

**PREDIKSI KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* PADA LIMBAH
CAIR PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE
MULTISENSOR**

(Skripsi)

Oleh

Naili Fathonah Putri

1854071010



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

PREDICTION OF CHEMICAL OXYGEN DEMAND IN PALM OIL WASTE USING MULTISENSOR METHOD

BY

NAILI FATHONAH PUTRI

Prediction of chemical oxygen demand (COD) in palm oil liquid waste using the multisensor method is an alternative to determine levels of chemical oxygen demand in palm oil liquid waste more quickly and produce accurate sensor output values. COD is the amount of oxygen required for organic compounds in wastewater to be oxidized through chemical reactions. This study aims to predict the level of chemical oxygen demand in palm oil wastewater more quickly and accurately using a multisensor method.

This research was conducted in March - March 2023 at the Physics Laboratory of the Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung and sampling of liquid waste at PTPN 7 Bekri, Central Lampung. Data collection was carried out by preparing 5 types of sensors, chemicals and samples of palm oil liquid waste. The data that has been obtained is processed using the JST backpropagation method with the help of matlab software. The JST model uses two hidden layers, a learning rate of 0.001, the type of training tranlm and the number of epochs is 1000. The JST training process uses 27 functional variations of the logsig, tantig, and purelin variants. The data used for training data is as much as 70% of the total data then 30% is used for the model validation process.

The results of this study indicate that the best activation function in ANN model training is logsig-logsig-logsig with an RMSE value of and R2 of. Model validation with 5 inputs namely temperature, pH, EC, turbidity and DO produces an R² value of 0.413. The accuracy value between the actual value and the

predicted value is obtained with an RMSE value of 6,965 and an RRMSE of 47.17%.

Kata Kunci : *JST, Chemical Oxygen Demand, Palm Oil Wastewater.*

ABSTRAK

PREDIKSI KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* PADA LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE MULTISENSOR

Oleh

NAILI FATHONAH PUTRI

Prediksi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair kelapa sawit menggunakan metode multisensor adalah alternatif untuk mengetahui kadar COD pada limbah cair kelapa sawit secara lebih cepat dan menghasilkan nilai keluaran dari sensor yang akurat. COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar senyawa organik yang ada di dalam air limbah dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Penelitian ini bertujuan untuk Memprediksi kadar *chemical oxygen demand* pada limbah cair kelapa sawit secara lebih cepat dan akurat dengan metode multisensor.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Maret 2023 di Laboratorium Fisika Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan pengambilan sampel limbah cair di PTPN 7 Bekri, Lampung Tengah. Pengambilan data dilakukan dengan mempersiapkan 5 jenis sensor, bahan-bahan kimia dan sampel limbah cair kelapa sawit. Data yang telah didapatkan diolah menggunakan metode JST *backproagation* dengan bantuan *software matlab*. Model JST menggunakan dua hidden layer, learning rate 0,001, tipe pelatihan tranlm dan jumlah epoch 1000. Proses pelatihan JST menggunakan 27 variasi fungsi dari varian *logsig*, *tansig*, dan *purelin*. Data yang dipakai untuk data latih adalah sebanyak 70% dari jumlah seluruh data kemudian 30% dipakai untuk proses validasi model. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fungsi aktivasi

terbaik pada pelatihan model JST adalah *logsig-logsig-logsig* dengan nilai RMSE sebesar 3.389 dan R^2 sebesar 0.92% . Validasi model dengan 5 input yaitu suhu, pH, EC, turbidity dan DO menghasilkan nilai R^2 sebesar 0.413. Nilai keakuratan antara nilai aktual dengan nilai prediksi didapatkan dengan nilai RMSE yaitu sebesar 6.965 dan RRMSE sebesar 47.17%.

Kata Kunci : JST, *Chemical Oxygen Demand*, Limbah cair kelapa sawit

**PREDIKSI KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* PADA LIMBAH
CAIR PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE
MULTISENSOR**

Oleh

NAILI FATHONAH PUTRI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas
Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PREDIKSI KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* PADA LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE MULTISENSOR**

Nama Mahasiswa : **Naili Fathonah Putri**


No. Pokok Mahasiswa : **1854071010**


Jurusan : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**




1. **Komisi Pembimbing**


Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP. 198803252015041001


Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.
NIP. 199002262019031012

2. **Ketua Jurusan Teknik Pertanian**


Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 19621010198902002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.



Sekretaris : Febryan Kusuma Wisnu, S.TP., M.Sc.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M. Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP. 196110201986031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 April 2023

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya **Naili Fathonah Putri** NPM **1854071010**. Dengan ini menyatakan bahwa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing **Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.** dan **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.** Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggung jawabkannya.

Bandar Lampung, April 2023
Yang membuat pernyataan



Naili Fathonah Putri
NPM 1854071010

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pugung Raharjo, Kabupaten Lampung Timur pada tanggal 12 Desember 1999 putri dari pasangan Bapak Makmun dan ibu Ratna Wati anak kedua dari dua bersaudara. Pada tahun 2005 sampai 2006 penulis memulai pendidikan taman kanak-kanak di (TK) Aisyah Pugung Raharjo, lalu melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Pugung Raharjo pada tahun 2006-2012, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Sekampung Udik Gunung Pasir Jaya pada tahun 2012-2015 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada tahun 2015-2018.

Tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Lampung Fakultas Pertanian Jurusan Teknik Pertanian melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMNPTN). Penulis juga cukup aktif dalam organisasi yaitu Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP). Penulis pernah menjabat sebagai Anggota dalam bidang Dana dan Usaha (Danus) pada periode 2020 dan pada periode 2021.

Pada tahun 2021 penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sidorejo, Kecamatan Sekampung Udik, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. selama 40. Penulis juga telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT.Suhita Lebah Indonesia, Langkapura, Bandar Lampung, Provinsi Lampung dengan judul “ Mempelajari Pasca Panen Madu Dengan Metode Penurunan Kadar Air (*Dehumudifikasi*) di PT.Suhita Lebah Indonesia, Langkapura, Bandar Lampung” selama 30 hari mulai tanggal 3 Agustus hingga 6 September 2021.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'aalamiin...

Segala puji dan syukur saya haturkan kepada Allah SWT, dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang kupersembahkan karya ini sebagai wujud rasa syukur, cinta kasih, dan sebagai tanda bakti kepada :

Orang tuaku tercinta (Makmun dan Ratna wati)

Terima kasih Pa, Ma, atas segala kasih sayang dan perjuangan dalam membesarkan ku. Terima kasih selalu sabar dan selalu mendukung segala kegiatanku, baik dukungan moril maupun materil yang senantiasa diberikan untuk keberhasilan dan kebahagiaanku. Tanpa doa dan restu Mama Papa, aku belum tentu sampai di titik ini.

Serta Kakakku (Rama Aldy Syahputra S.sos)

Terima kasih selalu memberikan dukungan dan semangat kepadaku.

SANWANCANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir perkuliahan dalam penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada suri tauladan umat islam Nabi Muhammad SAW, yang senantiasa kita nantikan syafaatnya hingga akhir zaman. Skripsi yang berjudul “Prediksi Kadar *Chemical Oxygen Deman* Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Multisensor ” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari dan memahami bahwa selama penyusunan skripsi ini terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dan dalam penyusunan skripsi masih jauh dari kesempurnaan yang disebabkan keterbatasan pengetahuan penulis. Dalam pelaksanaan penyusunan skripsi ini penulis banyak dibimbing, dibantu, diberi dukungan, semangat, serta doa syang sangat berarti bagi penulis. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr.Ir.IrwanSukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian UniversitasLampung;
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si, selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat;
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan motivasi, masukan, bimbingan, dan saran kepada penulis hingga penyusunan skripsi ini;

4. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran dalam penyusunan skripsi ini;
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M. Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembahas yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan untuk perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh Dosen dan para Karyawan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis ini;
7. Bapak Makmun dan Ibu Ratna Wati, selaku orang tua penulis yang telah memberikan semangat dalam melaksanakan penyusunan skripsi dan dukungan finansial dalam menyelesaikan perkuliahan. Terima kasih atas doa dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis ini;
8. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rayna Meizurra, Kiyay Rama, dan kak Sasa yang selalu memberikan masukan dan semangat kepada penulis sehingga membuat penulis tidak merasa lengah dalam pengerjaan skripsi ini;
9. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Nadya, Risyia, Nabyla, Oryza, Nasywa, selaku sahabat penulis yang selalu siap menjadi tempat keluh kesah maupun senang dan memberikan semangat, motivasi, dan dukungan dengan caranya masing-masing sehingga membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi;
10. Keluarga Teknik Pertanian 2018 yang telah menjadi salah satu bagian dari cerita perjuangan selama perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaannya, doa, dukungan, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
11. Semua pihak yang telah berjasa dan membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga kebaikan tersebut mendapat balasan dari Allah SWT.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih belum sempurna. Karenaitu, kritik dan masukan dari pembaca yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih, dan penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi penulis dan pembacanya.

Bandar Lampung, 10 April 2023

Penulis,

Naili Fathonah Putri

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI.....	I
DAFTAR TABEL	IV
DAFTAR GAMBAR	VI
DAFTAR SINGKATAN DAN SENYAWA KIMIA.....	IX
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kelapa Sawit	5
2.2 Limbah	5
2.2.1 Limbah Cair Kelapa Sawit	5
2.2.2 Limbah Pabrik Kelapa Sawit	6
2.2.3 <i>Palm Oil Mill Effluent</i> (POME)	7
2.2.4 Spesifikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	7
2.2.5 Proses Terjadinya Limbah Cair Kelapa Sawit	9
2.3 Parameter Limbah	9
2.3.1 Parameter Pencemar Limbah	9
2.4 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	10
2.5 Analisis COD dalam Pengolahan Limbah	11
2.6 Dampak COD.....	11
2.7 Metode Pengukuran COD.....	12
2.8 Kekurangan Analisis COD	12
2.8.1 Perbedaan COD dan BOD	13
2.9 <i>Sensor Potential Hydrogen</i> (pH)	14
2.10 Sensor Suhu	15
2.11 Sensor <i>Electrical Conductivity</i> (EC).....	16
2.12 Sensor <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	16
2.13 Sensor <i>Turbidity</i>	17
2.14 Arduino	17
2.15 Mikrokontroler	18
2.15.1 Mikrokontroler Atmega 328	19

2.16	Jaringan Saraf Tiruan (<i>Artificial Neural Network</i>)	20
2.17	Model Jaringan Saraf Tiruan	21
2.18	Penelitian Pendukung.....	23
III. METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1	Waktu dan Tempat	26
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.2.1	Alat.....	26
3.2.2	Bahan.....	28
3.3	Prosedur Penelitian	28
3.4	Analisis Data.....	31
3.5	Pengambilan Sampel.....	31
3.6	Pembuatan Larutan	32
3.7	Standardisasi FAS 0,05 N	32
3.8	Pengenceran Sampel Limbah Cair Kelapa Sawit	34
3.9	Pengujian Kadar COD Menggunakan Metode <i>Refluks</i> Tertutup.....	34
3.10	Titration	36
3.11	Perhitungan COD.....	37
3.12	Mekanisme Kerja	38
3.13	Kalibrasi Sensor	38
3.14	Validasi sensor	39
3.15	Tahapan Penggunaan Aplikasi MATLAB.....	39
3.16	Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan	40
3.16.1	Pembentukan Persamaan Matematika dari Model JST yang Dihasilkan	44
3.17	Integrasi Model JST ke Mikrokontroler	45
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Hasil Rancang Bangun Sistem Alat Ukur Cepat kualitas limbah.....	46
4.2	Hasil Kalibrasi Sensor.....	48
4.2.1	Kalibrasi Sensor	48
4.2.2	Validasi Sensor	56
4.3	Pengukuran Kualitas Limbah Cair Kelapa Sawit	64
4.4	Pengujian Kadar COD	64
4.5	Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan	66
4.5.1	Kalibrasi Dengan Model Jaringan Saraf Tiruan.....	67
4.5.2	Pengujian Model Jaringan Saraf Tiruan.....	75
4.6	Persamaan Matematika dari Pengembangan Model JST.....	77
4.7	Integrasi Model JST dengan Mikrokontroler.....	82
4.8	Perbandingan Nilai COD	82
4.9	Validasi Model.....	83
4.9.1	Validasi Model 1 Input pH.....	84
4.9.2	Validasi Model 2 Input pH dan DO	86
4.9.3	Validasi Model 3 Input pH, EC dan TB.....	88
4.9.4	Validasi Model 4 Input pH, DO, EC dan TB.....	90
4.9.5	Validasi Model 4 Input Suhu pH, EC dan TB	91
4.9.6	Validasi Model 5 Input Suhu pH, DO, EC dan TB	93

V . KESIMPULAN.....	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit	8
2. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik.....	8
3. Spesifikasi Arduino Uno	18
4. Penelitian Pendukung.....	23
5. Hasil Rancang Bangun Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Kelapa Sawit....	46
6. Hasil kalibrasi sistem deteksi cepat kualitas air limbah kelapa sawit.....	47
7. Kalibrasi sensor suhu	49
8. Kalibrasi sensor pH.....	50
9. Kalibrasi Sensor EC	52
10. Kalibrasi sensor <i>Turbidity</i>	54
11. Kalibrasi DO	55
12. Validasi Sensor Suhu	57
13. Validasi pH	58
14. Validasi EC	59
15. Validasi Sensor Turbidity	61
16. Validasi Sensor DO.....	62
17. Hasil analisis COD pada limbah cair kelapa sawit.	65
18. Daftar hasil pelatihan model JST terbaik pada tiap variasi input.....	69

