

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

(Skripsi)

Oleh

Adela Fiona Amadani

1814071019



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

***PREDICTION OF BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND IN PALM OIL
WASTE USING MULTISENSOR METHOD***

BY

ADELA FIONA AMADANI

Water is a crucial natural resource, and surface water is particularly vulnerable to pollution compared to groundwater, especially with rapid population growth and development. Increased industrial activities, particularly from palm oil mills, have led to significant water pollution issues. The high organic content in wastewater from palm oil mills contributes to the deterioration of water quality in rivers, causing problems such as turbidity, decreased dissolved oxygen, and habitat destruction.

This study aims to develop an effective method for predicting the Biochemical Oxygen Demand (BOD) of palm oil mill effluent (POME) using Artificial Neural Networks (ANN). Various ANN models were developed with different input parameters and activation functions to accurately predict BOD levels. The study involved evaluating several ANN models using parameters such as temperature, pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), and turbidity (TB). Results indicated that the ANN model with inputs pH, EC, DO, and TB and the Tansig-logsig-tansig activation function provided the best performance, with an RMSE of 754.1757 and R^2 of 0.9852.

The ANN training process utilized a two-hidden-layer (5-5-5-1) configuration and 27 activation function variations. The best validation results were obtained with

five inputs (Temperature, pH, EC, DO, and TB), achieving an RMSE of 2159 and an RRMSE of 57.03%. These findings highlight that the development of sensor and electronic technologies can enhance the efficiency and accuracy of wastewater quality monitoring and offer practical solutions for managing palm oil mill effluent.

Keywords : Palm Oil Mill Effluent (POME), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Artificial Neural Networks (ANN), Water pollution, Wastewater treatment.

ABSTRAK

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

Oleh

ADELA FIONA AMADANI

Air merupakan sumber daya alam yang krusial, dan pencemaran air permukaan menjadi isu signifikan dibandingkan air tanah, terutama dengan pertumbuhan populasi dan pembangunan yang pesat. Peningkatan kegiatan industri, terutama dari pabrik kelapa sawit, menyebabkan pencemaran air yang serius. Limbah cair dari pabrik kelapa sawit, yang mengandung bahan organik tinggi, berkontribusi terhadap penurunan kualitas air di sungai, mengakibatkan masalah lingkungan seperti kekeruhan, penurunan oksigen terlarut, dan kerusakan habitat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode yang efektif dalam memprediksi kadar Biochemical Oxygen Demand (BOD) dari limbah cair kelapa sawit menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST). Model JST dikembangkan dengan berbagai variasi input dan fungsi aktivasi untuk memprediksi kadar BOD secara akurat. Penelitian ini melibatkan evaluasi beberapa model JST dengan menggunakan parameter suhu, pH, konduktivitas listrik (EC), oksigen terlarut (DO), dan kekeruhan (TB). Hasil menunjukkan bahwa model JST dengan input pH, EC, DO, dan TB serta fungsi aktivasi Tansig-logsig-tansig menghasilkan nilai RMSE terbaik sebesar 754,1757 dan R² sebesar 0,9852.

Proses pelatihan JST menggunakan dua lapisan tersembunyi (5-5-5-1) dan 27 varian aktivasi, menunjukkan bahwa model dengan lima input (Suhu, pH, EC, DO, dan TB) memberikan hasil validasi terbaik dengan RMSE sebesar 2159 dan RRMSE sebesar 57,03%. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan teknologi sensor dan elektronika dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan kualitas air limbah, serta memberikan solusi praktis untuk pengelolaan limbah cair kelapa sawit.

Kata Kunci : Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME), Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD), Jaringan Saraf Tiruan (JST), Pencemaran air, Pengolahan limbah.

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

Oleh

ADELA FIONA AMADANI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

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

Nama Mahasiswa : **Adela Fiona Amadani**

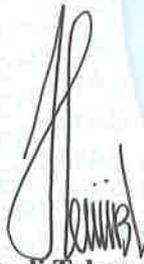
No. Pokok Mahasiswa : 1814071019

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.
NIP. 198803252015041001



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

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

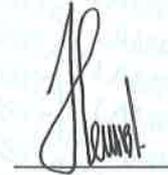


Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 19621010198902002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

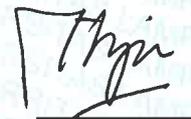


Sekretaris : Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M. Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 17 Juli 2024

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya Adela Fiona Amadani NPM 1814071019. Dengan ini menyatakan bahwa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., 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, 23-8-2024
Yang membuat pernyataan



Adela Fiona Amadani
NPM 1814071019

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandarlampung pada hari Senin, 07 Februari 2000. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara, putri dari Bapak Drs. H. Ahmad Dasaat dan Ibu Hj. Rohani, adik dari Budi Utama Amadani, S.E., M.M., Ivo Agustina Amadani, S.H., M.M., dan Lucy Febriana Amadani, S.E. Penulis memulai Pendidikan Taman Kanak-Kanak di (TK) Pratama Bandarlampung, lulus pada tahun 2006. Menempuh jenjang pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Rawa Laut (Teladan) Bandarlampung, lulus pada tahun 2012. Melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Bandarlampung, lulus pada tahun 2015. Serta melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Bandarlampung, lulus pada tahun 2018. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada bulan Februari-Maret 2021 di Kelurahan Jagabaya III, Kecamatan Way Halim, Kota Bandarlampung. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) pada tahun 2021 di Kampung Agrowidya Wisata, Kota Bandarlampung dengan judul “ Mempelajari Proses Pembuatan Pupuk Organik di Rumah Belajar Kang Suyut Kampung Agrowidya Wisata Rajabasa” selama 40 hari pada bulan Agustus-September 2021.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan akademik dan organisasi. Penulis aktif sebagai asisten dosen mata kuliah Kimia Dasar periode 2019. Penulis memperoleh beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) pada

tahun 2019. Penulis merupakan anggota biasa organisasi tingkat jurusan PERMATEP (Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian) pada periode 2018/2019. Penulis juga aktif dalam kegiatan tahunan dari IMATETANI (Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian) sebagai sekretaris bidang konsumsi dalam kongres IMATETANI yang dilaksanakan pada tahun 2019. Penulis mengikuti Program Kredensial Mikro Mahasiswa Indonesia (KMMI) *Course Micro-Credential Productivity Track* (MCPT) di Universitas Padjajaran (UNPAD) pada bulan Juli-November 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 (Drs. Ahmad Dasaat dan Rohani)

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 Papa Mama, aku belum tentu sampai di titik ini.

Serta Kakak-kakakku (Budi Utama Amadani, S.E., M.M., Ivo Agustina Amadani, S.H., M.M., dan Lucy Febriana Amadani, S.E.)

Terima kasih selalu memberikan dukungan dan semangat kepadaku.

SANWANCANA

Puji syukur kehadiran 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 *Biochemical Oxygen Demand* 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 yang sangat berarti bagi penulis. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat;
4. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Pertama dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan motivasi, masukan, bimbingan, dan saran kepada penulis

hingga penyusunan skripsi ini;

5. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran dalam penyusunan skripsi ini;
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M. Sc. selaku Dosen Pembahas yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan untuk perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
7. Seluruh Dosen dan para Karyawan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis;
8. Bapak Ahmad Dasaat dan Ibu Rohani, selaku orang tua penulis yang telah memberikan segala doa, semangat, dan dukungan baik moril atau materiil, serta kasih sayang yang tak terbatas kepada penulis.
9. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Minak Tama, Ses Ivo, Nita Lucy, Indoman Celi, Puan Erwin, Uda Rio, Qio, Kila, Afiz, Gibran, Faiz, Ken, dan Kala, selaku kakak-kakak dan keponakan-keponakan tercinta penulis yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan baik moril atau materiil kepada penulis sehingga membuat penulis tidak merasa lengah dalam pengerjaan skripsi ini;
10. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Naili, Iqbal, Merry, dan Agung , selaku teman seperjuangan penelitian dan skripsi.
11. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ismawati Fernanda Parmadi, Ausvin Alfitrah, Annisa Suci Ramadhanti, Amiratu Syifa, Sefriyanti Simanjuntak, dan Althoriq Rizky Aliftama selaku teman seperjuangan penulis selama masa perkuliahan yang selalu siap menjadi tempat keluh kesah maupun senang dan memberikan semangat, motivasi, dan dukungan sehingga membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
12. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Akira, Finnisa, Ardelia, Zulfa, Carina, Sitin, Wiranti, Ocha, dan Mba Wita selaku sahabat - sahabat tercinta yang selalu kebersamai penulis dari dulu hingga sekarang, memberikan doa, semangat, dan dukungan sehingga membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;

13. 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;
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah berjasa dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Penulis berharap semoga kebaikan tersebut mendapat balasan dari Allah SWT.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih belum sempurna. Karena itu, 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, Agustus 2024
Penulis,

Adela Fiona Amadani

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN SENYAWA KIMIA	9
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Hipotesis.....	4
1.6. Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Limbah Cair Kelapa Sawit	5
2.1.1 Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit	7
2.2. <i>Electrical Conductivity</i> (EC).....	9
2.3. Mikrokontroler	9
2.3.1. Mikrokontroler Arduino AT mega328.....	11
2.4. Sensor	13
2.4.1. Sensor Suhu	13
2.4.2. Sensor EC Meter	15
2.4.3. Sensor <i>Turbidity</i>	16
2.4.4. Sensor <i>Potential Hydrogen</i> (pH).....	17
2.4.5. Sensor <i>Dissolved Oxygen</i> (DO).....	18
2.5. <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	18
2.5.1 BOD ₀	19
2.5.2 BOD ₅	20
2.5.3 Perbedaan BOD ₀ dan BOD ₅	21
2.5.4 Analisis BOD dalam Pengolahan Limbah	22
2.5.5. Dampak BOD	22
2.6. Metode Pengukuran BOD	24
2.7. Kapsul Nutrisi	25
2.8. Perbedaan BOD dan COD.....	25
2.9. Parameter Air Limbah.....	27

2.10. Jaringan Saraf Tiruan (JST)	29
2.10.1. Model Jaringan Saraf Tiruan	31
2.11. Penelitian Pendukung	35
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1. Waktu dan Tempat	39
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	39
3.2.1. Alat	39
3.2.2. Bahan	41
3.3. Prosedur Penelitian	41
3.4. Analisis Data	44
3.5. Pengambilan Sampel	44
3.6. Pengenceran Sampel Limbah Cair Kelapa Sawit	46
3.7. Perhitungan BOD	47
3.8. Mekanisme Kerja	48
3.9. Kalibrasi Sensor	48
3.10. Validasi Sensor	49
3.11. Tahapan Penggunaan Aplikasi MATLAB	50
3.12. Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan	50
3.12.1. Pembentukan Persamaan Matematika dari Model JST yang Dihasilkan	54
3.13. Integrasi Model JST ke Mikrokontroler	55
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1. Hasil Kalibrasi Sensor	57
4.1.1. Kalibrasi Sensor Suhu	58
4.1.2. Kalibrasi Sensor pH	59
4.1.3. Kalibrasi Sensor <i>Turbidity</i>	61
4.1.4. Kalibrasi Sensor EC	62
4.1.5. Kalibrasi Sensor DO	64
4.2. Validasi Sensor	66
4.2.1. Validasi Sensor Suhu	66
4.2.2. Validasi Sensor pH	68
4.2.3. Validasi Sensor <i>Turbidity</i>	69
4.2.4. Validasi Sensor EC	70
4.2.5. Validasi Sensor DO	72
4.3. Pengukuran Kualitas Limbah Cair Kelapa Sawit	74
4.4. Pengujian Kadar BOD	75
4.5. Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan	76
4.5.1. Kalibrasi dengan Model Jaringan Saraf Tiruan	77
4.5.2. Pengujian Model Jaringan Saraf Tiruan	90
4.6. Persamaan Matematika dari Pengembangan Model JST	92
4.7. Integrasi Model JST dengan Mikrokontroler	98
4.8. Proses Analisis BOD Limbah Cair Kelapa Sawit Metode Dilusi	98
4.9. Validasi Model	99
4.9.1. Validasi Model 4 Input pH, DO, EC, dan TB	100
4.9.2. Validasi Model 4 Input Suhu, DO, EC, dan TB	102

