



**OTOMATISASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
BATIK METODE ELEKTROKOAGULASI DENGAN
OPTIMASI KONTROL LOGIKA *FUZZY***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Ulinnuha Luthfi

NIM. 5301414063

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ulinnuha Luthfi
NIM : 531414063
Program Studi : S1 Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Otomatisasi Pengolahan Limbah Cair Batik
Metode Elektrokoagulasi Dengan Optimasi Kontrol
Logika *Fuzzy*

Skripsi/ TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/ TA Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang,

Pembimbing 1,



Tatyantoro Andrasto ST, MT

NIP. 196803161999031001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Otomatisasi Pengolahan Limbah Cair Batik Metode Elektrokoagulasi Dengan Optimasi Kontrol Logika *Fuzzy*” telah dipertahankan di depan sidang panitia ujian skripsi fakultas teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 20 Juli 2020.

Oleh:

Nama : Ulinnuha Luthfi
NIM : 5301414063
Program Studi : SI Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua



Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T.

NIP. 196605051997022001

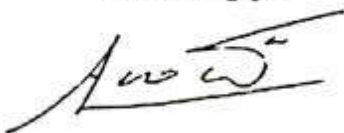
Sekretaris



Drs. Sri Sukamta, M. Si., IPM

NIP. 196505081991031003

Dosen Penguji I



Drs. Slamet Seno Adi, M.Pd., M.T.

NIP. 195812181985031004

Dosen Penguji II



Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T.

NIP. 196605051997022001

Dosen Penguji III/ Pembimbing



Tatyantoro Andrasto, S.T. M.T.

NIP. 196803161999031001

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 20 Juli 2020

Pembuat pernyataan,



Ulinnuha Luthfi

NIM. 5301414063

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu. Dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah maha mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui.
– Q.S. Al-Baqarah: 216 –
2. Waktu bagaikan pedang, jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik (*untuk memotong*), maka ia akan memanfaatkanmu (*dipotong*)
–Imam Syafi'i-
3. Nikmati setiap proses dalam hidup, jangan hanya jadikan materi dunia sebagai patokan keberhasilan, karena pada akhirnya yang membuat hidup ini kaya adalah rasa syukur.
4. Ilmu yang paling berguna adalah yang tersalurkan. Senajan sithik ajarno.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Bapak Asymuni, dan Ibu Masykuroh, selaku *support system* utama di hidup saya, yang telah mengantarkan saya sampai titik ini. Kedua orang tua yang tak pernah lelah berdo'a, yang selalu bersabar dalam memberikan arahan. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada bapak, ibu.
2. Seluruh keluarga besar bani dahlan dan bani fathurrohman.
3. Bapak kedua selama menempuh studi ini, Abah kyai Drs. Subki, sekeluarga.
4. Teman seperjuangan PTE '14 dan Teman nyantri di PPMR.
5. Serta seluruh pihak yang telah memberi peran, dalam masa studi saya selama di universitas negeri semarang.

-Terima kasih-

RINGKASAN

Ulinnuha Luthfi. 2020. **Otomatisasi Pengolahan Limbah Cair Batik Metode Elektrokoagulasi Dengan Optimasi Kontrol Logika *Fuzzy***. Skripsi, Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Tatyantoro Andrasto S.T., M.T.

Di kota Semarang terdapat usaha di bidang tekstil (batik), beberapa diantaranya tergolong usaha mikro kecil menengah, yang memiliki kecenderungan untuk membuang limbah hasil pewarnaan secara langsung tanpa adanya pengolahan. Dari latar belakang tersebut, dibutuhkan sistem pengolahan limbah cair yang murah, mudah, dan efisien. Studi ini mempelajari metode pengolahan limbah cair industri batik, dengan *monitoring* kadar zat kimia terkandung secara *real time*, serta optimasi dari segi sistem kontrol untuk diotomatisasikan.

Menggunakan metode elektrokoagulasi untuk proses dekolerasi warna, dengan 3 parameter terukur dari sensor photodiode (kepekatan), sensor pH (keasaman), serta RTC (durasi proses elektrokoagulasi), diproses menggunakan mikrokontroler ATmega 2560, dengan optimasi sistem kontrol logika *fuzzy*. Dengan metode penelitian *Research and Development*, kemudian dilakukan uji sensor dan uji fungsionalitas alat secara keseluruhan.

Dari hasil uji sensor, didapat tingkat keakuratan sensor pH (99,46%), RTC (99,95%). Dan dari hasil uji fungsionalitas alat memiliki tingkat penurunan kadar kepekatan rata-rata mencapai 87,26% dan kadar keasaman rata-rata mencapai 22,67%.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, pada penelitian ini dapat terdapat beberapa saran, untuk penambahan kontrol *fuzzy* adaptif dalam menentukan *set point* parameter pada logika *fuzzy*, serta untuk mempertimbangkan penambahan sensor guna memperluas sistem monitoring hasil olahan limbah.

Kata Kunci : *Pengolahan Limbah cair, Elektrokoagulasi, Fuzzy, Monitoring.*

PRAKATA

Segala puji dan syukur diucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan inayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan, petunjuk, saran serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini digunakan untuk menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus, M.T, selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Tatyantoro Andrasto, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing yang penuh perhatian dalam membimbing, memberikan saran dan masukan untuk kebaikan skripsi ini.
4. Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T, selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
5. Drs. Slamet Seno Adi, M.Pd., dan M.T.Ir. Ulfah Mediaty Arief M.T., IPM selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran membangun.
6. Serta semua pihak yang tidak dapat di sebutkan satu persatu, yang turut serta memberikan dukungan selama penyusunan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam estafet ilmu pengetahuan pada bidang karya tulis ilmiah.

Semarang, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Identifikasi Masalah	5
1.3.Pembatasan Masalah	5
1.4.Perumusan Masalah	6
1.5.Tujuan Penelitian	6
1.6.Manfaat Penelitian	6
BAB 2 LANDASAN TEORI	8
2.1.Deskripsi Teoritik	8
2.1.1.Batik	8
2.1.2.Pewarna Tekstil	9

2.1.3.Limbah	11
2.1.4.Elektrokoagulasi.....	13
2.1.5.Logika Fuzzy.....	14
2.1.6.eFLL (Embadded Fuzzy Logic Library).....	16
2.1.7.Mikrokontroler	17
2.1.8.Arduino.....	17
2.1.9.Sensor	18
2.1.10.Aktuator.....	22
2.1.11.Power Supply (Catu daya).....	26
2.2.Kajian Penelitian yang Relevan	26
2.3.Kerangka Berfikir.....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	30
3.1.Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.2.Alur Penelitian.....	30
3.3.Prosedur Penelitian.....	32
3.3.1.Tahap Studi Pendahuluan.....	32
3.3.2.Tahap Pengembangan.....	33
3.4.Uji Coba Alat.....	43
3.4.1.Instrumen Pengumpulan Data	43
3.4.2.Teknik Pengumpulan Data	47
3.4.3.Teknik Analisis Data	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1.Hasil Penelitian.....	48

4.1.1. Hasil Penelitian Laboratorium	49
4.1.2. Hasil Uji Implementasi Alat.....	59
4.2. Analisis Data	60
4.2.1. Analisis Penelitian Laboratorium.....	60
4.2.2. Analisis Uji Implementasi Alat.....	67
4.3. Pembahasan	68
4.3.1. Pembahasan Hasil Uji Alat	68
4.3.2. Pembahasan Hasil Alat dengan Penelitian Sebelumnya	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1. Kesimpulan.....	72
5.2. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	74
DAFTAR LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Standarisasi baku mutu air limbah industri tekstil dan batik	3
Tabel 2.1. Karakter dasar teknologi pengolahan air limbah	12
Tabel 2.2. Spesifikasi hardware arduino mega 2560	18
Tabel 2.3. Konfigurasi pin sensor pH	19
Tabel 2.4. Konfigurasi pin sensor photodioda	21
Tabel 2.5. Konfigurasi pin Real Time Clock (RTC) DS1307.....	22
Tabel 2.6. Konfigurasi Pompa air submersible.....	24
Tabel 2.7. Konfigurasi pin motor servo	25
Tabel 2.8. Konfigurasi penggunaan catu daya	26
Tabel 3.1. Fungsi Keanggotaan Kepekatan.....	39
Tabel 3.2. Fungsi Keanggotaan Keasaman	40
Tabel 3.3. Fungsi Keanggotaan Durasi	40
Tabel 3.4. Fungsi Keanggotaan Output.....	41
Tabel 3.5. Komposisi Aturan (Rulebase) Sistem Kontrol Logika Fuzzy	42
Tabel 3.6. Instrumen Uji Kerja Sensor Photodioda	45
Tabel 3.7. Instrumen Uji Kerja Sensor pH.....	46
Tabel 3.8. Instrumen Uji Kerja RTC.....	46
Tabel 4.1. Hasil Uji Kerja Tegangan 5V Catu Daya.....	49
Tabel 4.2. Hasil Uji Kerja Tegangan 9V Catu Daya.....	50
Tabel 4.3. Hasil Uji Kerja Tegangan 12V Catu Daya.....	50
Tabel 4.4. Hasil Uji Kerja Sensor Photodioda	52
Tabel 4.5. Hasil Persentase Penurunan Tingkat Kepekatan.....	53

Tabel 4.6. Hasil Uji Kerja Sensor pH	54
Tabel 4.7. Hasil Persentase Penurunan Tingkat Keasaman	55
Tabel 4.8. Hasil Uji Kerja Real Time Clock (RTC)	56
Tabel 4.9. Hasil Uji Kerja Kontrol Logika Fuzzy (FLC).....	57
Tabel 4.10. Daftar Nilai Input Fungsi Keanggotaan	58
Tabel 4.11. Hasil Uji Implementasi Alat Secara Keseluruhan.....	59
Tabel 4.12. Analisis Uji Kerja Catu Daya.....	61
Tabel 4.13. Studi Kasus Perhitungan Matematis Kontrol Logika Fuzzy.....	63
Tabel 4.14. Aturan Daerah Implikasi dan Nilai Operator Fuzzy	64
Tabel 4.15. Perbandingan Berbagai Metode Defuzzifikasi	67
Tabel 4.16. Parameter Output Limbah Hasil Pengolahan.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema proses produksi batik.....	9
Gambar 2.2. Diagram sensor pH DFRobot versi 1.0	19
Gambar 2.3. Modul sensor photodiode.....	20
Gambar 2.4. Real Time Clock (RTC) DS1307.....	22
Gambar 2.5. Pompa air submersible	23
Gambar 2.6. Prinsip Kerja Motor Servo	25
Gambar 2.7. Motor servo SG90.....	25
Gambar 3.1. Flowchart alur penelitian.....	31
Gambar 3.2. Outline prototipe dalam desain 2d	34
Gambar 3.3. Outline prototipe dalam desain 3d	34
Gambar 3.4. Blok sistem.....	35
Gambar 3.5. Perencanaan diagram skematik secara keseluruhan.....	36
Gambar 3.6. Flowchart cara kerja sistem.....	37
Gambar 3.7. Flowchart Sub Proses Sistem Fuzzy	38
Gambar 3.8. Fungsi keanggotaan kepekatan.....	40
Gambar 3.9. Fungsi keanggotaan pH.....	40
Gambar 3.10. Fungsi keanggotaan durasi.....	41
Gambar 3.11. Fungsi keanggotaan output	41
Gambar 4.1. Prototipe Pengolah Limbah Cair Batik	48
Gambar 4.2. Pemodelan Sistem Kontrol Logika <i>Fuzzy</i> Simulink Matlab	59
Gambar 4.3. Daerah Input Variabel Kepekatan	63
Gambar 4.4. Daerah Input Variabel Keasaman	63

Gambar 4.5. Daerah Input Variabel Durasi	64
Gambar 4.6. Daerah Variabel Output dan Luas Daerah Fuzzifikasi.....	65
Gambar 4.7. Grafik Penurunan Kadar Kepekatan pada Limbah cair	67
Gambar 4.9. Grafik Penurunan Kadar Keasaman pada Limbah cair	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing.....	77
Lampiran 2. Source Code Program pada Arduino IDE	78
Lampiran 3. Surat Keputusan Hasil Penelitian	82
Lampiran 4. Rangkaian simulasi pada software Proteus 8 Pro	84

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor industri mempunyai peranan yang penting dalam perekonomian nasional, Selama ini di negara-negara berkembang seperti Indonesia, industrialisasi merupakan ‘primadona’ dalam usaha pembangunan negaranya khususnya dari strategi perbaikan kondisi perekonomian (Damayanthi, 2008: 68). Disebutkan, Kementerian Koordinator Perekonomian (2011: 77-79) salah satu industri unggulan di koridor Pulau Jawa adalah industri tekstil dan produk tekstil. Dimana di dalamnya terdapat industri batik dan produk batik yang menyokong pertumbuhan industri tekstil.

Industri batik di Indonesia tersebar di beberapa daerah di pulau Jawa yang kemudian menjadi nama dari jenis-jenis batik tersebut (Nurainun, et al., 2008: 124). Setiap batik dari daerah tersebut memiliki ciri motif yang spesifik. Demikian halnya dengan batik semarang, Saat ini kota Semarang baru memiliki 67 usaha batik. Usaha batik tersebut tersebar di beberapa kecamatan yang ada di Kota Semarang (Disperindag Kota Semarang, 2009).

Dari usaha pemerintah kota semarang, terlahir sebuah industri kreatif yang bertempat di kelurahan Pedalangan, kecamatan Banyumanik, Kabupaten Semarang, yaitu Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) Hasta Karya. Memiliki beberapa sentra pembuatan kerajinan tangan berupa produksi batik, rajut, makram, dan sulam pita (Laporan KKN Pedalangan Banyumanik 2017: 14). Dan sentra batiklah yang menjadi produk unggulan dari hasta karya.

Sementara itu menurut penelitian Yulianita dengan judul Analisis perkembangan industri Batik Semarang (2011: 5) permasalahan yang dihadapi oleh pengrajin Batik Semarang antara lain adalah Kurangnya permodalan, Keterbatasan SDM usaha batik dilihat dari segi pendidikan formal maupun pengetahuan dan ketrampilannya, Lemahnya jaringan usaha dan kemampuan untuk pemasaran, minimnya ketersediaan bahan baku, minat pengrajin batik. Dan kurangnya edukasi pengelola industri akan dampak negatif yang timbul dan berpengaruh terhadap lingkungan.

Menurut nuraini, et al., (2008: 127) ada 3 jenis pembuatan batik yang biasa digunakan pada industri batik yaitu:

(1) Batik Tulis, semula batik dibuat diatas bahan dengan warna putih yang terbuat dari kapas yang dinamakan kain mori, saat ini batik juga dibuat diatas bahan lain seperti sutera, poliester dan rayon serta bahan sintesis lainnya...(2) Batik cap, untuk batik cap menggunakan proses yang sama hanya saja penggambaran motif dilakukan dengan menggunakan cap atau stempel tembaga. Kain digelar diatas meja panjang, lalu cap dicelupkan ke dalam lilin dan ditekan pada kain bolak-balik.(3) Batik printing, diproduksi dengan mesin.

Pada skala home industri di Hasta Karya, menggunakan metode batik tulis, dan batik cap, dari proses awal (ngemplong/ pencucian kain mori) sampai proses akhir (ngelorod/ membersihkan sisa malam) dilakukan secara mandiri, akan tetapi terkendala dalam proses pewarnaan, dimana proses pengolahan limbah cair hasil pewarnaan belum bisa dilakukan. Sehingga selama ini proses pewarnaan kain batik dilakukan oleh pengrajin batik didaerah lain.

Dikarenakan, setiap proses produksi batik banyak menggunakan zat-zat kimia yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Wardhana 2004). Yang berasal dari zat pewarna kimia, dan bahan padatan yang terlarut dalam air. Dampak

negatif yang ditimbulkan diantaranya adalah daerah aliran sungai menjadi berwarna, tidak dapat mendukung sistem kehidupan perairan (Suyata & Kurniasih 2012), mengandung logam berat (Purwaningsih 2008), kualitas air menjadi semakin buruk dan tidak layak digunakan sebagai air bersih (Widodo et al. 2012), dapat mengganggu kesehatan, misalnya iritasi kulit dan mata hingga menyebabkan kanker, serta dapat menyebabkan terjadinya mutagen (Mathur et al. 2005). Zat warna yang banyak digunakan oleh industri batik untuk pewarnaan batik diantaranya adalah rhodamin B (RhB), indigosol, dan naphtol (Kasam et al. 2009).

Dimuat dalam peraturan daerah provinsi Jawa Tengah nomor 5 tahun (2012: 17) , perubahan atas peraturan daerah provinsi Jawa Tengah nomor 10 tahun 2004 tentang baku mutu air limbah

Tabel 1.1. Standarisasi baku mutu air limbah industri tekstil dan batik
Perda Jateng nomor 5 tahun (2012: 17)

NO	PARAMETER	KADAR MAKS (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)							
			Tekstil Terpadu	Pencucian Kapas, Pemintalan Penenunan	Perekatan (Sizing) Desizing	Pengikisan, Pemasakan (Klering, Scouring)	Pemucatan (Bleaching)	Merseri sasi	Pencelupan (Dyeing)	Pencetakan (Printing)
1.	Temperatur	38 °C	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	BOD ₅	60	6,00	0,42	0,6	1,44	1,08	0,9	1,2	0,36
3.	COD	150	15,0	1,05	1,5	3,6	2,7	2,25	3,0	0,9
4.	TSS	50	5,00	0,35	0,5	1,2	0,9	0,75	1,0	0,3
5.	Fenol total	0,5	0,05	0,004	0,005	0,012	0,009	0,008	0,01	0,003
6.	Khrom total (Cr)	1,0	0,10	-	-	-	-	-	0,02	0,006
7.	Amoniak total (NH ₃ -N)	8,0	0,80	0,056	0,08	0,192	0,144	0,12	0,16	0,048
8.	Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03	0,002	0,003	0,007	0,0054	0,005	0,006	0,002
9.	Minyak dan lemak	3,0	0,30	0,021	0,03	0,07	0,054	0,045	0,06	0,018
10.	pH	6,0 - 9,0								
11.	Debit Maksimum (m ³ /ton produk tekstil)		100	7	10	24	18	15	20	6

Ada banyak metode yang dilakukan untuk mengolah limbah industri tekstil seperti adsorpsi, koagulasi & flokulasi, dan oksidasi kimiawi (Jia et al., 1999). Merujuk pada penelitian Riadi, et al., (2014: 77) dari 800 ml limbah cair batik, menghasilkan sludge 3,4% lebih sedikit dan 52,35% lebih murah dibanding

koagulasi bahan kimia, dan metode yang menjanjikan adalah elektrokoagulasi (EC) (Dalvand et al. 2011; Y Demirci et al. 2015; Yavuz Demirci et al. 2015; Khorram and Fallah 2018; Riadi, Ferydhiwati, and Loeman 2014; Yuksel, Gurbulak, and Eyvaz 2012). EC adalah proses melewati arus listrik DC, melalui plat elektroda, untuk menghasilkan ion logam yang menghilangkan polutan melalui metode pengendapan dan koagulasi (Y Demirci et al. 2015).

Serta untuk menunjang segi efektif dan efisien (limbah produksi yang dihasilkan, diolah, dengan keluaran air limbah siap buang yang terukur), pada penelitian ini dilakukan otomatisasi pembuangan limbah cair batik dengan beberapa parameter terukur sebagai acuan, dengan menyesuaikan standart baku mutu air limbah (tabel 1.1). Yang memanfaatkan hasil pembacaan dari sensor photodiode (parameter tingkat kepekatan), sensor pH (parameter tingkat keasaman), dan RTC (parameter waktu/ durasi). Yang kemudian menggunakan sistem kontrol secara otomatis dari mikrokontroler ATMEGA 2560, serta dioptimasi menggunakan kontrol logika *fuzzy*.

Sistem kendali kontrol logika *fuzzy* atau *fuzzy logic controller* (FLC), dipilih karena merupakan sistem pengendali yang relatif mudah dan fleksibel, dirancang tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan. Dan dalam kontrol *fuzzy*, nilai kontrol diperoleh berdasarkan aturan *fuzzy* yang mirip dengan model penalaran manusia, yang berarti dapat menggabungkan pengalaman ahli dalam bidang tertentu (elektrokoagulasi) dengan sistem kontrol (Noor and Kamal 2017; Vijayaraghavan and Jayalakshmi 2015) sehingga kontrol

logika *fuzzy* dapat menjadi solusi alternatif untuk menghasilkan keputusan yang tepat berdasarkan tiga parameter input.