19. Daftar hasil uji model JST pada variasi fungsi aktivasi.....	76
20. Hasil nilai-nilai analisis laboratorium, uji JST, persamaan matematika dan mikrontroler.....	83
21. Data validasi model menggunakan input pH	84
22. Data validasi model menggunakan input pH dan DO.....	86
23. Data validasi model menggunakan input pH, EC dan TB	88
24. Data validasi model menggunakan input pH, DO, EC dan TB	90
25. Data validasi model menggunakan input Suhu,pH, EC, dan TB	91
26. Data validasi model menggunakan input Suhu, pH, DO, EC dan TB	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mikrokontroler Arduino ATmega 328	19
2. Model Matematis JST	22
3. Prosedur Penelitian.....	30
4. (a) Pengambilan sampel limbah (b) Hasil dari pengambilan limbah.....	31
5. (a) dan (b) Perubahan warna pada saat standarisasi FAS dari hijau menjadi merah kecoklatan	33
6. Pencampuran sampel limbah cair dengan aquades	34
7. (a)Sampel larutan sebelum <i>refluks</i> (b)Sampel larutan limbah sesudah di <i>refluks</i>	35
8. <i>Refluks</i>	36
9. (a) Proses Titrasi (b) Hasil dari Titrasi.....	37
10. Elemen JST	41
11. Pengembangan model Jaringan Saraf Tiruan (JST).....	42
12. Model arsitektur jaringan saraf tiruan	45
13. Kalibrasi Sensor Suhu	49
14. Sensor Suhu.....	50
15. Kalibrasi Sensor pH	51
16. Sensor pH.....	51
17. Kalibrasi Sensor EC	53
18. Sensor EC.....	53

19. Kalibrasi Sensor <i>Turbidity</i>	54
20. Sensor <i>Turbidity</i>	55
21. Kalibrasi Sensor DO	56
22. Validasi Sensor Suhu	58
23. Validasi Sensor pH.....	59
24. Validasi Sensor EC	60
25. Validasi Sensor <i>Turbidity</i>	62
26. Validasi Sensor DO.....	63
27. Tampilan layar pada software MATLAB	67
28. Hasil JST plot perform	68
29. Hasil Jaringan Saraf Tiruan plot regression	68
30. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH).....	70
31. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH dan DO).....	71
32. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH, EC, dan TB)	72
33. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH, EC, DO, dan TB)	73
34. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu pH, EC, dan TB)	74
35. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, DO, dan TB).....	75
36. Grafik Pengujian Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, DO, dan TB).....	76
37. Tampilan folder bobot dan bias yang tersimpan dalam bentuk .txt	77
38. Proses <i>input</i> model matematika ke dalam mikrokontroler.....	82
39. Validasi Input pH	86
40. Validasi Input pH dan DO.....	88
41. Validasi Input pH, EC dan TB	89

42. Validasi pH, EC, DO dan TB.....	91
43. Validasi Input Suhu, pH, EC, dan TB	92
44. Validasi Input Suhu, pH, EC, DO dan TB	94

DAFTAR SINGKATAN DAN SENYAWA KIMIA

mL	: Mililiter
N	: Normalitas
M	: Moralitas
Mg/L O ₂	: Miligram Perliter Oksigen
pH	: <i>Potential Hydrogen</i>
DO	: <i>Dissolved Oxygen</i>
EC	: <i>Electrical Conductivity</i>
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
BOD	: <i>Biological Oxygen Demand</i>
JST	: Jaringan Saraf Tiruan
FAS	: Ferro amonium Sulfat
POME	: <i>Palm Oil Mill Effluent</i>
CPO	: <i>Crude Palm Oil</i>
LCPKS	: Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit
TBS	: Tandan Buah Segar
PKS	: Perusahaan Kelapa Sawit
PMLHK	: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan
RTC	: <i>Real-Time Clock</i>
LCD	: <i>Liquid Crystal Display</i>
RMSE	: <i>Root Mean Squared Error</i>
RRMSE	: <i>Relative Root Mean Squared Error</i>
MATLAB	: <i>Matrix Laboratory</i>
DAMP	: Daya dan Alat Mesin Pertanian
PTPN	: PT. Perkebunan Nusantara
Ag ₂ SO ₄	: Perak Sulfat
H ₂ SO ₄ ,	: Asam Sulfat

$K_2Cr_2O_7$: Kalium Dikromat

$(NH_4)_2Fe(SO_4)(H_2O)_6$: Ferro Ammonium Sulfate

$HgSO_4$: Merkuri Sulfat

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis jacq*) adalah salah satu jenis tanaman perkebunan yang berperan penting bagi perekonomian Indonesia. Dengan seiring meningkatnya jumlah penduduk dan peningkatan pendapatan perkapita penduduk dunia, maka permintaan produksi terus meningkat khususnya minyak kelapa sawit dan industri non pangan seperti farmasi, bahan bakar, kosmetik, dan lain-lain. Kemudian tahun 2010 dan 2011 volume produksi *Crude Palm Oil* (CPO) Indonesia mencapai 22,5 juta ton dan 22,8 juta ton, dalam hal ini Indonesia memasok 47% kebutuhan CPO dunia (Rosita dkk, 2014). Kondisi ini menunjukkan bahwa masa depan industri kelapa sawit Indonesia terus berkembang untuk mencukupi kebutuhan CPO dunia.

Proses produksi kelapa sawit menghasilkan dua macam limbah yaitu limbah padat dan limbah cair yang merupakan sisa – sisa hasil dari proses budidaya tanaman kelapa sawit. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit berkisar 600 - 700 liter/ton tandan buah segar (TBS) (Dewi & Yunus, 2019). CPO merupakan minyak nabati yang dihasilkan dari tanaman buah kelapa sawit sedangkan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) atau limbah cair kelapa sawit merupakan salah satu jenis limbah organik agroindustri berupa air, minyak dan padatan organik. Berasal dari hasil proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit. Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit CPO akan menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar.

Polutan organik yang cukup tinggi tersebut apabila terbuang ke badan air dapat mengakibatkan terganggunya kualitas air dan menurunkan daya dukung

lingkungan perairan disekitar pabrik dan sekelilingnya. Penurunan daya dukung lingkungan tersebut menyebabkan kematian organisme air, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman air lainnya. Bau busuk dari limbah dapat menjadi media yang sangat baik untuk pertumbuhan dan perkembangan bakteri, baik bakteri patogen (bakteri yang dapat menyebabkan penyakit) maupun non patogen (bakteri yang tidak menimbulkan penyakit). (Dedy, dkk, 2010).

Semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya. Limbah cair pabrik kelapa sawit berwarna coklat, terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Banyaknya kebutuhan oksigen dalam proses oksidasi dalam proses oksidasi secara kimiawi inilah yang disebut COD. Kandungan yang tinggi nilai COD dapat menyebabkan jumlah oksigen terlarut berkurang pada sungai karena adanya proses oksidasi zat-zat organik yang terlarut dalam limbah cair kelapa sawit. COD juga dapat menjadi ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik teroksidasi dengan proses mikrobiologi. Berkurangnya oksigen terlarut dalam air dapat mempengaruhi kelangsungan hidup organisme akuatik, sehingga pengujian COD perlu dilakukan dengan metode *refluks* tertutup.

Analisis metode *refluks* tertutup memerlukan waktu yang cukup lama. Terdapat beberapa tahap dalam analisis ini diantara peralatan yang digunakan seperti *refluks*, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi. Peralatan *refluks* diperlukan untuk menghindari berkurangnya air sampel karena pemanasan. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel dengan volume diketahui. Ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama 2 jam. Selanjutnya, dititrasi dengan cara titrasi sampai berubah warna. Pengukuran kadar COD yang dilakukan secara rutin perlu dilakukan mengingat produksi kelapa sawit terus menerus dan akan menghasilkan limbah cair kelapa sawit baru yang memiliki kandungan zat organik tinggi dan berbahaya, maka dari itu pengukuran kadar COD perlu dilakukan.

Pada saat ini perkembangan teknologi metode sensor dan elektronika menjadi peluang yang sangat tepat untuk dikembangkan dan dapat menyelesaikan permasalahan yang ada. Air limbah sendiri akan menghasilkan karakteristik yang bisa dikonversi menjadi parameter seperti konduktivitas listrik sehingga dapat diukur dengan cepat. Pengukuran kualitas air limbah secara cepat dibutuhkan saat ini dengan tujuan agar POME memenuhi baku mutu air limbah. Multisensor (suhu, pH, EC, DO, dan *turbidity*) diharapkan mampu menghasilkan baik itu luaran listrik maupun luaran fisik dengan akurat dan cepat sehingga pemantauan dari limbah cair kelapa sawit lebih efisien dan praktis.

Penelitian ini diharapkan dapat mendeteksi secara cepat parameter kualitas air limbah seperti suhu, pH, EC, DO, dan *turbidity*, serta mengetahui kadar COD yang terdapat pada unit PTPN 7 Lampung Tengah, Lampung.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengetahui kadar COD air limbah kelapa sawit ?
2. Bagaimana efisiensi kerja dari multisensor dalam memprediksi suhu, *turbidity*, pH, EC, dan DO ?
3. Bagaimana cara membangun dan menguji model jaringan saraf tiruan?
4. Bagaimana cara mendapatkan nilai uji kinerja terbaik dari multisensor berupa analisis determinasi, RMSE, dan RRMSE?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memprediksi kadar COD pada limbah cair kelapa sawit secara cepat.
2. Membangun dan menguji model Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi COD.
3. Mendapatkan nilai uji kinerja berupa analisis determinasi, RMSE, dan RRMSE.

4. Mendapatkan hasil validasi terbaik dari beberapa input.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu memberikan hasil penelitian untuk membantu pihak pabrik kelapa sawit dalam memanfaatkan air limbah untuk mengukur kualitas air limbah kelapa sawit tersebut.
2. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai pengujian kadar oksigen kimiawi atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah dengan metode *refluks* tertutup.
3. Bagi masyarakat akademik dapat digunakan sebagai bahan referensi, dan pengembangan ilmu pengetahuan bagi penelitian selanjutnya.

1.5 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah Jaringan Saraf Tiruan mampu memprediksi nilai COD berdasarkan parameter EC, suhu, pH, *turbidity*, dan DO.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Sampel limbah cair kelapa sawit dibawa ke dalam laboratorium.
2. Bahan yang digunakan berupa limbah cair kelapa sawit yang terdapat di PTPN 7 bekri lampung tengah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Sawit

Kelapa Sawit merupakan salah satu tanaman budidaya penghasil minyak nabati berupa *Crude Palm Oil* (CPO), tanaman kelapa sawit banyak ditanam dalam perkebunan di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Selain menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO), dalam proses pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah yang banyak. Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 23% atau 230 kg. Limbah cangkang (*Shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012).

2.2 Limbah

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi, baik industri maupun domestik (rumah tangga). Limbah lebih dikenal sebagai sampah, yang keberadaannya sering tidak dikehendaki dan mengganggu lingkungan karena sampah dipandang tidak memiliki nilai ekonomis. (Arief,2016).

2.2.1 Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah kelapa sawit merupakan sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau hasil dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah hasil pengolahan kelapa sawit dibedakan menjadi limbah cair yang biasa dikenal dengan istilah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) serta limbah padat berupa sabut, cangkang, janjangan kosong (JJK) dan solid basah (Pahan, 2007).

Secara umum limbah dari kelapa sawit dibagi menjadi dua kategori, yaitu limbah padat dan limbah cair terdiri dari tandan kosong, pelepah, cangkang dan lain-lain. Sedangkan limbah cair kelapa sawit (LCKS) dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi (CPO) *Crude Palm Oil*.

2.2.2 Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Limbah cair industri adalah sisa buangan yang dihasilkan dari sebuah proses produksi pada suatu industri dalam bentuk cair. Jumlah dari limbah cair industri skalanya lebih besar dari pada limbah skala domestik atau rumah tangga serta memiliki dampak pada lingkungan yang lebih besar dari pada limbah domestik.

Limbah cair dari pengolahan tandan buah segar kelapa sawit yaitu suspensi koloid yang mengandung 95% - 96% air, 4% - 5%. Minyak dan lemak, limbah cair kelapa sawit dikeluarkan dari pabrik pengolahan kelapa sawit berupa cairan coklat dengan suhu debit antara 80°C - 90°C dan cukup asam dengan pH 4- 5. Limbah cair mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) berkisar antara 15.103 mg/l- 65.100 mg/l yang akan menjadi bahan pencemar apa bila langsung dibuang ke perairan bebas (Departemen Pertanian, 2006).

Kandungan Limbah cair kelapa sawit terdiri dari bahan organik *biodegradable* dengan konsentrasi yang tinggi seperti lemak, protein dan selulosa yang akan mempengaruhi kandungan oksigen terlarut dan padatan tersuspensi (Baharudin et al., 2009). Limbah cair yang dihasilkan pabrik pengolahan kelapa sawit ialah air kondensat, air cucian pabrik, air hidrocyclone atau claybath. Air buangan dari separator yang terdiri atas *sludge* dan kotoran dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Jumlah air pengencer yang digunakan pada *vibrating screen* atau pada *screw press*.
- b. Sistem dan instalasi yang digunakan dalam stasiun klarifikasi yaitu klarifikasi yang menggunakan *decanter* menghasilkan air limbah yang kecil.

- c. Efisiensi pemisahan minyak dari air limbah yang rendah akan dapat mempengaruhi karakteristik limbah cair yang dihasilkan (Hasanah, 2011).

2.2.3 Palm Oil Mill Effluent (POME)

Limbah cair pabrik kelapa sawit, juga dikenal sebagai limbah cair pabrik kelapa sawit (POME), yang merupakan produk tambahan dari pengolahan tandan buah segar. Dalam industri kelapa sawit, cairan keluaran biasanya berasal dari proses sterilisasi dan klarifikasi, yang sebagian besar berasal dari uap dan air panas yang digunakan.

Produksi minyak sawit membutuhkan banyak air. Hal ini mengakibatkan banyaknya limbah cair yang dihasilkan. Kuantitas Limbah cair dari pabrik kelapa sawit berkisar antara 600- 700 l/t Tandan Buah Segar (TBS). Perkiraan volume limbah cair saat ini dari hasil produksi pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) di Indonesia mencapai 28,7 juta ton.