4.9.3. Validasi Model 4 Input Suhu, pH, DO, dan TB	104
4.9.4. Validasi Model 4 Input Suhu, pH, EC, dan TB.....	105
4.9.5. Validasi Model 4 Input Suhu, pH, EC, dan DO	107
4.9.6. Validasi Model 5 Input Suhu, pH, DO, EC, dan TB.....	108
4.9.7. Validasi Model 2 Input pH dan EC	110
4.9.8. Validasi Model 2 Input EC dan DO	111
4.9.9. Validasi Model 2 Input pH dan DO	113
4.9.10. Validasi Model 3 Input pH, EC, dan TB.....	114
4.9.11. Validasi Model 3 Input pH, EC, dan DO	116
V. KESIMPULAN.....	118
5.1. Kesimpulan.....	118
5.2. Saran	120
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN.....	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Pin Mapping Board</i> Arduino Uno.....	12
2. Sensor Suhu DS18B20.....	14
3. Sensor EC Meter.....	16
4. Sensor <i>turbidity</i>	16
5. Sensor pH.....	17
6. DO Meter.....	18
7. Elemen JST.....	32
8. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan (<i>multilayer net</i>).....	35
9. Prosedur Penelitian.....	43
10. Analisis Data.....	44
11. (a) Pengambilan sampel limbah (b) Hasil dari pengambilan limbah.....	45
12. Pencampuran sampel limbah cair dengan aquadest.....	46
13. Elemen JST.....	51
14. Pengembangan model Jaringan Saraf Tiruan (JST).....	52
15. Model arsitektur jaringan saraf tiruan.....	55
16. Kalibrasi Sensor Suhu.....	59
17. Kalibrasi sensor pH.....	60
18. Kalibrasi sensor <i>turbidity</i>	62
19. Kalibrasi Sensor EC.....	64
20. Kalibrasi Sensor DO.....	65
21. Validasi Sensor Suhu.....	67
22. Validasi Sensor pH.....	69
23. Validasi Sensor <i>Turbidity</i>	70
24. Validasi Sensor EC.....	71

25. Validasi Sensor DO.....	73
26. Pengambilan sampel pada kolam limbah.....	75
27. Analisis DO untuk menguji BOD	76
28. Tampilan layar pada software MATLAB	77
29. Hasil JST plot perform.....	78
30. Hasil Jaringan Saraf Tiruan plot regression	78
31. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH dan EC).....	80
32. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input EC dan DO).....	81
33. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (pH dan DO)	82
34. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH, EC, dan TB).....	83
35. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH, EC, dan DO).....	84
36. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input pH, EC, DO, dan TB)85	
37. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, EC, DO, dan TB)	86
38. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, DO, dan TB)	87
39. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, EC, dan TB)	88
40. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, EC, dan DO)	89
41. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, EC, DO dan TB)	90
42. Grafik Pengujian Model Jaringan Saraf Tiruan (input Suhu, pH, EC, DO, dan TB)	91
43. Tampilan folder bobot dan bias yang tersimpan dalam bentuk .txt	92
44. Proses input model matematika ke dalam mikrokontroler.....	98
45. Validasi Input pH, EC, DO, dan TB	102
46. Validasi input Suhu, EC, DO, dan TB	103
47. Validasi Input Suhu, pH, DO, dan TB	105
48. Validasi Suhu, pH, EC, dan TB	106
49. Validasi Suhu, pH, EC, dan DO.....	108
50. Validasi input Suhu, pH, EC, DO, dan TB	109

51. Validasi Input pH dan EC	111
52. Validasi input EC dan DO.....	112
53. Validasi Input pH dan DO.....	114
54. Validasi pH, EC, dan TB.....	115
55. Validasi pH, EC, dan DO.....	117

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Minyak Sawit	6
2. Karakteristik Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit	8
3. Spesifikasi Arduino Uno	12
4. Penelitian Pendukung	35
5. Fungsi Aktivasi	53
6. Kalibrasi sensor suhu	58
7. Data kalibrasi sensor pH	60
8. Data kalibrasi sensor <i>turbidity</i>	61
9. Kalibrasi sensor EC	63
10. Kalibrasi DO	65
11. Validasi Sensor Suhu	66
12. Validasi Sensor pH	68
13. Validasi Sensor Turbidity	69
14. Validasi Sensor EC	71
15. Validasi Sensor DO	72
16. Daftar hasil pelatihan model JST terbaik pada tiap variasi input	79
17. Daftar hasil uji kalibrasi JST pada variasi fungsi aktivasi	91
18. Data validasi model menggunakan input pH, EC, DO, dan TB	101
19. Data validasi model menggunakan input Suhu, EC, DO, dan TB	102
20. Data validasi model menggunakan input Suhu, pH, DO, dan TB	104
21. Data validasi model menggunakan input Suhu, pH, EC, dan TB	105
22. Data validasi model menggunakan input Suhu, pH, EC, dan DO	107
23. Data validasi model menggunakan input Suhu, pH, DO, EC, dan TB	108
24. Data validasi model menggunakan input pH dan EC	110

25. Data validasi model menggunakan input EC dan DO	111
26. Data validasi model menggunakan input pH dan DO.....	113
27. Data validasi model menggunakan input pH, EC dan TB	114
28. Data validasi model menggunakan input pH, EC dan DO.....	116

DAFTAR SINGKATAN DAN SENYAWA KIMIA

mL	= Mililiter
pH	= <i>Potential Hydrogen</i>
DO	= <i>Dissolved Oxygen</i>
EC	= <i>Electrical Conductivity</i>
BOD	= <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
COD	= <i>Chemical Oxygen Demand</i>
JST	= Jaringan Saraf Tiruan
POME	= <i>Palm Oil Mill Effluent</i>
CPO	= <i>Crude Palm Oil</i>
TBS	= Tandan Buah Segar
PKS	= Perusahaan Kelapa Sawit
RTC	= <i>Real-Time Clock</i>
LCD	= <i>Liquid Crystal Display</i>
RMSE	= <i>Root Mean Squared Error</i>
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>
DAMP	= Daya dan Alat Mesin Pertanian
PTPN	= PT. Perkebunan Nusantara

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu sumber daya alam paling penting dalam kehidupan adalah air. Secara umum, sumber daya air meliputi air tanah, dan air permukaan. Air permukaan sendiri akan lebih rentan tercemar dibandingkan dengan air tanah. Hal ini disebabkan karena air permukaan lebih mudah untuk terkontaminasi dengan berbagai sumber pencemaran. Dengan bertambahnya jumlah penduduk dari tahun ke tahun, maka kegiatan pembangunan di berbagai bidang semakin meningkat, sehingga kebutuhan air juga semakin meningkat sesuai dengan penggunaannya (Effendi, 2003).

Perkembangan pembangunan yang semakin meningkat juga diikuti dengan peningkatan pencemaran lingkungan. Salah satunya berasal dari buangan limbah industri pabrik, yang mengandung bahan-bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia dan kelestarian lingkungan sekitar. Meningkatnya pencemaran air dari sumber buangan limbah pabrik, khususnya pabrik kelapa sawit, menyebabkan ketersediaan air disekitar sungai yang sangat penting untuk irigasi cenderung menurun kualitasnya (Hamonangan, 2002).

Proses pengolahan di pabrik kelapa sawit juga menghasilkan limbah cair yang memiliki kadar bahan organik yang tinggi. Tingginya bahan organik tersebut mengakibatkan beban polutan yang lebih besar, karena diperlukan degradasi bahan organik yang lebih besar. Limbah cair kelapa sawit mengandung partikel-partikel padat terlarut (*dissolved solid*) dan tersuspensi (*suspended solid*) serta

emulsi minyak dalam air. Apabila limbah tersebut langsung di buang ke sungai maka sebagian limbah akan mengendap, terurai perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang menyengat, dan dapat merusak daerah pembiakan ikan (Hamonangan, 2002).

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). Limbah cair yang dihasilkan memiliki tingkat pencemaran yang lebih tinggi dibandingkan limbah padat. Oleh karena itu diperlukan uji kadar air, untuk mengetahui kualitas perairan (Ginting,2002).

Parameter yang menjadi salah satu indikator kontrol untuk pembuangan limbah cair adalah angka BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Angka BOD berarti angka yang menunjukkan kebutuhan oksigen. Jika air limbah mengandung BOD tinggi dibuang ke sungai maka oksigen yang ada di sungai tersebut akan terhisap material organik tersebut sehingga makhluk hidup lainnya akan kekurangan oksigen. Pengujian BOD dapat dilakukan dengan metode dilusi menggunakan DO meter. Penanganan limbah pabrik kelapa sawit (PKS) khususnya limbah cair masih menjadi masalah yang disebabkan sulitnya proses degradasi limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) akibat tingginya kuantitas dan kandungan kontaminan. POME mengandung BOD sebesar 23.000- 32.000 mg/L (Rahardjo, 2005).

Berdasarkan uraian sebelumnya, peluang yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan yang ada adalah dengan mengembangkan perkembangan teknologi metode sensor dan elektronika. Pengukuran kualitas air limbah diperlukan agar POME dapat memenuhi baku mutu air limbah, sehingga multisensor (suhu, pH, EC, DO, dan turbidity) yang menjadi media diharapkan mampu mempermudah dan menghasilkan baik itu luaran listrik maupun luaran fisik dengan cepat dan akurat. Pemantauan limbah cair kelapa sawit pun menjadi lebih efisien dan praktis (Frank, 2001).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara mengetahui kadar BOD 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 JST?
4. Bagaimana cara mendapatkan nilai uji kinerja terbaik dari multisensor berupa analisis determinasi, RMSE, dan RRMSE?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memprediksi kadar BOD pada limbah cair kelapa sawit secara cepat dan akurat.
2. Membangun dan menguji model Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi BOD.
3. Mendapatkan nilai uji kinerja berupa analisis koefisien determinasi, RMSE, dan RRMSE.
4. Mendapatkan hasil validasi terbaik dari beberapa input.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebagai bahan masukan bagi pabrik pengolahan kelapa sawit dalam memanfaatkan air limbah dan prosesnya untuk mengukur kualitas air limbah kelapa sawit tersebut.
2. Mampu menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai kebutuhan kadar oksigen biologis atau *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air limbah kelapa sawit dengan metode dilusi.

3. Bagi masyarakat dapat digunakan sebagai bahan referensi dan pengembangan ilmu pengetahuan bagi pembahasan hal yang sama ataupun penelitian selanjutnya.

1.5. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah model matematika yang mampu memprediksi nilai BOD berdasarkan parameter EC, suhu, pH, *turbidity*, dan DO.

1.6. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sampel limbah cair kelapa sawit dibawa ke dalam laboratorium.
2. Bahan yang digunakan berupa limbah cair kelapa sawit yang terdapat di PTPN VII Bekri Lampung Tengah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Cair Kelapa Sawit

Industri kelapa sawit adalah salah satu industri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, untuk menghasilkan satu ton minyak kelapa sawit, diperoleh dua setengah ton limbah cair pabrik 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 selain menghasilkan CPO, juga menghasilkan limbah sangat banyak. Akibat dari aplikasi limbah cair akan menimbulkan bau. Hal ini dapat dikurangi dengan adanya bakteri pengurai limbah di kolam dengan waktub retensi yang cukup. Kandungan bahan organik yang tinggi mencemari air tanah dan badan air. Apabila tidak diolah terlebih dahulu maka akan mencemari air tanah dan badan air, serta lingkungan sekitarnya (Said, 1996).