1.2. Identifikasi Masalah

Dari uraian latar belakang, maka dapat dibuat suatu identifikasi masalah sebagai berikut :

- a. Limbah cair batik yang disimpan terlalu lama menyebabkan sarang nyamuk, dan menimbulkan bau tidak sedap.
- b. Mencemari lingkungan jika dibuang langsung tanpa adanya pengolahan, baik pada lingkungan perairan dan tanah.
- c. Ditinjau dari segi efektif dan efisien, prototipe yang digunakan untuk menanggulangi masalah diatas harus di optimasi dengan sistem otomatisasi.

1.3. Pembatasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

- a. Limbah cair batik yang digunakan adalah hasil satu kali pewarnaan
- b. Volume limbah cair batik sekali olah adalah, 3200 mL
- c. Spesifikasi alat pengolahan limbah cair batik menggunakan studi literasi yang sama dari jurnal “Pengolahan Primer Limbah Tekstil Dengan Elektrokoagulasi Dan Analisa Biaya Operasi” (Riadi, et al., 2014) dan disesuaikan dengan metode trial and error.
- d. Berdasarkan tabel 1.1, terdapat 11 parameter air limbah dikatakan siap buang. Akan tetapi karena keterbatasan sumber daya, sistem monitoring pada penelitian ini hanya menggunakan 2 parameter yaitu, tingkat kepekatan (sensor photodiode dan infrared), tingkat keasaman (sensor pH).

Ditambah 1 parameter tambahan untuk sistem elektrokoagulasi yaitu, durasi pengolahan air limbah (RTC).

- e. Penulisan skripsi berfokus pada perancangan alat kontrol otomatis pembuangan limbah cair batik, sehingga tidak membahas metode pengolahan limbah cair batik (elektrokoagulasi) secara mendetail.

1.4. Perumusan Masalah

Dari identifikasi masalah yang ada, maka dapat ditarik beberapa rumusan masalah, yaitu :

- a. Bagaimana merancang sistem kendali otomatis pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi kontrol logika fuzzy?
- b. Bagaimana unjuk kerja dari sistem kendali otomatis pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi kontrol logika fuzzy?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, penelitian dalam skripsi ini bertujuan untuk:

- a. Membangun sistem kendali otomatis pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi kontrol logika fuzzy.
- b. Menguji fungsionalitas sistem kendali otomatis pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi kontrol logika fuzzy.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat kepada berbagai pihak antara lain:

1.6.1. Bagi Mahasiswa

- a. Menambah ilmu pengetahuan tentang kearifan budaya lokal (batik), bahaya pembuangan limbah secara langsung
- b. Mengaplikasikan ilmu tentang penerapan mikrokontroler khususnya dalam bidang sistem kendali logika *fuzzy*.

1.6.2. Bagi Jurusan

- a. Sebagai parameter kualitas dan kuantitas kelulusan mahasiswa fakultas teknik Universitas Negeri Semarang

1.6.3. Bagi Masyarakat

- a. Menimbulkan sikap peduli terhadap lingkungan, tentang bahaya pembuangan limbah secara langsung ke alam
- b. Dapat dimanfaatkan sebagai solusi permasalahan pengolahan limbah cair batik
- c. Sebagai referensi atau bahan pelajaran dan sebagai kajian untuk pengembang selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Deskripsi Teoritik

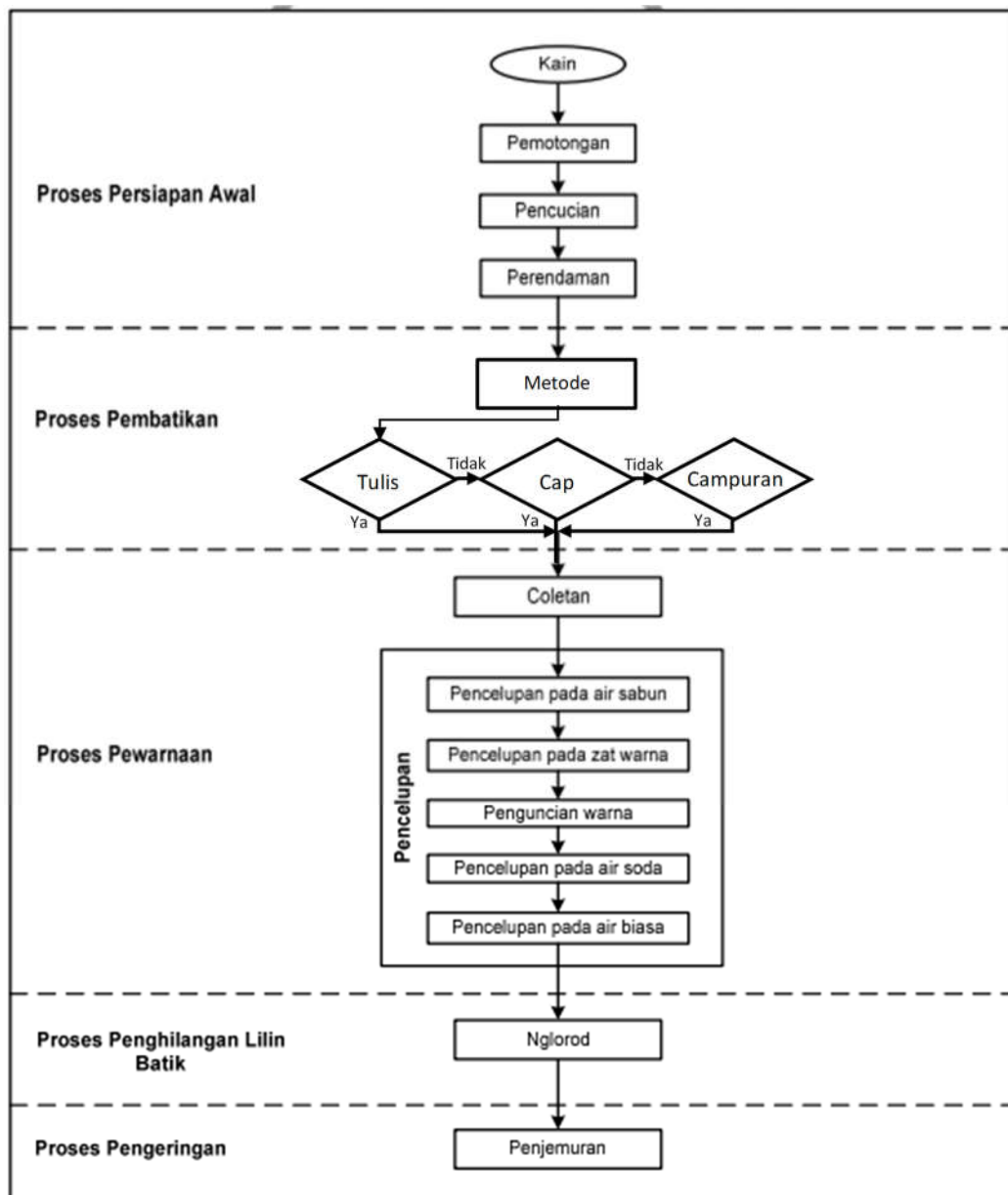
2.1.1. Batik

Menurut Konsensus Nasional 12 Maret 1996, batik adalah karya seni rupa pada kain dengan pewarna rintang yang menggunakan lilin batik sebagai perintang warna dengan menggunakan alat canting atau cap. Dalam literatur internasional, teknik ini dikenal sebagai wax-resist dyeing.

Dalam segi pewarnaan, batik bisa saja memiliki kesamaan dengan negara lain, namun teknologi canting hanya dimiliki oleh Indonesia, termasuk ragam hiasnya yang memiliki kekhasan hanya ada di Indonesia. Batik Indonesia, sebagai keseluruhan teknik, teknologi, serta pengembangan motif dan budaya yang terkait, oleh UNESCO telah ditetapkan sebagai Warisan Kemanusiaan untuk Budaya Lisan dan Non bendawi (*Masterpieces of the Oral and Intangible Heritage of Humanity*) sejak 2 Oktober 2009.

Menurut Daranindra (2010: 11) proses membuat batik dibagi menjadi 4 tahapan besar, yaitu:

- a. Proses Persiapan Awal
- b. Proses Pematikan
- c. Proses Pewarnaan
- d. Proses Penghilangan Lilin



Gambar 2.1. Skema proses produksi batik
Daranindra (2010: 11)

2.1.2. Pewarna Tekstil

Dari bahan pembuatnya zat pewarna batik dapat dibagi menjadi 2 golongan, yaitu:

2.1.2.1. Pewarna alami

Zat warna yang diperoleh dari alam/ tumbuh-tumbuhan baik secara langsung maupun tidak langsung. Ada tiga tahap proses pewarnaan alam yang harus dikerjakan yaitu: proses mordanting (proses awal/pretreatment), proses pewarnaan (pencelupan), dan proses fiksasi (penguatan warna).

2.1.2.2. Pewarna buatan/pewarna sintetis

Zat warna kimia mudah diperoleh, stabil dan praktis pemakaiannya. Adapun zat warna yang biasa dipakai untuk mewarnai batik antara lain:

a. Zat warna reaktif

Zat warna reaktif umumnya jenisnya cukup banyak dengan nama dan struktur kimia yang berbeda tergantung pabrik yang membuatnya.

Nama dagang zat warna reaktif, sebagai berikut:

1. Procion (produk dari I.C.I) Drimarine (produk Sandoz)
2. Cibacron (produk Ciba Geigy) Primazine (produk BASF)
3. Remazol (produk Hoechst) Levafix (produk Bayer)

b. Zat warna indigosol

Zat warna indigosol adalah jenis zat warna Bejana yang larut dalam air. Larutan zat warnanya merupakan suatu larutan berwarna jernih. Pada saat kain dicelupkan ke dalam larutan zat warna belum diperoleh warna yang diharapkan. Setelah dioksidasi/dimasukkan ke dalam larutan asam (HCl atau H₂SO₄) akan diperoleh warna yang dikehendaki.

c. Zat warna naphthol

Zat warna ini merupakan zat warna yang tidak larut dalam air. Untuk melarutkannya diperlukan zat pembantu kostik soda. Pencelupan naphthol dikerjakan dalam 2 tingkat.

d. Zat warna rapid

Zat warna ini adalah naphthol yang telah dicampur dengan garam diazodium dalam bentuk yang tidak dapat bergabung (koppelen). Untuk membangkitkan warna difixasi dengan asam sulfat atau asam cuka.

2.1.3. Limbah

Dalam UU No.32/2009 PLH Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada BAB I Pasal 1 ayat (20), limbah adalah sisa dari suatu usaha/kegiatan. Bahan yang sering ditemukan dalam limbah antara lain senyawa organik yang dapat terbiodegradasi, senyawa organik yang mudah menguap, senyawa organik yang sulit terurai (*Rekalsitran*), logam berat yang toksik, padatan tersuspensi, nutrien, mikrobia patogen, dan parasit, Waluyo (2010).

Dengan kata lain, Asmadi (2011) limbah adalah buangan atau hasil proses produksi suatu kegiatan usaha (non domestik) atau rumah tangga (domestik). Yang sudah tidak memiliki nilai ekonomis. Adapun limbah memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, sebelum melalui proses pengolahan.

2.1.3.1. Karakteristik Limbah Cair

Secara garis besar limbah cair dapat diindikasikan dari 3 faktor utama, fisik, kimia, dan biologi, dengan keterangan detailnya disajikan tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakter fisik, kimia dan biologi limbah cair dasar-dasar teknologi pengolahan air limbah (2012)

Karakteristik	Sumber
Fisik: 1. Warna 2. Bau 3. Padatan 4. Temperature	Limbah domestik, industri, penguraian material organik Dekomposisi air limbah dan limbah industri Limbah domestik, industri dan erosi tanah Limbah industri dan domestik
Kimia Organik 1. Karbohidrat 2. Lemak oil dan pelumas 3. Protein 4. Surfaktan	Limbah industri, komersial dan domestik Limbah industri, komersial dan domestik Limbah industri, komersial dan domestik Limbah industri, komersial dan domestik
Kimia Anorganik 1. Alkalinitas 2. Logam berat 3. pH 4. Sulfur	Limbah domestik, dan infiltrasi air bawah tanah Limbah industri Limbah industri, komersial dan domestik Limbah industri, komersial dan domestik
Gas 1. H_2S (Hidrogen sulfide) 2. CH_4 (methan)	Dekomposisi limbah domestik Dekomposisi limbah domestic
Biologi 1. Hewan 2. Tumbuhan 3. Bakteri 4. Virus	Aliran limbah terbuka dan instasi pengolahan Air limbah terbuka Pengaliran limbah domestik dan infiltrasi air permukaan Limbah domestik

Dikarenakan keterbatasan sumber daya, maka yang dijadikan tolak ukur pengolahan limbah cair batik pada penelitian ini hanya 2 indikasi, yaitu karakteristik fisik (warna) dan kimia (pH/ derajat keasaman).

2.1.3.2. Klasifikasi Pengolahan limbah Cair

Menurut Asmadi & Suharno (2012: 70) dari bukunya “Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah” pengolahan limbah cair dapat diklasifikasikan menjadi 3 tahapan utama, yaitu:

a. Pengolahan Pertama (Primary Treatment).

Pengolahan tahap ini bertujuan untuk memisahkan padatan dari air secara fisik. Hal ini dapat dilakukan dengan melewati air limbah melalui saringan (filter) dan atau bak sedimentasi.

b. Pengolahan Kedua (Secondary Treatment).

Pengolahan tahap ini bertujuan untuk mengokulasi dan menghilangkan koloid serta untuk menstabilkan zat organik dalam air limbah. Pengolahan kedua menurunkan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) yang larut dan tidak terolah pada pengolahan pertama, dan pengolahan terhadap *suspended solid*.

c. Pengolahan ketiga (Tertiary treatment).

Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan lanjutan dan efluen dan dilakukan pengolahan paripurna. Dengan cara ini biasanya mengurangi BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), *phosphor*, *suspended solid*, dan bakteri sebanyak 95%.

2.1.4. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinyu menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia, yaitu gejala dekomposisi elektrolit, yang elektrodanya terbuat dari aluminium. Dalam proses ini

akan terjadi reaksi reduksi dan diendapkan di kutub negatif, sedangkan elektroda positif akan teroksidasi yang berfungsi sebagai koagulan.

Menurut Mollah, dkk (2004) Elektrokoagulasi merupakan metode yang sederhana, dapat diandalkan (*reliable*), dan metode yang sangat efektif untuk pengolahan limbah cair.

Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit. Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Holt, dkk, 2006).

Metode *electrocoagulation* ini sudah dilakukan untuk zat warna pada industri tekstil dengan 81% penghilangan COD dan 97% penghilangan TSS yang menggunakan elektroda Al/Al (Yuksel dkk., 2012).

Metode ini sudah terbukti dalam banyak literasi, penelitian, pengujian, bahkan alat produksi massa untuk sistem pengolahan limbah cair dari berbagai macam industri, bahwa metode ini efektif menghilangkan zat kimia berbahaya yang terkandung di dalamnya.

2.1.5. Logika *Fuzzy*

Merupakan sistem kendali dengan logika aras keabuan, yang diprakarsai oleh Prof. Lotfi A Zadeh lewat jurnal "*Fuzzy Sets*" pada tahun 1965. Sebagai

perantara ketidakpastian linguistik dengan sistem kendali. Yang mana menurut Athia (2009) Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan”, dan “sangat” (Athia, 2009).

Dalam pengambilan keputusan akhir untuk output kontroler *Fuzzy logic controller* menggunakan sebuah logika *fuzzy*. Dengan komponen utamanya adalah *fuzzyfication, rule-base, inference dan defuzzyfication* (Selvan, et al., 2014:11).

Pada penelitian ini akan berfokus menggunakan sistem kontrol logika *fuzzy* dengan metode mamdani yang sering juga dikenal dengan nama metode MIN - MAX. Yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Dilatar belakangi kelebihan dari metode ini antara lain, seperti, sistem matematis yang sederhana dan mudah dipahami, serta penggunaannya yang lebih luas, karena lebih mengacu pada model linguistik, serta sudah dipakai dalam banyak penelitian dan pengaplikasian (Noor and Kamal 2017; Pourjavad and Shahin 2018).

Selanjutnya sistem logika *fuzzy*, akan dimodelkan terlebih dahulu pada *toolbox FIS matlab*. FIS dikenal sebagai salah satu model *fuzzy*, dengan sistem non linier yang menerapkan aturan *fuzzy IF-Then* untuk memodelkan aspek kualitatif pengetahuan manusia tanpa analisis mendalam (Pourjavad and Shahin 2018).

Dan dalam prosedur penggunaannya, menurut Kusumadewi dan Purnomo (2004:39) kontrol logika *fuzzy* metode mamdani memerlukan 4 tahapan, diantaranya adalah:

a. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Dari beberapa variabel parameter yang digunakan sebagai masukan baik input maupun output dikategorikan dalam satu atau lebih himpunan dengan variabel linguistik.

b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Setelah pembentukan himpunan, dilakukan fungsi implikasi atau penggabungan antar beberapa himpunan, dan implikasi yang digunakan adalah Min.

c. Komposisi Aturan

Setelah diperoleh hasil dari fungsi implikasi, langkah selanjutnya adalah menentukan komposisi tiap-tiap aturan dan metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu Metode MAX (maximum).

d. Defuzzifikasi

Hasil dari himpunan input yang sudah di fuzzifikasi, diijadikan sebagai masukan untuk proses defuzzy, dan nilai akhir defuzzy tersebut dikategorikan dalam variabel himpunan output untuk dikonversi kembali menjadi nilai *crisp*. Ada banyak metode perhitungan defuzzy, dan dalam penulisan ini menggunakan metode *Center of Area (Center of Gravity)*.

2.1.6. eFLL (*Embadded Fuzzy Logic Library*)

Dikembangkan oleh Robotic Research Group (RRG) di Universitas Negeri Piauí (UESPI-Teresina), eFLL adalah suatu pustaka yang digunakan untuk mempermudah programer (dalam kasus ini mikrokontroler) untuk menggunakan kontrol logika *fuzzy* agar lebih efisien. Dibuat menggunakan bahasa C++/C, dan

hanya menggunakan pustaka eksternal (standar bahasa C) yaitu “`stdlib.C`”. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Metode Fuzzy : Mamdani
- b. Metode Implikasi : Min
- c. Metode Komposisi Aturan : Max
- d. Metode Defuzzifikasi : Center of Area

Dapat digunakan untuk semua *embadded system* yang menggunakan bahasa C/C++ dan tidak hanya arduino. Serta kelebihan lainnya adalah tidak adanya limitasi himpunan dan aturan dalam penggunaan sistem kontrol logika *fuzzy* (limitasinya hanya ada pada *hardware* yang digunakan).

2.1.7. Mikrokontroler

Menurut Bejo (2008), mikrokontroler dapat dianalogikan dengan sebuah sistem komputer yang dikemas dalam sebuah *chip*. Artinya bahwa di dalam sebuah IC (*integrated circuit*) mikrokontroler sudah terdapat kebutuhan minimal dari mikroprosesor yaitu mikroprosesor, ROM, RAM, I/O dan *clock* seperti halnya yang dimiliki oleh sebuah komputer.

2.1.8. Arduino

Arduino adalah papan elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah *chip* mikrokontroler Atmega berjenis AVR dari perusahaan Atmel (Muhammad Syahwil, 2013: 60). Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik. Adapun jenis arduino itu

bermacam-macam, Dan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jenis Arduino Mega 2560 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2.2. Spesifikasi hardware arduino mega 2560

Mikrokontroler	Atmega2560
Operasi tegangan	5 Volt
Input tegangan	disarankan 7-12 Volt
Input tegangan batas	6-20 Volt
Pin I/O Digital	54 (15 bisa untuk PWM)
Pin PWM Digital	15
Pin Analog	16
Arus DC tiap pin I/O	40mA
Arus DC ketika 3.3V	50mA
Memori flash	256 KB dan 8 KB digunakan sebagai bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Kecepatan clock	16 MHz
Panjang	101,52 mm
Lebar	53,3 mm
Berat	37 g

2.1.9. Sensor

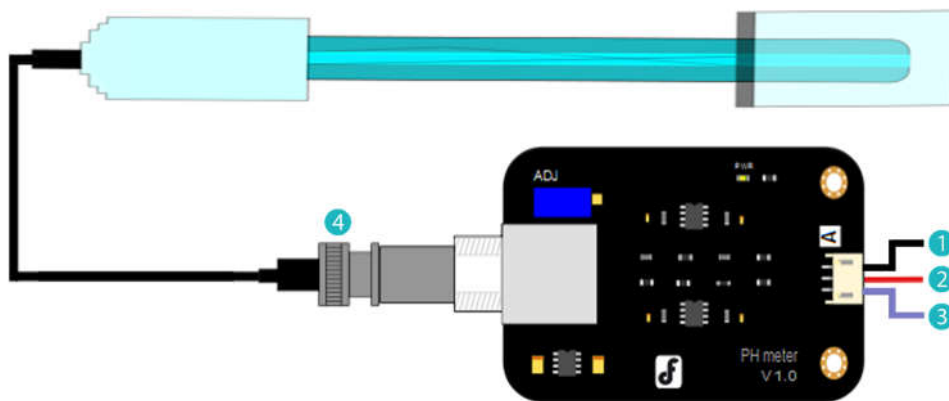
Sensor adalah sebuah transduser yang digunakan untuk mengkonversi besaran fisik (pada generator) menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu (Sumbodo, Wirawan. 2008 :647). Contoh: Kamera sebagai sensor penglihatan, telinga sebagai sensor pendengaran.