Satu ton minyak kelapa sawit menghasilkan 2,5 ton limbah cair, yaitu berupa limbah organik berasal dari input air pada proses separasi, klarifikasi dan sterilisasi. Limbah cair kelapa sawit mengandung padatan terlarut yang tersuspensi dalam bentuk koloid dan residu minyak sehingga memiliki nilai tertentu. Kebutuhan oksigen biologis (BOD) dan kebutuhan oksigen kimia (COD) cenderung tinggi.

2.2.4 Spesifikasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Pabrik kelapa sawit (PKS) memiliki spesifikasi limbah cair yang berbeda pada setiap tahapan proses produksinya, tetapi karakter yang ditinjau pada saat pengelolaan limbah, adalah karakteristik limbah secara keseluruhan. Limbah cair PKS umumnya mengandung padatan terlarut bersuhu tinggi, berwarna coklat dan tersuspensi berupa koloid dan residu residu minyak dengan kandungan *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi.

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Parameter Mutu	Rebusan	Ekstraksi	Klarifikasi	Hidroksiklon & Boiler	Keseluruhan
pH	4,0 – 4,9	3,9 – 4,8	4,5	4,7 – 6,2	3,8 – 4,5
Suhu (°C)	30 – 88	36 – 77	30	30 – 70	30 – 75
Minyak + Gemuk (103mg/L)	1,1 – 6,1	6,8 – 8,5	7,0 – 8,5	0,8 – 1,6	0,2 – 8,6
TS (103mg/L)	6,0 – 38,5	31,0 – 47,5	45,8 – 60,0	1,1 – 2,6	11,5 – 67,9
TSS (103 mg/L)	1,3 – 14,3	18,4 – 31,0	24,1 – 35,0	0,3 – 2,0	4,1 – 60,4
BOD (103 mg/L)	5,5 – 27,0	16,8 – 30,0	20,0	0,6 – 3,6	10,3 – 47,5
COD (103 mg/L)	10,3 – 52,5	45,0 – 64,0	47,9 – 60,0	20 – 23	15,6 – 53,6
Total P (mg/L)	42 – 320	230 – 330	1000	20 – 26	0 – 110
Total N (mg/L)	60 – 590	450 – 720	Nd		180 – 1820

(Sumber: Tobing, dan Poeloengan, 2000; Herawan Tjahjono, 2009)

Bahan pencemar yang terdapat dalam limbah cair tersebut belum memenuhi baku mutu limbah cair, oleh sebab itu perlu adanya pengolahan limbah cair, agar memenuhi baku mutu. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Di bawah ini yang menjadi acuan baku mutu limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu :

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Cair Pabrik

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
<i>potential Hydrogen</i> (pH)	-	6 – 9
<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	mg/L	300
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	mg/L	200
Amoniak sebagai Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	2
Total Kjedal Nitrogen (TKN)	mg/L	30
Krom (Cr) Total	mg/L	0,6
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Sulfida	mg/L	0,8
<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	mg/L	60
Volume air limbah	m ³ per ton bahan baku	40

Sumber : PMLHK No 21 Tahun 2018

2.2.5 Proses Terjadinya Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair pabrik kelapa sawit dihasilkan dari tiga tahapan proses, yaitu:

1. Proses sterilisasi (pengukusan), untuk mempermudah perontokan buah dari tandannya, mengurangi kadar air dan untuk menginaktivasi enzim *lipase* dan *oksidase*.
2. Proses ekstraksi minyak untuk memisahkan minyak daging buah dari bagian lainnya.
3. Proses pemurnian (klarifikasi) untuk membersihkan minyak dari kotoran lain. (Departemen Pertanian, 1998).

2.3 Parameter Limbah

Ada beberapa parameter yang merupakan indikator - indikator terjadinya pencemaran yang terdapat pada suatu daerah atau kawasan untuk mengetahui tingkat pencemarannya, yaitu antara lain sebagai berikut :

1. Parameter Kimia, meliputi : CO₂, pH, *alkalinitas fosfor*, logam-logam berat, *Chemistry Oxygen Demand (COD)*, serta minyak dan lemak.
2. Parameter Biokimia, meliputi : *Biochemistry Oxygen Demand (BOD)*
3. Parameter Fisik, meliputi : temperatur, warna, rasa, bau, kekeruhan, TSS, TDS, serta radiaktivitas.
4. Parameter Biologi, meliputi : ada atau tidaknya mikroorganisme, misalnya bakteri, virus, *benthos* dan plankton. (Sunarsih, L.E.,2018).

2.3.1 Parameter Pencemar Limbah

Parameter Pencemar Limbah Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur atau di uji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu.

Berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Pasal 1 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 115 Tahun 2003).

Limbah cair perlu memiliki batasan hasil pengolahan limbah atau yang disebut dengan baku mutu. Pada baku mutu terdapat parameter-parameter untuk

mengukur kualitas air limbah. Parameter tersebut di kelompokkan menjadi tiga, yaitu parameter organik, karakteristik fisik, dan kontaminan spesifik. Parameter organik terdiri dari *total organic carbon* (TOC), *chemical oxygen demand* (COD), *biochemical oxygen demand* (BOD) dan minyak. Karakteristik fisik dalam air limbah dapat dilihat dari parameter *total suspended solids* (TSS), pH (derajat keasaman), temperatur (*celcius*), kekeruhan (*turbidity*), bau dan *potensial reduksi*.

2.4 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan banyaknya kebutuhan oksigen dalam proses oksidasi secara kimiawi. Nilai COD akan lebih besar dibandingkan dengan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) hal ini dikarenakan sebagian besar senyawa akan mudah teroksidasi secara kimiawi dibandingkan secara biologis (Siregar, 2005). Pengujian COD lebih cepat dari pada pengujian BOD, pengujian COD memerlukan waktu 2 jam sedangkan pengujian BOD memerlukan waktu selama 5 hari.

COD salah satu parameter kunci sebagai pendeteksi tingkat pencemaran air. Semakin tinggi COD, maka semakin buruk kualitas air yang ada (Andara, Haeruddin, & Suryanto, 2014). Pada reaksi oksigen sekitar 85% zat organik yang ada didalam air teroksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri.

Hasil dari pengukuran COD tidak dapat membedakan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil. Angka COD juga merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara ilmiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Estikarini, Hadiwidodo, & Luvita, 2016). Semakin tinggi COD, maka semakin rendah kandungan oksigen terlarut dalam air.

2.5 Analisis COD dalam Pengolahan Limbah

Chemical Oxygen Demand (COD) menjadi salah satu parameter penting dalam pengolahan air limbah dan menggambarkan jumlah oksigen yang diperlukan agar limbah organik yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Nilai COD nantinya merupakan ukuran untuk tingkat pencemar oleh bahan organik. Prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama 2 jam. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat dititrasi dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan.

Adapun tujuan dari analisis COD dalam pengolahan limbah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah
2. Untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah.
3. Untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah. (Santoso, 2018).

2.6 Dampak COD

1. Terhadap lingkungan
Konsentrasi COD yang tinggi dapat menimbulkan dan menyebabkan kandungan oksigen terlarut didalam badan air menjadi rendah, bahkan habis. Faktor ini dapat mengakibatkan oksigen sebagai sumber kehidupan bagi makhluk yang berada didalam air seperti hewan dan tumbuhan air yang tidak dapat terpenuhi. (Monahan,1993).
2. Terhadap kesehatan manusia
Tingginya konsentrasi COD dalam badan air menunjukkan bahwa adanya bahan pencemar organik dalam jumlah tinggi, adanya mikroorganisme baik secara patogen dan tidak yang dapat menimbulkan berbagai macam penyakit untuk manusia. (Monahan,1993).

3. Apabila kadar oksigen terlarut berkurang mengakibatkan hewan-hewan yang menempati perairan tersebut akan mati. Dan jika kadar BOD dan COD meningkat menyebabkan perairan menjadi tercemar (Hilda Zulkifli, 2009).

2.7 Metode Pengukuran COD

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, Peralatan yang digunakan seperti : *refluks*, penggunaan asam pekat, dan titrasi. Peralatan *refluks* diperlukan untuk menghindari berkurangnya air sampel karena pemanasan. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel dengan volume diketahui. Ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama 2 jam. Selanjutnya, kelebihan kalium dikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium dikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (De Santo, 1978).

Metode pengukuran COD juga dapat didasarkan pada ketentuan bahwa semua bahan organik yang terkandung dapat dioksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dengan bantuan oksidator yang kuat dalam keasaman. Maka dapat dikatakan semakin tinggi jumlah COD yang dihasilkan semakin tinggi kadar oksigen terlarut untuk dioksidasi dan oksigen yang tersedia untuk biota diperairan semakin rendah. Dengan baku mutu untuk parameter COD PMLHK No 21 Tahun 2018 yaitu COD 200 mg/l.

2.8 Kekurangan Analisis COD

Kekurangan dari analisis COD adalah tidak dapat membedakan antara zat yang sebenarnya yang tidak teroksidasi dan zat-zat yang teroksidasi secara biologis. Hal ini disebabkan karena analisis COD merupakan suatu analisa yang menggunakan suatu oksidasi kimia yang menirukan oksidasi biologis, sehingga suatu pendekatan saja.

2.8.1 Perbedaan COD dan BOD

BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai bahan organik didalam air. Sedangkan COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan jumlah kebutuhan senyawa kimia terhadap oksigen untuk mengurai bahan organik. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD.

Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO1) (*Dissolved Oxygen / Oxygen Demand*) adalah kandungan oksigen yang terlarut didalam air sebagai parameter untuk mengukur kualitas air. Untuk mengukur DO dengan cara sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) dengan DO5. Selisih DO1 dan DO5 (DO1 - DO5) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Jadi pada prinsipnya dalam kondisi gelap, agar tidak terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen, dan dalam suhu yang tetap selama lima hari, diharapkan hanya terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme. Sehingga yang terjadi hanyalah penggunaan oksigen, dan oksigen tersisa ditera sebagai DO5. Yang penting diperhatikan dalam hal ini adalah mengupayakan agar masih ada oksigen tersisa pada pengamatan hari kelima sehingga DO5 tidak nol. Bila DO5 nol maka nilai BOD tidak dapat ditentukan.

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, karena menggunakan peralatan khusus *refluks*, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi. Peralatan *refluks* diperlukan untuk menghindari berkurangnya air sampel karena pemanasan. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) sebagai oksidator pada sampel. Diketahui volume yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama 2 jam. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Bilamana nilai BOD baru

dapat diketahui setelah waktu inkubasi lima hari, maka nilai COD dapat segera diketahui setelah dua atau tiga jam. Walaupun jumlah total bahan organik dapat diketahui melalui COD dengan waktu penentuan yang lebih cepat, nilai BOD masih tetap diperlukan. Dengan mengetahui nilai BOD, akan diketahui proporsi jumlah bahan organik yang mudah urai dan ini akan memberikan gambaran jumlah oksigen yang akan terpakai untuk dekomposisi di perairan dalam lima hari mendatang. Lalu dengan membandingkan nilai BOD terhadap COD juga akan diketahui seberapa besar jumlah bahan-bahan organik yang lebih persisten yang ada di perairan.

2.9 Sensor Potential Hydrogen (pH)

Sensor pH adalah sebuah alat elektronik yang berfungsi untuk mengukur pH (derajat keasaman atau basa) suatu cairan. Sensor jenis ini mampu mengukur jumlah alkalinitas dan keasaman dalam air dan larutan lainnya. Sensor pH biasa dipakai untuk memastikan keamanan, kualitas produk dan proses yang terjadi di dalam air limbah atau pabrik (Hafidz, 2015). Prinsip kerja sensor pH yaitu pada elektrode kaca yang memiliki ujung berbentuk bulat (*bulb*) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran ion positif (H^+), pertukaran ion menyebabkan adanya beda tegangan antara dua elektrode sehingga pembacaan potensiometer akan menghasilkan positif atau negatif (Wicaksono et al., 2017).

Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas. Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif. Elektroda gelas tersebut akan mengukur potensial elektrokimia dari ion hidrogen atau diistilahkan dengan *potential of hydrogen* (Astria, 2014).

Derajat keasaman atau pH adalah ukuran jumlah relatif ion hidrogen dan hidroksida dalam larutan air. Di dalam molekul air, sejumlah kecil akan terdisosiasi membentuk hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-). Perkalian

konsentrasi molar ion H⁺ dan OH⁻ adalah konstan atau dikenal dengan konstanta disosiasi air, K_w, yang nilainya 1,00 x 10⁻¹⁴ pada 25°C namun nilai ini dipengaruhi oleh suhu. Sebenarnya nilai pH adalah lebih tepat sebagai ukuran aktivitas ion daripada sebagai nilai logaritma ion H⁺. Nilai pH umumnya ditentukan dengan mengukur tegangan elektrokimia. Tegangan antara elektroda berbanding lurus dengan pH larutan, dan konstanta proporsionalitas dipengaruhi oleh suhu (Emerson, 2010). Perubahan pH pada air sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, maupun biologi dari organisme yang hidup didalamnya. Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap daya racun bahan pencemaran dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan bentuk zat didalamnya (Gazali dkk., 2013).

2.10 Sensor Suhu

Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu. Ada beberapa jenis sensor suhu elektrik, seperti thermistor, thermocouple, thermometer resistansi, dan sensor temperatur dalam bentuk IC. Untuk percobaan ini, sensor temperatur yang digunakan adalah DS18B20 yang merupakan sensor suhu digital yang relatif akurat. Sensor ini menggunakan protokol *1-wire bus* MAXIM, sehingga hanya membutuhkan satu kabel untuk menerima dan mengirim data. Jika menggunakan lebih dari satu sensor jenis ini, kabel data masing-masing sensor dapat dihubungkan menjadi satu (*1-Wire line*). Keluaran dari sensor ini berupa bit. Sensor ini juga tahan air sehingga bisa kontak langsung dengan substrat dan air.