Limbah pada dasarnya adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang yang telah mengalami suatu proses produksi sebagai hasil dari kegiatan manusia, serta proses alam yang tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi. Adanya batasan kadar dan jumlah bahan beracun dan berbahaya dalam ruang dan waktu tertentu disebut dengan istilah nilai ambang batas. Nilai ambang batas berarti bahwa jumlah tersebut masih dapat ditoleransi oleh lingkungan sehingga tidak membahayakan lingkungan ataupun pemakai. Oleh karena itu, untuk setiap jenis bahan beracun dan berbahaya telah ditetapkan nilai ambang batasnya (Sugiharto, 2007).

Aktivitas pengolahan pada pabrik minyak kelapa sawit menghasilkan dua jenis limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolah kelapa sawit ialah berupa tandan kosong, serat dan tempurung. *Limbah Palm Oil Mill Effluent* (POME) berasal dari tiga sumber yaitu air kondensat dari proses sterilisasi, lumpur dan kotoran, serta air cucian hidrosiklon. Limbah pada pabrik kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolah kelapa sawit ialah air kondensat, air cucian pabrik, air *hidrocyclone* atau *claybath* (Said, 1996).

Air buangan dari separator yang terdiri atas lumpur 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 filter adalah tangki pengendapan yang digunakan untuk menghasilkan sejumlah kecil air limbah. c) Rendahnya efisiensi pemisahan minyak dari air limbah dapat mempengaruhi karakteristik limbah cair yang dihasilkan (Raharjo, 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. Baku mutu limbah cair kelapa sawit disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Minyak Sawit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemar Maksimum (kg/ton)
BOD ₅	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
N-NH ₃	50	0,125
Minyak/lemak	25	0,063
pH	6,0-9,0	

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014

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).

2.1.1 Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

Karakteristik limbah cair kelapa sawit sangat penting karena untuk menentukan teknologi apa yang harus dipilih dalam penanganan limbah. Metode penanganan limbah yang telah berhasil pada suatu industri belum tentu berhasil di aplikasikan untuk industri lainnya. Limbah cair pabrik kelapa sawit, juga dikenal sebagai limbah cair pabrik kelapasawit (POME), yang merupakan produk tambahan dari pengolahan tandan buahsegar.

Limbah cair pabrik kelapa sawit berwarna kecoklatan, terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kadar COD dan BOD tinggi 68.000 ppm dan 27.000 ppm, bersifat asam (pH nya 3,5 - 4), terdiri dari 95% air, 4-5% terlarut dan padatan tersuspensi (selulosa, protein, lemak) dan 0,5-1% residu minyak yang sebagian besar berupa emulsi. Kandungan TSS LCPKS tinggi sekitar 1.330 – 50.700 mg/L, tembaga (Cu) 0,89 ppm, besi (Fe) 46,5 ppm dan seng (Zn) 2,3 ppm serta amoniak 35 ppm (Rahardjo, 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).

Pabrik kelapa sawit (PKS) memiliki spesifikasi limbah cair yang berbeda pada setiap tahapan proses produksinya, tetapi karakter yang ditinjau pada saat masuknya pengelolaan limbah, adalah karakteristik limbah secara keseluruhan.

Karakteristik air limbah pabrik kelapa sawit disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. 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)

2.2. *Electrical Conductivity* (EC)

Electrical Conductivity (EC) adalah ukuran konsentrasi konduktivitas dalam air terlarut dalam bentuk ion bermuatan positif (kation) dan ion bermuatan negatif (anion). Adanya ion-ion tersebut membuat larutan nutrisi yang terkandung dalam air terlarut bersifat konduktif. Dengan mengukur kelancaran pengantaran listrik antara kation dan anion. Konduktivitas air berhubungan dengan konsentrasi padatan terlarut yang terionisasi dalam air. Ion dari konsentrasi padatan terlarut dalam air memungkinkan air untuk membentuk arus listrik, yang dapat diukur menggunakan conductivity meter. *Electrical conductivity* berfungsi mengukur konduktivitas listrik bahan-bahan yang terkandung dalam air. Jika nilai konduktivitas lebih tinggi, kualitas air dapat dianggap tidak layak. Sebaliknya, jika konduktivitasnya rendah, kualitas air dapat dianggap baik (Frank, 2001).

Semakin banyak bahan (mineral logam juga nonlogam) dalam air maka hasil pengukuran akan semakin besar. Sebaliknya, bila sangat sedikit bahan yang terkandung dalam air maka hasilnya mendekati nol, atau disebut air murni. Prinsip kerjanya dengan menghubungkan 2 buah probe ke larutan yang diukur, kemudian dengan rangkaian pemrosesan sinyal akan mengeluarkan output yang menunjukkan besar konduktivitas/daya hantar listrik sampel air tersebut (Frank, 2001).

Nilai EC menyatakan konsentrasi larutan nutrisi yang ada di dalam air. Unsur-unsur dalam larutan nutrisi dilarutkan dalam air dalam bentuk ion bermuatan positif dan ion negatif, dan keberadaan ion-ion ini memungkinkan nilai EC dalam larutan nutrisi dapat diukur. Semakin besar kandungan ion, semakin besar EC. Faktor yang mempengaruhi nilai EC adalah suhu, dan jika suhu meningkat maka nilai EC juga meningkat (Frank, 2001).

2.3. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang bertindak sebagai pengontrol suatu

rangkaian elektronika, biasanya di mana suatu program dapat disimpan. Penggunaan mikrokontroler lebih menguntungkan dibandingkan penggunaan mikroprosesor. Hal ini dikarenakan untuk mikrokontroler tidak diperlukan tambahan memori dan I/O eksternal selama memori dan I/O internal masih mencukupi. Selain itu, proses produksinya diproduksi secara massal, sehingga harganya lebih murah dibandingkan mikroprosesor (Syahrul, 2014).

Pada sebuah chip mikrokontroler umumnya memiliki fitur-fitur sebagai berikut:

1. Central processing unit mulai dari processor 4-bit yang sederhana hingga processor kinerja tinggi 64-bit.
2. Input/output antarmuka jaringan seperti serial port (UART).
3. Antarmuka komunikasi serial lain seperti IC, serial peripheral interface and controller area network untuk sambungan sistem.
4. Periferal seperti timer dan watchdog.
5. RAM untuk menyimpan data.
6. ROM, EPROM, EEPROM atau flash memory untuk menyimpan program dikomputer.
7. Pembangkit clock biasanya berupa resonator rangkaian RC.
8. Pengubah analog ke digital.

Secara teknis, hanya ada 2 macam mikrokontroller. Pembagian ini didasarkan pada kompleksitas instruksi-instruksi yang dapat diterapkan pada mikrokontroler tersebut. Pembagian itu yaitu RISC dan CISC:

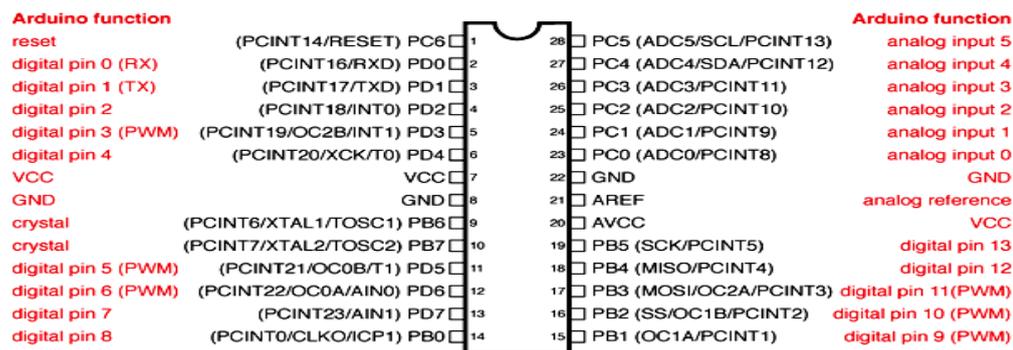
1. RISC merupakan kependekan dari Reduced Instruction Set Computer. Instruksi yang dimiliki terbatas, tetapi memiliki fasilitas yang lebih banyak.
2. Sebaliknya, CISC kependekan dari Complex Instruction Set Computer. Instruksi bisa dikatakan lebih lengkap tapi dengan fasilitas secukupnya (Syahrul, 2014).

Pada umumnya terdapat 3 jenis mikrokontroler yang paling banyak digunakan, salah satunya adalah mikrokontroler jenis AVR. *Advanset Versatile Rich* (AVR) adalah salah satu jenis mikrokontroler yang memiliki keunggulan dibandingkan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu memiliki kecepatan

eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock, lebih cepat dibandingkan dengan mikrokontroler MSC51. Mikrokontroler AVR memiliki memori program yang disusun menjadi 16 bit, yang membuat kecepatan akses dalam memori program lebih mudah, dan lebih cepat dari mikroprosesor 8-bit (Mitescu, 2005).

2.3.1. Mikrokontroler Arduino AT mega328

Atmega 328 atau sering dikenal dengan Arduino Uno, merupakan salah satu jenis mikrokontroler AVR yang banyak digunakan. Menurut (Djunaidi, 2011), arduino adalah sebuah *board minimum system* mikrokontroler yang bersifat *open source*. Dalam rangkaian board arduino terdapat mikrokontroler AVR seri ATMEGA328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino dapat mengenali lingkungan sekitarnya melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengendalikan lampu, motor, dan berbagai jenis actuator lainnya. Mikrokontroler jenis ATmega 328 ini memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Board arduino uno dapat diaktifkan dengan daya yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau dari *power supply* eksternal. Pada penggunaan daya dari *power supply* eksternal yang disarankan untuk mikrokontroler ini adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v tetap dapat beroperasi namun tidak stabil dan jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Uno.



Digital Pins 11, 12 & 13 are used by the ICSP header for MOSI, MISO, SCK connections (Atmega168 pins 17, 18 & 19). Avoid low-impedance loads on these pins when using the ICSP header.

(<http://www.arduino.cc>)

Gambar 1. Pin Mapping Board Arduino Uno

Arduino memiliki kelebihan tersendiri disbanding board mikrokontroler yang lain, yaitu : 1) lebih murah, 2) sangat mudah dipelajari dan digunakan, dan 3) bersifat *open source* baik dari *hardware* maupun *software*. Arduino dikatakan *open source* karena memiliki sebuah *platform* dari *physical computing*. Platform di sini adalah sebuah alat kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman, dan IDE (*Integrated Development Environment*) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam *memory microcontroller* Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) untuk bisa disambungkan dengan Arduino (Djunaidi, 2011).

Spesifikasi dari Arduino Uno dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Arduino Uno

Deskripsi	Spesifikasi
Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input yang disarankan	7-12 V
Batas Tegangan Input	6-20 V
Jumlah pin I/O digital	14 pin digital (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin Input analog	6 pin
Arus DC tiap pin I/O	20 mA

Memory Flash	32 KB, 0,5 KB-nya digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

(Sumber: <http://www.arduino.cc>)

2.4. Sensor

Sensor adalah piranti yang mengubah suatu nilai berupa isyarat atau energy fisik ke nilai fisik yang lain menjadi satuan analog sehingga dapat dibaca oleh suatu rangkaian elektronik. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal elektrik meliputi temperature, tekanan, gaya, medan magnet, cahaya, pergerakan, dan sebagainya. Dalam lingkungan sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya (Ogata, 1991).