2.1.9.1. Derajat Keasaman (pH)

Kadar pH larutan merupakan parameter penting dalam memodelkan sistem EC (Koparal et al. 2008), dimana dalam sensor pH terdiri dari tiga komponen, yang meliputi elektroda pengukur dan elektroda referensi, *preamplifier* dan sebuah

transmitter. Pada sensor pH menggunakan terminal positif untuk elektroda pengukuran dan terminal negatif untuk elektroda referensi (Agarwal, 2012). pH didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut.

Koefisien aktivitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoritis. Skala pH bukanlah skala absolut. Ia bersifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional. Bila $pH < 7$ larutan bersifat asam, $pH > 7$ larutan bersifat basa. Dalam larutan neutral $pH=7$.



Gambar 2.2. Diagram sensor pH DFRobot versi 1.0 (www.dfrobot.com)

Tabel 2.3. Konfigurasi pin sensor pH

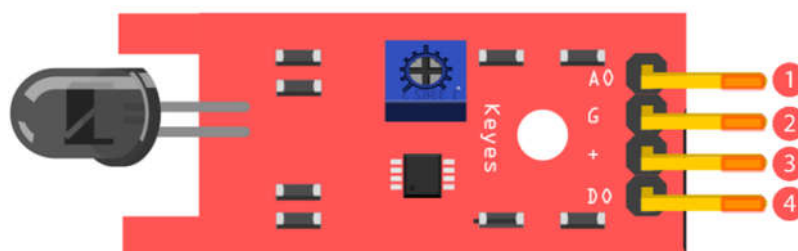
Nomor	Label	Keterangan
1	-	GND (0V)
2	+	VCC (5V)
3	A	Output sinyal analog (0-3.0V)
4	BNC	Konektor pH probe

2.1.9.2. Sensor Photodioda

Sensor Photodioda adalah suatu jenis dioda yang bekerja berdasarkan intensitas cahaya, dimana jika terkena cahaya maka bekerja seperti dioda pada umumnya, tetapi jika tidak mendapat cahaya maka akan berperan seperti resistor dengan nilai tahanan yang besar sehingga arus listrik tidak dapat mengalir. (Mulyana, 2014: 103).

Sensor ini memiliki 3 komponen utama pada papan sirkuitnya. Pertama, unit sensor di depan modul yang mengukur area secara fisik dan mengirim sinyal analog ke unit kedua, amplifier. Amplifier menguatkan sinyal, sesuai dengan nilai resistensi dari potensiometer, dan mengirimkan sinyal ke output analog dari modul. Komponen ketiga adalah komparator yang mengubah keluaran digital dan LED jika sinyal berada di bawah nilai tertentu. Dengan sensitifitas sensor dapat diatur dari nilai resistansi trimmer. Dan output sinyal akan dibalik, yang berarti bahwa jika terukur nilai kecerahan tinggi, maka nilai tegangan pada output analog rendah.

Menggunakan prinsip kerja yang sama dengan sensor kekeruhan standar, yaitu dengan cara menangkap hamburan cahaya yang dilewatkan pada air limbah selama proses EC (Mulyana and Hakim 2018; Nuzula, Sakinah, and Endarko 2017).



Gambar 2.3. Modul sensor *photodioda* (Komponen fritzing)

Tabel 2.4. Konfigurasi pin sensor photodioda

Nomor	Label	Keterangan
1	AO	Output sinyal analog (0-5V)
2	G	GND (0V)
3	+	VCC (5V)
4	DO	Output sinyal digital (0 dan 1)

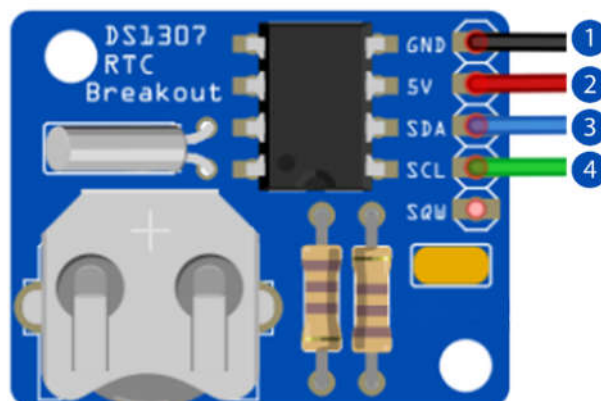
Dengan tegangan kerja antara 3,3V-5V, deteksi panjang gelombang 760nm-1100nm, dan sudut deteksi sampai dengan 60°.

2.1.9.3. Infrared (IR Led)

Led infrared sebagai pemancar cahaya infra merah merupakan singkatan dari *Light Emitting Diode Infrared* yang terbuat dari bahan Galium Arsenida (GaAs) dapat memancarkan cahaya infra merah dan radiasi panas saat diberi energi listrik. (M. Aksin. 2013). Yang digunakan sebagai sinyal input (TX) untuk sensor photodioda (RX).

2.1.9.4. Real Time Clock

RTC (*Real Time Clock*) merupakan chip dengan konsumsi daya rendah. Chip tersebut mempunyai kode binary (BCD), jam/ kalender, 56 byte NV SRAM dan komunikasi antarmuka menggunakan serial *two wire*. RTC menyediakan data dalam bentuk detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, tahun dan informasi yang dapat diprogram (Zulfikar, Zulhelmi, dan Amri, 2016: 58). Berikut adalah konfigurasi dari RTC:



Gambar 2.4. *Real Time Clock* (RTC) DS1307
(Komponen fritzing)

Tabel 2.5. Konfigurasi pin *Real Time Clock* (RTC) DS1307

Nomor	Label	Keterangan
1	GND	GND (0V)
2	5V	VCC (5V)
3	SDA	Serial clock
4	SCL	Serial data

2.1.10. Aktuator

2.1.10.1. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. LCD ini dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit* (Winata, Wijaya, dan Suartika, 2016: 2).

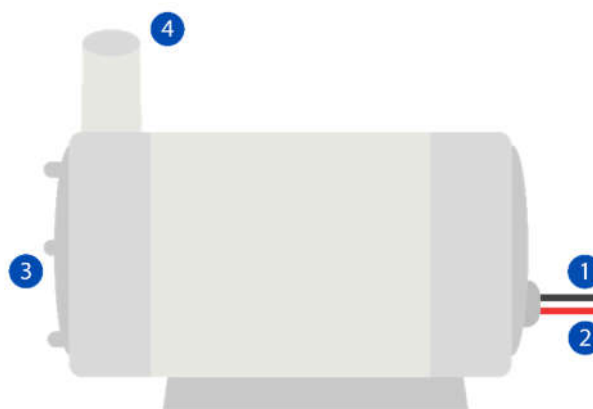
2.1.10.2. Relay

Relay digunakan sebagai *switch* saklar, ketika sensor mendeteksi nilai yang melebihi batas, perangkat yang membaca sinyal dari pin kontrol Arduino akan menghidupkan penggunaan listrik dan ketika sensor mendeteksi nilai kembali seperti semula, relay akan mematikan penggunaan listrik. Sung, *et al* (2014: 422)

2.1.10.3. Pompa Submersible

Pompa *submersible* adalah jenis pompa air yang dirancang khusus karena diletakkan didalam cairan dan mendorong cairan melalui pipa salurannya untuk menuju ke permukaan. Prinsip kerjanya ialah dengan *impeller* yang diputar dengan kecepatan rotasi yang sangat tinggi sehingga mengalami gaya sentrifugal. Karena pada dasarnya pompa ini juga merupakan pompa sentrifugal *multistage* yang dioperasikan secara vertikal.

Pompa *submersible* tidak memiliki spesifikasi daya hisap selayaknya model pompa air permukaan, ia hanya memiliki kapasitas total head (meter) dan power yang di ukur dengan satuan (pk) serta kapasitas debit air yang menggunakan satuan liter per detik (l/sec).



Gambar 2.5. Pompa air *submersible*

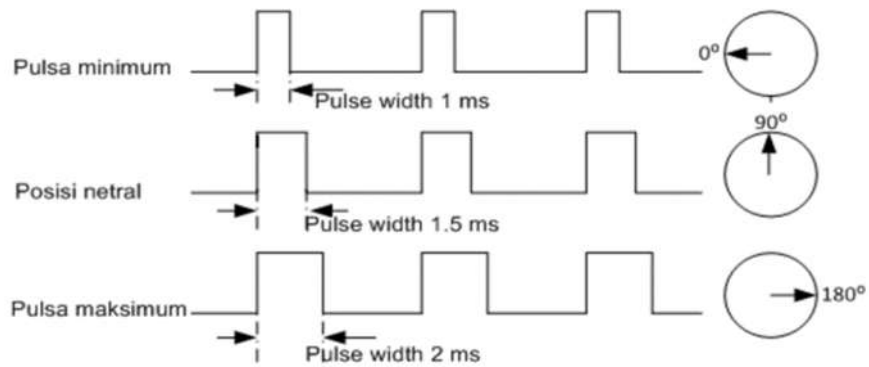
Tabel 2.6. Konfigurasi Pompa air *submersible*

Nomor	Label	Keterangan
1	GND	GND (0V)
2	VCC	VCC (3-6V)
3	Inlet	Input air
4	Outlet	Output air

2.1.10.4. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor dc yang diberikan suatu rangkaian sebagai umpan balik (serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer), dengan tujuan mengetahui secara presisi pergerakan poros per sudut, dan menambah torsi motor (memperlambat putaran motor). Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya. (Ahmad Hilal, 2013).

Prinsip kerja motor servo yaitu dengan pemberian sinyal melalui kabel kontrol berupa PWM (Pulse With Modulation). Jadi lebar suatu sinyal yang akan menentukan posisi sudut porosnya. Seperti pada gambar 2.1 jika servo diberi sinyal PWM 1,5ms poros akan berada pada sudut 90°, jika lebih kecil dari 1,5ms poros akan berputar ke sudut 0°, atau berputar ke kiri (berlawanan arah jarum jam). Dan apabila diberi input PWM lebih dari 1,5ms poros akan berada pada sudut 180°.



Gambar 2.6. Prinsip Kerja Motor Servo
(Iqbal Maulana, dkk, 2014)

Dan pada penelitian ini penulis menggunakan motor servo SG90, dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 2.7. Motor servo SG90
(Komponen fritzing)

Tabel 2.7. Konfigurasi pin motor servo

Nomor	Label	Keterangan
1	PWM	Input data
2	VCC	VCC (3-6V)
3	GND	GND (0V)

2.1.11. Power Supply (Catu daya)

Catu daya adalah sebuah rangkaian yang bisa mengubah tegangan listrik AC menjadi tegangan DC. Penggunaan catu daya pada prototipe pengolah limbah cair batik dibagi menjadi 3 blok, dengan sumber dari power supply ATX, yang mengeluarkan 5 tegangan berbeda (+3,3v, +5v, -5v, +12v, -12v) 350 watt, dan hanya dipakai tegangan 5v dan 12v, dengan penggunaan sebagai berikut:

Tabel 2.8. Konfigurasi penggunaan catu daya

NO	TEGANGAN	PENGGUNAAN
1	5V (dari PSU ATX)	Pompa submersible
2	5V (dari 7805)	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor pH • 2 Sensor photodioda • RTC
3	5V (dari 7805)	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Led pemancar • 2 IR Led
4	5V (dari 7805)	<ul style="list-style-type: none"> • LCD • Relay • Motor Servo
5	9V (dari 7809)	ATmega 2560
6	12V (dari PSU ATX)	Sistem Elektrokoagulasi

2.2. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian tentang prototipe otomatisasi pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi pada dasarnya merupakan penelitian berupa teknologi yang dapat bekerja sendiri dalam melaksanakan tugas pokoknya. Dan berikut adalah penelitian yang menjadi acuan dalam penelitian ini, dengan dipilih 5 jurnal yang paling relevan :

- a. Jurnal Penelitian berjudul pengolahan primer limbah tekstil dengan elektrokoagulasi dan analisa biaya operasi oleh Lieke Riadi*), Whenny Ferydhiwati, dan Liok Dimas Sanjaya Loeman pada tahun 2014. Jurnal ini membahas tentang pengolahan limbah cair tekstil dengan metode elektrokoagulasi. Yang menggunakan plat elektroda alumunium. Dan berfokus kepada jarak elektroda, arus, tegangan, pH serta faktor pengolahan limbah yang paling efisien.
- b. Jurnal kedua dari Atousa Ghaffarian Khorram, Narges Fallah, 2018. Yang berjudul Treatment of textile dyeing factory wastewater by electrocoagulation with low sludge settling time: Optimization of operating parameters by RSM. Dalam penelitian ini dikaji sebuah metode pengolahan limbah cair tekstil, metode elektrokoagulasi, dengan pengoptimalan proses pengendapan yang lebih singkat.
- c. Jurnal ketiga adalah rancang bangun sistem kendali otomatis ph limbah cair industri tahu sebagai larutan nutrisi hidroponik berbasis mikrokontroler oleh Bayu Dwi Prasetyo pada tahun 2017. Penelitian ini membahas tentang otomatisasi sistem kendali pH limbah cair industri tahu sebagai larutan nutrisi hidroponik.
- d. Kajian keempat adalah, Control of Wastewater Treatment by using the Integration MATLAB and LabVIEW, oleh Ilanur Muhaini Mohd Noor and Muhamad Kamal M. A. Tahun 2017. Dalam penelitian tersebut dibahas bagaimana optimalisasi pengolahan limbah cair, menggunakan logika fuzzy.

Dengan cara memonitoring kadar pH, dan penetralisasian kadar pH sesuai standar.

- e. Jurnal kelima adalah A Quick Review on Applications of Fuzzy Logic in Waste Water Treatment, oleh G.Vijayaraghavan, M.Jayalakshmi pada tahun 2015. Dalam jurnal ini review pentingnya penggunaan logika kontrol fuzzy dalam pengolahan limbah cair, dijelaskan karena metode klasik menunjukkan kesulitan yang signifikan ketika mencoba mengendalikannya secara otomatis, akibatnya teknik komputasi lunak dan khususnya, logika fuzzy tampaknya menjadi ide yang baik untuk mengendalikan sistem yang tidak jelas, beragam waktu, dan tidak linier ini.

2.3. Kerangka Berfikir

Dilatarbelakangi masalah diatas, terdapat beberapa masalah terhadap limbah cair batik yang terlalu lama disimpan, ataupun dibuang langsung tanpa adanya pengolahan. Merujuk pada beberapa literasi yang sudah ada, maka penulis melakukan pengembangan dalam segi otomatisasi.

Menggunakan metode elektrokoagulasi yang menurut jurnal ke-1 dan ke-2 adalah metode yang efisien, mengaplikasikan sistem otomasi kerja menggunakan mikrokontroler dari jurnal ke-3 serta mengoptimasikan pengambilan keputusan dengan kontrol logika *fuzzy*, dari jurnal ke-4 dan ke-5. Keseluruhan kerangka berfikir disajikan pada bagan dibawah.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

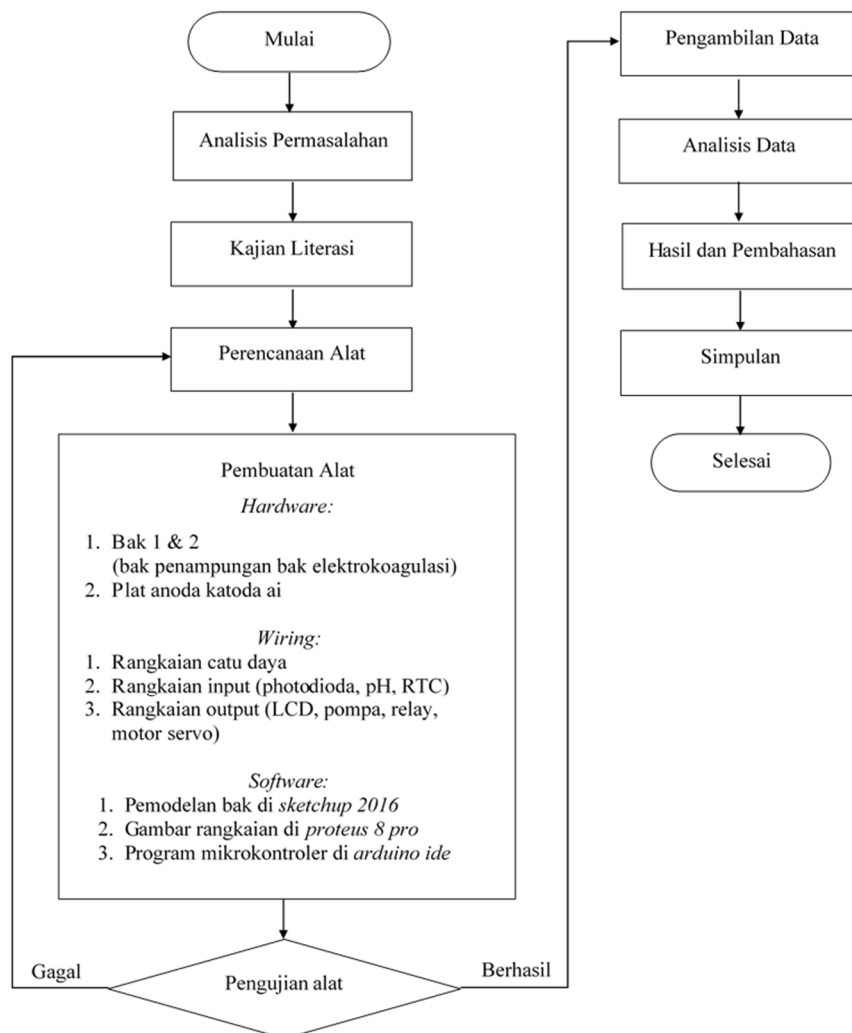
Perancangan serta pembuatan penelitian dilakukan pada bulan februari sampai juni 2019, bertempat di Laboratorium Elektronika jurusan Teknik Elektro Unnes. Pengambilan data prototipe otomatisasi pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi kontrol logika *fuzzy* dilakukan setelahnya, pada juli 2019 sampai ferburari 2020, bertempat di Laboratorium Elektronika jurusan Teknik Elektro Unnes dan Laboratorium jurusan Biologi Unnes.

3.2. Alur Penelitian

Proses pengkajian permasalahan sebelumnya sudah diidentifikasi, setelahnya penulis mencari berbagai macam literasi yang bisa dikembangkan dan diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan yang timbul. Dimulai dari perencanaan yang dibagi menjadi 3, yaitu perencanaan alat bagian *hardware*, *wiring*, serta *software*.

Perencanaan alat bagian *hardware* meliputi, desain bak pengendapan, bak pengolahan (elektrokoagulasi), serta *box* kontrol. Untuk bagian *wiring* meliputi, rangkaian catu daya, rangkaian input (sensor photodioda dan IR led, sensor pH dan RTC), rangkaian proses (sistem minimum mikrokontroler), dan rangkaian output (LCD, pompa, relay aktivasi sistem EC, dan servo). Kemudian yang terakhir bagian *software* meliputi, pemrograman mikrokontroler serta optimasi kontrol logika *fuzzy*.

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan alat dari hasil rancangan. Yang kemudian dilanjutkan dengan pengujian alat, jika alat sudah berjalan sesuai rencana, maka masuk tahapan selanjutnya yaitu, pengambilan data dan analisis data, dengan cara memvalidasi hasil pengukuran sensor dengan sensor standar laboratorium, dan yang terakhir adalah pengujian alat secara keseluruhan, dimana output hasil olahan sudah dikatakan layak/ sesuai standar. Alur keseluruhan proses, dapat dilihat pada *flowchart* dibawah.