Dalam setiap penelitian pada ekosistem air, pengukuran suhu (temperatur) air merupakan hal yang mutlak dilakukan. Hal ini disebabkan karena kelarutan berbagai jenis gas di dalam air serta semua aktifitas biologis-fisiologis di dalam ekosistem air sangat dipengaruhi oleh temperatur. Aktivitas mikroorganisme memerlukan suhu optimum yang berbeda-beda. Akan tetapi, proses dekomposisi biasanya terjadi pada kondisi udara yang hangat (Effendi, 2003).

Parameter suhu di dalam air dapat menjadi faktor penentu atau pengendali kehidupan flora dan fauna akuatis, yaitu jenis, jumlah dan keberadaan flora dan fauna akuatis sering kali berubah dengan adanya perubahan suhu air, terutama

oleh adanya kenaikan suhu di dalam air (Chay, 2004). Sensor suhu menjadi satu komponen wajib pH meter, karena nilai pH meter sangat dipengaruhi oleh suhu larutan. Pada pH larutan 7 (netral), perubahan suhu tidak berpengaruh terhadap nilai tersebut. Namun jika larutan bersifat asam atau basa, pembentukan ion sangat berpengaruh terhadap nilai tersebut. Karena pembacaan pH distandarisasi pada suhu, maka keberadaan sensor suhu sangat penting untuk mendapatkan pembacaan pH meter yang akurat.

2.11 Sensor *Electrical Conductivity* (EC)

EC adalah indikator tingkat kepekatan konduktivitas listrik dalam air yang terlarut berupa ion bermuatan positif (kation) dan ion bermuatan negatif (anion), keberadaan ion tersebut memungkinkan konduktivitas listrik dalam larutan nutrisi yang terkandung dalam air terlarut dengan mengukur kelancaran pengantaran listrik antara kation dan anion. Dalam air, ion-lah yang menghantarkan listrik, berarti semakin banyak ion yang dikandung dalam air, aliran listrik yang terjadi semakin besar dan konduktivitasnya semakin besar. Semakin pekat larutan nutrisi maka semakin tinggi daya hantar listriknya atau nilai EC nya, begitu pula sebaliknya jika nilai EC rendah maka nilai kepekatan juga rendah EC dinyatakan dalam *micro siemens per centimeter* (uS/cm). Sensor EC terbuat dari elektroda grafit yang memiliki karakteristik kinerja stabil, sensitivitas tinggi, cakupan aplikasi luas. Sensor EC memiliki struktur sederhana, dengan kinerja stabil, mudah dioperasikan, digunakan dalam pemantauan lapangan dinamika air.

2.12 Sensor *Dissolved Oxygen* (DO)

DO meter merupakan alat pengukur jumlah kandungan Oksigen dalam suatu cairan, alat ini salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air. Kemampuan air dalam melarutkan oksigen sangat tergantung pada suhu air, tekanan gas oksigen dan kemurnian air. DO dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, DO juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber

utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari proses aerasi dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000). Sensor *Dissolved oxigent* (do) akan mendeteksi kadar oksigen yang terlarut didalam air dan akan dikirimkan ke arduino sebagai nilai input dan sekaligus menjadisinyal perintah untuk meng on-off kan perangkat outputnya

2.13 Sensor *Turbidity*

Sensor Turbidity merupakan sensor yang berfungsi untuk mengukur kualitas air dengan mendeteksi tingkat kekeruhannya. Sensor ini mendeteksi partikel tersuspensi dalam air dengan cara mengukur transmitansi dan hamburan cahaya yang berbanding lurus dengan kadar COD. Semakin tinggi kadar COD, maka semakin tinggi pula tingkat kekeruhan air tersebut.

2.14 Arduino

Arduino merupakan kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat memberikan input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai 'otak' yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik. Secara umum, arduino terdiri dari dua bagaian, yaitu hardware berupa papan input/output (I/O) yang *open source*. Software Arduino yang juga *open source*, meliputi software Arduino IDE untuk menulis program dan driver untuk koneksi dengan komputer.(Muhamamad syahwil 2013:60).

Arduino Uno R3 adalah prototyping platform sebuah paket berupa papan (board) elektronik (hardware) dan lingkungan pengembangan (software) yang memanfaatkan kemampuan mikrokontroler jenis tertentu. Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Uno adalah jenis Atmel seri ATmega 328 (Wardana, 2015).

Tabel 3. Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5 volt
Tegangan input yang disarankan	7-12 volt
Batas tegangan input	6-20 volt
Jumlah pin I/O digital	14 (6 di antaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3 volt	50 Ma
Memori flash	32 KB (ATmega328), sekitar 0,5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock speed	16 MHz

Sumber: Arduino (2015).

2.15 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah *mikroprosesor* yang dikhususkan untuk instrumentasi dan kendali. *Mikroprosesor* merupakan suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Mikrokontroler merupakan computer di dalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiah disebut “pengendali kecil” (Sumardi 2013:1).

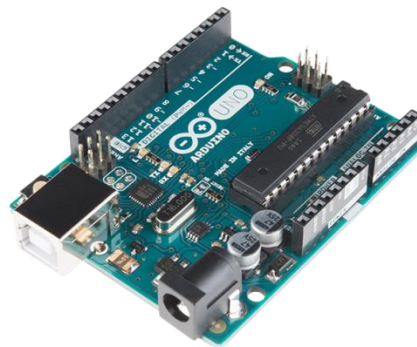
Program dibuat dalam mikrokontroler berfungsi untuk mengolah masukan (input) menjadi keluaran (output) yang diinginkan. Keluaran (output) yang diinginkan, seperti besaran tegangan, sinyal, lampu, suara, gerakan, getaran, dan sebagainya (Saftari, 2015). Terdapat 3 jenis mikrokontroler yaitu MCS51, AVR, dan PIC.

Jenis mikrokontroler yang paling banyak digunakan adalah AVR (Susnea & Mitescu, 2005).

Perangkat Mikrokontroler ini mampu menyimpan suatu program dan mampu memberikan aksi berulang-ulang secara otomatis sesuai dengan program yang dibuat. Memiliki jalur pin masukan/keluaran, memori, dan prosesor. Maka dengan menggunakan Mikrokontroler sangat berguna untuk pengendalian secara otomatis.

2.15.1 Mikrokontroler Atmega 328

ATMega 328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*). Mikrokontroler ATMega 328 memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan parallelism. Instruksi –instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program.



Gambar 1. Mikrokontroler Arduino ATmega 328

Sumber : Heri Andrianto dan Aan Darmawan, Hal 16 : 2016

2.16 Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*)

Jaringan saraf tiruan adalah paradigma pengolahan informasi yang terinspirasi oleh sistem saraf secara biologis, seperti proses informasi pada otak manusia. Cara kerja JST ini sama seperti cara kerja otak manusia, yaitu belajar melalui contoh. Sebuah JST dikonfigurasi untuk aplikasi tertentu, seperti pengenalan pola atau klasifikasi data, melalui proses pembelajaran Sutojo (2011).

Menurut Prahesti (2013), Jaringan saraf tiruan merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah buatan disini digunakan karena jaringan saraf ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran. Menurut Zulfian Azmi (2011), Jaringan Saraf Tiruan sebagai generalisasi model matematika dari jaringan saraf biologi, dengan maksud bahwa:

1. Pemrosesan informasi terjadi banyak elemen sederhana (*neuron*).
2. Sinyal dikirimkan diantara *neuron-neuron* melalui penghubung-penghubung.
3. Penghubung antara *neuron* memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
4. Untuk menentukan input, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi (biasanya bukan fungsi *linier*) yang dikenakan pada jumlahan input yang diterima. Besarnya output ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Berdasarkan model matematis tersebut, baik tidaknya suatu model JST ditentukan oleh hal-hal berikut :

1. Arsitektur jaringan, yaitu sebuah arsitektur yang menentukan pola antar *neuron*.
2. Metode pembelajaran (*learning method*), yaitu metode yang digunakan untuk menentukan dan mengubah bobot.

Elemen dasar dari JST terdiri dari 3 bagian utama : bobot *weight*, *threshold*, dan fungsi aktivasi

1. input : $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ adalah sinyal yg masuk ke sel saraf.
2. Bobot (*weight*) : $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ adalah faktor bobot yang berhubungan dengan masing-masing node. Setiap input akan dikalikan dengan bobot dari node-nya masing-masing, $x^T \cdot w$. Tergantung dari fungsi aktivasi yang dipakai, nilai $x^T \cdot w$ dapat membangkitkan (*excite*) *node* atau menghalangi (*inhibit*) *node*.
3. *Threshold* : nilai ambang internal dari node θ adalah besarnya offset yang mempengaruhi aktivasi dari output node.

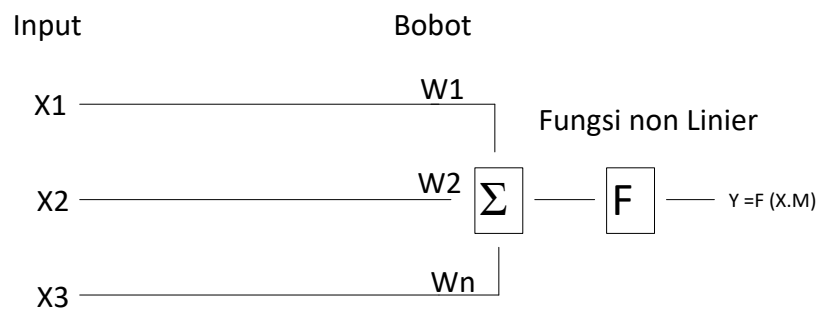
$$Y = \sum_{i=1}^n X_i W_i \dots \dots \dots (1)$$

2.17 Model Jaringan Saraf Tiruan

Arsitektur paling dasar dari JST adalah JST satu lapisan terdiri dari beberapa unit input dan satu unit output. Biasanya di dalam unit input ditambah suatu variabel yaitu bobot dan bias. Dimana :

1. Pembentukan persamaan matematis dari file bobot-bias yang terekam.
2. Jika dibelakang nilai ada e-01 berarti 10^{-1} atau nilai dikali $0,1^{-1}$
3. Jika dibelakang nilai ada e+00 berarti 100 atau nilainya dikali 1 (tetap)
4. Jika dibelakang nilai ada e+01 berarti 10, atau nilai dikali 10^{-1}
5. Persamaan fungsi aktivasi logsig adalah : $y = 1/(1+EXP(-x))$
6. Persamaan fungsi aktivasi tansing adalah : $y = (1-\exp(-2*x))/(1+\exp(-2*x))$
7. Persamaan fungsi aktivasi purelin adalah : $y = x$

Model matematis dari sebuah sel saraf (neuron) diperlihatkan pada gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Model Matematis JST

Pengertian model jaringan saraf tiruan merupakan model matematis yang mensimulasikan struktur dan fungsi dari jaringan saraf biologis (Krenker dkk., 2011). Model adalah suatu usaha untuk menciptakan suatu replika/tiruan dari suatu fenomena/peristiwa alam. Model matematika mendiskripsikan fenomena atau peristiwa alam dengan satu set persamaan. Pemodelan matematika juga proses untuk mempresentasikan dan menjelaskan permasalahan pada dunia nyata ke dalam pernyataan matematis (Widowati dkk, 2007). Pada jaringan saraf tiruan terdapat beberapa lapisan (*layer*) yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*) dengan banyak node sebagai unit pemrosesan informasi.

Metode yang digunakan dalam perancangan jaringan saraf tiruan ini, menggunakan metode *Back Propagation* dikarenakan metode ini sangat baik dalam menangani masalah pengenalan pola-pola yang kompleks dan non-linear. Model *Backpropagation* merupakan salah satu metode JST yang menggunakan pelatihan terawasi dan memiliki sifat komputasi yang baik sehingga metode ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang kompleks (Siregar, 2017). Terdapat 3 lapisan dalam metode *backpropagation* yaitu :

1. Lapisan masukan (*input layer*) merupakan unit *input* yang bertugas menerima pola inputan dari luar yang menggambarkan suatu permasalahan.
2. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*) merupakan unit tersembunyi yang mana *output*-nya tidak dapat diamati secara langsung.

