.5.

```

FID000X
pinMode(valve_tinta,OUTPUT);
pinMode(sensor_tangkai_atas,INPUT);
pinMode(sensor_tangkai_bawah,INPUT);
pinMode(valve_pengisi,OUTPUT);
pinMode(valve_pendingin,OUTPUT);
inputString = "";
stringComplete = false;
// inisialisasi timer1
noInterrupts();

TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;

TCNT1 = 63535; //preload timer = ((2^16bit)-1)-((16MHz/8prescale)/1000Hz)
TCCR1B |= (1 << CS11); // 8 prescaler
TIMSK1 |= (1 << TOIE1); // enable timer overflow interrupt
interrupts(); |
}

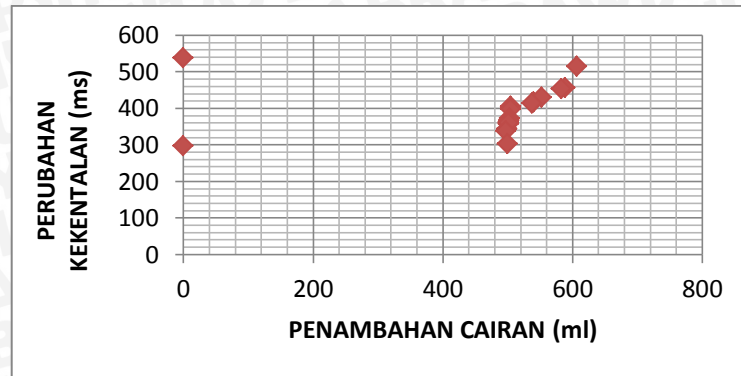
ISR(TIMER1_OVF_vect){ // interrupt service routine dilakukan bila timer overflow
  if (stp==0 && str ==1&& setflag_pompa == false){ // jika stp/STOP =0 dan str/START =1 dan Memory delay LOW,
    // Waka dapat dilakukan pengujian
    if(digitalRead(pendeteksi1) == HIGH){
      a = HIGH; // jika sensor atas aktif maka variabel a HIGH
    }
    if(a == HIGH){ // Jika a HIGH maka akan dilakukan perhitungan timer
      TCNT1=63535;
    }
  }
}

```

Gambar 5.10 Tampilan Software Arduino pada Saat Pengujian Keseluruhan

Urutan ke-	Hasil Pengu-kuran Visko-sitas	Lama Pengaktifan Pompa	Mode	Target Viskositas	Keterangan
0	538	0	uji	-	Target diubah karena nilai viskositas sebelumnya terlalu kecil
1	457	589	kontrol	200	
2	516	607	kontrol	200	
3	454	583	kontrol	200	
4	417	540	kontrol	200	
5	431	552	kontrol	300	
6	414	538	kontrol	300	
7	406	505	kontrol	300	
8	404	505	kontrol	300	
9	398	505	kontrol	300	
10	358	501	kontrol	300	
11	374	503	kontrol	300	
12	345	499	kontrol	300	
13	368	502	kontrol	300	
14	363	501	kontrol	300	
15	359	501	kontrol	300	
16	362	501	kontrol	300	
17	361	501	kontrol	300	
18	338	497	kontrol	300	
19	304	500	kontrol	300	
20	298	0	kontrol	300	

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem



Gambar 5.11 Grafik Perubahan Besar Kekentalan Terhadap Lama Pengaktifan Pompa pada Target Kekentalan 300 ms

5.10 Analisis Pengujian Keseluruhan Sistem

Dari data-data yang didapatkan dari pengujian sistem secara keseluruhan didapatkan analisis-analisis dan kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengujian dilakukan pada suhu ruangan, sehingga diharapkan nilai kekentalan yang diukur berada pada keadaan stabil.
- 2) Dari pengujian kekentalan untuk target 200 ms kesalahan data yang cukup tampak terjadi pada data kedua dimana seharusnya nilai kekentalan akan lebih kecil dari data pertama. Namun keadaan pada data kedua didapatkan nilai kekentalan yang lebih besar dari nilai kekentalan data pertama. Kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh:
 - a) Tidak meratanya kekentalan tinta pada wadah
 - b) Adanya gesekan mekanis antara magnet uji dengan selang uji
 - c) Terjadinya getaran mekanis pada badan alat penguji yang terbuat dari kayu

Hal yang sama terjadi pula pada saat nilai target pengukuran telah diubah menjadi 300 ms. Hal ini dapat dilihat pada data kelima, kesebelas, dan keenambelas.