Gambar 3.1. *Flowchart* alur penelitian

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan dalam pengembangan ini mengadopsi dari model pengembangan Sugiyono (2011:298). Namun karena adanya keterbatasan penelitian, maka dalam penelitian pengembangan ini dilakukan sesuai dengan kebutuhan penelitian. Secara garis besar tahap-tahap pengembangan yang dikemukakan ahli tersebut disederhanakan sesuai kebutuhan penelitian menjadi beberapa tahapan, yaitu:

- a. Tahap Studi Pendahuluan
- b. Tahap Pengembangan

3.3.1. Tahap Studi Pendahuluan

Pada tahap ini ada dua hal yang akan dilaksanakan yaitu studi pustaka dan studi lapangan. Studi pustaka merupakan kegiatan mendalami, mencermati, menelaah dan mengidentifikasi pengetahuan yang telah diteliti oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Suharsimi, 2003: 75). Pada studi pustaka didapatkan dari beberapa jurnal yang terkait dengan penelitian, untuk menemukan konsep atau landasan teoritik, menilai hasil penelitian yang sejenis, dan menentukan metode yang akan digunakan dalam penelitian.

Sedangkan studi lapangan dilakukan untuk menilai kebutuhan lapangan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Keadaan tersebut dimaksudkan untuk mempelajari secara menyeluruh tentang masalah yang terjadi dilapangan dan peristiwa yang sedang berlangsung dilapangan. Studi lapangan dilakukan di sentra pembuatan batik hasta karya Kelurahan Pedalangan, Banyumanik, Semarang

dengan wawancara langsung kepada pekerja dan survei tempat produksi secara langsung.

3.3.2. Tahap Pengembangan

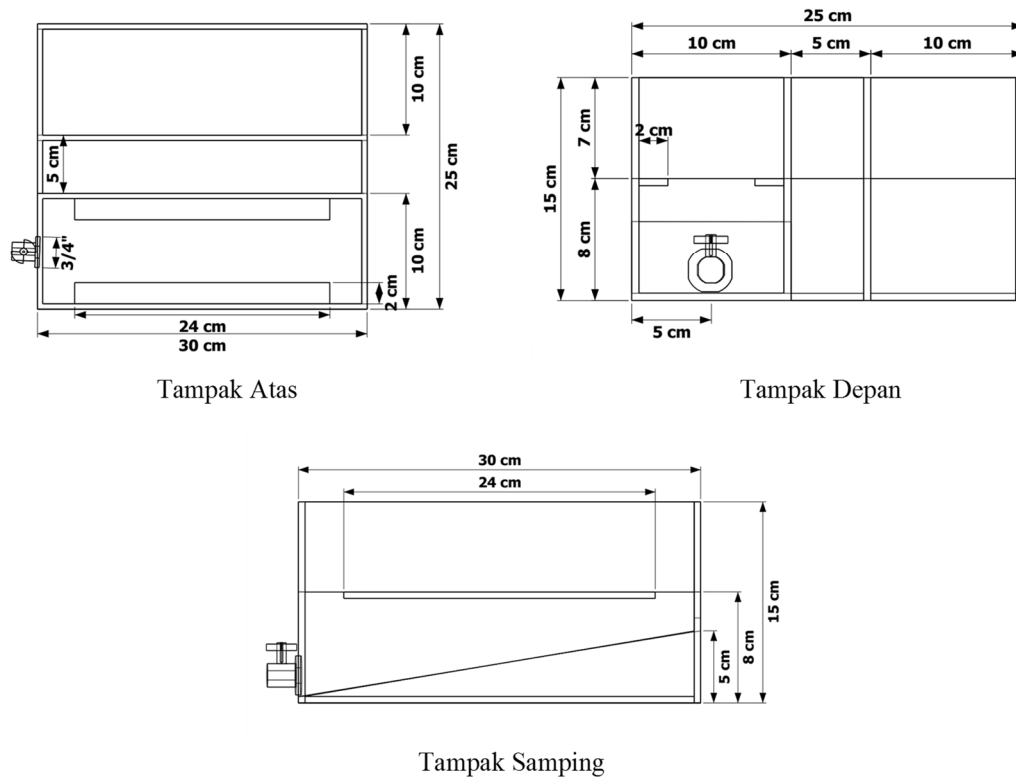
3.3.2.1. Desain Produk

Sugiyono (2015: 413), Hasil akhir kegiatan penelitian dan pengembangan adalah berupa desain produk baru, lengkap dengan spesifiknya, yang berupa gambar atau bagan, lengkap dengan penjelasan material yang digunakan, ukuran, prosedur pembuatan, mekanisme sistem, serta kelebihan, dan kekurangannya.

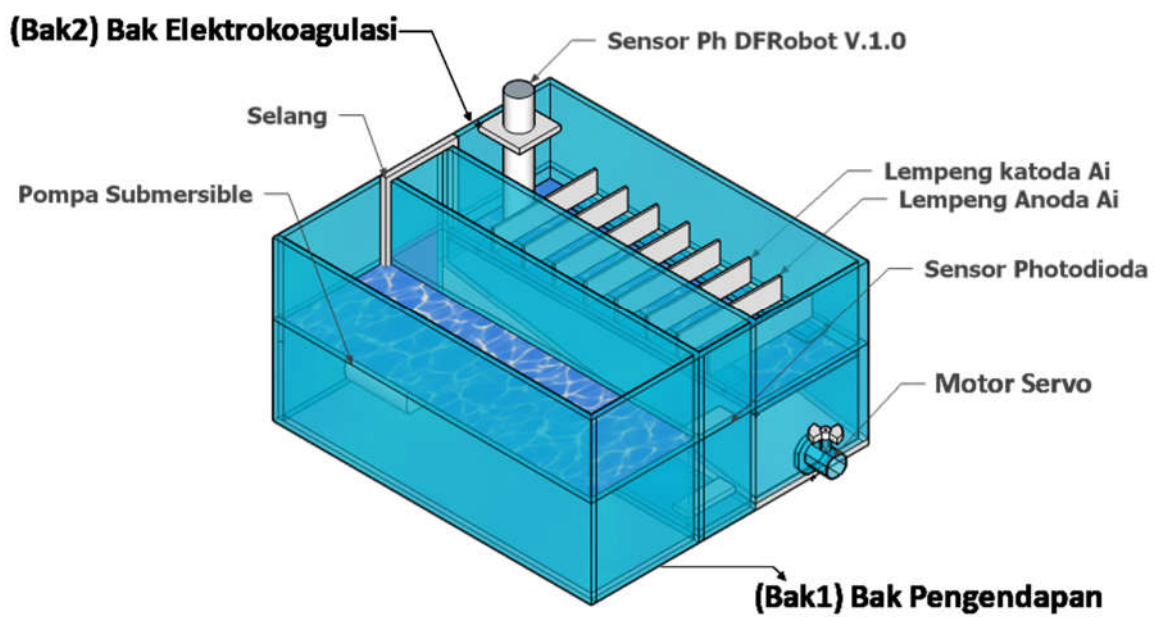
a. Perencanaan Alat (*Hardware*)

Tahap perencanaan alat bagian *hardware* dimulai dari rancangan awal produk yang dimodelkan menggunakan *software google sketchup 2016*. Pada desain bak di separasi dalam 2 bagian. Yang pertama bak pengendapan, yaitu, proses pengendapan material asing (pasir, kerikil, dll) secara fisik, dimana penting diaplikasikan guna mengurangi gangguan pada saat proses EC (Khorram and Fallah 2018). Dan yang kedua adalah bak proses elektrokoagulasi (EC).

Bak EC digunakan sebagai pengolahan primer dalam proses penjernihan limbah cair agar layak buang. Spesifikasi keseluruhan pada bak EC mengacu pada jurnal “Pengolahan Primer Limbah Tekstil Dengan Elektrokoagulasi Dan Analisa Biaya Operasi” (Riadi, et al., 2014), yang kemudian di skala 2 kali, guna mendapatkan volume pengolahan yang lebih tinggi. Menggunakan 8 elektroda aluminium (Al), 4 plat anoda dan 4 plat katoda. Jarak antar plat bisa di sesuaikan tiap interval 0,5 cm, tetapi dalam pengaplikasiannya menggunakan jarak 4 cm. Yang kemudian dialiri listrik searah 12V. Serta dilengkapi kran pembuangan otomatis.



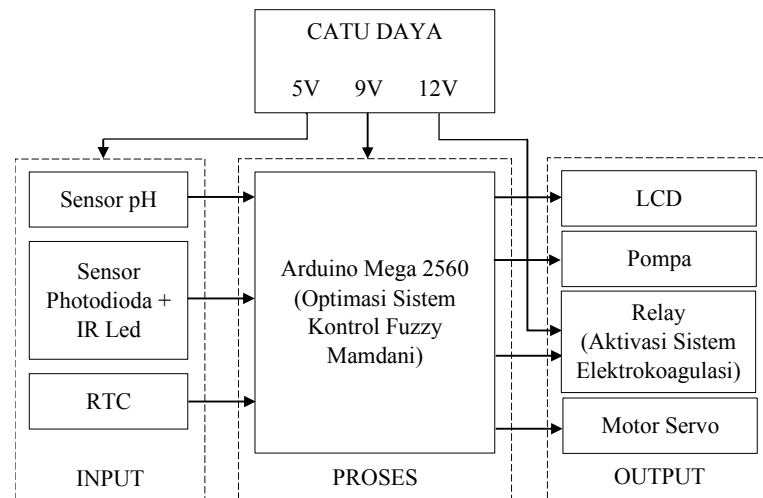
Gambar 3.2. *Outline* prototipe dalam desain 2d



Gambar 3.3. *Outline* prototipe dalam desain 3d

b. Perencanaan Alat (*Wiring*)

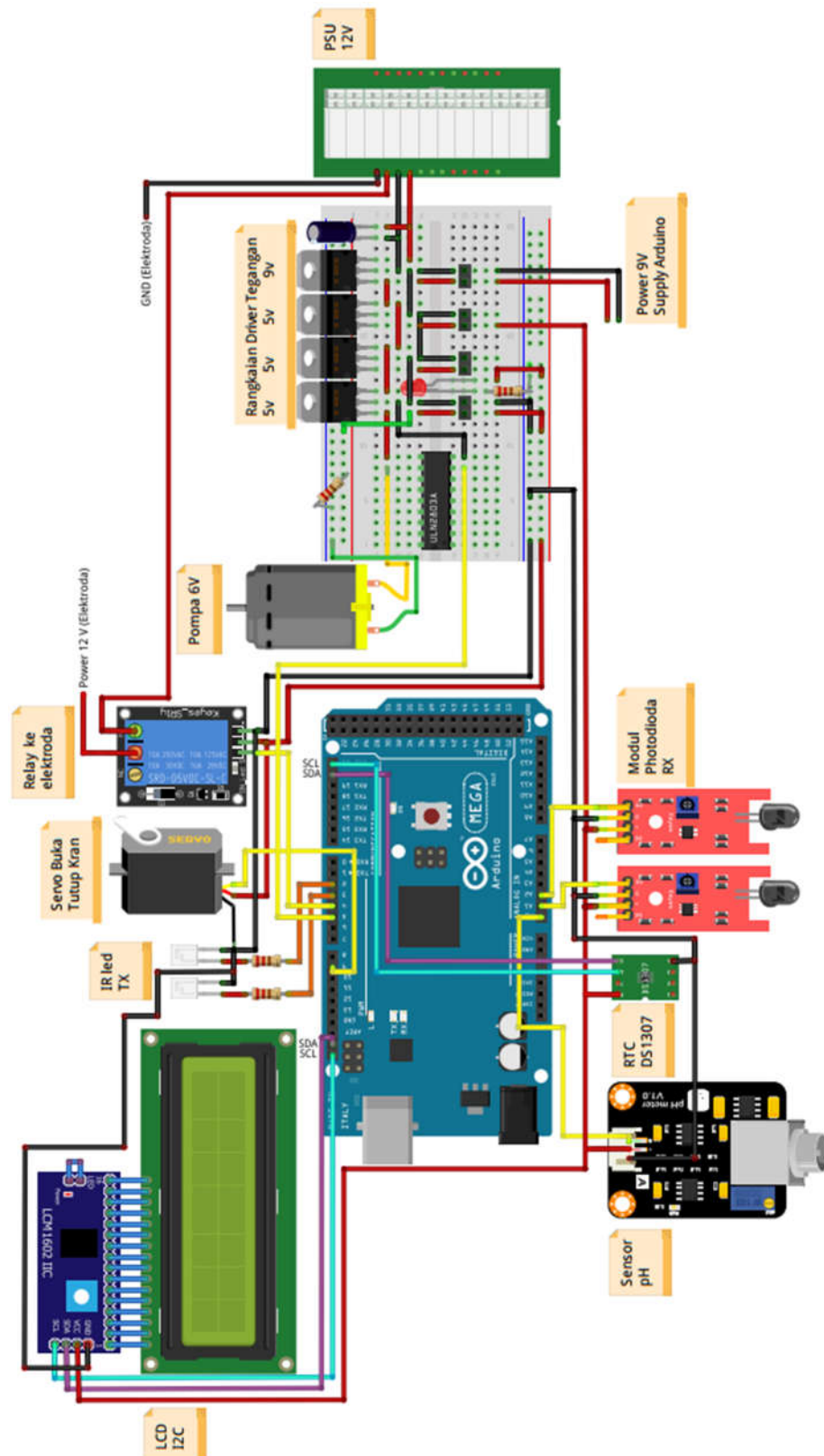
Tahapan selanjutnya perencanaan sistem otomatisasi, yang diaplikasikan untuk membuat sistem pengolahan limbah cair batik metode EC ini dapat digunakan secara efisien dengan tingkat reliabilitas yang tinggi. Perencanaan bagian pengkabelan secara keseluruhan disajikan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Blok sistem otomatisasi pengolahan limbah cair batik metode EC dengan optimasi kontrol logika *fuzzy*.

Dibagi menjadi 3 blok utama yaitu blok input (sensor pH, sensor photodiode, IR led, dan RTC), blok proses (IC mikrokontroler AVR Atmega 2560 dalam board minimum sistem arduino mega 2560), dan blok output (LCD, pompa, relay, motor servo). Yang kemudian disuplai tegangan menggunakan catu daya dengan 3 variabel tegangan.

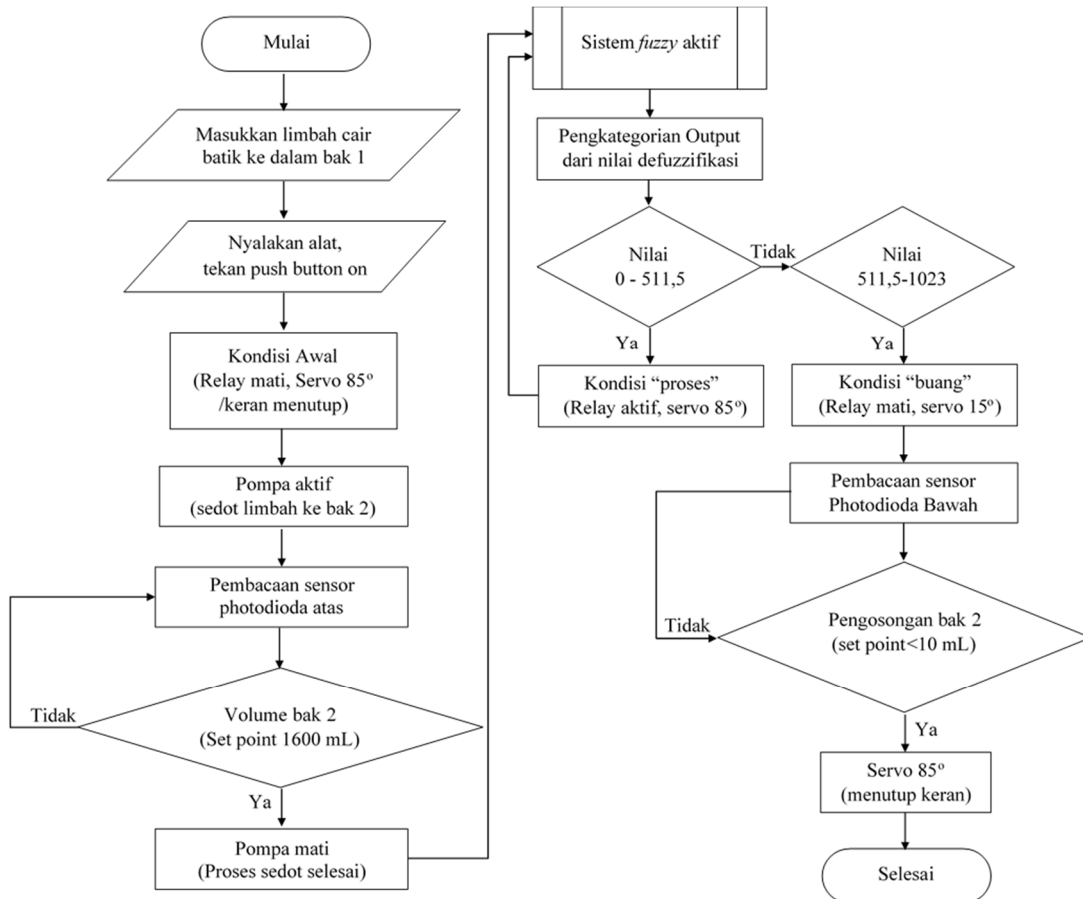
Tahapan yang dilakukan sebelum pemasangan komponen adalah, dilakukannya simulasi menggunakan *software* Proteus 8 Pro dan fritzing. Kemudian untuk rangkaian simulasi disajikan pada lembar lampiran, dan untuk perencanaan diagram skematik secara keseluruhan disajikan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Perencanaan diagram skematik secara keseluruhan

c. Penrencanaan Alat (*Software*)

Tahapan selanjutnya, perencanaan cara kerja alat secara *software* atau dalam pemrograman. Secara garis besar sistem pengolahan limbah cair batik metode EC ini dapat dilihat pada *flowchart* gambar 3.6.



Keterangan:

Bak 1 = Bak Penampungan

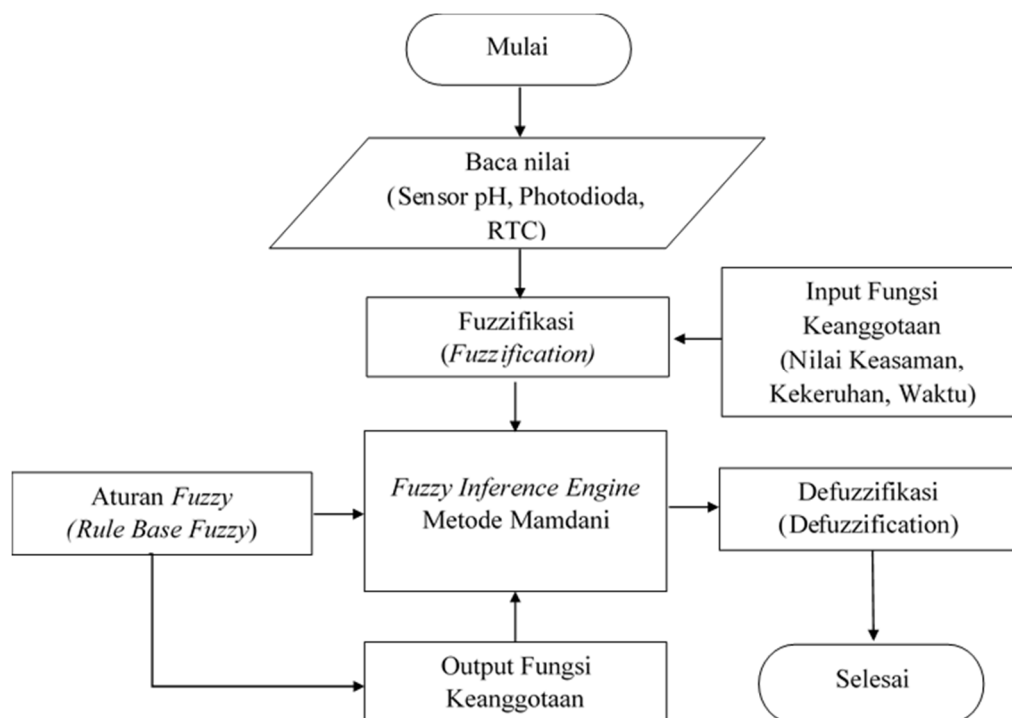
Bak 2 = Bak Elektrokoagulasi (EC)

Gambar 3.6. *Flowchart* cara kerja sistem pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi

Limbah cair batik ditampung pada bak 1, setelah *settling time* terpenuhi (± 30 menit), kemudian alat dapat dinyalakan. Pompa akan bekerja mengalirkan limbah cair dari bak 1 menuju bak 2, sampai set point *water level* 1600mL (hasil

pembacaan sensor photodiode atas) terpenuhi dan pompa akan berhenti. Proses selanjutnya masuk pada blok sub proses “sistem *fuzzy*” yang disajikan pada gambar 3.7. hasil dari blok sub proses tersebut berupa variabel antara 0-1023. yang kemudian dikategorikan menjadi 2 kondisi yaitu, proses (nilai defuzzifikasi antara 0 sampai 511,5 sistem EC berjalan, keran tertutup) yang berarti limbah cair belum layak buang. Dan kondisi kedua yaitu, buang (nilai defuzzifikasi antara 511,5 sampai 1023 sistem EC berhenti, keran terbuka) yang berarti limbah cair siap buang.