3. Lapisan keluaran (*output layer*) merupakan unit solusi JST terhadap suatu permasalahan (Manurung, 2018).

2.18 Penelitian Pendukung

Penelitian pendukung diperlukan untuk menambah informasi dan ilmu yang berkaitan dengan penelitian. Penelitian yang pernah dilakukan dan berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4 :

Tabel 4. Penelitian Pendukung

No	Nama	Judul	Metode dan Hasil
1	Bayu Andika, Puji Wahyuningsih, dan, Rahmatul Fajri, 2020	Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan Penentuan Nilai BOD dan COD	Metode yang digunakan untuk pengujian BOD yaitu winkler dan untuk pengujian COD yaitu <i>refluks</i> Hasil dari penelitian pengujian sampel BOD dan COD sampel 1 belum memenuhi standar baku mutu air limbah, hasil uji sampel 2 dan sampel 3 telah memenuhi standar baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014.
2	Mohkamad Bayu Aji Ramadhan, Wardana, dan Abdul Kahar, 2020	Pengaruh pH Terhadap COD, BOD dan VFA Pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dalam Bioreaktor Anaerobik.	Metode Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan nilai pH sampai menentukan nilai pH optimum dalam pengolahan POME dalam <i>bioreaktor anaerob</i> . Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa pH memiliki pengaruh yang tidak begitu signifikan terhadap pengurangan kadar COD, BOD, dan VFA dalam limbah cair pabrik kelapa sawit.
3	Evi Kurniatia, Vo T. Huyb, Fajri Anugrohoa, Akhmad A. Suliantoa, Nadia Amaliaa, dan Amira R. Nadhifaa, 2020	Analisis pengaruh pH dan suhu pada desinfeksi air menggunakan <i>microbubble</i> dan karbondioksida bertekana	Metode analisis data melalui metode statistik menggunakan One way ANOVA. Hasil penelitian terdapat perubahan pH dan suhu larutan.

nan			
4	Rama Yuna dan Vivi Mardina, 2019	Pengujian Karakteristik Kimia pada Limbah Cair Kelapa Sawit di Pabrik X	<p>Metode Penelitian Analisis menggunakan uji kandungan BOD, COD, TSS, pH dan N-Total pada uji kandungan limbah cair kelapa sawit.</p> <p>Hasil penelitian membuktikan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit di PMKS PT X sudah memenuhi standar baku mutu yaitu COD . Namun untuk nilai BOD belum memenuhi standard.</p>
5	Kristina Daundi, Markus Heryanto Langsa, dan Alfons Daniel Sirampun, 2021	Pengaruh Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Air Pada Lahan Kelapa Sawit PT. PMP Di Kabupaten Maybrat	<p>Metode yang digunakan yaitu metode pengambilan contoh air permukaan, air tanah dan air limbah.</p> <p>Hasil kualitas LCPKS yang dihasilkan dari kolam pematangan atau kolam kontak sudah memenuhi baku mutu dan aman diaplikasikan ke lahan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan membantu pertumbuhan tanaman kelapa sawit.</p>
6	Bayu Dwi Prasetyo, 2017	Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis pH Limbah Cair Industri Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler	<p>Metode yang di gunakan menggunakan (RSME) <i>Root Mean Square Error</i>.</p> <p>Hasil Penelitian ini terealisasinya alat control otomatis pH berdasarkan variable suhu dan pH.</p>
7	Roma Danil M.Ramdlan Kirom, M.Si dan Ahmad Qurtobi M.T, 2017	Analisis Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Penurunan Kadar <i>Chemical Oxygen Demand</i> Dalam Sistem <i>Temperature Phased Anaerobic Digestion</i> Dengan Substrat Limbah Makanan	<p>Metode Pengujian kadar COD dilakukan dengan mengubah variabel bebas yaitu terhadap suhu dan pH pada tangki hidrolisis.</p> <p>Hasil penelitian Pengaruh pH terhadap pengurangan nilai COD lebih dominan daripada suhu, Penurunan nilai COD paling besar terdapat pada kondisi suhu dikontrol dan pH dikontrol.</p>
8	Wa Atima, 2015	BOD dan COD sebagai parameter Pencemaran	Metode yang digunakan dengan cara

		Air dan Baku Mutu Air Limbah	mengukur kadar oksigen BOD COD.
			Hasil penelitian peranan BOD dan COD bukan sebagai penentu, tetapi setara dengan parameter lainnya yang menjadi parameter kunci sehubungan dengan dugaan pencemaran oleh kegiatan tertentu.
9	Dhimas Abimanyu, Sumarno, Fitri Anggraini, Indra Gunawan, dan Iin Parlina, 2021	Rancang Bangun Alat Pemantau Kadar pH, Suhu dan Warna Pada Air Sungai Berbasis Mikrokontroller Arduino	Metode penelitian menggunakan sensor pH air, Sensor warna TCS230, sensor suhu <i>waterproof</i> DS18B20 Berbasis Arduino Uno.
			Hasil penelitian apat dijadikan Pemerintah Khususnya yang menangani Air Sungai untuk menjadi acuan dalam menentukan tingkat pencemaran air yang hasilnya dapat disosialisasikan kepada masyarakat.
10	Oppy Mandasari, Fadhliani , dan Vivi Mardina,2021	Pengolahan Limbah Cair Domestik Pada PMKS PT Sisirau di Kabupaten Aceh Tamiang	Metode yang digunakan studi pendahuluan observasi, pelaksanaan, pengumpulan data, dan identifikasi.
			Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa limbah cair domestik di PMKS PT Sisirau sudah memenuhi standar baku mutu kualitas limbah cair yang aman di buang ke badan air yaitu nilai pH, BOD, COD, TSS, ammoniak, minyak dan lemak berturut-turut adalah 8,02; 23,9mg/L; 50,99mg/L; 25mg/L; 0,29 mg/L; dan < 2mg/L.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2022 sampai dengan bulan Maret tahun 2023 di Laboratorium Fisika Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan pengambilan sampel limbah cair di PTPN 7 Bekri, Lampung Tengah Provinsi Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. *Refluks*, sebagai alat pemanas larutan limbah cair kelapa sawit.
2. Tabung digesi, digunakan untuk wadah memanaskan campuran limbah cair kelapa sawit.
3. Labu Erlenmeyer, sebagai tempat menaruh campuran limbah kelapa sawit setelah di *refluks* dan didinginkan di suhu ruangan.
4. Buret, sebagai tempat larutan ferro ammonium sulfat untuk dititrasi.
5. Pipet volumetrik, digunakan untuk mengambil cairan dengan volume tertentu dengan ketelitian lebih tinggi.
6. Pipet skala, sebagai media penampung cairan dalam skala kecil.
7. Gelas beaker, digunakan sebagai tempat mencampur cairan limbah cair kelapa sawit dengan bahan-bahan kimia.
8. Neraca analitik, digunakan untuk menimbang bahan atau zat yang akan digunakan sebelum melakukan percobaan yang membutuhkan suatu penimbangan.
9. Bulb pipet, digunakan untuk memindahkan sejumlah volume larutan.

10. Magnetic stirer, digunakan untuk mengaduk dan memanaskan larutan satu dengan larutan lain dengan tujuan larutan tersebut homogen.
11. Statif dan klem, digunakan untuk menjepit buret saat hendak melakukan titrasi.
12. Rak tabung, sebagai wadah meletakkan tabung reaksi saat praktikum mereaksikan bahan kimia.
13. Sensor pH meter, digunakan sebagai pengukuran asam dan basa pada limbah cair kelapa sawit.
14. Sensor suhu, sebagai pengukur suhu pada air limbah kelapa sawit.
15. Sensor EC, digunakan dalam pemantauan lapangan dinamika air.
16. Sensor *Turbidity*, digunakan untuk mengukur kualitas air dengan mendeteksi tingkat kekeruhannya.
17. *Real Time Cloch* (RTC), sebagai perangkat yang menerima dan menyimpan data *realtime* berupa dekripsi waktu, seperti hari, tanggal, bulan, dan tahun. Pada penelitian ini, RTC yang digunakan adalah jenis RTC DS3232. Secara otomatis, RTC mampu menyimpan seluruh data waktu, hari, tanggal, bulan dan tahun, hingga perbedaan bulan yang memiliki 30 hari ataupun 31 hari.
18. Modul SD card, sebagai modul pembaca kartu Micro SD, dan SPI antarmuka melalui driver file sistem, dan dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler untuk mengirim dan menyimpan file pada sistem modul SD card.
19. *Cool box*, sebagai tempat penyimpanan limbah cair kelapa sawit.
20. Multimeter, sebagai pengukur resistensi, tegangan, dan juga arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik.
21. Kabel Jumper, sebagai penghubung dua komponen yang melibatkan Arduino tanpa memerlukan solder.
22. *Breadboard*, sebagai tempat meletakkan kabel jumper.
23. Modul MMC, sebagai penyimpan data dari pengukuran sensor.
24. Botol plastik, sebagai tempat menyimpan limbah cair kelapa sawit.
25. Arduino Uno R3 suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328.
26. Mikrokontroler, sebagai pengolah masukan input output.

27. *Liquid Crystal Display* (LCD) , untuk menampilkan hasil dari sensor.
28. Program arduino, sebagai kendali dalam sistem kontrol sensor yang di desain.
29. Matlab 2016, digunakan sebagai software pemrograman perhitungan dan analisis yang digunakan dalam penerapan matematika.
30. Laptop yang terinstal *software* matlab, sebagai pemograman JST.

3.2.2 Bahan

Bahan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah Aquadest yang digunakan untuk pengenceran limbah cair kelapa sawit dan penambahan larutan kimia, kemudian ada Ag_2SO_4 , H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, Ferro Ammonium Sulfate, Indicator Ferroin, HgSO_4 , sebagai bahan-bahan kimia yang dipakai untuk membuat larutan dan campuran dalam proses dalam analisis *Chemical Oxygen Demand* dan Limbah cair kelapa sawit merupakan bahan utama dalam penelitian ini.

3.3 Prosedur Penelitian

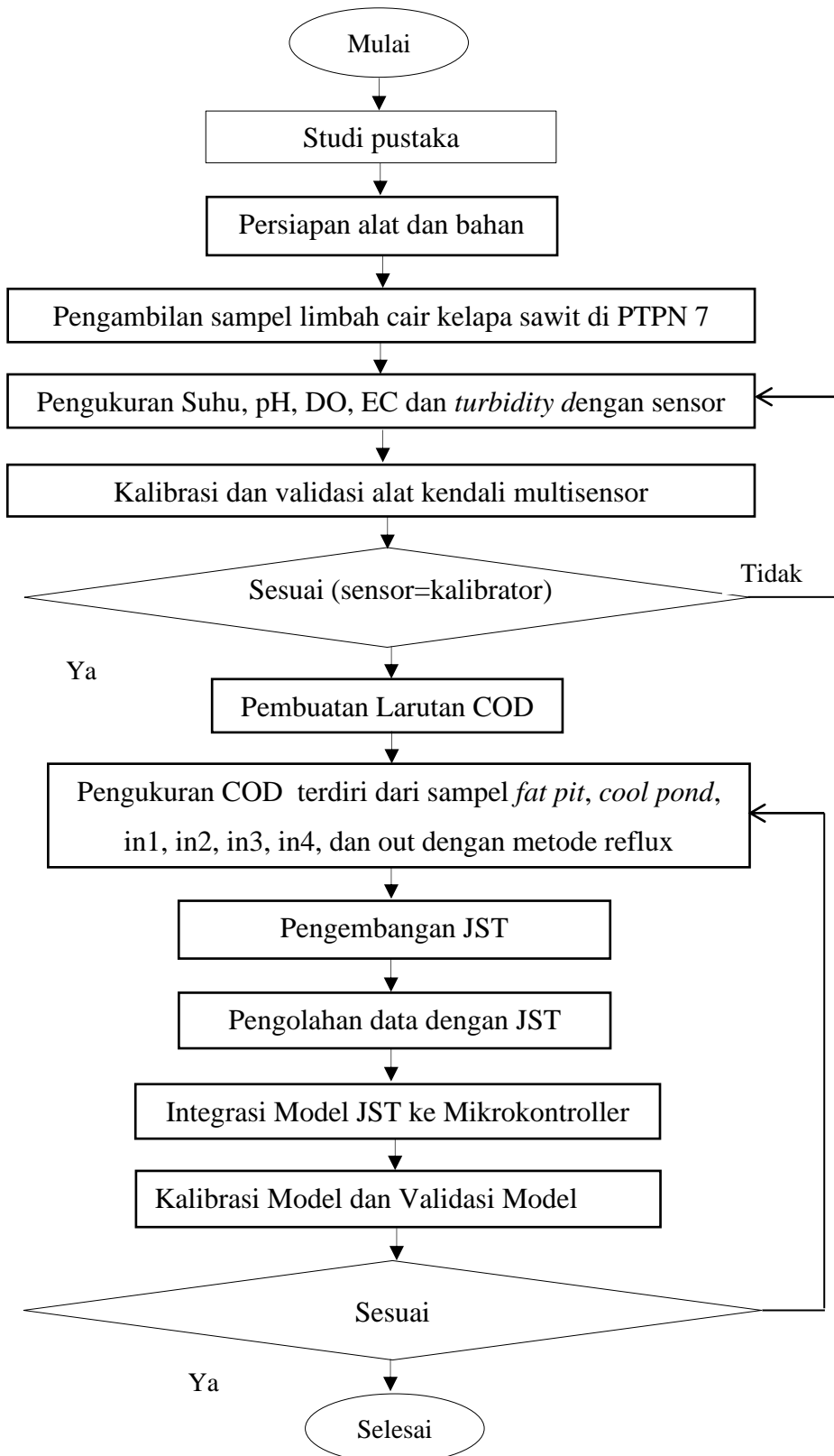
Penelitian ini dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan diantaranya adalah memulai dengan studi pustaka, persiapan alat dan bahan, perangkaian sensor, pengambilan sampel yang di ambil di PTPN 7 bakeri lampung tengah. Analisis COD dengan menggunakan metode *refluks* tertutup yang meliputi pembuatan larutan terdiri dari:

1. Larutan baku kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1 N) (digestion solution).
2. Larutan Pereaksi Asam Sulfat.
3. Larutan Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N.

Standarisasi FAS, pengujian kadar COD menggunakan metode *refluks* tertutup, titrasi, setelah dicatat volume pada buret yang sudah dititrasi langkah terakhir perhitungan COD. Pengukuran pH, suhu, *turbidity*, EC, dan DO, menggunakan alat multisensor kemudian dilakukan kalibrasi dan validasi sensor. Pengolahan data menggunakan jaringan saraf tiruan dengan matlab yang dirancang dengan mengganti nilai node dan fungsi aktivasi. Untuk mendapatkan nilai R^2 terbesar dan nilai RMSE terkecil kemudian didapatkan nilai bobot dan bias. Bobot dan bias ini

digunakan sebagai nilai konstansta yang akan diintegrasikan ke dalam program arduino, untuk melakukan proses kalibrasi kedua dengan menggunakan persamaan linear. Kalibrasi dengan persamaan linear dilakukan untuk menyempurnakan dari hasil faktor koreksi kalibrasi sebelumnya. Proses validasi merupakan tahap terakhir dari penelitian ini yaitu dengan melakukan pengambilan data kembali menggunakan program yang telah dibuat dari hasil kalibrasi dengan metode JST dan metode persamaan *linear*.