2.4.1. Sensor Suhu

Sensor suhu adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi gejala perubahan suhu pada obyek tertentu. Sensor suhu melakukan pengukuran terhadap jumlah energi panas/dingin yang dihasilkan oleh suatu obyek sehingga memungkinkan kita untuk mengetahui atau mendeteksi gejala perubahan-perubahan suhu tersebut dalam bentuk output Analog maupun Digital. Suhu memiliki pengaruh besar pada proses yang terjadi di dalam air. Suhu air buangan (limbah) umumnya akan lebih tinggi dari pada suhu pada air murni. Hal ini karena pada air buangan (limbah) terjadi proses biodegradasi. Biodegradasi adalah proses pemecahan zat melalui aksi mikroorganisme (seperti bakteri atau jamur) yang dapat menyebabkan suhu air naik. Suhu air akan mempengaruhi laju reaksi kimia. (Ratnawati, 2011).

Untuk percobaan ini, sensor temperatur yang digunakan adalah DS18B20. Sensor DS18B20 merupakan komponen sensor suhu yang memiliki kemampuan tahan air (*waterproof*). Sensor ini sangat cocok digunakan untuk mengukur temperatur pada tempat yang basah dan sulit untuk dijangkau. Sensor keluaran *Dallas Semiconductor* ini memiliki keluaran digital sehingga tidak membutuhkan rangkaian ADC, serta akurasi nilai suhu dan kecepatan pengukuran memiliki kestabilan yang jauh lebih baik dari sensor LM35DZ. Pembacaan suhu pada sensor ini menggunakan *protocol 1 wire communication*.



Gambar 2. Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 memiliki 3 pin yang terdiri dari +5V, *Ground* dan *Data Input/Output*. Sensor ini merupakan sensor yang sangat praktis karena hanya membutuhkan satu pin I/O saja untuk bisa bekerja dengan mikrokontroler. Berikut adalah spesifikasi sensor suhu DS18B20.

- a. Tegangan operasi 3 V sampai 5 V *power/data*
- b. Suhu terukur -55°C sampai 125°C
- c. Tingkat akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada suhu -10°C sampai 85°C
- d. Kecepatan pengukuran 750ms
- e. Bahkan stainless steel dengan diameter 6mm dan panjang 35mm
- f. Kaki *interface* VCC, GND, dan DATA

2.4.2. Sensor EC Meter

Sensor EC adalah komponen yang digunakan untuk menentukan kadar EC suatu larutan. Batang sensor memiliki elektroda yang dapat mengukur jumlah ion yang terkandung dalam larutan. Kandungan ion dalam larutan sebanding dengan konsentrasi EC, dan semakin banyak ion mineral terlarut, semakin besar konduktivitas larutan. Sensor EC ini terhubung ke mikrokontroler melalui pin konektor, kemudian akan disinkronkan dengan software Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman Arduino agar alat bekerja sesuai dengan perintah yang kita masukkan (Frank, 2001).

Sensor EC meter yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi berikut:

- a. Tegangan operasi 5V
- b. Rentan pengukuran 1mS/cm – 20 mS/cm
- c. Suhu operasi 5 – 40 oC
- d. panjang kabel 60cm
- e. konektor BNC

Conductivity meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur konduktivitas yaitu alat/ instrument yang berfungsi untuk mengukur konduktivitas sebuah larutan. Nilai konduktivitas merupakan indikator untuk mengukur konsentrasi total elektrolit dalam air. Kandungan elektrolit, terutama garam terlarut dalam air, terkait dengan konduktivitas air (Frank, 2001). Sensor Ec Meter dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sensor EC Meter

2.4.3. Sensor *Turbidity*

Sensor *Turbidity* digunakan untuk mendeteksi kualitas air dengan cara mengukur tingkat kekeruhannya. Dalam pendeteksiannya, sensor ini menggunakan cahaya untuk mendeteksi partikel yang tertahan didalam air dengan cara mengukur transmisi cahaya dan tingkat penghamburan cahaya yang berubah sesuai dengan jumlah TSS (*Total Suspended Solids*). Dengan meningkatnya TSS, maka tingkat kekeruhan cairan juga meningkat. Turbidity Sensor (Kekeruhan Air) biasa digunakan untuk mengukur kualitas air sungai, air limbah, instrumentasi dan control kolam dan pengukuran yang dilakukan di laboratorium (Malvino, 1985).



Gambar 4. Sensor *turbidity*

2.4.4. 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. Prinsip kerja sensor pH yaitu pada elektrode kaca yang memiliki ujung berbentuk bulat (*bulb*) yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran ion positif (H^+) (Astria, 2014).

Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas (membrane gelas) yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang tidak diketahui. 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*. 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, serata menentukan bentuk zat didalamnya (Gazali dkk.,2013).



Gambar 5. Sensor pH

2.4.5. Sensor *Dissolved Oxygen* (DO)

DO meter adalah alat untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Alat ini mengadopsi prinsip pengukuran fluoresensi, tidak mengonsumsi oksigen, dan tidak memerlukan elektrolit. Rentang pengukuran oksigen terlarut adalah 0~20mg/L. Pemancar suhu internal dengan fungsi kompensasi suhu otomatis. 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. Sensor *dissolved oxygen* (DO) akan mendeteksi kadar oksigen yang terlarut didalam air dan akan dikirimkan ke arduino sebagai nilai input dan sekaligus menjadisyntah perintah untuk meng on-off kan perangkat outputnya (Salmin, 2000).



Gambar 6. DO Meter

2.5. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan-bahan organik di dalam air. Pengujian BOD dibutuhkan untuk menentukan beban polutan akibat air limbah perumahan maupun industri. Penguraian bahan organik diartikan bahwa

bahan organik dibutuhkan oleh organisme sebagai makanan dan energinya dari proses oksidasi. Oksigen yang dikonsumsi dalam uji BOD ini dapat diketahui dengan menginkubasi air pada suhu 20°C selama lima hari (Ratnawati, 2011).

Untuk penguraian sempurna bahan organik pada suhu 20°C dibutuhkan waktu lebih dari 20 hari, tetapi agar lebih praktis diambil waktu lima hari sebagai standar. Inkubasi 5 hari tersebut hanya dapat mengukur sekitar 68% dari total BOD. BOD juga merupakan kebutuhan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan zat-zat organik dalam air. Semakin tinggi nilai BOD, semakin sulit bagi makhluk air yang membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup (Ratnawati, 2011).

Biochemical Oxygen Demand (BOD) menjadi salah satu parameter paling penting daripada yang lainnya dalam pengolahan air limbah karena menggambarkan suatu pengukuran pendekatan jumlah biokimia yang terdegradasi di perairan. Hal ini didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang diperlukan oleh proses mikroorganisme aerob untuk mengoksidasi menjadi bahan organik. Pengukuran BOD juga memberikan gambaran yang lebih spesifik dan sensitif tentang tingkat pencemaran organik dalam air sehingga menjadi parameter utama dalam pemantauan limbah sawit. Selain dapat menentukan beban pencemaran akibat air buangan, BOD juga dapat mendesain sistem pembuangan secara biologis bagi air tercemar. Pengolahan biologis merupakan penguraian bahan organik yang terkandung dalam air limbah oleh jasad renik/ bakteri sehingga menjadi bahan kimia sederhana berupa unsur-unsur dan mineral yang siap dan aman dibuang ke lingkungan (Agnes, 2005).

2.5.1 BOD₀

BOD₀ (biasanya dibaca sebagai "BOD nol" atau "BOD nol hari") yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) yang diukur pada saat awal atau pada saat sampel air pertama kali diambil, sebelum dimulainya periode inkubasi selama 5 hari dalam pengujian BOD standar. Pengukuran BOD₀ memberikan perkiraan awal atau baseline dari konsentrasi bahan organik yang larut dalam air (seperti

gula, protein, dan asam amino) yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme selama periode inkubasi 5 hari. Ini memberikan gambaran tentang tingkat bahan organik yang ada pada awal pengujian sebelum mikroorganisme mulai menguraikan bahan organik tersebut.

Pentingnya BOD_0 dalam pengujian BOD adalah sebagai acuan awal untuk menghitung BOD_5 (Biochemical Oxygen Demand setelah 5 hari inkubasi). Perbedaan antara BOD_0 dan BOD_5 memberikan gambaran tentang seberapa cepat mikroorganisme dapat menguraikan bahan organik dalam air dan seberapa besar permintaan oksigen yang dibutuhkan selama periode waktu tertentu. Dalam praktiknya, BOD_0 sering kali tidak dilaporkan secara terpisah dari BOD_5 dalam laporan hasil pengujian BOD, tetapi pengukuran ini penting untuk analisis yang lebih dalam terhadap proses dekomposisi bahan organik dalam air dan dampaknya terhadap kualitas air (Atima, 2015).

2.5.2 BOD_5

BOD_5 (*Biochemical Oxygen Demand 5*) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air selama periode inkubasi 5 hari pada suhu 20°C . Ini adalah indikator dari kualitas air terutama terkait dengan keberadaan bahan organik terlarut. Semakin tinggi BOD_5 , semakin tinggi tingkat pencemaran organik dalam air. BOD_5 adalah indikator penting dalam menilai kualitas air, karena tingkat bahan organik yang tinggi dapat mengurangi ketersediaan oksigen bagi organisme air lainnya, seperti ikan dan makhluk air lainnya. Ini juga mempengaruhi proses alami dalam ekosistem air, seperti proses dekomposisi dan siklus nutrisi. Pengujian BOD_5 umum dilakukan oleh badan lingkungan dan laboratorium untuk mengukur dampak limbah organik terhadap kualitas air dan memastikan bahwa air yang dibuang atau yang ada dalam sumber air tetap memenuhi standar yang ditetapkan untuk kehidupan akuatik dan penggunaan manusia (Atima, 2015).

2.5.3 Perbedaan BOD₀ dan BOD₅

Perbedaan antara BOD₀ (BOD nol) dan BOD₅ (BOD 5 hari) terletak pada waktu inkubasi dan tujuan pengukuran dalam pengujian Biochemical Oxygen Demand (BOD):

1. Waktu Inkubasi:

- **BOD₀**: Mengacu pada *Biochemical Oxygen Demand* yang diukur pada saat awal atau saat sampel air pertama kali diambil, sebelum dimulainya periode inkubasi selama 5 hari.
- **BOD₅**: Mengacu pada *Biochemical Oxygen Demand* yang diukur setelah inkubasi selama 5 hari pada suhu 20°C.

2. Tujuan Pengukuran:

- **BOD₀**: Memberikan perkiraan awal atau baseline dari konsentrasi bahan organik yang larut dalam air sebelum mikroorganisme mulai menguraikannya selama periode inkubasi.
- **BOD₅**: Memberikan gambaran tentang jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terlarut dalam air selama 5 hari inkubasi pada suhu yang diatur.

3. Penggunaan dan Interpretasi:

- **BOD₀**: Digunakan sebagai referensi awal dalam pengujian BOD untuk memahami konsentrasi awal bahan organik dan membandingkannya dengan BOD₅ untuk mengevaluasi kecepatan dan efisiensi dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme.
- **BOD₅**: Digunakan sebagai ukuran utama dalam menilai dampak limbah organik terhadap kualitas air. Perbedaan antara BOD₀ dan BOD₅ memberikan informasi tentang berapa banyak bahan organik yang telah diuraikan selama periode inkubasi 5 hari, serta memungkinkan perhitungan nilai BOD akhir yang digunakan dalam penilaian kualitas air.

Dengan demikian, BOD_0 dan BOD_5 adalah parameter yang saling melengkapi dalam pengujian BOD untuk mengevaluasi kualitas air terkait dengan keberadaan bahan organik terlarut dan dampaknya terhadap ketersediaan oksigen di dalam air.