Kemudian proses pengosongan bak EC sampai habis, yang di *trigger* oleh set point *water level* sensor photodiode bawah, lalu motor servo akan menutup keran kembali. Selanjutnya proses berulang kembali dari awal.



Gambar 3.7. Flowchart Sub Proses Sistem Fuzzy

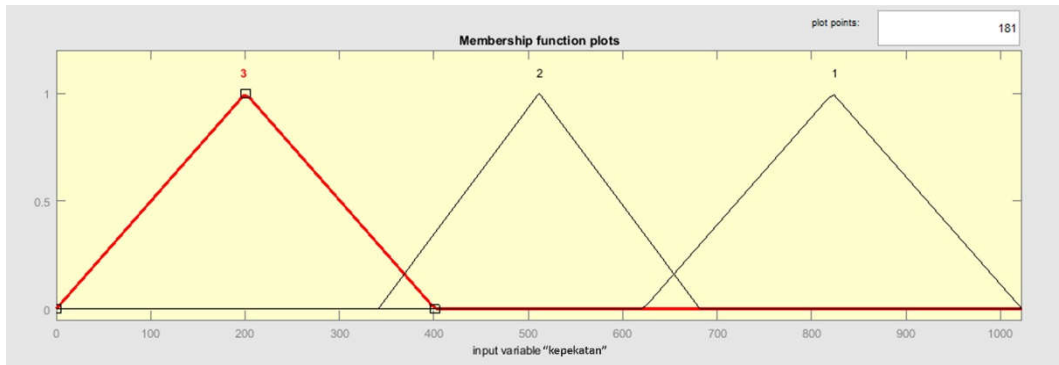
Kontrol logika *fuzzy* digunakan sebagai metode pengambilan keputusan yang lebih efisien, yang kemudian dibangun dengan 3 variabel input, yaitu kepekatan, keasaman, dan durasi. Dan dalam kontrol logika *fuzzy* masih terdapat beberapa tahapan.

Diawali dengan blok fuzzifikasi. Prinsip kerja pada blok ini adalah dengan merubah nilai *error* dan *deltaerror* menjadi nilai masukan *fuzzy*. Dengan menggunakan masukan berupa variabel input yang kemudian dibentuk menjadi himpunan *fuzzy* dengan membagi anggota input yang akan menjadi masukan FIS (*Fuzzy Interface Engine*).

Selanjutnya fungsi keanggotaan input pada kepekatan dibagi menjadi tiga, yaitu sangat pekat, pekat, dan bening dengan nilai input dari sensor photodiode berupa nilai tegangan. Kemudian fungsi keanggotaan input pada keasaman di bagi menjadi 3 yaitu tinggi, rendah, optimal, dengan nilai input dari sensor pH berupa derajat kesaman. Serta fungsi keanggotaan input pada durasi juga di bagi menjadi 3 yaitu rendah, optimal, dan tinggi, dengan nilai input dari RTC berupa durasi per menit. Yang terakhir adalah, fungsi keanggotaan output dibagi jadi 2 kondisi, yaitu kondisi “proses” (relay aktif, servo keran tutup) dan kondisi “buang” (relay off, servo keran buka). Data tersebut disajikan pada tabel dibawah.

Tabel 3.1. Fungsi Keanggotaan Kepekatan

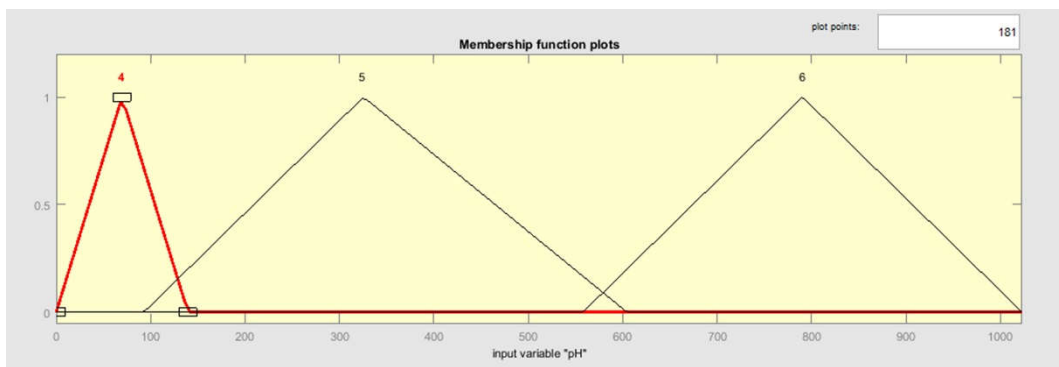
Fungsi keanggotaan	Rentang Nilai Input Keanggotaan				Rentang Nilai Kekeruhan (Tegangan)
(3) Bening	[0	200.6	200.6	401.2]	3,30V – 3,97V
(2) Pekat	[341	511.5	511.5	682]	3,87V – 4,43V
(1) Sangat Pekat	[621.8	822.4	822.4	1023]	4,33V – 5,00V



Gambar 3.8. Fungsi keanggotaan kepekatan

Tabel 3.2. Fungsi Keanggotaan Keasaman

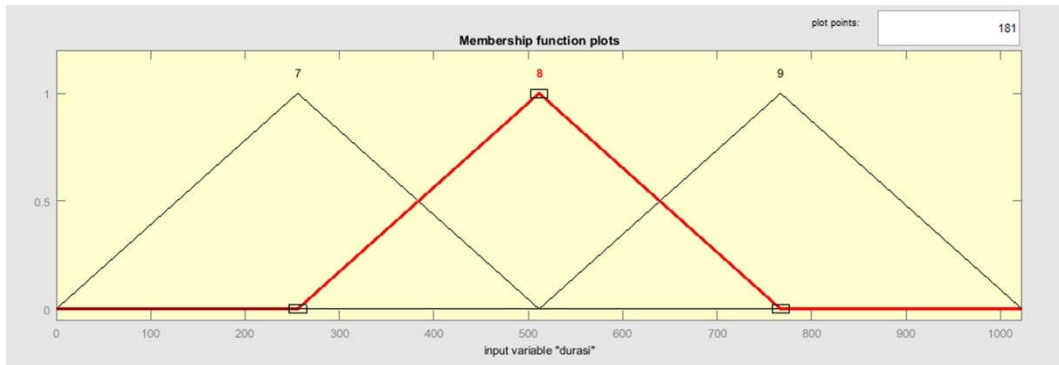
Fungsi keanggotaan	Rentang Nilai Input Keanggotaan				Rentang Nilai Keasaman (pH)
(4) Optimal	[0	69.75	69.75	139.5]	6.8 - 7.1
(5) Rendah	[93	325.5	325.5	604.5]	7 - 8.1
(6) Tinggi	[558	790.5	790.5	1023]	8 - 9



Gambar 3.9. Fungsi keanggotaan pH

Tabel 3.3. Fungsi Keanggotaan Durasi

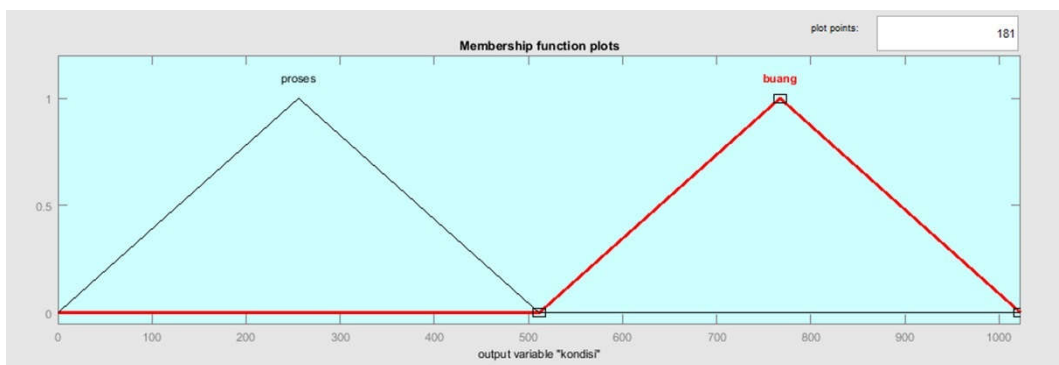
Fungsi keanggotaan	Rentang Nilai Input Keanggotaan				Rentang Nilai Keasaman (menit)
(7) Rendah	[0	255.8	255.8	511.5]	15 - 20
(8) Optimal	[255.8	511.5	511.5	767.3]	17.5 - 22.5
(9) Tinggi	[511.5	767.3	767.3	1023]	20 - 25



Gambar 3.10. Fungsi keanggotaan durasi

Tabel 3.4. Fungsi Keanggotaan Output

Fungsi keanggotaan	Rentang Nilai Input Keanggotaan				Aksi	
					Relay	Servo (Keran)
Proses	[0	255.8	255.8	511.5]	On	Tutup
Buang	[511.5	767.3	767.3	1023]	Off	Buka



Gambar 3.11. Fungsi keanggotaan output

Setelah pembuatan himpunan *fuzzy* dengan nilai yang sudah disesuaikan menurut penelitian sebelumnya serta dari proses *trial error*. Selanjutnya pembuatan komposisi aturan yang mengatur keterikatan himpunan input *fuzzy* diatas. Dan dalam penelitian ini terdapat 27 aturan yang didapat dari komposisi input tiap himpunan *fuzzy* diatas.

Tabel 3.5. Komposisi Aturan (*Rulebase*) Sistem Kontrol Logika Fuzzy

No		Kepekatan		Keasaman		Durasi		Kondisi
1		S.Pekat		Tinggi		Rendah		Proses
2		S.Pekat		Tinggi		Optimal		Proses
3		S.Pekat		Tinggi		Tinggi		Proses
4		S.Pekat		Rendah		Rendah		Proses
5		S.Pekat		Rendah		Optimal		Proses
6		S.Pekat		Rendah		Tinggi		Proses
7		S.Pekat		Optimal		Rendah		Proses
8		S.Pekat		Optimal		Optimal		Buang
9		S.Pekat		Optimal		Tinggi		Buang
10		Pekat		Tinggi		Rendah		Proses
11		Pekat		Tinggi		Optimal		Proses
12		Pekat		Tinggi		Tinggi		Proses
13	IF	Pekat	AND	Rendah	AND	Rendah	THEN	Proses
14		Pekat		Rendah		Optimal		Proses
15		Pekat		Rendah		Tinggi		Proses
16		Pekat		Optimal		Rendah		Proses
17		Pekat		Optimal		Optimal		Buang
18		Pekat		Optimal		Tinggi		Buang
19		Bening		Tinggi		Rendah		Proses
20		Bening		Tinggi		Optimal		Proses
21		Bening		Tinggi		Tinggi		Proses
22		Bening		Rendah		Rendah		Proses
23		Bening		Rendah		Optimal		Buang
24		Bening		Rendah		Tinggi		Buang
25		Bening		Optimal		Rendah		Buang
26		Bening		Optimal		Optimal		Buang
27		Bening		Optimal		Tinggi		Buang

3.3.2.2. Validasi Desain

Validasi desain produk dilakukan dengan beberapa tahapan, melalui pengujian langsung dengan program komputer proteus dan matlab dengan pengujian yang dilakukan pada rangkaian alat, apabila proses simulasi berjalan dengan baik, maka proses validasi desain dianggap sesuai.

3.3.2.3. Revisi Desain

Tahapan selanjutnya setelah mengetahui kekurangan dari desain, konsep, rangkaian pada produk adalah melakukan perbaikan untuk menyempurnakan produk yang telah dibuat agar menghasilkan produk yang lebih baik dari sebelumnya.

3.4. Uji Coba Alat

Uji coba alat meliputi uji coba alat dan uji pemakaian. Uji coba alat ditujukan untuk mengetahui kekurangan ataupun kesalahan produk yang dibuat. Uji coba juga dilakukan pada komponen kecil dan mendetail, diantaranya adalah, pengujian catu daya, sensor pH, sensor photodiode, RTC, sistem kontrol logika *fuzzy*, dan uji implementasi alat.

3.4.1. Instrumen Pengumpulan Data

Menurut Arikunto (2006 : 175) teknik pengumpulan data adalah cara yang digunakan oleh peneliti untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Pengumpulan data dilakukan pada alat yang sudah dirancang, pada tahapan ini pengambilan data dilakukan pada parameter yang diamati. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode pengumpulan data primer, yaitu data langsung yang didapat dari pengukuran, dengan tujuan agar dapat memvalidasi unjuk kerja alat.

Teknik pengumpulan data dilakukan sebagai berikut :

a. Uji Kerja Catu Daya (*Power Supply*)

Dalam uji coba *power supply* akan dilakukan 5 kali pengujian pada setiap keluaran yang berbeda yaitu 5v, 9v, dan 12v, dengan cara mengukur tegangan yang dihasilkan oleh *power supply*. Sarana validasi tegangan menggunakan multimeter digital standart laboratorium.

b. Uji Kerja Sensor Photodiode (Kepekatan)

Sarana validasi kinerja sensor photodiode KY-026, seharusnya dilakukan dengan cara pembacaan nilai pada sampel limbah cair batik, lalu hasilnya dilakukan regresi linier menggunakan beberapa point agar didapatkan satuan standar kekeruhan (NTU). Kemudian dibandingkan dengan alat ukur standar laboratorium untuk tingkat kekeruhan.

Akan tetapi karena keterbatasan sumber daya, sebagai alternatif sarana validasi unjuk kerja sensor photodiode diganti dengan cara membandingkan hasil baca sensor photodiode KY-026 dengan sampel limbah cair pada saat proses EC dan setelah proses EC, dengan hasil baca sensor yang sama, pada air akuades (acuan) yang memiliki tingkat kekeruhan rendah (NTU akuades = ± 0). Dan satuan yang akan digunakan adalah ADC dengan *bandwidth* 10 bit. Tidak digunakanya satuan tegangan dikarenakan tegangan kerja sensor antara 3,3V-5V. Maka, jika dibandingkan dengan satuan tegangan, rentang nilai ADC lebih lebar.

Teknisnya pengujian akan dilakukan dengan cara, mengukur kepekatan pada 3 sampel limbah cair dalam proses elektrokoagulasi, yang dipantau dalam interval waktu 5 menit selama keseluruhan proses EC (25 menit). Setelah limbah cair sudah selesai diolah, output olahan tadi diukur kembali setelah proses pengendapan selesai \pm 30 menit. Kemudian langkah terakhir dilakukan perbandingan data pengukuran pada sampel limbah cair dengan air akuades (acuan).

Tabel 3.6. Instrumen Uji Kerja Sensor Photodioda

No	<i>Initial Light</i> [*])		Air Akuades		Air Limbah			
	ADC	Teg(V)	ADC	Teg(V)	Sampel	Kondisi	Terbaca	
							ADC	Teg(V)
1					Limbah A	Sebelum Diolah		
2						5 menit		
3						10 menit		
4						15 menit		
5						20 menit		
6						25 menit		
7						Setelah Diolah		

c. Uji Kerja Sensor pH (Keasaman)

Dalam uji kerja sensor pH, akan dilakukan 5 kali pengujian pada 3 sampel limbah cair batik hasil olahan sebagai media validasi hasil pengukuran, antara sensor pH DFRobot V.1.0 dengan sensor pH laboratorium pH-02 pen-type pH meter. Dengan 3 sampel limbah cair setelah pengolahan.

Tabel 3.7. Instrumen Uji Kerja Sensor pH

Percobaan ke-	Nama Sampel	Hasil Pengukuran pH-02 pen-type pH meter	Hasil Pengukuran pH DFRobot	Selisih (°Keasaman)	Error(%)
1	Limbah A				
2					
3					
4					
5					

d. Uji Kerja RTC (Durasi)

Dalam uji kerja RTC, akan dilakukan pengujian hasil baca waktu RTC dengan *stopwatch* standar, yang di sampling dengan interval waktu 5 menit. Dan akan dicari *error* pembacaan.

Tabel 3.8. Instrumen Uji Kerja RTC

No	Percobaan Ke-	Hasil Pengukuran <i>Stopwatch</i> Standar	Hasil pengukuran RTC	Selisih (detik)	%Error
1	1				
2	2				
3	3				
4	4				
5	5				
Rata-Rata					

e. Uji Kerja Kontrol Logika *Fuzzy* (FLC)

Dalam uji kerja FLC, akan dilakukan pengujian hasil defuzzy dari hasil perhitungan simulink matlab, dan ATmega 2560. Pada setiap komposisi aturan yang ada.

f. Uji Implementasi Alat

Dalam uji implementasi alat, guna mengetahui seberapa berhasil fungsionalitas alat, akan dilakukan pengambilan data pada saat alat dijalankan sesuai diagram alir gambar 3.6. dengan mencatat setiap parameter input, proses dan output.

3.4.2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan suatu cara yang digunakan untuk mengumpulkan data dari tempat penelitian sesuai keperluan penelitian. Pengumpulan data menggunakan teknik pengukuran setiap variabel prototipe otomatisasi pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi.

3.4.3. Teknik Analisis Data

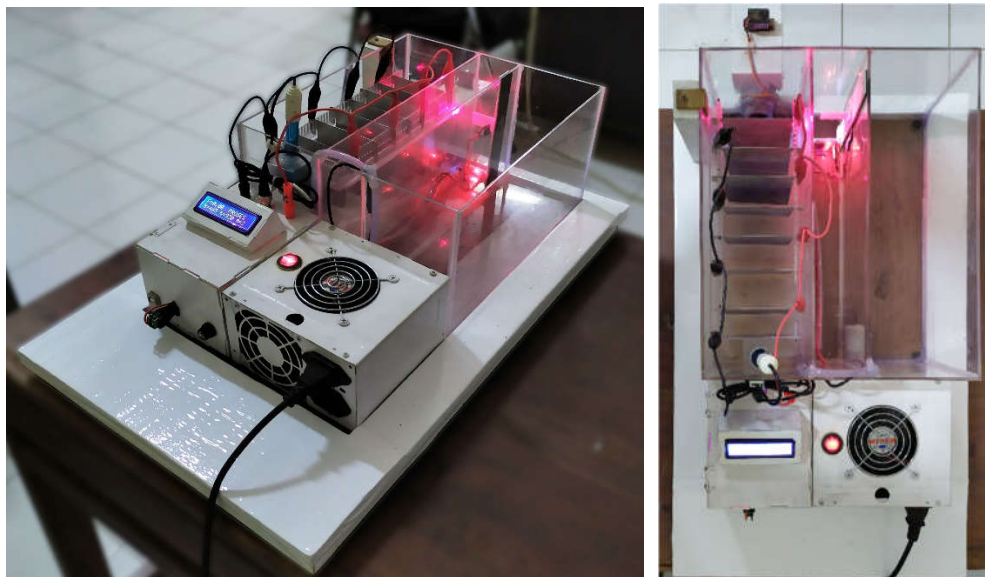
Teknik analisis data dilakukan dengan analisis deskriptif yaitu teknik yang digunakan untuk menganalisis data dengan mendeskripsikan atau menggambarkan data-data yang sudah dikumpulkan dalam berupa tabel, grafik ataupun persentase.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian ini berupa prototipe pengolahan limbah cair batik dengan metode elektrokoagulasi yang diotomatisasikan kontrol logika *fuzzy* sebagai logika pengambilan keputusan yang diproses pada mikrokontroler ATmega 2560, dengan 3 sensor (input) sebagai parameter limbah layak buang (sensor photodiode, sensor pH, dan RTC) dengan keluaran (output) relay (mengaktifkan sistem elektrokoagulasi) serta motor servo (buka tutup keran, sebagai jalur pembuangan pengolahan hasil limbah).



Gambar 4.1. Prototipe Pengolah Limbah Cair Batik

Limbah hasil pengolahan akan menjadi 2 bagian, yaitu air limbah yang sudah siap buang, dan endapan hasil pengolahan limbah (*sludge*).

4.1.1. Hasil Penelitian Laboratorium

Pada penelitian ini dilakukan uji alat di laboratorium guna mengetahui kinerja dari beberapa komponen elektronik. Pengujian dibagi menjadi beberapa tahap.