Diagram alir pengolahan data dengan JST ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Prosedur Penelitian

3.4 Analisis Data

Pengukuran COD pada penelitian ini menggunakan metode *refluks* tertutup serta membandingkan hasil analisis COD hari pertama dan hari kedua. Adapun langkah metode *refluks* tertutup yaitu pembuatan larutan, standarisasi FAS, pengujian kadar COD, titrasi, dan kemudian yang terakhir perhitungan COD. Kalibrasi menggunakan hasil dari proses pengolahan data dari sinyal analog yaitu sensor suhu, pH, *turbidity*, EC, dan DO yang didapatkan secara periodik. Data pengukuran COD yang sudah didapatkan dihubungkan melalui metode matematis dengan pengukuran dari hasil rancangan sensor.

3.5 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit.

Adapun cara pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit sebagai berikut :

- a) Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mencuci terlebih dahulu botol yang akan digunakan untuk menaruh sampel kemudian diambil dengan menggunakan gayung, dimasukkan ke dalam botol.
- b) Botol diisi dengan air limbah sebanyak 2 liter dan dihindari adanya gelembung yang masuk pada botol dalam proses pengisian limbah cair, kemudian botol ditutup.
- c) Contoh uji siap dianalisis.

Berikut gambar dari pengambilan sampel dan sampel limbah kelapa sawit dari sampel limbah fat pit, cool pond, in1, in2, in3, in4, dan out .



Gambar 4. (a) Pengambilan sampel limbah (b) Hasil dari pengambilan limbah

3.6 Pembuatan Larutan

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini merupakan revisi dari SNI 06-6989.2-2004.

1. Larutan baku kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$ 1 N) (*digestion solution*)
Tambahkan 10,216 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan dengan oven pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam ke dalam 500 mL aquadest. Tambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 g $HgSO_4$. Larutkan dan didinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 1000 mL aquadest. Kemudian dihomogenkan sampai tercampur rata dengan magnetic stirrer selama 2 menit.
2. Larutan Pereaksi Asam Sulfat
Sebanyak 10,24 gram kristal Ag_2SO_4 ke dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat. Kemudian dihomogenkan hingga larut. Proses pelarutan Ag_2SO_4 dalam asam sulfat dibutuhkan waktu pengadukan selama 2 (dua) hari atau selama 48 jam, menggunakan magnetic stirrer untuk mempercepat melarutnya.
3. Larutan Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
Ditimbang 19,6 gram Fero Amonium Sulfat (FAS) $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian dilarutkan dengan 300 mL air bebas organik/aquadest di labu ukur 1000 mL, tambahkan 20 mL H_2SO_4 pekat sambil didinginkan dan tetapkan sampai tanda tera, kemudian dihomogenkan. Larutan yang sudah dibuat siap untuk digunakan.

Larutan ini dapat bertahan selama 2 minggu

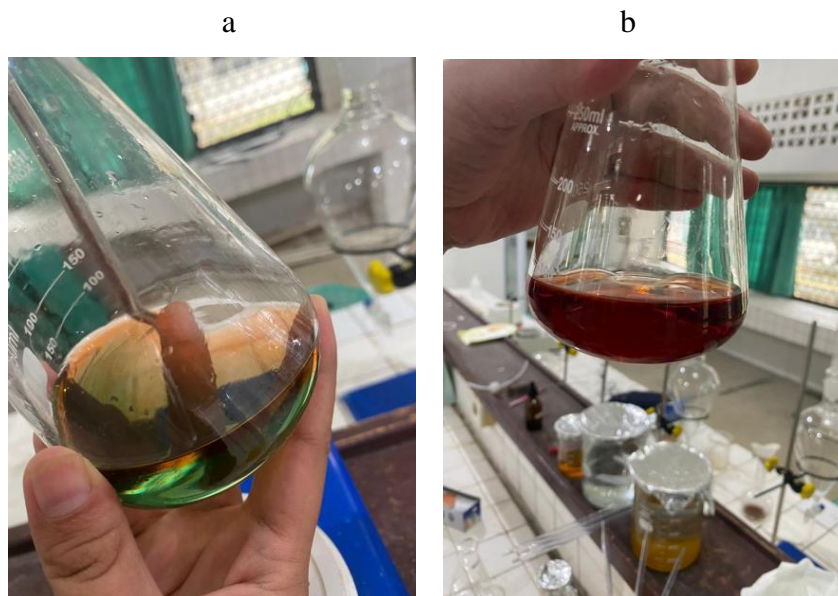
3.7 Standardisasi FAS 0,05 N

Setelah larutan yang sudah dibuat maka langkah selanjutnya yang dilakukan sebagai berikut :

1. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N dipipet sebanyak 10 mL ke dalam Erlenmeyer.
2. Asam sulfat pekat ditambahkan sebanyak 15 mL ke dalam erlenmeyer dan didiamkan terlebih dahulu sampai suhu ruang.

3. Setelah dingin, indikator ferroin yang berwarna merah ditambahkan ke dalam larutan sebanyak 10 tetes.
4. Dihomogenkan sampai larutan berubah warna.
5. Setelah di homogenkan akan terjadi perubahan warna menjadi warna hijau
6. Larutan kemudian dititrasi dengan FAS 0,05 N sampai berwarna kemerahan, kemudian baca perubahan volume titrasi.

Berikut contoh perubahan warna saat standarisasi FAS



Gambar 5. (a) dan (b) Perubahan warna pada saat standarisasi FAS dari hijau menjadi merah kecoklatan

Setelah dilakukannya tirasi, baca volume buret dan kemudian catat untuk dilakukannya perhitungan sebagai contoh berikut ini :

Untuk mendapatkan nilai FAS sebagai berikut ;

Normalitas FAS dihitung dengan rumus :

$$N \text{ FAS} = \frac{\text{Volume kalium dikromat yang digunakan (mL)}}{\text{volume rata-rata FAS yang diperoleh (mL)}} \times N \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$$

$$N \text{ FAS} = \frac{10 \text{ mL}}{19,6 \text{ mL}} \times 0,1 \text{ N}$$

$$N \text{ FAS} = 0,0510 \text{ N}$$

Diperoleh kadar Ferro Ammonium Sulfat (FAS) sebesar 0,0510 N.

3.8 Pengenceran Sampel Limbah Cair Kelapa Sawit

Dilakukannya pengenceran limbah cair kelapa sawit ini dikarenakan dari semua sampel limbah cair kelapa sawit sangat pekat maka dilakukannya pengenceran terlebih dahulu untuk dilakukannya tahap selanjutnya.

Berikut cara dalam pengenceran limbah cair kelapa sawit :

1. Diambil limbah cair kelapa sawit sebanyak 1,5 ml dengan menggunakan pipet ukur.
2. Ditambahkan aquadest sampai tanda tera kedalam tabung ukur 100 ml yang artinya sampai tanda 100 ml pada tabung ukur.
3. Dihomogenkan sampai tercampur rata.



Gambar 6. Pencampuran sampel limbah cair dengan aquades

3.9 Pengujian Kadar COD Menggunakan Metode *Refluks* Tertutup

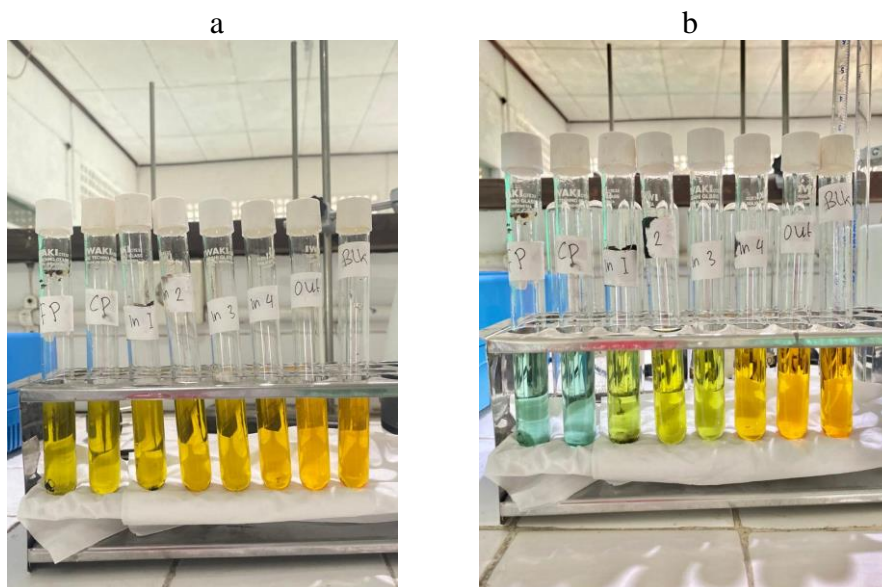
Setelah pengenceran dan standrasi FAS selesai langkah selanjutnya yaitu pengujian kadar COD menggunakan metode COD *refluks* tertutup dengan cara sebagai berikut :

1. Dipipet aquadest 2,5 ml dengan pipet 10 ml masukkan kedalam tabung digesi dan dilabel.

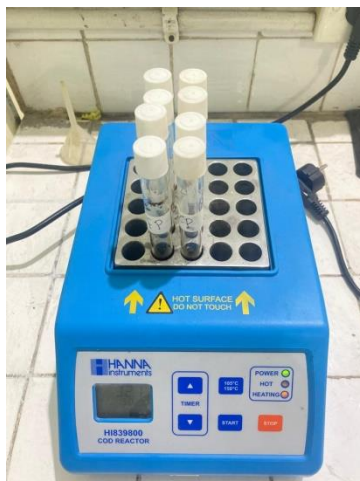
2. Di pipet 2,5 ml sampel limbah cair kelapa sawit dengan pipet 10 ml yang telah di encerkan sebelumnya masukkan kedalam tabung digesi dan dilabel.
3. Ditambahkan 1,5 ml digestion solution larutan dan 3,5 ml larutan pereaksi asam sulfat yang sudah dibuat di awal kedalam tabung digesi.
4. Di tutup tabung kemudian homogenkan. Dengan cara digoyangkan tabung digesi secara perlahan.
5. Di lakukan pemanasan menggunakan *refluks* dengan suhu 150°C selama 2 jam.
6. Dinginkan sampel uji yang sudah di *refluks* sampai suhu ruang.

Proses analisis sampel dilakukan dengan metode *refluks* tertutup, dengan tujuan agar reagen atau zat kimia yang mudah menguap tidak keluar dari peralatan ketika dipanaskan sehingga hasil analisa menjadi lebih akurat. Apabila menggunakan *refluks* terbuka sampel analisis dengan menggunakan peralatan yang terbuka dapat berkontak dengan udara.

Berikut gambar dari sampel fat pit, cooling pond, In1, in 2, in 3, in 4, out dan blanko yang sudah di campur dengan larutan kimia sebelum dilakukannya *refluks* dan sesudah dilakukannya *refluks* :



Gambar 7. (a)Sampel larutan sebelum *refluks* (b)Sampel larutan limbah sesudah di *refluks*



Gambar 8. Refluks

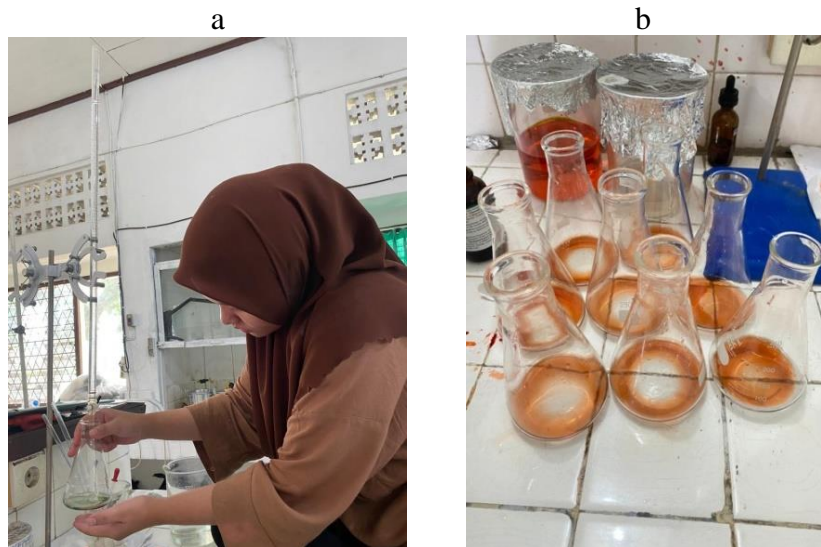
3.10 Titrasi

Langkah terakhir dalam pengujian COD yaitu titrasi, hal pertama yaitu lakukan titrasi blanko terlebih dahulu kemudian menyusul sampel fat pit, cool pond, In1, In2, In3, In4, dan terakhir out.

Berikut ini cara dalam mentitrasi larutan COD yang sudah di *refluks* :

1. Dimasukkan larutan yang sudah di refluks ke dalam erlenmeyer 125 ml.
2. Ditambahkan larutan indikator ferroin yang berwarna merah ke dalam erlenmeyer sebanyak 2 tetes.
3. Dilakukan titrasi dengan larutan baku FAS 0,05 N yang sudah dibuat diawal sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau-biru menjadi coklat-kemerahan, catat volume larutan FAS yang digunakan untuk dilakukannya perhitungan COD.
4. Diulangi untuk semua sampel.

Berikut gambar dari perubahan warna titrasi dari warna biru dan berubah menjadi coklat kemerahan.



Gambar 9. (a) Proses Titrasi (b) Hasil dari Titrasi

3.11 Perhitungan COD

Setelah semua langkah yang sudah dilakukan selesai untuk mendapatkan nilai COD maka dilakukannya perhitungan.

Berikut contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai COD :

Nilai COD sebagai mg/L O₂ =

$$\frac{(Ab - Ac) \times N \text{ FAS} \times 8000}{Ad} = \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1)}$$

Keterangan :

Ab = Volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (mL) ;

Ac = Volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh sampel uji (mL) ;

N FAS = Normalitas larutan FAS (N) ;

8000 = Nilai ekivalen oksigen x 1.000

Ad = Volume contoh uji (mL) ;

Dari hasil perhitungan diatas dilakukan perhitungan lagi sebagai berikut :

$$\frac{\text{Hasil}}{1,5} \times 100 = \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2)}$$

Hasil merupakan perhitungan COD dari (persamaan 1) kemudian di bagi 1,5 yaitu merupakan larutan sampel limbah cair kelapa sawit yang diambil untuk diencerkan karena dari semua sampel limbah cair kelapa sawit yang akan dianalisis terlalu pekat sehingga dilakukannya pengenceran dengan pencampuran aquades sebanyak 100 ml. Barulah mendapatkan hasil nilai COD limbah kelapa sawit.