- 3) Berdasarkan Tabel 5.2 dapat disimpulkan bahwa rencana pengembangan alat yang menjadi tujuan dari perancangan ini telah berhasil dilakukan. Hal ini dapat dilihat secara jelas pada data keempat dimana target kekentalan dapat diganti sesuai dengan keinginan operator. Selain itu kontrol logika *fuzzy* juga telah berhasil dilakukan pada saat mode kontrol dilakukan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan, pembuatan dan pengujian yang telah dilakukan terhadap alat baik pengujian pada sub-sistem maupun pengujian seluruh sistem, maka dapat disimpulkan:

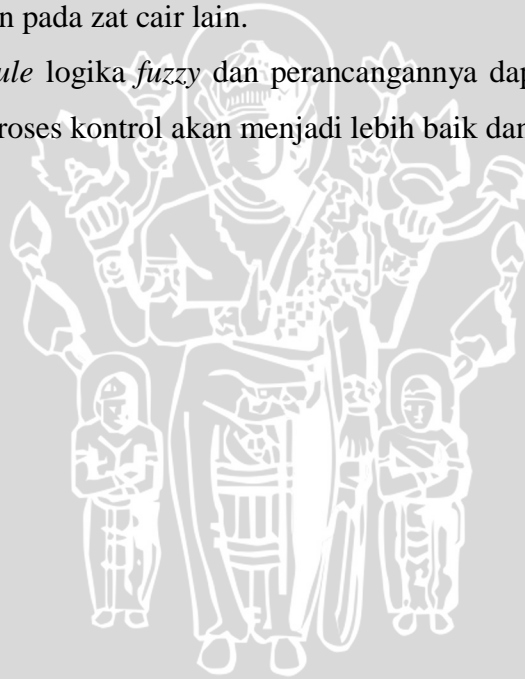
- 1) Metode yang secara kinetik paling baik digunakan untuk mengukur kekentalan tinta secara kinematik adalah metode viskometer bola jatuh. Hal ini diterapkan pada perancangan yang dilakukan dengan memanfaatkan magnet uji berbentuk silinder sebagai alat uji.
- 2) Pemanfaatan besaran waktu untuk mengukur kekentalan tinta dilakukan dengan menetapkan standarisasi waktu untuk mengukur lama waktu jatuhnya magnet uji dari sensor atas ke sensor bawah. Semakin kental tinta maka semakin lama pula waktu yang terukur dan berlaku pada keadaan sebaliknya.
- 3) Keluaran sensor memperlihatkan hasil yang baik, hal ini dapat dilihat dari cepatnya waktu perpindahan logika tinggi ke rendah dan sebaliknya yaitu 1 ms. Selain itu proses pengolahan sinyal digital dilakukan dengan memanfaatkan *setFlag* kondisi. Cara tersebut efektif untuk menghindari terjadinya *bouncing*.
- 4) Proses sinergi alat dengan komputer dilakukan dengan membuat program *input-output* data pada mikrokontroler arduino uno. Program tersebut telah berjalan dengan baik dan memiliki persentase keberhasilan 100 persen.
- 5) Kontrol logika *fuzzy* telah dilakukan pada alat tersebut dan digunakan untuk melakukan proses kontrol proporsional. Selain itu data-data kesimpulan mengenai parameter-parameter kekentalan tinta yang diolah secara sistematis dari pengujian karakteristik fluida adalah keadaan encer didapatkan dengan lama waktu pengujian 126 ms; keadaan encer cenderung kental didapatkan dengan lama waktu pengujian 513 ms; keadaan sedang didapatkan dengan lama waktu pengujian 1053 ms; keadaan cenderung kental didapatkan dengan lama waktu pengujian

1345 ms; keadaan kental didapatkan dengan lama waktu pengujian 1345 ms. Selain itu eror yang terdapat pada *membership function* kontrol logika fuzzy adalah eror antara ≤ -2436 sampai -5 adalah *Negative Big* (NB), eror antara -292 sampai $+5$ adalah *Negative Small* (NS), eror antara -5 sampai $+5$ adalah *Zero* (Z), eror antara $+5$ sampai $+292$ adalah *Positive Small* (PS), dan eror antara $+292$ sampai ≥ 2436 adalah *Positive Big* (PB).