4.1.1.1. Pengujian Catu Daya

Pada pengujian ini diambil data yang berupa beberapa variabel tegangan, dengan menggunakan Voltmeter digital sebanyak 5 kali pada 3 tegangan yang berbeda, data yang telah diambil ditampilkan pada tabel dengan keterangan presentase *error* dan rata-rata *error* yang didapat berturut-turut dari persamaan 4.1 dan 4.2

$$\%Error = \frac{|Aktual - Terbaca|}{Aktual} \times 100\% = \dots\dots\dots(4.1)$$

$$Rata \quad Rata \quad Error = \frac{Jumlah \quad Error\%}{Jumlah \quad Data} = \dots\dots\dots(4.2)$$

Tabel 4.1. Hasil Uji Kerja Tegangan 5V Catu Daya

No	Percobaan Ke-	Tegangan Yang Diharapkan*)	Tegangan terukur
1	1	5 Volt	5,02
2	2	5 Volt	5,02
3	3	5 Volt	5,01
4	4	5 Volt	5,02
5	5	5 Volt	5,01
Rata-Rata		5 Volt	5,016

*) berdasarkan *datasheet* IC LM 7805

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan catu daya 5V diatas dapat dihitung rata-rata kesalahan sebagai berikut:

$$Rata-rata \quad kesalahan \quad catu \quad daya \quad 5V = 5 - 5,016 = \pm 0,16V$$

Dengan presentase error pada hasil tegangan yang dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1, sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{|Aktual - Terbaca|}{Aktual} \times 100\% = \frac{|5 - 5,016|}{5} \times 100\% = 0.32\%$$

Tabel 4.2. Hasil Uji Kerja Tegangan 9V Catu Daya

No	Percobaan Ke-	Tegangan Yang Diharapkan*)	Tegangan terukur
1	1	9 Volt	8,99
2	2	9 Volt	8,99
3	3	9 Volt	8,99
4	4	9 Volt	8,98
5	5	9 Volt	8,99
Rata-Rata		9 Volt	8,988

*) berdasarkan *datasheet* IC LM 7809

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan catu daya 9V diatas dapat dihitung rata-rata kesalahan sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata kesalahan catu daya 9V} = 9 - 8,988 = \pm 0,012\text{V}$$

Dengan presentase *error* pada hasil tegangan yang dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1, sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{|Aktual - Terbaca|}{Aktual} \times 100\% = \frac{|9 - 8,988|}{9} \times 100\% = 1,2\%$$

Tabel 4.3. Hasil Uji Kerja Tegangan 12V Catu Daya

No	Percobaan Ke-	Tegangan Yang Diharapkan	Tegangan terukur
1	1	12 Volt	12,08
2	2	12 Volt	12,07
3	3	12 Volt	12,08
4	4	12 Volt	12,08
5	5	12 Volt	12,09
Rata-Rata		12 Volt	12,08

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan catu daya 12V diatas dapat dihitung rata-rata kesalahan sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata kesalahan catu daya 12V} = 12 - 12,08 = \pm 0,8\text{V}$$

Dengan presentase *error* pada hasil tegangan yang dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1, sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{|Aktual - Terbaca|}{Aktual} \times 100\% = \frac{|12 - 12,08|}{12} \times 100\% = 0,667\%$$

4.1.1.2. Pengujian Sensor

Menggunakan 3 sensor utama sebagai parameter kelayakan limbah layak buang, lalu dilakukan pengujian tiap sensor dengan pembanding sebagai tolak ukur yang sesuai dari tiap sensor.

a. Sensor Photodiode (Kepekatan)

Sensor photodiode difungsikan untuk mendeteksi tingkat kepekatan limbah cair pada bak elektrokoagulasi. Dipasang berseberangan dengan IR led dan led, antara bak elektrokoagulasi. Dengan teknis pengukuran yang dilakukan adalah, mengukur nilai kepekatan dari air akuades (NTU = ± 0) dan mengukur nilai kepekatan limbah cair selama diproses dalam bak elektrokoagulasi serta setelah proses elektrokoagulasi menggunakan sensor photodiode KY-26. Tegangan kerja yang digunakan sensor tersebut adalah 3,3V-5V, dengan sampling menjadi data digital menggunakan ADC 10 bit (0-1023).

Kemudian untuk kalibrasi sensor tersebut, semua hasil pembacaan dari sensor, harus dikurangi dengan *initial light*/ cahaya awal (nilai ADC cahaya ruang).

Tabel 4.4. Hasil Uji Kerja Sensor Photodiode

No	<i>Initial Light</i> [*]		Air Akuades		Air Limbah			
	ADC	Teg(V)	ADC	Teg(V)	Sampel	Kondisi	Terbaca	
							ADC	Teg(V)
1	21	3,335	23	3,338	Limbah A	Sebelum Diolah	765	4,571
2						5 menit	703	4,468
3						10 menit	645	4,372
4						15 menit	498	4,128
5						20 menit	230	3,682
6						25 menit	104	3,473
7						Setelah Diolah	87	3,445
8	19	3,332	24	3,340	Limbah B	Sebelum Diolah	564	4,237
9						5 menit	575	4,256
10						10 menit	614	4,320
11						15 menit	658	4,393
12						20 menit	325	3,840
13						25 menit	114	3,489
14						Setelah Diolah	95	3,458
8	20	3,333	26	3,343	Limbah C	Sebelum Diolah	423	4,003
9						5 menit	454	4,054
10						10 menit	520	4,164
11						15 menit	220	3,666
12						20 menit	98	3,463
13						25 menit	-	
14						Setelah Diolah	82	3,436

Keterangan:

*) *Initial light*/ cahaya awal adalah nilai cahaya ruang pada pukul 10.00-13.00 di lab.E8)

Sampel Limbah A = Limbah cair batik berwarna hitam

Sampel Limbah B = Limbah cair batik berwarna merah

Sampel Limbah C = Limbah cair batik berwarna kuning

Dari data diatas dapat dijadikan sebagai sarana validasi sensor KY-026 dikatakan layak digunakan sebagai sensor kepekatan. Dengan melakukan perbandingan nilai kepekatan air akuades 0 NTU = 3,290V (Nike, et al., 2017: 030108-5), dengan hasil baca sensor pada air akuades didapatkan tegangan rata-rata 3,340V. Dimana terjadi *error* pada hasil tegangan sensor, yang dihitung menggunakan persamaan 4.1, sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{|Aktual - Terbaca|}{Aktual} \times 100\% = \frac{|3,290 - 3,340|}{3,290} \times 100\% = 1,519\%$$

Selanjutnya dari data pada tabel 4.4, dapat dijadikan sebagai acuan presentase penurunan kadar kepekatan limbah cair, sebelum dilakukan elektrokoagulasi, dengan setelah dilakukan elektrokoagulasi. Data disajikan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Persentase Penurunan Tingkat Kepekatan

No	Air Limbah			Persentase Penurunan
	Sampel	Sebelum Diolah	Setelah Diolah	
1	Limbah A	744	66	91,13%
2	Limbah B	545	76	86,05%
3	Limbah C	403	62	84,61%
Rata-rata				87,26%

b. Sensor pH (Keasaman)

Dalam uji kerjanya hasil pembacaan sensor pH DFRobot dibandingkan dengan hasil pembacaan pH-02 pen-type pH meter yang sesuai standar (pada tabel 1.1) untuk membaca sampel limbah cair batik hasil pengolahan. Hasil dari pengujian kedua alat tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Uji Kerja Sensor pH

Percobaan ke-	Nama Sampel	Hasil Pengukuran pH-02 pen-type pH meter	Hasil Pengukuran pH DFRobot	Selisih (Derajat Keasaman)	<i>Error(%)</i>
1	Limbah A	6,93	6,95	0,02	0,28
2		6,89	6,95	0,06	0,87
3		6,89	6,93	0,04	0,58
4		6,91	6,92	0,01	0,14
5		6,90	6,94	0,04	0,57
6	Limbah B	6,83	6,85	0,02	0,29
7		6,85	6,84	0,01	0,14
8		6,80	6,84	0,04	0,58
9		6,81	6,87	0,06	0,88
10		6,81	6,85	0,04	0,58
11	Limbah C	7,25	7,18	0,07	0,96
12		7,19	7,18	0,01	0,13
13		7,28	7,20	0,08	1,09

14		7,25	7,19	0,06	0,82
15		7,22	7,21	0,01	0,13
Rata-rata				0,038	0,536

Keterangan:

Sampel Limbah A = Limbah cair batik berwarna hitam setelah diolah

Sampel Limbah B = Limbah cair batik berwarna merah setelah diolah

Sampel Limbah C = Limbah cair batik berwarna kuning setelah diolah

Dengan menjadikan hasil pengukuran pH-02 pen-type pH meter sebagai patokan untuk mencari error pembacaan dari sensor DFRobot, maka nilai error tiap pembacaan didapat dari persamaan 4.1 dan nilai rata-rata error didapat dari persamaan 4.2, dengan tingkat *error* rata-rata sebesar 0,536%.

Selanjutnya untuk mengetahui persentase penurunan tingkat keasaman, hasil baca limbah sebelum diolah dibandingkan dengan limbah setelah pengolahan, data tersebut disajikan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Persentase Penurunan Tingkat Keasaman

No	Air Limbah (Derajat keasaman)			Persentase Penurunan (%)
	Sampel	Sebelum Diolah	Setelah Diolah	
1	Limbah A	9,03	6,94	23,15
2	Limbah B	9,12	6,85	24,89
3	Limbah C	9,01	7,21	19,97
Rata-rata				22,67

c. RTC (Durasi)

Real Time Clock difungsikan sebagai *counter* dalam sistem elektrokoagulasi. Dalam uji kerja alat, durasi optimal pengolahan limbah

yaitu antara 15-25 menit. Di dalam sistem ATmega 2560 sebenarnya sudah terdapat *clock* yang dapat dimanfaatkan sebagai *counter* sistem, akan tetapi jika dipakai akan membebani pemrosesan yang lain karena penggunaan counter yang sampai ± 25 menit. Data dalam uji coba ditampilkan pada tabel 4.8 dimana perbandingan antara data dari RTC dengan *stopwatch* standar yang di sampling dengan interval waktu 5 menit.

Tabel 4.8. Hasil Uji Kerja *Real Time Clock* (RTC)

No	Percobaan Ke-	Hasil Pengukuran <i>Stopwatch</i> Standar	Hasil pengukuran RTC	Selisih (detik)	%Error
1	1	00:05:00	00:05:00	0	0
2	2	00:10:00	00:10:00	0	0
3	3	00:15:00	00:15:01	1	0,11
4	4	00:20:00	00:20:01	1	0,08
5	5	00:25:00	00:25:01	1	0,07
Rata-Rata				0,6	0,05

4.1.1.3. Pengujian Sistem Kontrol Logika *Fuzzy* (FLC)

Pada penelitian ini guna mengoptimalkan dari sisi pemrosesan, dipakailah logika *fuzzy* mamdani dengan metode *defuzzifikasi center of area*, yang pada uji kerjanya dilakukan perbandingan nilai *defuzzifikasi* antara simulasi simulink matlab 2017a, dan serial monitor arduino (eFLL). Dengan input yang merepresentasikan tiap himpunan variabel input fungsi keanggotaan.

Tabel 4.9. Hasil Uji Kerja Kontrol Logika *Fuzzy* (FLC)

No	Input			Defuzzifikasi	
	Kepekatan	Keasaman	Durasi	Simulink	ATmega 2560
1	S.Pekat	Tinggi	Rendah	256	255.77
2	S.Pekat	Tinggi	Optimal	256	255.77
3	S.Pekat	Tinggi	Tinggi	256	255.77
4	S.Pekat	Rendah	Rendah	256	255.77
5	S.Pekat	Rendah	Optimal	256	255.77
6	S.Pekat	Rendah	Tinggi	256	255.77
7	S.Pekat	Optimal	Rendah	256	255.77
8	S.Pekat	Optimal	Optimal	767	767.27
9	S.Pekat	Optimal	Tinggi	767	767.27
10	Pekat	Tinggi	Rendah	256	255.77
11	Pekat	Tinggi	Optimal	256	255.77
12	Pekat	Tinggi	Tinggi	256	255.77
13	Pekat	Rendah	Rendah	256	255.77
14	Pekat	Rendah	Optimal	256	255.77
15	Pekat	Rendah	Tinggi	256	255.77
16	Pekat	Optimal	Rendah	256	255.77
17	Pekat	Optimal	Optimal	767	767.27
18	Pekat	Optimal	Tinggi	767	767.27
19	Bening	Tinggi	Rendah	256	255.77

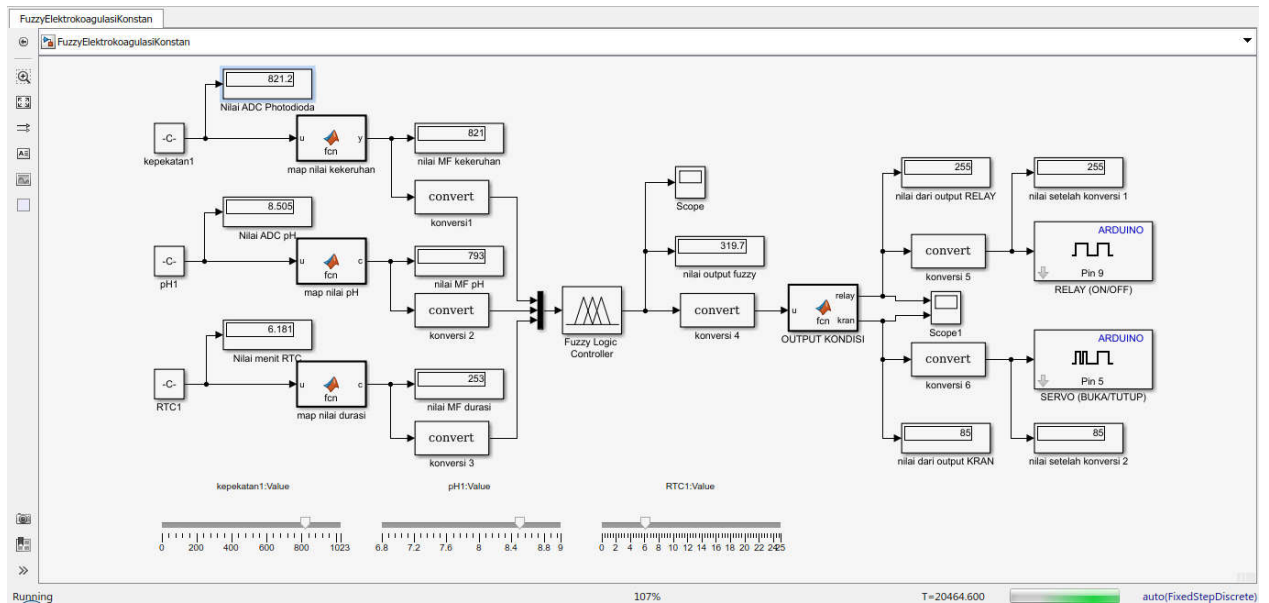
20	Bening	Tinggi	Optimal	256	255.77
21	Bening	Tinggi	Tinggi	256	255.77
22	Bening	Rendah	Rendah	256	255.77
23	Bening	Rendah	Optimal	767	767.27
24	Bening	Rendah	Tinggi	767	767.27
25	Bening	Optimal	Rendah	767	767.27
26	Bening	Optimal	Optimal	767	767.27
27	Bening	Optimal	Tinggi	767	767.27

Setiap nilai himpunan variabel input keanggotan disampling nilai puncaknya, dimana output konversi logika *fuzzy* ke bentuk crips (*defuzzifikasi*) akan bernilai maksimal, yaitu (satu) 1. Dengan alasan, untuk memunculkan nilai maksimal tiap daerah keabuan.

Tabel 4.10. Daftar Nilai Input Fungsi Keanggotaan

Fuzzifikasi	Fungsi Keanggotaan	Nilai Puncak	Defuzzifikasi
Kepekatan	Sangat Pekat	822,4	1,0
	Pekat	511,5	1,0
	Bening	200,6	1,0
Keasaman	Optimal	69,75	1,0
	Rendah	325,5	1,0
	Tinggi	790,5	1,0
Durasi	Rendah	255,8	1,0
	Optimal	511,5	1,0

	Tinggi	767,3	1,0
--	--------	-------	-----



Gambar 4.2. Pemodelan Sistem Kontrol Logika *Fuzzy* Pada Simulink Matlab

4.1.2. Hasil Uji Implementasi Alat

Alat diujikan sesuai tujuan awal sebagai pengolah limbah cair batik, diberikan sampel limbah dengan warna paling pekat (hitam/ sampel limbah A) dalam bak pengendapan, dijalankan sesuai diagram alirnya (gambar 3.6) dan didapatkan data uji implementasi pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil Uji Implementasi Alat Secara Keseluruhan

No	Parameter input			Kondisi	Output	
	Kepekatan	Keasaman	Durasi		Relay	Servo
1	765	9,03	1 Menit	Proses	On	85°
2	751	8,93	2 Menit	Proses	On	85°
3	731	8,85	3 Menit	Proses	On	85°
4	719	8,80	4 Menit	Proses	On	85°
5	767	8,77	5 Menit	Proses	On	85°

6	682	8,65	6 Menit	Proses	On	85°
7	662	8,61	7 Menit	Proses	On	85°
8	674	8,52	8 Menit	Proses	On	85°
9	656	8,45	9 Menit	Proses	On	85°
10	645	8,32	10 Menit	Proses	On	85°
11	620	8,31	11 Menit	Proses	On	85°
12	594	8,27	12 Menit	Proses	On	85°
13	562	8,19	13 Menit	Proses	On	85°
14	521	7,06	14 Menit	Proses	On	85°
15	498	7,92	15 Menit	Proses	On	85°
16	442	7,88	16 Menit	Proses	On	85°
17	396	7,76	17 Menit	Proses	On	85°
18	324	7,51	18 Menit	Proses	On	85°
19	265	7,46	19 Menit	Buang	Off	15°
20	230	7,43	20 Menit	Buang	Off	15°
21	245	7,41	21 Menit	Buang	Off	15°
22	198	7,36	22 Menit	Buang	Off	15°
23	165	7,22	23 Menit	Buang	Off	15°
24	127	7,08	24 Menit	Buang	Off	15°
25	104	6,94	25 Menit	Buang	Off	15°

Output alat berupa Relay untuk menyalakan sistem elektrokoagulasi (*ON OFF*, dengan tegangan 12V) dan motor servo untuk membuka dan menutup keran pembuangan (Buka, sudut poros = 15° dan Tutup, sudut poros = 85°)

4.2. Analisis Data

4.2.1. Analisis Penelitian Laboratorium

Berdasarkan uji laboratorium pada alat didapatkan data persentase kesalahan yang dapat dianalisis.

4.2.1.1. Analisis Catu Daya

Berdasarkan data pengukuran tegangan pada tabel 4.1-4.3 serta berdasarkan *datasheet* IC regulator masing-masing, didapatkan hasil analisis sebagai berikut:

Tabel 4.12. Analisis Uji Kerja Catu Daya

No	IC Regulator	Batas Toleransi (Volt)	Hasil Uji Kerja (Volt)	Keterangan
1	LM 7805	4,75 – 5,25	5,016	Normal
2	LM 7809	8,65 – 9,35	8,988	Normal
3	PSU ATX	11,4 – 12,6	12,08	Normal

Dari data diatas dapat disimpulkan, output catu daya yang digunakan pada penelitian ini, sudah sesuai dengan standar acuan yang ada.

4.2.1.2. Analisis Sensor

a. Sensor Photodiode (Kepekatan)

Dari hasil pengujian pada tabel 4.4, dapat ditarik analisis berupa tingkat kesalahan pembacaan pada sensor photodiode relatif kecil. Menghasilkan nilai *error* sebesar 1,519% dilihat dari perbandingan tegangan sensor pada alat, dan tegangan sensor pada jurnal acuan, yang memiliki spesifikasi *hardware* yang sama.

Dengan begitu didapatkan tingkat keakuratan pembacaan sebesar $100\% - 1,519\% = 98,481\%$. Serta untuk tingkat penurunan kandungan zat warna secara keseluruhan berdasarkan hasil pembacaan sensor photodiode, memiliki hasil yang baik dengan persentase penurunan rata-rata 87,26%.

b. Sensor pH (Keasaman)

Dari tabel hasil uji kerja sensor pH dapat ditarik analisis berupa tingkat kesalahan pembacaan sensor pH yang dipakai untuk penelitian ini

dan sensor pH laboratorium memiliki tingkat keakuratan yang baik dengan nilai $100\% - 0,536\% = 99,46\%$. Dan untuk menjaga keakuratan pembacaan sensor, diperlukan adanya kalibrasi yang berkala.