2.5.4 Analisis BOD dalam Pengolahan Limbah

Biochemical Oxygen Demand (BOD) menjadi salah satu parameter penting dalam pengolahan air limbah dan menggambarkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik. Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, melainkan hanya mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik tersebut. Prinsipnya pengukuran BOD yaitu sejumlah sampel uji ditambahkan kedalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari (Wulandari, 2018).

Adapun tujuan dari analisis BOD dalam pengolahan limbah sebagai berikut :

1. BOD penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologi,
2. Untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah,
3. Untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah,
4. Untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah (Santoso, 2018).

2.5.5. Dampak BOD

Biochemical Oxygen Demand (BOD) memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, terutama dalam konteks limbah industri seperti limbah sawit. Berikut adalah beberapa dampak utama dari tingginya BOD dalam lingkungan:

1. Penurunan Kadar Oksigen

Tingginya tingkat BOD dalam air menunjukkan adanya banyak bahan organik yang perlu diuraikan oleh mikroorganisme. Proses ini membutuhkan banyak oksigen, yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air. Penurunan kadar oksigen ini dapat menyebabkan kondisi anoksik atau hipoksik di dalam air, yang berpotensi membahayakan kehidupan akuatik.

2. Eutrofikasi

Peningkatan BOD dalam air dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu kondisi di mana air menjadi terlalu kaya nutrisi, terutama fosfor dan nitrogen. Hal ini dapat menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan, pembentukan alga toksik, dan penurunan kualitas air secara keseluruhan. Eutrofikasi juga dapat menyebabkan kematian massal ikan dan gangguan pada ekosistem perairan.

3. Kematian Biota Air

Penurunan kadar oksigen dan kondisi eutrofikasi yang disebabkan oleh tingginya BOD dapat menyebabkan kematian massal biota air, termasuk ikan, krustasea, dan organisme akuatik lainnya. Kehilangan keanekaragaman hayati ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan dan mengurangi produktivitas perikanan.

4. Pengaruh Terhadap Kesehatan Manusia

Limbah dengan tingkat BOD yang tinggi menandakan tingginya kandungan mikroorganisme. Kelompok *coliform*, *Escherichia coli*, *Streptococcus*, dan *Staphylococcus* terkandung di dalam BOD dapat membawa potensi bahaya bagi kesehatan manusia. Air yang tercemar oleh limbah organik dapat menyebabkan penyakit infeksi saluran pernapasan dan penyakit kulit jika digunakan untuk keperluan mandi, mencuci, atau konsumsi.

Oleh karena itu, pengendalian dan pemantauan tingkat BOD dalam limbah industri, termasuk limbah sawit, sangat penting untuk melindungi lingkungan perairan dan kesehatan manusia. Upaya pengelolaan limbah yang efektif dan

penggunaan teknologi pengolahan yang canggih diperlukan untuk mengurangi dampak negatif BOD terhadap lingkungan, (Jones dalam Salmin, 2005).

2.6. Metode Pengukuran BOD

Berdasarkan *American Public Health Association* (APHA) metode 5210, uji BOD dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu titrasi, metode dilusi dan metode respirometrik. Metode titrasi yang dilakukan adalah secara Iodometri, sedangkan metode dilusi dilakukan dengan menggunakan DO-meter. Metode pengukuran BOD pada penelitian kali ini menggunakan metode dilusi. Secara umum, uji BOD dilakukan dengan menginkubasi sampel pada suhu 20°C selama 5 hari dan disebut sebagai BOD₅. Prinsip metode dilusi didasarkan pada perbandingan nilai oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*) sebelum dan setelah proses inkubasi. Cara kerja pengukuran BOD yaitu sejumlah sampel uji ditambahkan kedalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20°C ± 3°C selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari. Nilai BOD kemudian dihitung dengan menggunakan rumus. Dalam hal ini, pengujian BOD dengan menggunakan DO meter sangat berguna apalagi jika jumlah sampel yang dianalisa terlampaui banyak. DO meter merupakan rangkaian alat yang terdiri dari elektroda *Dissolved Oxygen* (DO) dan meter pembaca.

Beberapa analis dan operator mungkin menginginkan uji yang optimal namun dengan durasi waktu yang lebih efisien, oleh sebab itu ada beberapa solusi bahan yang dapat digunakan. Kekurangan dari analisis BOD adalah memerlukan waktu yang lama untuk mendapatkan nilainya (Jones dalam Salmin, 2005).

2.7. Kapsul Nutrisi

Dalam konteks penelitian BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), kapsul nutrisi mengacu pada bahan organik yang terlarut dalam air dan menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme yang melakukan proses dekomposisi dalam pengujian BOD. Dalam pengujian BOD, sampel air biasanya diinkubasi dalam kondisi yang menguntungkan untuk pertumbuhan mikroorganisme, seperti suhu dan kelembaban yang sesuai, serta tercukupinya nutrisi untuk mendukung aktivitas mikroorganisme. Bahan organik yang terkandung dalam air (misalnya, gula, protein, asam amino, dll.) berfungsi sebagai kapsul nutrisi bagi mikroorganisme yang hadir dalam air tersebut.

Tujuan dari pengujian BOD adalah untuk mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme dalam proses dekomposisi bahan organik ini. Oleh karena itu, dalam konteks penelitian BOD, fokusnya lebih pada memahami bagaimana bahan organik tersebut memberikan nutrisi kepada mikroorganisme dan bagaimana proses dekomposisi ini mempengaruhi kualitas air. Jadi, kapsul nutrisi dalam penelitian BOD dapat dianggap sebagai bahan organik yang terlarut dalam air dan menyediakan nutrisi bagi mikroorganisme yang bertanggung jawab dalam proses dekomposisi yang diukur dalam pengujian BOD (Badan Standarisasi Nasional, 2009).

2.8. Perbedaan BOD dan COD

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik. BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Beberapa peneliti menambahkan bahwa pengertian BOD tidak hanya menyatakan jumlah oksigen, tetapi juga menyatakan jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

Sedangkan COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Seluruh bahan organik akan diurai karena pada pengukuran COD ini menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Nilai COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada.

Parameter BOD dan COD ditetapkan menjadi salah satu parameter penentu baku mutu limbah perairan meskipun ada beberapa hal perlu mendapat perhatian bagi pelaksana di lapangan. Pengukuran BOD memerlukan kecermatan dan ketelitian tertentu. Sampel yang akan dianalisis ada kalanya perlu dilakukan penetralan pH, pengenceran, aerasi, atau penambahan populasi bakteri terlebih dahulu. Pengenceran dan/atau aerasi diperlukan agar masih cukup tersisa oksigen pada hari ke lima.

Pengukuran BOD melibatkan mikroorganisme (bakteri) sebagai pengurai bahan organik, sehingga analisis BOD memerlukan waktu yang lama. Waktu oksidasi biokimia yang dilakukan oleh bakteri ini sangat dipengaruhi oleh suhu perairan. Pada metode standar, suhu yang digunakan pada analisis ini adalah suhu 20°C. Suhu rata-rata perairan di Indonesia 25 – 30°C sehingga hal ini akan mempengaruhi lamanya inkubasi dan aktivitas bakteri pengurai.

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks dibanding BOD. Proses pengukuran COD penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi dengan memanfaatkan kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel. Namun demikian sangat dimungkinkan dapat senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan juga ikut teroksidasi dan dihitung menjadi nilai COD. Dengan demikian dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit '*over estimate*' untuk gambaran kandungan bahan organik, (Jones dalam Salmin, 2005).

2.9. Parameter Air Limbah

Parameter air limbah perlu diketahui agar dapat ditentukan apakah air tersebut sudah tercemar dan dapat dikatakan air limbah. Menurut Kusnoputranto (2002), beberapa parameter yang digunakan dalam pengukuran kualitas air limbah antara lain adalah:

1. Kandungan zat padat

Yang diukur adalah dalam bentuk total solid, suspended solid, dan dissolved solid.

2. Kandungan zat organik

Salah satu penentuan zat organik adalah dengan mengukur BOD (Biochemical Oxygen Demand) dari air buangan. BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk melakukan dekomposisi aerobik bahan-bahan dalam larutan, dibawah kondisi waktu dan suhu tertentu (biasanya lima hari pada 20°C).

3. Kandungan zat anorganik

Beberapa komponen zat anorganik yang penting adalah nitrogen dalam senyawaan nitrat, fosfor, H₂O dalam zat beracun, dan logam berat seperti Hg, Cd, Pb, dan lainnya.

4. Gas

Adanya gas N₂, O₂, dan CO₂ pada air limbah berasal dari udara yang larut kedalam air sedangkan gas H₂S, NH₃, dan CH₄ berasal dari proses dekomposisi air limbah. Oksigen dapat diketahui dengan mengukur DO (*Dissolved Oxygen*). Makin rendah DO maka makin tinggi kandungan zat organiknya.

5. Kandungan bakteriologis

Untuk menganalisis bakteri patogen dalam air limbah cukup sulit sehingga parameter mikrobiologis digunakan perkiraan terdekat jumlah golongan *coliform* °C (MPN/*Most Probably Number*) dalam sepuluh mili limbah serta perkiraan terdekat jumlah golongan coliform tinja dalam seratus mili air limbah.

6. pH

Pengukuran pH berkaitan dengan proses pengolahan biologis karena pH yang kecil akan lebih menyulitkan, disamping akan mengganggu kehidupan dalam air bila dibuang ke perairan terbuka.

7. Suhu

Suhu air limbah umumnya tidak banyak berbeda dengan suhu udara, tapi lebih tinggi dari suhu air minum (Sugiharto, 2007).

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, *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta minyak dan lemak.
2. Parameter Biokimia, meliputi : *Biochemical 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, bentos dan plankton.

Parameter Pencemar Limbah Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan 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*.

2.10. Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Jaringan Saraf Tiruan (JST) adalah sistem pemrosesan informasi yang memiliki ide dari cara kerja menyerupai jaringan saraf biologis (JSB). Jaringan Saraf Tiruan tercipta sebagai penalaran secara umum suatu model matematis pemahaman manusia (*human cognition*). Jaringan Saraf Tiruan memiliki 3 lapisan (*layer*) yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*) dengan banyak node sebagai unit pemrosesan informasi (Seo, 2013). Jaringan Saraf Tiruan tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis yang didasarkan atas asumsi sebagai berikut :

1. Neuron merupakan elemen sederhana yang digunakan sebagai tempat pemrosesan informasi terjadi.
2. Sambungan penghubung merupakan tempat isyarat mengalir di antara sel syaraf atau neuron.
3. Sambungan pnghubung memiliki bobot yang bersesuaian.
4. Fungsi aktivasi terhadap isyarat hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan isyarat keluaran disebut sel syaraf (Wuryandari & Afriyanto, 2012).

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 karenajaringan saraf ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran (Prahesti, 2013).

Jaringan Saraf Tiruan sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan maksud bahwa:

1. Pemroses 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.

Secara teori JST minimal memiliki 3 unit pengolah, diantaranya adalah :

1. Input layer

Lapisan unit ini menyatakan nilai sebuah pola yang digunakan untuk masukan pada jaringan.

2. Hidden Layer

Lapisan ini merupakan lapisan penghubung antara input layer dan output layer dimana output yang dikeluarkan tidak secara langsung diamati. Pada kasus-kasus tertentu, pada jaringan memungkinkan memiliki hidden layer lebih dari satu.

3. Output Layer

Merupakan lapisan terakhir pada JST yang berfungsi untuk tempat

keluaran. Pada beberapa penerapan, unit keluaran digunakan untuk merepresentasikan sebuah pola.