6.2 Saran

Alat pengatur kekentalan tinta tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut dengan cara:

- 1) Memperbaiki bagian mekanis alat uji sehingga getaran terhadap pengujian yang menyebabkan terjadinya eror dapat diminimalisir.
- 2) Dapat dilakukan pada zat cair lain.
- 3) Penyusunan *rule* logika *fuzzy* dan perancangannya dapat dimaksimalkan lagi sehingga proses kontrol akan menjadi lebih baik dan cepat.



DAFTAR PUSTAKA

- Budianto, Anwar. 2008. *Metode Penentuan Koefisiensi Kekentalan Zat Cair dengan menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes*, Yogyakarta, ISSN 1978-0176
- Budiharto, Widodo. 2004. *Interfacing Komputer dan Microcontroller*. PT. Elek Media Komputindo : Jakarta
- E. E. Klaus, F. M. Angeloni, dan M. R. Fenske. 1962. *Development and Application of the PRL Single Pass Capillary Viscometer*, ASTM STP NO. 299
- Giancolli, C. D., 1998. *Fisika Jilid 2 Terjemahan*, Edisi kelima. Erlangga : Jakarta
- Kuswadi. 2000. *Kendali Cerdas*. Yogyakarta : ANDI.
- Lee, C., 1990. *Fuzzy Logic in Control System : Fuzzy Logic Controller Part I*. IEEE
- M. Born and H. S. Green, *A General Kinetic Theory of Liquids*. Cambridge Univ. Press : London
- N. V. K. Dutt and D. H. L. Prasad, 2004. *Representation of the Temperature Dependence of the Viscosity of Pure Liquids*, Private Communication, Chemical Engineering Division, Indian Institute of Chemical Technology Hyderabad
- R. C. Reid, J. M. Prausnitz, and T. K. Sherwood. 1997. *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill, New York, 3rd Ed.
- R. H. Perry and D. W. Green (Eds). 1997. *Chemical Engineers' Handbook*. McGraw Hill, New York
- Singh, A. V., Sharma, L., & Gupta-Bhaya, P. 2012, February 13. *Studies On Falling Ball Viscometry*. Retrieved March 1, 2013, from Arxiv: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1202/1202.1400.pdf>
- Streeter, V. L., & Wylie, B., 1992. *Mekanika Fluida Jilid 1 Terjemahan*. Erlangga : Jakarta

- Streeter, V. L., & Wylie, B., 1992. *Mekanika Fluida Jilid 2 Terjemahan*. Erlangga : Jakarta
- Suryono, Agus Riyanti, Jatmiko Endro Suseno, 2009. *Karakterisasi Sensor Magnetik Efek Hall UGN3503 Terhadap Sumber Magnet dan Implementasinya pada Pengukuran Massa*. Berkala Fisika Vol 12.
- S. W. Rein and D. L. Alexander, 1980. *Development of a high shear rate capillary viscometer*, SAE Paper No. 800363
- Thiang, R. 2001. *Aplikasi Kendali Fuzzy Logic untuk Pengaturan Kecepatan Motor Universal*. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- Viswanath, D. S., Ghosh, T. K., Prasad, D. H., Dutt, N. V., & Rani, K. Y. 2007. *Viscosity of Liquids*. Dordrecht: Springer.
- Yan, J. 1994. *Using Fuzzy Logic*. London: Prentice Hall.
- Yuan, P., & Lin, B.-Y. 2008, October 27. *Measurement of Viscosity in a Vertical Falling Ball Viscometer*. Retrieved February 27, 2013, from American Laboratory:<http://www.americanlaboratory.com/913-TechnicalArticles/778-Measurement-of-Viscosity-in-a-Vertical-Falling-Ball-Viscometer>
- Yurianto, Yudi. 2010. *Sistem Alat Pengatur Kekentalan Tinta Percetakan Berbasis Mikrokontroler Atmega8535*. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.