Kemudian untuk tingkat penurunan kadar pH dari hasil pengoahan alat ini didapatkan hasil pada tabel 4.6 dengan persentase penurunan kadar pH 22,67%.

c. RTC (Durasi)

Berdasarkan data pada tabel 4.8, modul RTC yang dipakai pada penelitian ini memiliki selisih 1 detik yang terjadi mulai dari menit ke-15, dengan tingkat kesalahan rata-rata uji kerja sebesar 0,05%.

4.2.1.3. Analisis Sistem Kontrol Logika *Fuzzy* (FLC)

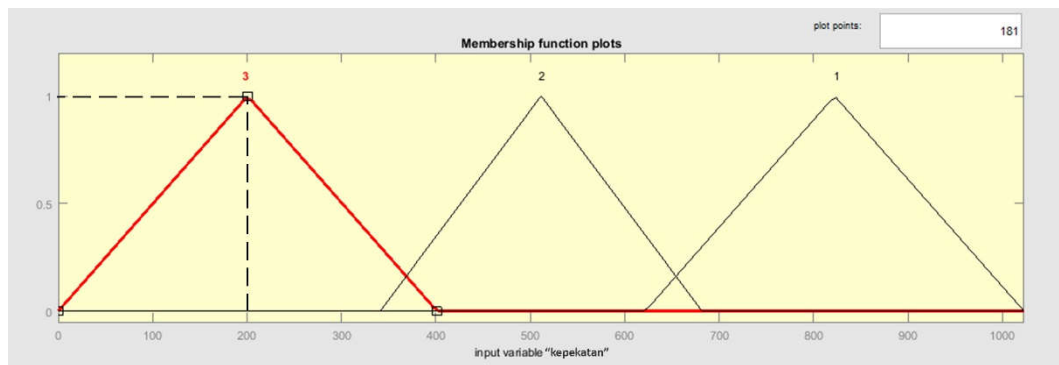
Dalam uji alat, untuk bagian kontrol yang menggunakan logika *fuzzy* (tabel 4.9), dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil proses logika *fuzzy* pada simulink matlab mengeluarkan output *defuzzifikasi* dengan tipe bilangan bulat, yang berarti hasil perhitungan sebenarnya sudah dibulatkan. Kemudian dari *sketch* arduino (eFLL) hasil perhitungan disimpan pada tipe data float yang berarti output perhitungan masih menyimpan 2 angka desimal dibelakang koma.

Untuk proses analisis selanjutnya hasil *defuzzifikasi* (simulink matlab dan atau eFLL) akan dibandingkan dengan nilai dari perhitungan matematis, yang menggunakan variabel pada studi kasus sebagai berikut:

Tabel 4.13. Studi Kasus Perhitungan Matematis Kontrol Logika *Fuzzy*

Kepekatan			Keasaman			Durasi		
ADC	ADC	MF	pH	ADC	MF	Menit	ADC	MF
200,6	200,6	Bening	6.95	69,75	Optimal	20	511,5	Optimal

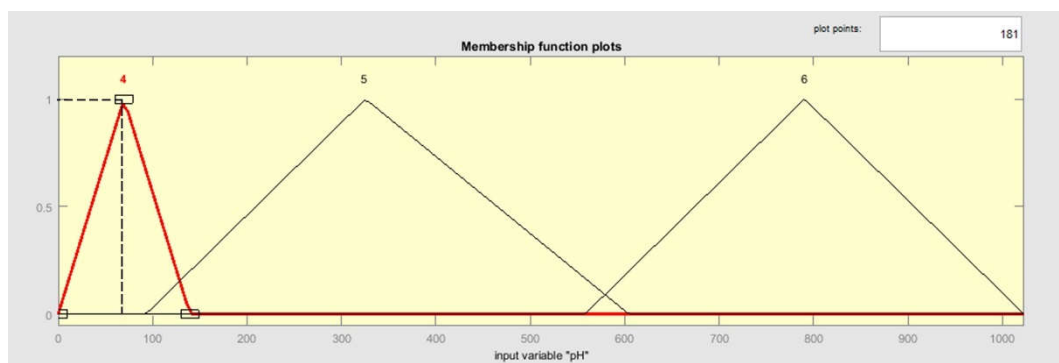
1. Implikasi Input Kontrol Logika *Fuzzy*



Gambar 4.3. Daerah Input Variabel Kepekatan

Perhitungan μ Kepekatan

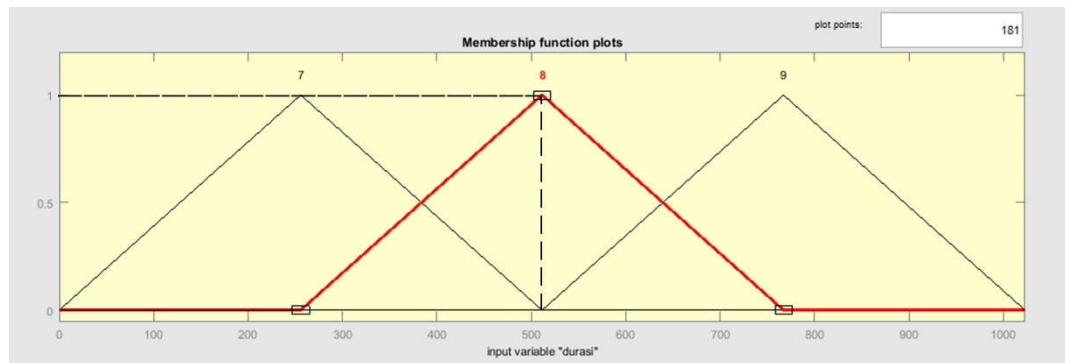
$$\mu_{\text{Kepekatan}} = \frac{x \text{ batas awal}}{\text{titik puncak} \text{ batas awal}} = \frac{200.6 \text{ } 0}{200.6 \text{ } 0} = \frac{200.6}{200.6} = 1$$



Gambar 4.4. Daerah Input Variabel Keasaman

Perhitungan μ Keasaman

$$\mu_{Keasaman} = \frac{x \text{ batas awal}}{\text{titik puncak} \text{ batas awal}} = \frac{69.75 \text{ } 0}{69.75 \text{ } 0} = \frac{69.75}{69.75} = 1$$



Gambar 4.5. Daerah Input Variabel Durasi

Perhitungan μ Durasi

$$\mu_{Durasi} = \frac{x \text{ batas awal}}{\text{titik puncak} \text{ batas awal}} = \frac{511.5 \text{ } 255.8}{511.5 \text{ } 255.8} = \frac{255.7}{255.7} = 1$$

2. Implikasi Output Kontrol Logika *Fuzzy*

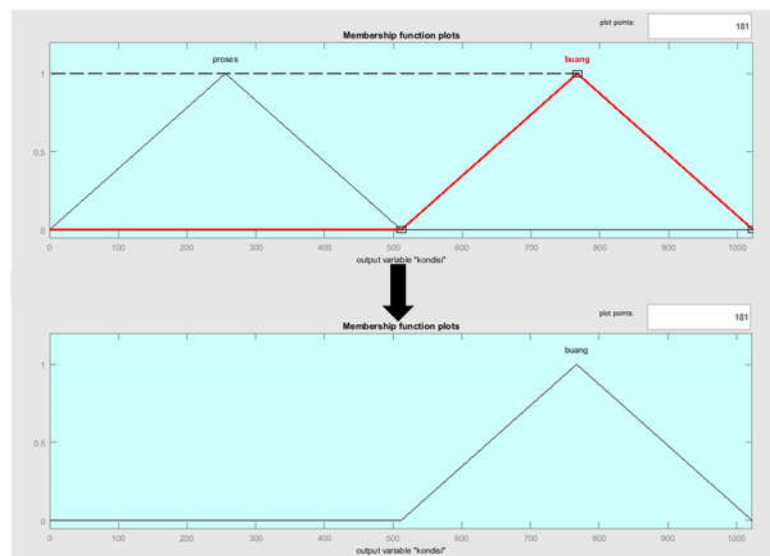
Berisi tiap input keanggotaan dan hasil perhitungan himpunan fuzzifikasi yang muncul pada variabel studi kasus dari tiap *rulebase fuzzy*, beserta nilai operator, yang merupakan hasil penerapan metode interferensi sistem *fuzzy* (diambil nilai terendah dari implikasi input jika itu perintah AND, dan nilai tertinggi jika itu perintah OR).

Tabel 4.14. Aturan Daerah Implikasi dan Nilai Operator *Fuzzy*

No	Kepekatan		AND	Keasaman		AND	Durasi		THEN	Kondisi	Nilai Operator
1	S.Pekat	0		Tinggi	0		Optimal	1		Proses	0
2	S.Pekat	0	Rendah	0	Optimal	1	Proses	0			
3	S.Pekat	0	Optimal	1	Rendah	0	Proses	0			
4	S.Pekat	0	Optimal	1	Optimal	1	Buang	0			

5	S.Pekat	0	Optimal	1	Tinggi	0	Buang	0
6	Pekat	0	Tinggi	0	Optimal	1	Proses	0
7	Pekat	0	Rendah	0	Optimal	1	Proses	0
8	Pekat	0	Optimal	1	Rendah	0	Proses	0
9	Pekat	0	Optimal	1	Optimal	1	Buang	0
10	Pekat	0	Optimal	1	Tinggi	0	Buang	0
11	Bening	1	Tinggi	0	Rendah	0	Proses	0
12	Bening	1	Tinggi	0	Optimal	1	Proses	0
13	Bening	1	Tinggi	0	Tinggi	0	Proses	0
14	Bening	1	Rendah	0	Rendah	0	Proses	0
15	Bening	1	Rendah	0	Optimal	1	Buang	0
16	Bening	1	Rendah	0	Tinggi	0	Buang	0
17	Bening	1	Optimal	1	Rendah	0	Buang	0
18	Bening	1	Optimal	1	Optimal	1	Buang	1
19	Bening	1	Optimal	1	Tinggi	0	Buang	0

Dari data pada tabel diatas didapatkan point 18 memiliki hasil implikasi dari input keanggotaannya, dan menghasilkan variabel output “buang” yang bernilai 1 karena menggunakan perintah AND. Selanjutnya data dimasukkan pada daerah variable output, yang kemudian dilakukan perhitungan luas daerah *defuzzifikasi*.



Gambar 4.6. Daerah Variabel Output dan Luas Daerah Fuzzifikasi

- Perhitungan Defuzzifikasi (Metode *Center of Area*)

$$Z^*CoA = \frac{\int \mu_x(z) \cdot z dz}{\int \mu_x(z) \cdot dz} \quad \begin{array}{l} \text{(Momen)} \\ \text{(Luas Daerah)} \end{array}$$

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0 & , Z \leq 511.5 \\ \frac{Z-511.5}{767.3-511.5}, & 511.5 \leq Z \leq 767.3 \\ \frac{1023-Z}{1023-767.3}, & 767.3 \leq Z \leq 1023 \end{cases}$$

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0 & , Z \leq 511.5 \\ 0.0039Z & 1.99, 511.5 \leq Z \leq 767.3 \\ 1023 - 0.0039Z, & 767.3 \leq Z \leq 1023 \end{cases}$$

- Nilai Momen

$$\begin{aligned} M1 &= \int_{511.5}^{767.3} (0.0039z - 1.99)z dz = \int_{511.5}^{767.3} (0.0039z^2 - 1.99z) dz \\ &= 0.0013z^3 - 0.99z^2 \Big|_{511.5}^{767.3} = 87201.32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= \int_{767.3}^{1023} (4.0008 - 0.0039z)z dz = \int_{767.3}^{1023} (4.0008z - 0.0039z^2) dz \\ &= 2.0004z^2 - 0.0013z^3 \Big|_{767.3}^{1023} = 108683.86 \end{aligned}$$

- Nilai Luas Daerah

$$A1 = \frac{\text{alas} \times \text{tinggi}}{2} = \frac{(767.3 - 511.5) \times 1}{2} = \frac{255.8}{2} = 127.9$$

$$A2 = \frac{\text{alas} \times \text{tinggi}}{2} = \frac{(1023 - 767.3) \times 1}{2} = \frac{255.7}{2} = 127.85$$

- Nilai Akhir

$$Z^*CoA = \frac{M1 + M2}{A1 + A2} = \frac{87201.32 + 108683.86}{127.9 + 127.85} = \frac{195885.18}{255.75} = 765.93$$

Nilai hasil akhir dari *defuzzifikasi* simulink matlab, Atmega2560, dan perhitungan matematis dibandingkan secara berurutan disajikan pada tabel 4.15.

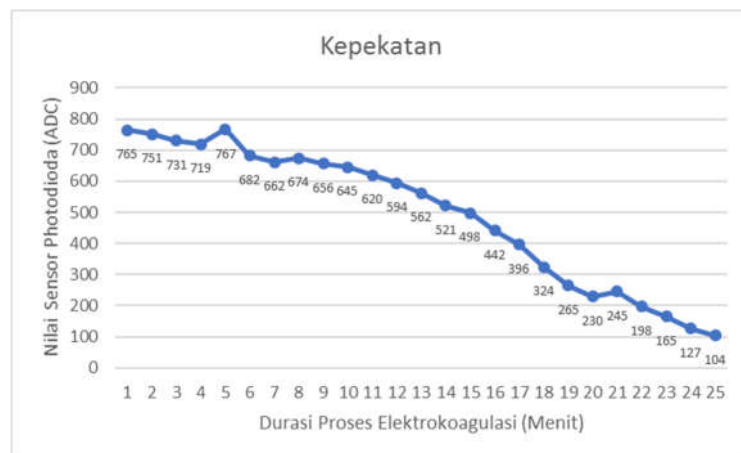
Tabel 4.15. Perbandingan Berbagai Metode Defuzzifikasi

No	Sumber Mesin Defuzzi	Defuzzifikasi	
		Nilai Asli	Pembulatan
1	Matlab	767	767
2	Atmega 2560	767.27	767
3	Perhitungan Matematis	765.93	766

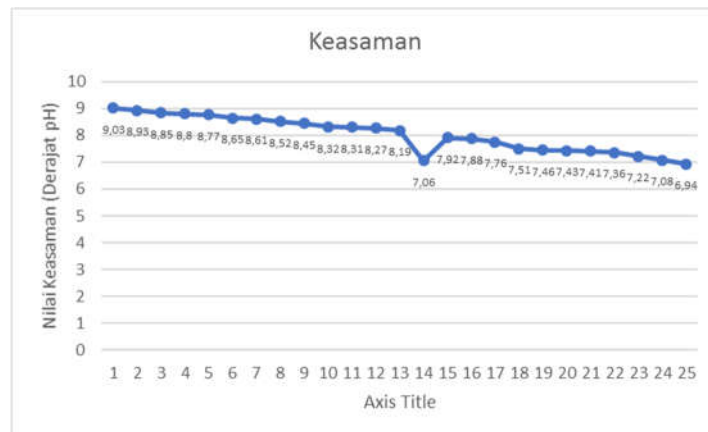
Didapat kesimpulan bahwa selisih yang masih ada tidak mempengaruhi kinerja dari kontrol logika *fuzzy*, dikarenakan nilai variabel output mempunyai rentang nilai yang besar yaitu, 511.5. Dimana nilai error yang muncul hanya sebesar 0.1303%.

4.2.2. Analisis Uji Implementasi Alat

Pada pengujian alat secara keseluruhan (dengan sampel limbah A), didapatkan variasi penurunan pada kadar kepekatan hingga 91,13% dan penurunan kadar keasaman hingga 23,15%, yang disajikan pada gambar 4.6 dan 4.8



Gambar 4.7. Grafik Penurunan Kadar Kepekatan pada Limbah cair



Gambar 4.8. Grafik Penurunan Kadar Keasaman pada Limbah cair

4.3. Pembahasan

4.3.1. Pembahasan Hasil Uji Alat

Merujuk pada tujuan awal penelitian yaitu, menghasilkan alat otomatisasi pengolahan limbah cair batik yang sesuai, dengan acuan pada 3 parameter hasil olahan limbah sesuai pada tabel 1.1, tentang standarisasi baku mutu air limbah industri tekstil dan batik peraturan daerah Jawa Tengah nomor 5 tahun (2012: 17), dengan parameter output limbah cair setelah proses pengolahan, disajikan pada tabel 4.18.

Tabel 4.16. Parameter Output Limbah Hasil Pengolahan

No	Parameter	Kadar Maksimal (mg/L)	Kadar Setelah Pengolahan (mg/L)
1	COD ^{*)}	150	0
2	BOD ^{*)}	60	0,2
3	pH ^{**)}	6,0 - 9,0	7

*) Kadar parameter diuji pada laboratorium biologi FMIPA UNNES

***) Kadar parameter didapat dari rata-rata pengukuran nilai pH pada tabel 4.6

4.3.2. Pembahasan Hasil Alat dengan Penelitian Sebelumnya

Pada proses kajian pustaka bab II telah dikumpulkan studi literasi yang relevan sebagai landasan untuk solusi penyelesaian latar belakang masalah, selanjutnya di akhir pembahasan penulis bandingkan hasil penelitian ini dengan hasil penelitian sebelumnya.

Pembahasan yang pertama yaitu, dari jurnal pertama, dengan fokus penelitian mencari spesifikasi alat pengolah limbah cair tekstil metode elektrokoagulasi yang paling efektif, dan didapat hasil akhir berupa limbah yang diolah 800mL, pengondisian pH awal 4,0, elektroda alumunium dengan jarak antar elektrodanya 2cm, durasi pengolahan efektif 10 menit, dan mendapatkan 52,35% lebih murah dibanding dengan koagulasi bahan kimia. Dan dari jurnal kedua yang memiliki tujuan penelitian yang hampir sama, tapi dengan fokus penelitian mencari parameter yang paling efisien untuk dekolerasi warna limbah cair tekstil dengan hasil penelitian berupa, pengondisian pH limbah awal 5,5, dialiri arus 15mA/Cm² dari elektroda alumunium dengan tingkat dekolerasi 97%. Dari kedua literasi tersebut di dalam sistemnya belum terdapat optimasi dengan sistem otomasi, dan pengukuran secara *real time*, guna menjaga keakuratan baik proses maupun hasil pengolahan limbah.

Pembahasan selanjutnya dari penelitian ketiga yang dijadikan landasan penulis untuk bahan literasi sistem kontrol menggunakan mikrokontroler, dengan fokus penelitian otomasi penetralan derajat keasaman limbah cair industri tahu dengan penambahan larutan asam/basa/nutrisi untuk hidroponik, dengan hasil

penelitian tingkat akurasi sensor pH 95,71%, respon sistem menaikkan pH selama 00:10:39 dan menurunkan pH selama 00:22:24.

Pembahasan terakhir diambil dari jurnal ke-4 dan ke-5 yang berfokus tentang penggunaan algoritma logika *fuzzy* yang efisien untuk pengolahan limbah cair dari berbagai industri (tidak hanya industri tekstil). Dengan hasil penelitian bahwa algoritma logika *fuzzy* efisien digunakan untuk pengolahan limbah cair, dengan beberapa kelebihan berupa, pengolahan limbah cair memerlukan pemrosesan dengan parameter yang sensitif, dan logika *fuzzy* dapat mengakomodir pemrosesan informasi yang secara konsisten tidak tepat, tidak pasti, dan tahan terhadap klasifikasi parameter.

Jadi pada akhir penelitian didapatkan hasil berupa alat otomatisasi pengolahan limbah cair batik, yang mengadaptasi dari berbagai studi literasi, dengan keunggulan:

1. Adanya bak pengendapan guna mengendapkan material padat limbah cair, sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi.
2. Berdasarkan proses, dengan mengadaptasi metode elektrokoagulasi dan dioptimasi dengan sistem kontrol logika *fuzzy*, menghasilkan alat pengolahan yang cukup efektif dengan standar penelitian sebelumnya. Dimana nilai parameter yang menjadi input, dapat dieksekusi secara tepat berdasarkan “komposisi aturan” (*rulebase*) dari penelitian.
3. Berdasarkan hasil, menggunakan pengolahan elektrokoagulasi, limbah hasil olahan sudah sesuai dengan aturan buang limbah yang berlaku, dengan 2 parameter yang dimonitor langsung. Dan hasil olahan limbah memiliki 2

komponen limbah, yaitu limbah siap buang, dan endapan (*sludge*) yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai pewarna, setelah melewati proses pengeringan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

- a. Penelitian ini berhasil membangun sistem kendali otomatis pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi logika fuzzy, yang hasil olahan limbahnya pada beberapa parameter sudah memenuhi standarisasi baku mutu air limbah industri tekstil dan batik.
- b. Penelitian ini berhasil melakukan uji fungsionalitas sistem kendali otomatis pengolahan limbah cair batik metode elektrokoagulasi dengan optimasi logika fuzzy, dengan hasil penurunan kadar kepekatan rata-rata mencapai 87,26% dan penurunan kadar keasaman rata-rata mencapai 22,67%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian untuk solusi dari rumusan masalah pada penelitian ini, serta keterbasanya, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, guna penelitian berikutnya, diantaranya yaitu:

- a. Dalam sistem kontrol logika *fuzzy* pemilihan nilai variabel didasari dari penelitian sebelumnya, yang belum tentu memiliki parameter yang sama, dan atau menggunakan metode *trial and error*. Dari aspek ini dimungkinkan untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan optimasi kembali dengan sistem kontrol fuzzy adaptif, yang dapat menyesuaikan dengan kesalahan

pelacakan antara output sistem dan sinyal referensi yang diinginkan (Sun et al. 2019).