3.12 Mekanisme Kerja

Sistem kendali multisensor dibuat untuk dapat bekerja secara berkelanjutan. Pengukuran sensor pH sensor suhu, sensor EC, sensor DO, dan sensor *turbidity* dilakukan langsung di kolam limbah kelapa sawit dan Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian (DAMP) menggunakan multisensor. Sampel limbah cair diambil dari kolam-kolam yang berbeda di masukan pada gelas-gelas kimia yang terpisah untuk divariasikan. Pada gelas-gelas kimia tersebut di letakkan sensor pH , sensor suhu, sensor EC, sensor, DO, dan sensor *turbidity* untuk membaca hasil dari masing-masing nilai untuk kemudian akan menjadi faktor untuk mendapatkan nilai dari kadar COD.

3.13 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan hasil akuisisi data dari pengukuran suhu, pH, *turbidity*, EC, dan DO limbah aktual yang hasilnya didapatkan secara periodik. Pengukuran EC, suhu, *Turbidity*, DO, dan pH dilakukan secara langsung sebanyak dua kali pada tiap pengambilan sampel yang dilakukan di kolam limbah pabrik kelapa sawit dan di laboratorium. Data pengukuran COD aktual kemudian dihubungkan melalui metode matematis dengan data pengukuran suhu, EC, *Turbidity*, DO, dan pH metode matematis yang digunakan berupa metode matematika non-linear dan pendekatan jaringan saraf tiruan. Hasil Akumulasi error yang kecil diartikan bahwa tahap awal pada kalibrasi perancangan alat ukur cepat telah berjalan dengan baik, dan dapat dilanjutkan ke tahap validasi.

3.14 Validasi sensor

Validasi rancangan sensor merupakan bagian dalam perakitan alat ukur cepat untuk menguji validitas antara rancangan alat ukur dengan nilai aktual. Adapun rancangan alat ukur yang telah divalidasi, diuji menggunakan R^2 dan *Root Mean Square Error* (RMSE), dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Koefisien determinasi (R^2) adalah sebagai berikut: “Koefisien determinasi (R^2) pada intinya mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi adalah antara nol dan 1 (satu). Nilai R^2 yang kecil berarti kemampuan variabel-variabel dependen amat terbatas. Nilai yang mendekati satu berarti variabel-variabel independen memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi variabel dependen. (Ghozali 2018:97). Berikut merupakan rumus perhitungan R^2 :

$$R^2 = \frac{[n\Sigma xy - (\Sigma x)(\Sigma y)]^2}{\sqrt{[n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2][n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

n = jumlah data

Σx = jumlah data x

Σy = jumlah data y

2. *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah besarnya dari tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka prediksi akan semakin akurat. Berikut merupakan rumus perhitungan RMSE :

$$RMSE = \sqrt{[n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

n = jumlah data

e = nilai *error*

3.15 Tahapan Penggunaan Aplikasi MATLAB

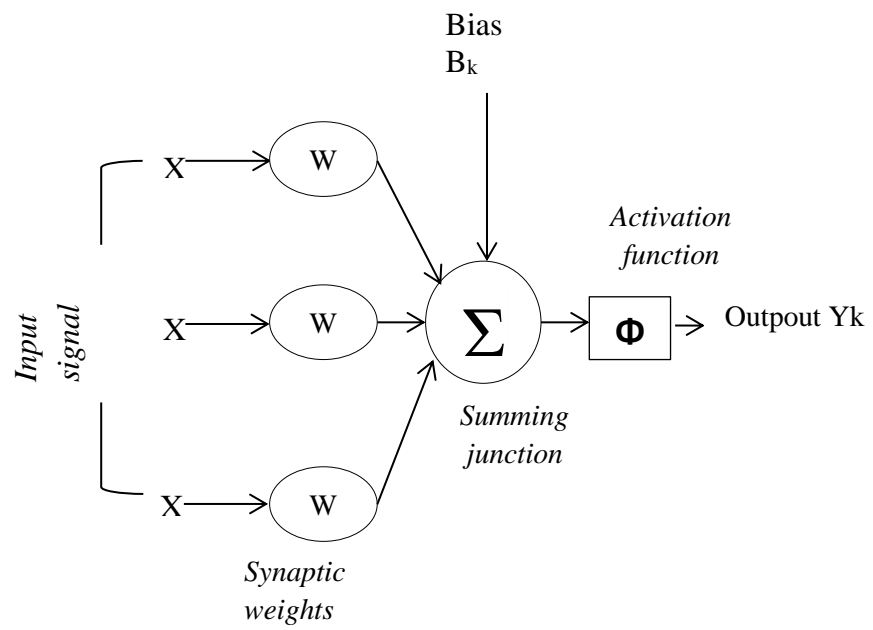
Tahapan dalam menggunakan aplikasi MATLAB terdiri dari beberapa langkah yang perlu dilakukan. Pada rancangan ini menggunakan *software* Matlab version

9.0.0.341360 (R2016a) dengan *toolbox* Jaringan Saraf Tiruan untuk melakukan pengembangan model matematika yang nantinya akan diintegrasikan ke dalam mikrokontroler dengan bantuan software Arduino.

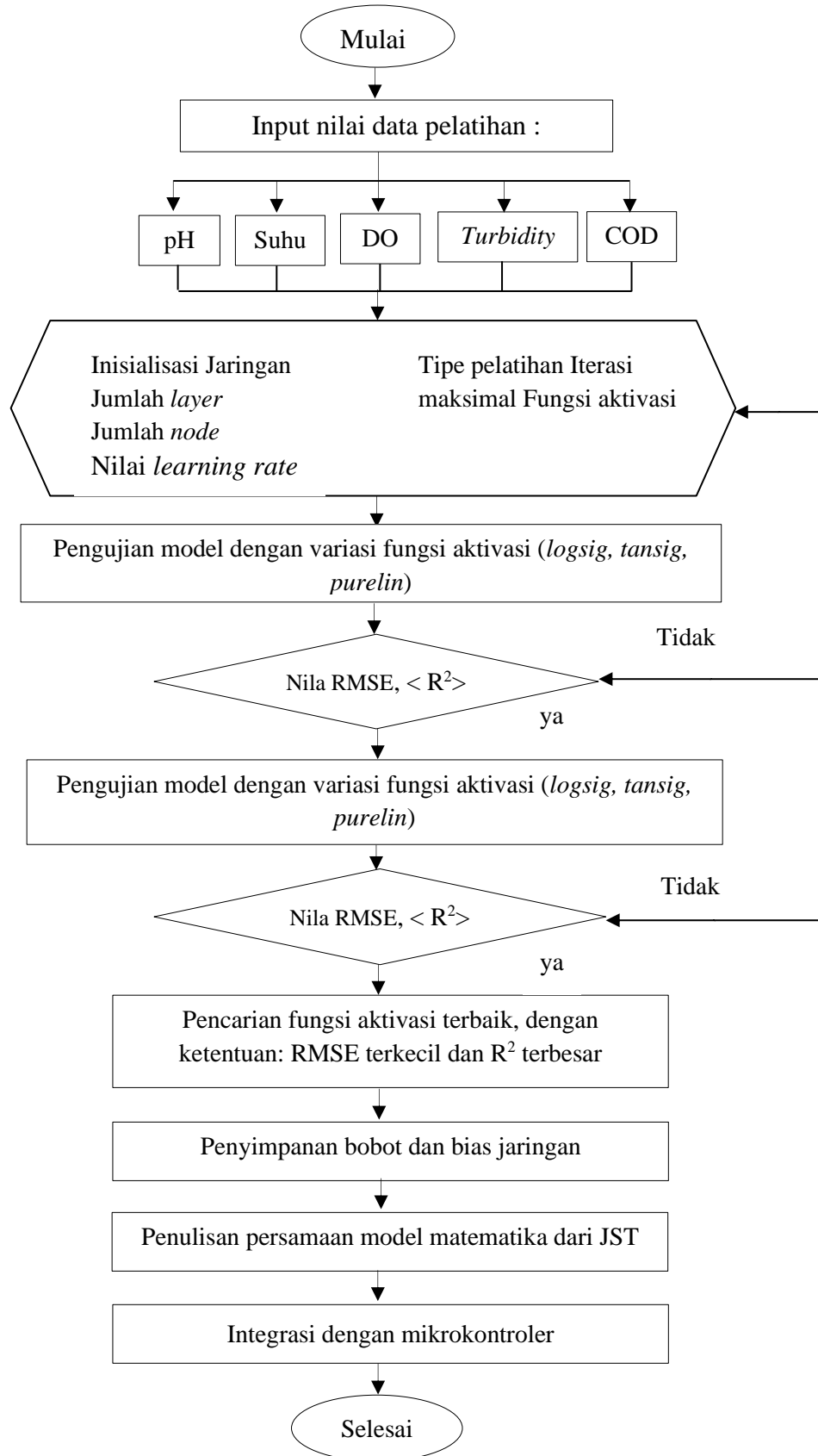
3.16 Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan

Tahap pertama dalam proses pengembangan model jaringan saraf tiruan adalah melakukan pelatihan terlebih dahulu. Tahap pelatihan memiliki tujuan untuk menghasilkan parameter-parameter JST dan bobot masing-masing lapisan yang paling sesuai yang nantinya digunakan dalam proses pengujian. Satu siklus pelatihan terdiri atas inisialisasi bobot awal, perhitungan nilai keluaran setiap lapisan dan penghitungan error yang terjadi. Tahap ini dimulai dengan membuka aplikasi matlab (R2016a). Lalu dilanjutkan dengan tahap inisialisasi jaringan. Inisialisasi jaringan merupakan penetapan arsitektur jaringan awal agar proses pelatihan jaringan dapat dilakukan. Satu siklus pelatihan yang dilakukan disebut iterasi. Jumlah iterasi yang digunakan ialah sebesar dengan *Mean Square Error* (MSE) terkecil sebesar. Menurut Andiran Y. (2014) bahwa semakin kecil nilai target error maka nilai iterasinya akan semakin besar dan keakurasiannya juga semakin tinggi.

Pengembangan model JST dilakukan dengan mensimulasikan berbagai variasi arsitektur jaringan dan mengujinya sehingga diperoleh nilai RMSE terkecil dan nilai R^2 terbesar. secara umum prinsip kerja JST yaitu merambatkan sinyal informasi dari node satu ke node lainnya melalui jalur penghubung yang berada di lapisan yang saling berdekatan. Jaringan saraf tiruan yang digunakan pada penelitian ini ialah tipe *backpropogation* dengan metode pelatihan terawasi (*supervised learning*). Metode ini berupa jaringan yang diberi suatu *input* tertentu dan *output*-nya ditentukan oleh algoritma yang dibuat. Berikut merupakan tahapan dari pengembangan model arsitektur jaringan saraf tiruan yang dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Elemen JST



Gambar 11. Pengembangan model Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Terdapat dua proses yang dilakukan dalam JST pada penelitian ini yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. Untuk mengetahui komposisi aktivasi terbaik maka dilakukan proses pelatihan dan proses pengujian dengan 27 aktivasi yang kemudian dipilih satu aktivasi terbaik.

Fungsi aktivasi terbaik akan menghasilkan nilai R^2 terbesar dan nilai RMSE terkecil. Fungsi aktivasi terbaik digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pembentukan persamaan model matematikanya. Fungsi aktivasi yang akan digunakan sebagai berikut :

Tabel 5. Fungsi Aktivasi

Aktivasi	Pengujian	
	R^2	RMSE
<i>Logsig-logsig-logsig</i>		
<i>Logsig-logsig-tansig</i>		
<i>Logsig-tansig-logsig</i>		
<i>Logsig-tansig-tansig</i>		
<i>Tansig-logsig-logsig</i>		
<i>Tansig-tansig-logsig</i>		
<i>Tansig-tansig-tansig</i>		
<i>Tansig-logsig-tansig</i>		
<i>Logsig-tansig-purelin</i>		
<i>Logsig-logsig-purelin</i>		
<i>Tansig-logsig-purelin</i>		
<i>Tansig-tansig-purelin</i>		
<i>Logsig-purelin-logsig</i>		
<i>Logsig-purelin-tansig</i>		
<i>Tansig-purelin-logsig</i>		
<i>Tansig-purelin-tansig</i>		
<i>Purelin-logsig-logsig</i>		
<i>Purelin-logsig-tansig</i>		
<i>Purelin-tansig-logsig</i>		