Pada metode JST, terdapat beberapa fungsi aktivasi yang dapat diterapkan, diantaranya adalah fungsi aktivasi Sigmoid Biner, Sigmoid Bipolar dan Tangen Hiperbolik. Karakteristik yang harus dimiliki oleh fungsi aktivasi tersebut adalah kontinu, diferensiabel dan tidak menurun secara monoton (Puspitaningrum, 2006). Pada penelitian ini, digunakan fungsi aktivasi sigmoid biner. Fungsi aktivasi ini merupakan fungsi aktivasi yang paling banyak digunakan karena yang paling mudah diferensiasinya.

Algoritma pelatihan yang populer digunakan pada Jaringan Syaraf Tiruan untuk memperbaiki bobot adalah algoritma Perambatan Mundur (*backpropagation*). Algoritma ini terdiri dari dua tahapan utama, yakni tahapan perambatan maju (*feedforward*) dan tahapan perambatan mundur (*backpropagation*). Pada tahapan perambatan mundur, bobot-bobot yang ada pada jaringan diperbaiki. Perbaikan dimulai dari bobot yang berada diantara lapisan output ke hidden layer kemudian bergerak mundur untuk memperbaiki bobot yang berada diantara hidden layer dan input layer.

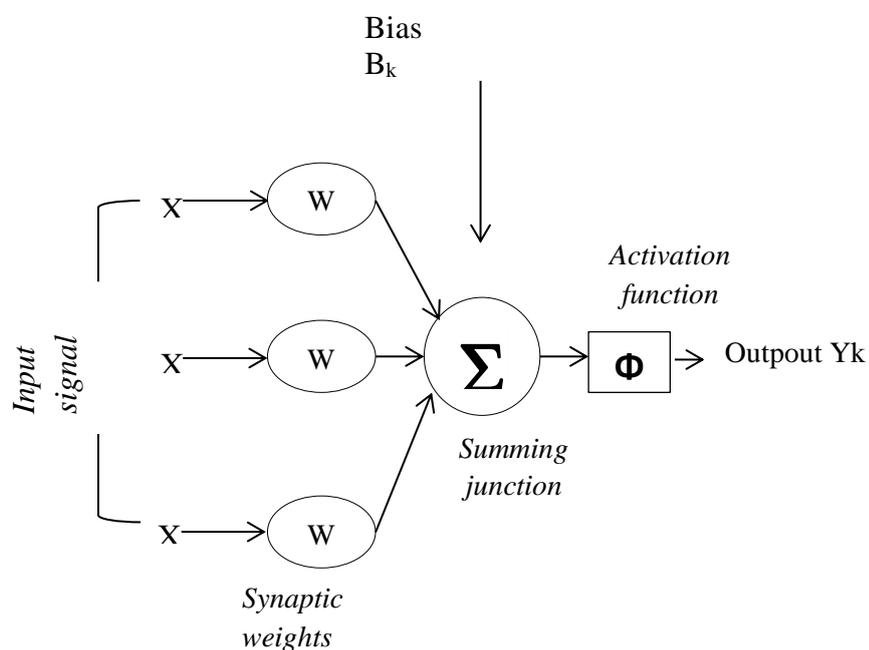
Setiap perubahan bobot yang didapatkan ditujukan untuk mengurangi besarnya kesalahan (*error*). Setelah bobot diperbaiki, maka bobot-bobot tersebut dialirkan kembali ke jaringan melalui tahapan perambatan maju (*feedforward*). Iterasi dari kedua proses tersebut terus menerus dilakukan pada semua dataset pelatihan sampai kondisi berhenti terpenuhi. Fase feedforward merupakan fase dimana input dialirkan ke dalam jaringan untuk kemudian diproses dan menghasilkan output (input-proses-output). Proses ini berjalan searah dimulai dari inputlayer kemudian melalui hidden layer untuk kemudian diproses selanjutnya dan masuk ke outputlayer untuk dihitung hasil keluaran dari jaringan serta dihitung selisih errornya.

2.10.1. Model Jaringan Saraf Tiruan

Pengertian model jaringan saraf tiruan merupakan model matematis yang

mensimulasikan struktur dan fungsi dari jaringan saraf biologis. 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 (Hermawan, 2006). Pada jaringan syaraf 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.

Adapun pengembangan model JST dilakukan dengan cara mensimulasikan berbagai variasi arsitektur jaringan untuk kemudian mengujinya sehingga diperoleh nilai R^2 terbesar dan RMSE terkecil. Umumnya prinsip kerja JST adalah merambatkan sinyal informasi dari node satu ke node lainnya melalui jalur penghubung pada lapisan yang saling berdekatan.



Gambar 7. Elemen JST

Menurut (Wahyu, 2021) menyatakan salah satu metode Jaringan Syaraf Tiruan adalah *backpropogation*. *JST backpropogation* merupakan algoritma yang

digunakan untuk melatih jaringan. Pembentukan algoritma digunakan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan, serta membuat jaringan mampu memberikan respon yang benar terhadap pola masukan (*input*) yang serupa dengan pola yang dipakai selama pelatihan. JST backpropagation digunakan untuk meniru ide dan cara kerja dari otak manusia, yang memiliki kemampuan untuk belajar memahami hal baru dan beradaptasi. 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 (Hermawan, 2006). 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).

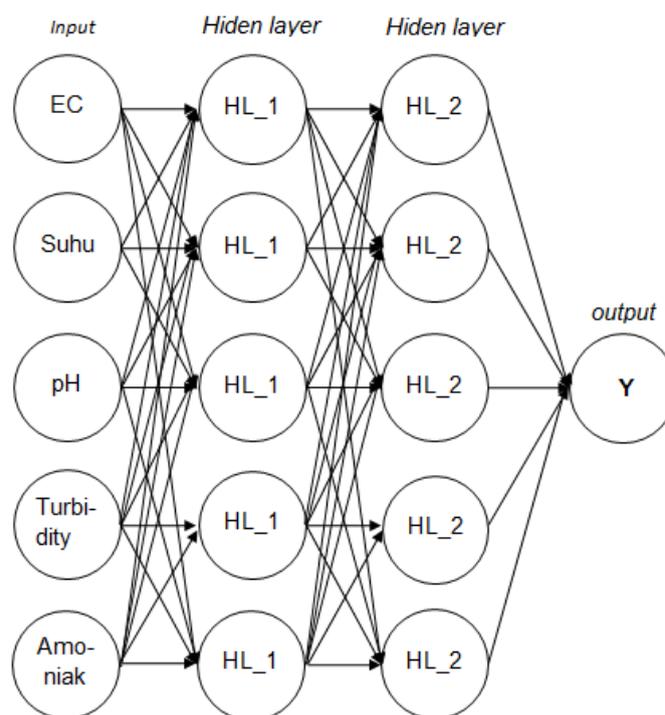
Arsitektur paling dasar dari JST adalah JST satu lapisan terdiri dari beberapa unit input dan satu unit output. Biasanya di dalam unit input ditambah suatu variabel yaitu bobot dan bias. Dimana :

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
3. Jika dibelakang nilai ada e+00 berarti 100 atau nilainya dikali 1 (tetap)
4. Jika dibelakang nilai ada e+01 berarti 101 atau nilai dikali 10
5. Persamaan fungsi aktivasi logsig adalah : $y = 1/(1+\exp(-x))$
6. Persamaan fungsi aktivasi tansing adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$
7. Persamaan fungsi aktivasi purelin adalah : $y = x$

Seperti halnya otak manusia, jaringan syaraf juga terdiri dari beberapa neuron, dan terdapat hubungan antara neuron-neuron tersebut. Pada Gambar 8. menunjukkan struktur neuron yang mana Neuron-neuron akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarannya menuju ke neuron-neuron yang lain. Pada jaringan syaraf hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut tersimpan pada suatu nilai tertentu pada bobot tersebut. keduanya atau mungkin lebih untuk mendapatkan redundansi data. Ini diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang akan datang.

Hasil penjumlahan ini kemudian dibandingkan dengan suatu Informasi yang disebut dengan masukkan dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu. Masukkan nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap neuron. Pada jaringan syaraf, neuron-neuron akan dikumpulkan dalam lapisan –lapisan yang disebut dengan lapisan neuron. Biasanya neuron pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan sebelum atau sesudahnya terkecuali lapisan masukan dan lapisan keluaran.

Informasi yang diberikan pada jaringan syaraf akan dirambatkan dari lapisan ke lapisan, melalui dari lapisan masukan sampai lapisan keluaran melalui lapisan tersembunyi. Algoritma pembelajaran menentukan informasi akan dirambatkan ke arah mana. Jaringan dengan lapisan banyak (*multilayer net*) merupakan jaringan yang memiliki satu atau lebih lapisan tersembunyi. Jaringan ini memiliki kemampuan memecahkan masalah yang rumit dan pada beberapa kasus dianggap lebih baik karena memiliki kemungkinan untuk memecahkan masalah yang sebelumnya tidak dapat dipecahkan oleh jaringan dengan satu layer.



Gambar 8. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan (*multilayer net*)

2.11. 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	Tahun	Topik Penelitian	Metode dan Hasil
1.	Alishya Purrya , Muliadib , Zulfiana	2019	Identifikasi Sebaran Limbah Kelapa Sawit Di Desa Kuala Mandor A Menggunakan Metode Konduktivitas Elektromagnetik	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan konduktivitas elektromagnetik yaitu konfigurasi VCP dan HCP. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Sebaran limbah kelapa sawit ini teridentifikasi menyebar ke arah Timur, Tenggara, dan Barat

				Daya sejauh 25 meter hingga 65 meter dari kolam penampungan limbah kelapa sawit.
2.	Bayu Dwi Prasetyo	2017	Rancang Bangun Sitem Kendali Otomatis pH Limbah Cair Industri Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE). Hasil penelitian ini terealisasinya alat kontrol otomatis pH berdasarkan variabel suhu dan pH.
3.	Anis Syafira Pulungan	2017	Analisis Pengelolaan Limbah Cair Kelapa Sawit Di Pabrik Pt. X Tahun 2017	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah survey yang bersifat deskriptif. Hasil penelitian pada penggunaan sistem kolam biologi pabrik kelapa sawit PT. X tidak optimal dalam proses pengolahan dan tidak rutinnya melakukan pengerukan sehingga limbah terbuang ke badan air.
4.	Rahmah Aisyah Puteri Nasution	2018	Analisis Pengelolaan Limbah Cair Kelapa Sawit di PT. Hindoli Mill Sungai Lilin	Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya penerapan prinsip produksi bersih yaitu elimination, reduce, dan recycle limbah tetapi tidak ada reuse dan recovery limbah cair.
5.	Rahardjo Petrus Nugro	2018	Teknologi Pengelolaan Limbah Cair yang Ideal Untuk Pabrik Kelapa Sawit	Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