- b. Dari faktor keterbatasan sumber daya, hasil pengolahan alat pada penelitian ini, walaupun sudah memiliki tingkat penurunan zat kimia yang relatif signifikan (2 parameter), akan tetapi masih banyak parameter yang belum terkontrol, maka untuk penelitian selanjutnya dapat dipertimbangkan penambahan sensor, guna memperluas sistem monitoring hasil olahan limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anisyah, Y. and H.D. Atmanti, 2011. Analisis Perkembangan Industri Batik Semarang, Semarang: Universitas Diponegoro (UNDIP). Available from http://eprints.undip.ac.id/32448/1/jurnal_analisis_perkembangan_industri_batik_semarang.pdf.
- Asmadi & Suharno, 2012. Dasar-Dasar Teknologi Pengelohan Air Limbah. Yogyakarta: Gosyen publishing.
- Alaton, I.A., Balcioglu, I.A., and Bahnewann, D.W., 2002, Advanced Oxidation of Reactive Dye bath Effluent: Comparison of O₃, H₂O/UV-C and TiO₂/UV-A process, Water Research, 36, pp. 1143- 1154
- Atousa Ghaffarian Khorram, Narges Fallah, 2018. Yang berjudul Treatment of textile dyeing factory wastewater by electrocoagulation with low sludge settling time: Optimization of operating parameters by RSM. Journal of Environmental Chemical Engineering 6 (2018) 635–642
- Dalvand, Arash, Mitra Gholami, Ahmad Joneidi, and Niyaz Mohammad Mahmoodi. 2011. “Dye Removal, Energy Consumption and Operating Cost of Electrocoagulation of Textile Wastewater as a Clean Process.” CLEAN–Soil, Air, Water 39(7):665–72.
- Damayanthi, V. R. 2008. PROSES INDUSTRIALISASI DI INDONESIA DALAM PRESPEKTIF EKONOMI POLITIK. Journal of Indonesian Applied Economics 2(1): 68
- Demirci, Y, L. C. Pekel, A. Altinten, and M. Albaz. 2015. “Application of Fuzzy Control on the Electrocoagulation Process to Treat Textile Wastewater.” Environmental Technology 36(24):3243–52.
- Demirci, Yavuz, Lutfiye Canan Pekel, Ayla Altinten, and Mustafa Albaz. 2015. “Improvement of the Performance of an Electrocoagulation Process System Using Fuzzy Control of PH.” Water Environment Research 87(12):2045–52.
- G.Vijayaraghavan, M.Jayalakshmi , 2015. A Quick Review on Applications of Fuzzy Logic in Waste Water Treatment,. Volume 3 Issue V
- Holt, P. K., Geoffrey W. Barton, Cynthia A. Mitchell, The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology, Department of Chemical Engineering. University of Sydney, NSW, Sydney, Australia, 2006.

- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. 2011. Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Indonesia. Jakarta: Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian
- Khorram, Atousa Ghaffarian and Narges Fallah. 2018. "Treatment of Textile Dyeing Factory Wastewater by Electrocoagulation with Low Sludge Settling Time: Optimization of Operating Parameters by RSM." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(1):635–42.
- Koparal, Ali Savaş, Yalçın Şevki Yıldız, Bülent Keskinler, and Nuhi Demircioğlu. 2008. "Effect of Initial PH on the Removal of Humic Substances from Wastewater by Electrocoagulation." *Separation and Purification Technology* 59(2):175–82.
- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D.L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 114, 199–210
- Mulyana, Y. and D. L. Hakim. 2018. "Prototype of Water Turbidity Monitoring System." P. 12052 in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 384. IOP Publishing.
- Noor, Ilanur Muhaini Mohd and Muhamad Kamal. 2017. "Control of Wastewater Treatment by Using the Integration MATLAB and LabVIEW." *Pertanika Journal of Science & Technology* 25.
- Nurainun, Heriyana, dan Rasyimah. 2008. ANALISIS INDUSTRI BATIK DI Indonesia. *Fokus Ekonomi (FE)* 7(3): 124 ISSN: 1412-3851
- Nuzula, Nike Ika, Wazirotus Sakinah, and Endarko. 2017. "Manufacturing Temperature and Turbidity Sensor Based on ATMega 8535 Microcontroller." P. 30108 in *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1788. AIP Publishing LLC.
- Riadi, Lieke, Whenny Ferydhiwati, and Liok Dimas Sanjaya Loeman. 2014. "PENGOLAHAN PRIMER LIMBAH TEKSTIL DENGAN ELEKTROKOAGULASI." *Reaktor* 15(2):73–78
- Sun, Wei, Shun-Feng Su, Yuqiang Wu, Jianwei Xia, and Van-Truong Nguyen. 2019. "Adaptive Fuzzy Control with High-Order Barrier Lyapunov Functions for High-Order Uncertain Nonlinear Systems with Full-State Constraints." *IEEE Transactions on Cybernetics*.
- Prasetyo, Bayu Dwi, 2017. Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis Ph Limbah Cair Industri Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler.

- Pourjavad, Ehsan and Arash Shahin. 2018. "The Application of Mamdani Fuzzy Inference System in Evaluating Green Supply Chain Management Performance." *International Journal of Fuzzy Systems* 20(3):901–12.
- UU No.32/2009 PLH Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada BAB I Pasal 1 ayat (20).
- Vijayaraghavan, G. and M. Jayalakshmi. 2015. "A Quick Review on Applications of Fuzzy Logic in Waste Water Treatment." *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology* 3:421–25.
- Yuksel, E., Gurbulak, E., and Eyvaz, M., 2012, Decolorization of a Reactive Dye Solution and Treatment of a Textile Wastewater by Electrocoagulation and Chemical Coagulation: Techno-Economic Comparison, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 31(4), pp. 524-535.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor: 171 / FT - UNNES / 2018**

**Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2017/2018**

- Menimbang** : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat** : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
- Menimbang** : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro Tanggal 31 Januari 2018
- MEMUTUSKAN**
- Menetapkan** :
- PERTAMA** : Menunjuk dan menugaskan kepada:
- Nama : TATYANTORO ANDRASTO, S.T., M.T.
NIP : 196803161999031001
Pangkat/Golongan : IV/a
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing
- Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
- Nama : ULINNUHA LUTHFI
NIM : 5301414063
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro
Topik : otomatisasi pengolahan limbah batik cair dengan metode elektrokoagulasi
- KEDUA** : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

- Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 1 Februari 2018



Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

Lampiran 2. *Source Code* Program pada Arduino IDE

Seluruh program yang dipakai mencapai 676 baris program, jadi pada lampiran hanya ditampilkan struktur utama pemrograman, program keseluruhan dapat diakses melalui tautan http://bit.ly/Skripsi_Fuzzy_Elektrokoagulasi. Dan secara garis besar program dibagi menjadi 4 bagian utama.

1. Inisialisasi library dan variabel global

- a. Library eFFL

```
#include <Fuzzy.h>; #include <FuzzyComposition.h>;
#include <FuzzyInput.h>; #include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzyOutput.h>; #include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>;
#include <FuzzyRuleConsequent.h>; #include <FuzzySet.h>
```
- b. Library sensor

```
#define SensorPin A0
#include "RTClib.h"
```
- c. Library aktuator

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>
```
- d. Variabel global

```
int x=500; //delay
int pos = 0; //posisi servo
```
- e. Inisialisasi himpunan variabel *fuzzy* 3 input dan 1 output

```
//Fuzzy Input
Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();
//kepekatan photodiode
FuzzySet* bening = new FuzzySet(0, 200.6, 200.6, 401.2);
FuzzySet* pekat = new FuzzySet(341, 511.5, 511.5, 682);
FuzzySet* sangatpekat = new FuzzySet(621.8, 822.4, 822.4,
1023);
//keasaman pH
FuzzySet* optimal = new FuzzySet(0, 69.75, 69.75, 139.5);
FuzzySet* rendah = new FuzzySet(93, 325.5, 325.5, 604.5);
FuzzySet* tinggi = new FuzzySet(558, 790.5, 790.5, 1023);
//durasi rtc
FuzzySet* cepat = new FuzzySet(0, 255.8, 255.8, 511.5);
FuzzySet* pas = new FuzzySet(255.8, 511.5, 511.5, 767.3);
FuzzySet* lama = new FuzzySet(511.5, 767.3, 767.3, 1023);
//Fuzzy Output kondisi
FuzzySet* proses = new FuzzySet(0, 255.8, 255.8, 511.5);
```

- ```
FuzzySet* buang = new FuzzySet(511.5, 767.3, 767.3, 1023);
```
2. Void Setup
    - a. Perintah serial  
Serial.begin(9600);
    - b. Inisialisasi fungsi pin dan perintah sekali jalan (diawal program)  
if (! rtc.begin()) {Serial.println("RTC TIDAK TERBACA");while (1);}  
if (! rtc.isrunning()) {Serial.println("RTC is NOT running!");  
rtc.adjust(DateTime(2019, 5, 19, 0, 0, 0));}
    - c. Inisialisasi 27 rulebase  
//FuzzyRule  
//rulebase 1  
FuzzyRuleAntecedent\*  
kepekatanSangatpekatAndkeasamanTinggi = new  
FuzzyRuleAntecedent();  
kepekatanSangatpekatAndkeasamanTinggi-  
>joinWithAND(sangatpekat, tinggi);  
FuzzyRuleAntecedent\*  
ifkepekatanSangatpekatAndkeasamanTinggiAnddurasiCepat =  
new FuzzyRuleAntecedent();  
ifkepekatanSangatpekatAndkeasamanTinggiAnddurasiCepat-  
>joinWithAND(kepekatanSangatpekatAndkeasamanTinggi,  
cepat);  
FuzzyRuleConsequent\* thenKondisiProses = new  
FuzzyRuleConsequent();  
thenKondisiProses->addOutput(proses);  
FuzzyRule\* fuzzyRule1 = new FuzzyRule(1,  
ifkepekatanSangatpekatAndkeasamanTinggiAnddurasiCepat,  
thenKondisiProses);  
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule1);
  3. Void Tambahan: perintah buka tutup servo dan perintah algoritma perhitungan sensor pH  
void tutup(){  
myservo.write(85);} //derajat kran untuk menutup  
//fungsi buka keran servo  
void buka(){  
myservo.write(15);} //derajat kran untuk membuka
  4. Void Loop
    - a. Perintah ucapan pembuka pada LCD  
//ucapan pembuka pada LCD  
lcd.setCursor(0,0); lcd.print("==SISTEM FUZZY==");  
lcd.setCursor(0,1); lcd.print("ELEKTROKOAGULASI");  
delay(3000);

- ```

    lcd.clear();
b. Perintah pembacaan volume pengisian pada bak elektrokoagulasi
//PROSES 1, AIR LIMBAH MASUK BAK
ELEKTROKOAGULASI
    if(Tair > 0 && Tair <=ntx1){ //luar ruangan 500          //ada
cahaya, air belum sampai ke set point
    lcd.clear();
    digitalWrite(pompa, HIGH); Serial.println("POMPA NYALA");
    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("PROSES AWAL");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("POMPA NYALA");delay(500);
    goto awalan;
    }
    else if(Tair >ntx1 && Tair<=1023){ //dalam ruangan 600
//tak ada cahaya, air memenuhi set point
    digitalWrite(pompa, LOW); Serial.println("POMPA MATTI");
    //goto fuzzy;
    }
c. Perintah konversi nilai sensor menjadi nilai ADC 10 bit
fuzzy: //proses fuzzy dilakukan iterasi
//PROSES 2, FUZZY (penentuan kondisi proses/ buang)
//konversi nilai hasil baca sensor photodiode
int kepekatan = analogRead(ptb);
int kepekatan1 =map(kepekatan, 0,1023, 0, 999);
//konversi nilai hasil baca sensor pH
float val = number();
float keasaman1 = val/100;
keasaman =map(keasaman1, 6.8, 9, 0, 1023);
//konversi nilai hasil baca sensor RTC
DateTime now = rtc.now();
int durasi1 = now.minute();
durasi =map(durasi1, 0, 25, 0, 1023);
Serial.print(durasi1);
d. Perintah defuzzifikasi, serta menampilkan nilai pada serial
fuzzy->fuzzify();
//inisialisasi hasil defuzzi pada type data float
float output1 = fuzzy->defuzzify(1);
// serial print defuzzi
Serial.print("Defuzzy: ");
Serial.println(output1);
e. Perintah eksekusi nilai defuzzifikasi.
eksekusi: //proses aksi dari hasil defuzzi
//kondisi PROSES
if(output1 >= 0 && output1 <= 511.5){

```

```

lcd.clear();
digitalWrite(rpsu, LOW); tutup();
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("F=");
lcd.setCursor(2,0);lcd.print(output1);
lcd.setCursor(9,0);lcd.print("PROSES");
bool b=1;
lcd.setCursor(0,b);lcd.write(1);lcd.setCursor(1,b);
lcd.print("=");lcd.setCursor(2,b);lcd.print(kepekatan1);
lcd.setCursor(6,b);lcd.write(2);lcd.setCursor(7,b);
lcd.print("=");lcd.setCursor(8,b);lcd.print(keasaman1);
lcd.setCursor(12,b);lcd.write(3);lcd.setCursor(13,b);
lcd.print("=");lcd.setCursor(14,b);lcd.print(durasi1);
delay(x);
goto fuzzy;
}

```

```

//kondisi BUANG
else if(output1 > 512.5 && output1 <= 1023){
lcd.clear();
digitalWrite(rpsu, HIGH); buka();
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("F=");
lcd.setCursor(2,0);lcd.print(output1);
lcd.setCursor(9,0);lcd.print("BUANG");
bool b=1;
lcd.setCursor(0,b);lcd.write(1);lcd.setCursor(1,b);
lcd.print("=");lcd.setCursor(2,b);lcd.print(kepekatan1);
lcd.setCursor(6,b);lcd.write(2);lcd.setCursor(7,b);
lcd.print("=");lcd.setCursor(8,b);lcd.print(keasaman1);
lcd.setCursor(12,b);lcd.write(3);lcd.setCursor(13,b);
lcd.print("=");lcd.setCursor(14,b);lcd.print(durasi1);
delay(x);
goto fuzzy;
}

```


Lampiran 3. Surat Keputusan Hasil Penelitian



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM JURUSAN BIOLOGI

Alamat : Gedung D11 FMIPA UNNES Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
website : biologi.unnes.ac.id, email : labbiologi.unnes@yahoo.com

SURAT KETERANGAN

No. 141 /UN. 37.1.4.5./KM/2020

Yang bertanda tangan di bawah ini, Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang menerangkan bahwa :

Nama : Ulinnuha Luthfi
NIM : 5301414063
Instansi : Prodi Pendidikan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
Judul : *Otomatisasi Pengolahan Limbah Cair Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi Dengan Optimasi Fuzzy*

telah melakukan uji COD/BOD sebanyak 1 sampel limbah batik di Laboratorium Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada bulan Maret 2020 dengan hasil terlampir.

Demikian Surat Keterangan ini kami buat untuk dapat digunakan sebagaimana perlunya.

Semarang, 13 Maret 2020

Mengetahui
Ketua Jurusan Biologi FMIPA UNNES

Nugrahaningsih WH, M. Kes.
NIP. 196907091998032001

Kepala Laboratorium

Dra. Endah Peniati, M.Si.
NIP. 196511161991032001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM JURUSAN BIOLOGI

Alamat : Gedung D11 FMIPA UNNES Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
website : biologi.unnes.ac.id, email : labbiologi.unnes@yahoo.com

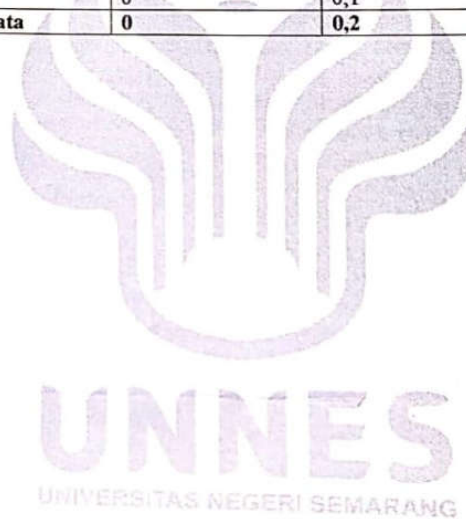
Lampiran Surat Keterangan No. 41 /UN. 37.1.4.5./KM/2020

DATA UJI COD/BOD

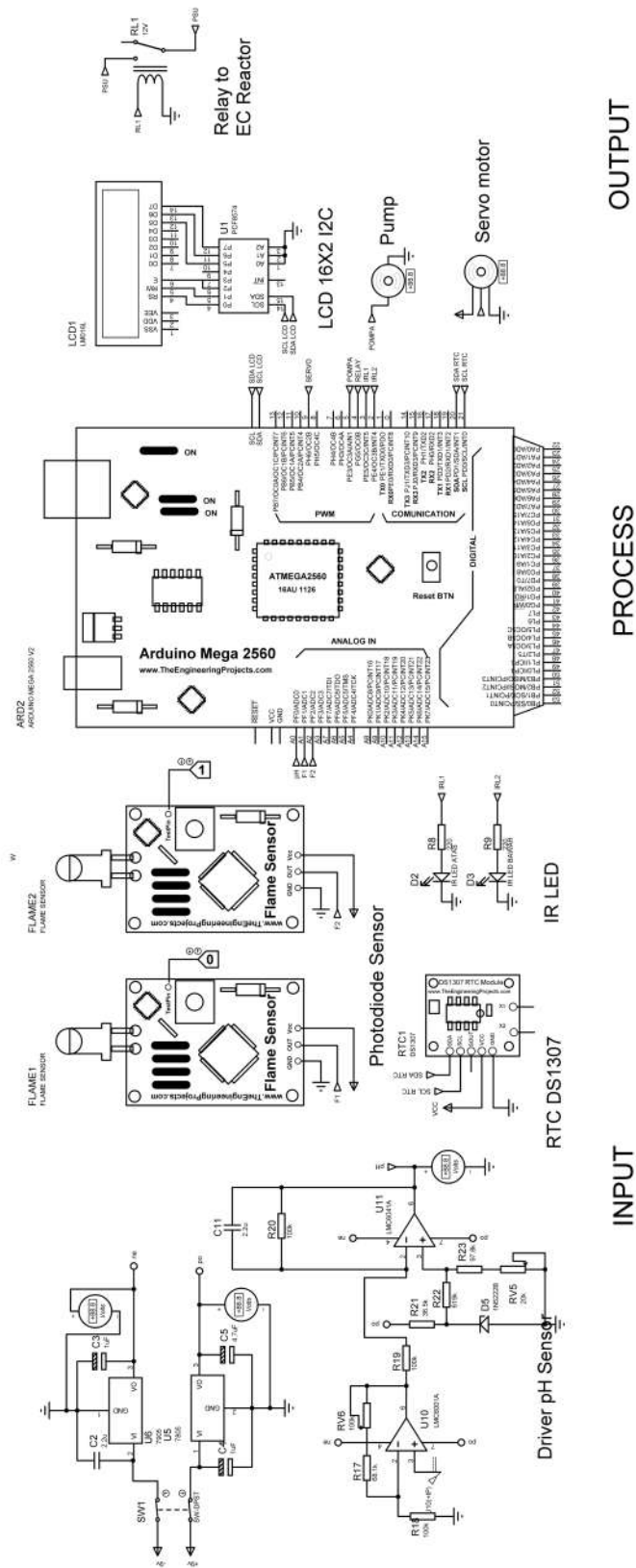
Sampel : Limbah cair Batik

Kondisi fisik sampel: Ada endapan ungu, tidak berbau

Ulangan ke-	COD mg/L	BOD mg/L
1	0	0,25
2	0	0,25
3	0	0,1
Rerata	0	0,2



Lampiran 4. Rangkaian simulasi pada *software* Proteus 8 Pro



OUTPUT

PROCESS

INPUT