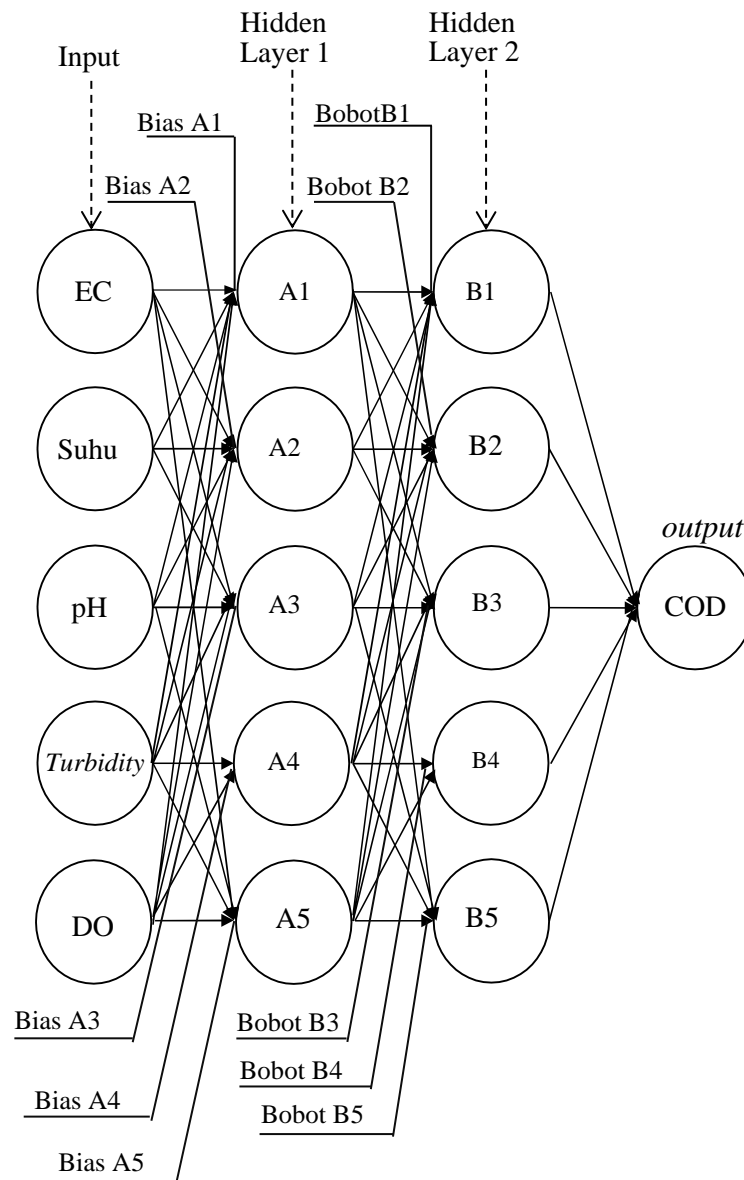
Purelin-tansig-tansig
Purelin-purelin-purelin
Purelin-purelin-tansig
Purelin-purelin-logsig
Purelin-tansig-purelin
Purelin-logsig-purelin
Logsig-purelin-purelin
Tansig-purelin-purelin

3.16.1 Pembentukan Persamaan Matematika dari Model JST yang Dihasilkan

Pembentukan persamaan matematika dilakukan dengan cara menghitung ulang bobot dan bias yang telah didapatkan dari fungsi aktivasi terbaik dengan ketentuan perhitungan sebagai berikut :

1. Pembentukan persamaan matematis dari file-file bobot dan bias yang sudah terekam dalam folder
2. Jika nilai dibelakang bobot terdapat e-01 berarti nilai dikali 0,1
3. Jika nilai dibelakang bobot terdapat e+001 berarti nilai dikali 1 (tetap)
4. Jika nilai dibelakang bobot terdapat e+01 berarti nilai dikali 10
5. Persamaan fungsi aktivasi *logsig* adalah : $y = 1/(1+\exp(-x))$
6. Persamaan fungsi aktivasi *tansig* adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$
7. Persamaan fungsi aktivasi *purelin* adalah : $y = x$

Model matematika yang telah dihitung akan dimasukkan dalam program arduino untuk melakukan validasi (Sesunan, 2021).



Gambar 12. Model arsitektur jaringan saraf tiruan

3.17 Integrasi Model JST ke Mikrokontroler

Integrasi merupakan proses dari menyatu atau membaaur yang akan menjadi keutuhan dan kebutuhan. Integrasi pada penelitian ini ialah memasukkan atau menyatukan nilai model yang dikembangkan oleh JST ke dalam mikrokontroler. Proses yang dilakukan dengan cara setelah mendapatkan model matematika dari pengembangan yang dilakukan oleh jaringan saraf tiruan. Integrasi model JST dengan menggunakan software arduino untuk memasukkan model matematika ke dalam mikrokontroler Arduino uno.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah :

1. Hasil pelatihan model JST diantaranya adalah Input pH dengan aktivasi *Tansig-logsig-purelin* memiliki nilai RMSE Sebesar 7.396 dan R^2 sebesar 0.6587. Variasi dengan input pH dan DO dengan aktivasi *Tansig-logsig-purelin* R^2 sebesar 0.8058 dan RMSE sebesar 5.578, variasi input pH, EC, dan TB dengan aktivasi *Logsig-tansig-logsig* R^2 sebesar 0.8659 dan RMSE 4.636, variasi input pH, EC, DO, dan TB dengan aktivasi *Logsig-tansig-purelin* R^2 sebesar 0.9119 dan RMSE 3.757. Variasi Input Suhu, pH, EC, TB dengan aktivasi *Tansig-tansig-tansig* R^2 sebesar 0,9249 dan RMSE 3.470, serta variasi dengan 5 input Suhu, pH, EC, DO, dan TB dengan aktivasi *logsig-logsig-logsig* memiliki nilai sebesar R^2 0,9284 dan RMSE 3.389.
2. Pelatihan model Jaringan Saraf Tiruan pada penelitian ini menggunakan dua *hidden layer* dengan node 2-2-1; 3-3-1;1-1-1; dan 5-5-1 menyesuaikan jumlah input yang digunakan pada saat pelatihan model. *Learning rate* 0,001, tipe pelatihan yaitu *tranlm* dan jumlah *epoch* 10000. Proses pelatihan Jaringan Saraf Tiruan menggunakan 27 aktivasi dari varian *logsig*, *tansig*, dan *purelin*.
3. Validasi model dengan menggunakan satu input pH mendapatkan nilai RMSE sebesar 13.130 dan RRSME sebesar 88,93%. Validasi dengan input pH dan DO memiliki RMSE 118,782 dan RRSME sebesar 804.49%.

Validasi dengan input pH, DO, dan TB memiliki RMSE yaitu sebesar 12,06 dan RRSME sebesar 81,68%. Validasi dengan input pH, EC, DO, dan TB memiliki RMSE yaitu sebesar 114,346 dan RRSME sebesar 774.55%. Validasi dengan input suhu, pH, EC, dan TB memiliki RMSE yaitu sebesar 114,346 dan RRSME sebesar 774.44 %. Serta validasi dengan 5 Input yaitu suhu, pH, EC, DO, dan TB memiliki nilai RMSE yaitu sebesar 6,96 dan RRSME sebesar 47,17 %.

4. Hasil validasi terbaik dari beberapa variasi jumlah input adalah validasi dengan menggunakan 5 input (Suhu, pH, EC, DO, dan TB) dengan nilai RMSE sebesar 6,96 dan RRSME sebesar 47,17%.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah :

Perlu adanya penelitian lanjutan dari hasil yang didapat untuk menganalisis kadar COD dan ketelitian pada pengecekan pH, suhu, *turbidity* dan DO agar mendapatkan nilai yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- A Dede M. Yusuf., 2016, *Alat Pendeteksi Kadar Keasaman Sari Buah, Soft Drink, dan Susu Cair Menggunakan Sensor Ph Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Atmega328*, [Skripsi] Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Arief, M.L., 2016. *Pengolahan Limbah Industri*. Yogyakarta : Cv Andi Offset.
- Andara, D. R., Haeruddin, & Suryanto, A. (2014). *Kandungan Total Padatan Tersuspensi, Biochemical Oxygen Demand dan Chemical Oxygen Demand Serta Indeks Pencemaran Sungai Klampisan di Kawasan Industri Candi, Semarang*, [Skripsi] *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(3), 177–187.
- Ashdak, Chay. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. GadjahMada University Press. Yogyakarta.
- Asmadi, Khayan, Kasjono, H.S. 2011. *Teknologi Pengolahan Air Minum*.: Gosen Yogyakarta.
- Astria, F., Subito, M., Nugraha, D.W. 2014 Rancang Bangun Alat Ukur PH dan Suhu Berbasis Short Message Service (SMS) Gateway. *Jurnal MEKTRIK*. Vol 1(1):47-49.
- Baharuddin, A.S., Wakisaka, M., Shirai, Y., Abd.AS, Rahman, N.A., Hassan.M.A. 2009. *Co-composting of empty fruit bunches and partial treated palm oil mill effluents in pilot scale*. *International Journal Agric Res* 4(2):69–78.
- De Santo, R.S. 1978. *Concepts of applied ecology*. Heidelberg Science Library. Springer ± Verlag, New York. 310 p.
- Haryanti, A., Norsamsi, Sholiha P. S. F., Putri N.P. 2014 Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi*, 3(2), 57 – 66.
- Hafidz, Abdul. 2015, *Rancang Bangun Sistem Kontrol Akuarium Otomatis Berbasis Mikrokontroler*. Universitas Nasional. Jakart.
- Hardiana, S. (2014). *Pengembangan Metode Analisis Parameter Minyak dan Lemak Pada Contoh Uji Air*, 1(3), 270–276.

Haryadi Sigid, 2004, Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah, Makalah individu Pengantar Falsafah Sains (PPS 702) IPB, Bogor.

Hermawan, Arif. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta : Andi.

<https://www.zenius.net/prologmateri/fisika/a/614/suhu-temperatur>.

Ihsanto, K.E., Hidayat, S. 2014. Rancang Sistem Pengukuran Ph Meter Dengan Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno, Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana.

Estikarini, H., Hadiwidodo, M., & Luvita, V. (2016). *Penurunan kadar cod dan tss pada limbah tekstil dengan metode ozonasi*, 5(1), 1–11.

Fachrurozi, M. (2010). *Pengaruh Variasi Biomassa Pistia stratiotes L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Tahu*, 4(1), 1–75.

Ginting, N. (2007). *Penuntun Praktikum Teknologi Pengolahan Limbah Peternakan*. Sumatera Utara.

Lumaela, A.K., Otok, B.W & Sutikno. 2013. *Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) Sungai Di Surabaya Dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression*. Jurnal Sains Dan Seni Pomits. 2(1): 100-105.

Mandiri, *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan*, Jakarta, 2012, 61.

Manurung, H.A. 2018. *Identifikasi Karakteristik Fisik Kedelai Unggul Lokal Selama Perendaman 12 Jam Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST)*. Lampung: Universitas Lampung.

Nuraini, E., Fauziah, T & Lestari, F. 2019. *Penentuan Nilai BOD Dan COD Limbah Cair Inlet Laboratorium Pengujian Fisis*. Politeknik Atk Yogyakarta. *Integrated Lab Journal*. 07(02): 10-15.

Nursaniansyah, F.R. 2021. *Rancang Bangun Perangkat Identifikasi Kemurnian Aroma Campuran Blending Biji Kopi Sangrai Natural Luwak dan Natural Arabika Menggunakan Electronic Nose dengan Metode Pembelajaran Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation*. Lampung: Universitas Lampung.

Pahan I. 2006, *Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis Dari Hulu Hingga Hilir*, Bogor.

Pahan, I. 2007. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit. 3*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya. 411 hal.

- Permatahati, D. 16 Maret 2015. *Tranduser dan Komponen Elektronika*.
http://dindatelekomunikasi.blogspot.co.id/2015/03/jenis-jenis-sensorkimia_16.html. Diakses pada tanggal 19 September 2017.
- Prahesti, I. 2013. *Implementasi Jaringan Saraf Tiruan Algoritma Backpropagation Untuk Memprediksi Curah Hujan Di Yogyakarta*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Informatika. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Manajemen Informatika Dan Komputer Amikom.
- Rozali, Mubarak, & Nurrachmi. (2016). *Patterns of distribution total suspended solid (tss) in river estuary kampar pelalawan*. Universitas Riau.
- Saftari, F. 2015. *Proyek Robotik Keren dengan Arduino*. Jakarta: Elex Media Komputido.
- Salmin. 2000. Kadar Oksigen Terlarut di Perairan Sungai Dadap, Goba, Muara Karang dan Teluk Banten. Dalam : Foraminifera Sebagai Bioindikator Pencemaran, Hasil Studi di Perairan Estuarin Sungai Dadap, Tangerang (Djoko P. Praseno, Ricky Rositasari dan S. Hadi Riyono, eds.) P3O - LIPI hal 42 – 46
- Santoso, A.D., 2018. Keragaan Nilai DO, BOD dan COD Di Danau Bekas Tambang Batu Bara studi Kasus Pada Danau Sangatta North Pt. Kpc di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1) : 89-96
- Seo, K. 2013. A Simulation Study on an Artificial Neural Networks based Automatic Control System of a Plant Factory. *International Journal of Control and Automation*, 6: 127–136.
- Siregar, Sandy Putra dan Anjar Wanto. 2017. *Analysis of Artificial Neural Network Accuracy Using Backpropagation Algorithm In Predicting Process (Forecasting)*. *International Journal Of Information System & Technology*. Vol. 1, No. 1, (2017), pp. 34-42.
- Syafriadiman. (2009). *Teknik Pengelolaan Kualitas Air Budidaya Perikanan Pada Era Industrialisasi pro Ato Pengukuhan Guru Besar Tetap*. Pekanbaru.
- Syahwil Muhammad, 2013, “*Panduan Mudah Simulasi dan Praktik: Mikrokontroler, Arduino*.” Yogyakarta: Andi Publisher.
- Sumardi. 2013. *Mikrokontroler Belajar AVR Mulai Dari Nol*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sunarsih, L.E. 2018. *Penanggulangan Limbah*. Yogyakarta : Deepublish Publisher.
- Sutojo, dkk. 2011. *Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi Offset

- Siswanto, A. D. (2010). *Analisa Sebaran Total Suspended Solid (TSS) di Perairan Pantai Kabupaten B*. Jurnal Kelautan.
- Susnea, I. & Mitescu, M. 2005. *Microcontrolles in Practice*. New York: Springer
- Syahwil, M. 2013. *Panduan Mudah Simulasi dan Praktik: Mikrokontroller Arduino*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Willmott, C. and Matsuura, K.: *Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance, Clim. Res., 30, 79–82, 2005.*
- Yunarsih, Ni Made, Manuntun Manurung, and Ketut Gede Dharma Putra. 2013. *“Efektifitas Membran Khitosan Dari Kulit Udang Galah (Macrobanchium Rosenbergii) Untuk Menurunkan Fosfat Dalam Air Limbah Laundry.” Cakra Kimia 1 (2): 25–32.*