				Urut-urutan proses pengolahan limbah cair yang lengkap dan ideal untuk suatu PKS adalah pemisahan lemak, pengasaman dan pendinginan, penetralan, penguraian anaerobik, penguraian aerobik, pengendapan, stabilisasi dan sirkulasi lumpur aktif.
6.	Rahardjo Pertus Nugro	2016	Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	Metode penelitian yang digunakan yaitu studi literatur, survey lapangan dan analisa serta evaluasi dalam perbandingan berdasarkan hasil survey lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan limbah cair PKS (Pabrik Kelapa Sawit) sistem anaerobik telah menunjukkan hasil yang baik.
7.	Dini Oktavia	2018	Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pengaturan Nilai EC (Electrical Conductivity) Pada Tanaman Hidroponik Berbasis Mikrokontroler dan Android	Metode penelitian yang digunakan yaitu metode hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sistem seluler memproses ketersediaan air dan pupuk secara langsung sesuai dengan jumlah penggunaan pupuk yang paling sedikit melalui nilai ECnya.
8.	Verawaty	2015	Analisis Kadar BOD dan COD pada Pengolahan Limbah Cair di Pabrik Kelapa Sawit PT. Lestari Tani Teladan (LTT)	Metode penelitian ini menggunakan desain deskriptif dengan jenis penelitian observasional. Teknik pengambilan sampel menggunakan

			di Sulawesi Tengah	metode sesaat (<i>grab sampling</i>). Analisisnya menggunakan uji kandungan BOD 5 dan uji kandungan COD pada limbah cair. Hasil penelitian membuktikan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit di PT. LTT yang belum memenuhi standar baku mutu kualitas limbah cair bagi kegiatan industri kelapa sawit.
9.	Wayan Putra Gorangga	2020	Rancang Bangun Alat Kendali Suhu Otomatis Reaktor Pupuk Cair Organik dari Limbah Padat Kelapa Sawit Berbasis Mikrokontroler	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah uji RMSE. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai akuransinya akurat dan menghasilkan kinerja yang stabil.
10.	Finsha Alfany Putra	2017	Rancang Bangun Sistem Kendali <i>Electrical Conductivity</i> (EC) Otomatis Limbah Cair Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah uji RMSE. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Sistem kendali EC otomatis bekerja dengan baik karena sesuai dengan kriteria desain yang ditentukan

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 VII Bekri, Lampung Tengah, Provinsi Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Tabung BOD *winkler*, digunakan sebagai wadah dalam melakukan uji BOD.
2. *Magnetic stirrer*, digunakan untuk mengaduk dan memanaskan larutan satu dengan larutan lain dengan tujuan larutan tersebut homogen.
3. *Stir bar*, magnet batang yang digunakan sebagai pengaduk campuran larutan untuk membantu homogenisasi.
4. Thermometer suhu, digunakan sebagai kalibrator pengukuran suhu pada limbah cair kelapa sawit.
5. Sensor PH meter, digunakan sebagai pengukuran asam dan basa pada limbah cair kelapa sawit.
6. Sensor suhu DS18B20, digunakan sebagai pengukur suhu pada limbah cair kelapa sawit.

7. Sensor *turbidity*, digunakan untuk mengukur kualitas air dengan mendeteksi tingkat kekeruhannya.
8. Sensor EC meter, digunakan sebagai pengukur konduktivitas listrik pada limbah cair kelapa sawit.
9. Sensor DO meter, digunakan sebagai pengukur kadar oksigen terlarut pada limbah cair kelapa sawit .
10. *Real Time Clock* (RTC), sebagai perangkat yang menerima dan menyimpan data *realtime* berupa deskripsi 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.
11. 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.
12. *Cool box*, sebagai tempat penyimpanan limbah cair kelapa sawit.
13. Inkubator khusus BOD, digunakan sebagai tempat penyimpanan larutan BOD yang sedang diinkubasi untuk menjaga suhu tetap stabil.
14. Pemanas air, digunakan sebagai alat pemanas larutan limbah cair kelapa sawit.
15. Multimeter, sebagai pengukur resistensi, tegangan, dan juga arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik.
16. Kabel jumper, sebagai penghubung dua komponen yang melibatkan arduino tanpa memerlukan solder.
17. *Breadboard*, sebagai tempat meletakkan kabel jumper.
18. Modul MMC, sebagai penyimpan data dari pengukuran sensor.
19. Botol plastik, sebagai tempat menyimpan limbah cair kelapa sawit.
20. Arduino Uno R3, suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328.
21. Mikrokontroler, sebagai pengolah masukan input output.
22. *Liquid Crystal Display* (LCD), untuk menampilkan hasil dari sensor.

23. Pipet volumetrik, digunakan untuk mengambil cairan dengan volume tertentu dengan ketelitian lebih tinggi.
24. *Bulb* pipet, digunakan untuk memindahkan sejumlah volume larutan.
25. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur volume campuran aquadest, kapsul nutrisi, dan cairan limbah cair kelapa sawit dengan tepat.
26. Gelas beaker, digunakan sebagai tempat mencampur cairan limbah cair kelapa sawit dengan aquadest dan kapsul nutrisi.
27. Program arduino, sebagai kendali dalam system control sensor yang di desain.
28. Matlab R2015a , digunakan sebagai software pemrograman, perhitungan, dan analisis yang digunakan dalam penerapan matematika.
29. Laptop yang terinstal *software* matlab, sebagai pemograman JST

3.2.2 Bahan

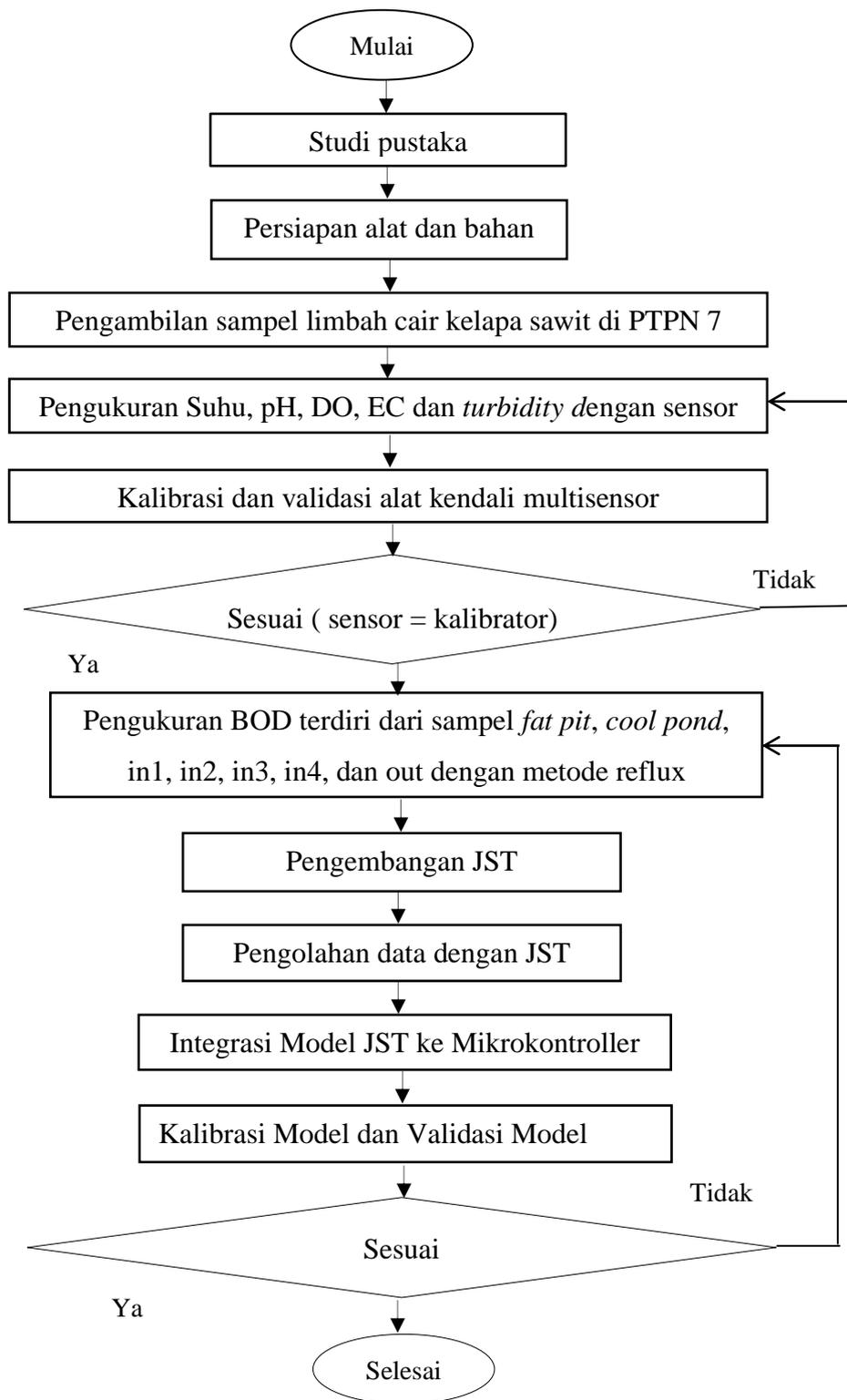
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquadest yang digunakan untuk pengenceran limbah cair kelapa sawit yang sangat pekat, Limbah cair kelapa sawit, kapsul nutrisi dan larutan benih bakteri yang dipakai sebagai campuran dalam proses analisis *Biochemical Oxygen Demand* berfungsi untuk memastikan bahwa pH sampel tidak jauh dari angka 8.

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 VII Bekri Lampung Tengah. Pengambilan sampel dilakukan 2 kali dalam seminggu pada 7 titik kolam yaitu fatpit, cooling pond, in 1, in 2, in 3, in 4, dan out. Analisis BOD dengan menggunakan metode dilusi, yang dilakukan dengan menggunakan DO-meter, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel pada awal pengambilan sampel, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut kembali

setelah sampel diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap yang sering disebut dengan DO5. Langkah terakhir perhitungan BOD yaitu mencatat selisih DOi dan DO5 ($DO_i - DO_5$) yang merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Pengukuran pH, suhu, *turbidity*, EC, DO, menggunakan alat multisensor kemudian dilakukan kalibrasi dan validasi sensor.

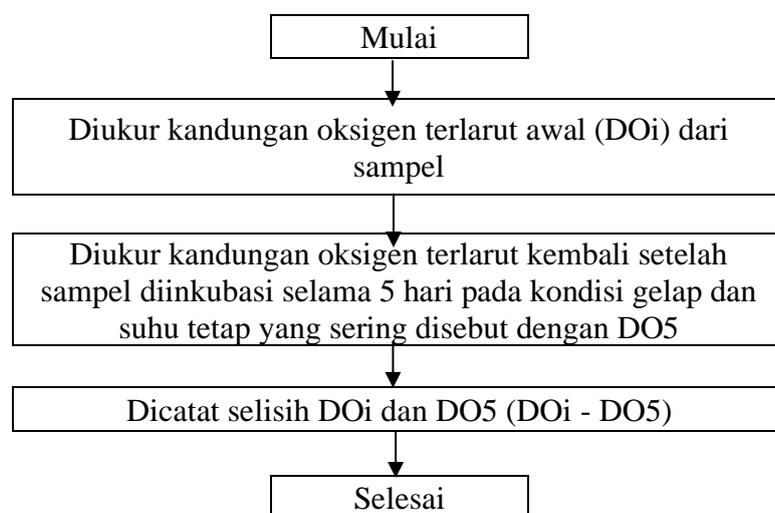
Pengolahan data menggunakan jaringan saraf tiruan dengan matlab dirancang dengan mengganti nilai node dan fungsi aktivasi. Untuk mendapatkan nilai R^2 terbesar dan nilai RMSE terkecil kemudia didapatkan nilai bobot dan bias ini digunakan sebagai perhitungan untuk membuat model matematika yang akan diintegrasikan ke dalam program arduino, untuk melakukan proses kalibrasi kedua dengan menggnakan 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 9.



Gambar 9. Prosedur Penelitian

3.4 Analisis Data

Pengukuran BOD pada penelitian ini menggunakan metode dilusi serta membandingkan hasil analisis BOD hari pertama dan hari kedua. Adapun langkah metode dilusi yaitu dengan menggunakan DO-meter, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari sampel pada awal pengambilan sampel, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut kembali setelah sampel diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap yang sering disebut dengan DO_5 . Langkah terakhir perhitungan BOD yaitu mencatat selisih DO_i dan DO_5 ($DO_i - DO_5$). Kalibrasi menggunakan hasil dari proses pengolahan data dari sinyal analog yaitu sensor suhu, pH, *turbidity*, EC, dan DO yang didapatkan secara periodik. Data pengukuran BOD yang sudah didapatkan dihubungkan melalui metode matematis dengan pengukuran dari hasil rancangan sensor. Diagram alir analisis data ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Analisis Data

3.5 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan selama 2 kali dalam satu minggu, yaitu di hari Selasa pengambilan sampel hari pertama langsung dilakukan analisis

dilaboratorium kemudian di hari Rabu menganalisis kembali untuk mengetahui perbedaan kadar BOD. Begitupun hari selanjutnya yaitu di hari Kamis pengambilan sampel dan menganalisis kembali keesokan harinya untuk mengetahui perbedaannya.

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, in 2, in 3, in 4, dan out :



Gambar 11. (a) Pengambilan sampel limbah (b) Hasil dari pengambilan limbah

3.6 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 dengan variasi berbeda sesuai pengenceran yang di butuhkan. Rentang pengenceran yaitu 0,0001 ml, 0,001 ml, 0,01 ml, 0,1 ml, 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml, 6 ml, 10 ml, 20 ml, 30 ml. Diambil menggunakan pipet ukur.
2. Ditambahkannya aquadest sampai tanda tera kedalam tabung ukur 1000 ml yang artinya sampai tanda 1000ml pada tabung ukur.
3. Dihomogenkan dengan cara di kocok dengan di pindahkan melalui tabung ukur 1000 ml dengan gelas beaker 1000 ml selama 10 kali bolak balik.

Berikut gambar dari pencampuran sampel limbah cair dengan aquadest



Gambar 12. Pencampuran sampel limbah cair dengan aquadest

3.7 Perhitungan BOD

Perhitungan *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* melibatkan beberapa langkah yang terstandar untuk menentukan jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam perhitungan BOD:

1. **Persiapan Sampel:** Ambil sampel air yang mewakili sumber air yang ingin diuji. Pastikan sampel diambil dengan cara yang representatif dan sesuai dengan prosedur pengambilan sampel yang tepat.
2. **Pengukuran BOD₀:** Lakukan pengukuran awal *Biochemical Oxygen Demand (BOD₀)* untuk mengetahui konsentrasi oksigen terlarut dalam sampel air sebelum dimulainya inkubasi. Catat nilai ini sebagai DO₀.
3. **Inkubasi:** Tempatkan sampel air dalam botol tertutup yang mengandung mikroorganisme dan kondisi inkubasi yang sesuai (biasanya pada suhu 20°C) selama 5 hari. Pastikan botol tertutup rapat untuk mencegah kebocoran oksigen dari luar.
4. **Pengukuran BOD₅:** Setelah 5 hari inkubasi, keluarkan sampel dan ukur kembali konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Catat nilai ini sebagai DO₅.
5. **Perhitungan:** Hitung BOD menggunakan formula berikut:

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5) - (\text{Blanko } DO_0 - DO_5)}{\text{Pengenceran}}$$

- DO₀ : Konsentrasi oksigen terlarut awal sebelum inkubasi (mg/L).
 - DO₅ : Konsentrasi oksigen terlarut setelah 5 hari inkubasi (mg/L).
 - Blanko DO₀ dan DO₅ : Konsentrasi oksigen terlarut pada Aquadest
 - Pengenceran: Jika sampel telah diencerkan sebelum pengukuran, faktor ini diperhitungkan untuk mengoreksi konsentrasi.
6. **Interpretasi:** Nilai BOD₅ yang dihasilkan menunjukkan jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air selama periode inkubasi 5 hari. Semakin tinggi nilai BOD₅, semakin tinggi konsentrasi bahan organik terlarut dalam air dan potensi pencemaran organik.

Perhitungan BOD ini penting dalam mengevaluasi kualitas air terutama terkait dengan dampak limbah organik, karena dapat memberikan gambaran tentang kemampuan air untuk mendukung kehidupan akuatik dan proses alami lainnya.

3.8 Mekanisme Kerja

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

3.9 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan hasil akuisisi data dari pengukuran suhu, pH, *Turbidity*, Amonia, EC, dan DO limbah aktual yang hasilnya didapatkan secara periodik. Pengukuran EC, suhu, *Turbidity*, Amoniak, 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 BOD aktual kemudian dihubungkan melalui metode matematis dengan data pengukuran suhu, EC, *Turbidity*, Amoniak, DO, dan pH dan metode matematis yang digunakan berupa metode matematika non-linear dan pendekatan jaringan syaraf 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.

3.10 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 :

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

Keterangan :

n = jumlah data

$\sum x$ = jumlah data

$x\sum y$ = 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 :

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

Keterangan :

n = jumlah data

e = nilai *error*

3.11 Tahapan Penggunaan Aplikasi MATLAB

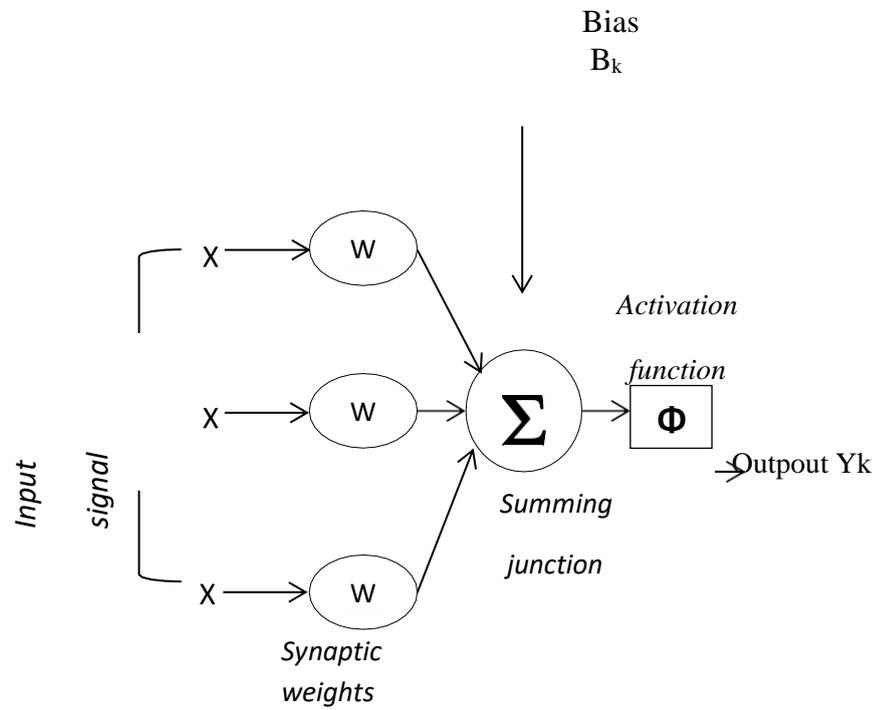
Tahapan dalam menggunakan aplikasi MATLAB terdiri dari beberapa langkah yang perlu dilakukan. Pada rancangan ini menggunakan *software* Matlab version R2015a dengan *toolbox* jaringan saraf tiruan untuk melakukan pengembangan model matematika yang nantinya akan diintegrasikan ke dalam mikrokontroler dengan bantuan *software* Arduino.

3.12 Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan

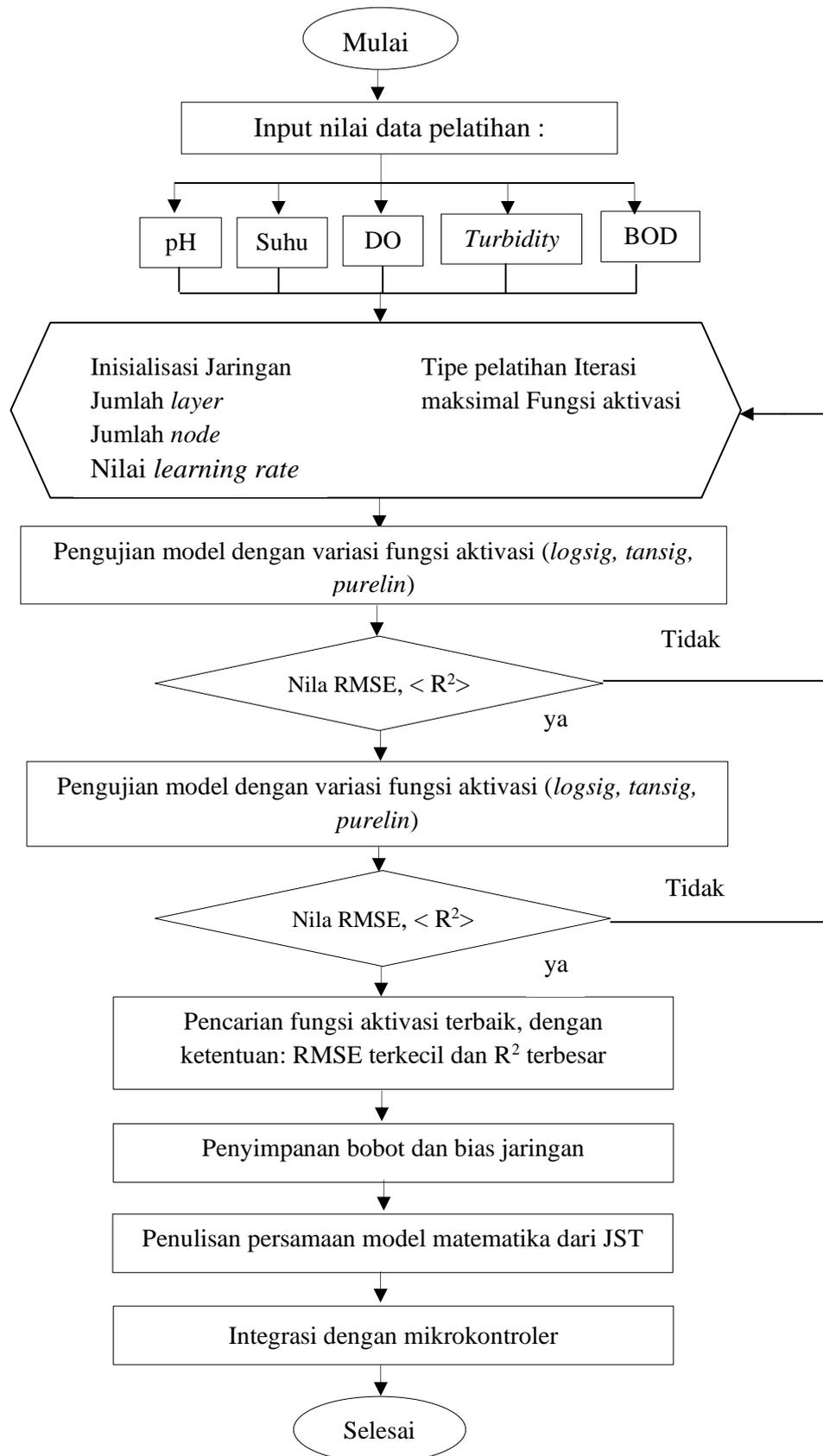
Tahap pertama dalam proses pengembangan model jaringan saraf tiruan adalah melakukan pelatihan terlebih dahulu. Tahap pelatihan memiliki tujuan untuk menghasilkan parameter-parameter JST dan bobot masing-masing lapisan yang paling sesuai yang nantinya digunakan dalam proses pengujian. Satu siklus pelatihan terdiri atas inisialisasi bobot awal, perhitungan nilai keluaran setiap lapisan dan penghitungan *error* yang terjadi. Tahap ini dimulai dengan membuka aplikasi matlab (R2015a). 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. Menurut Andrian 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 13.



Gambar 13. Elemen JST



Gambar 14. 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

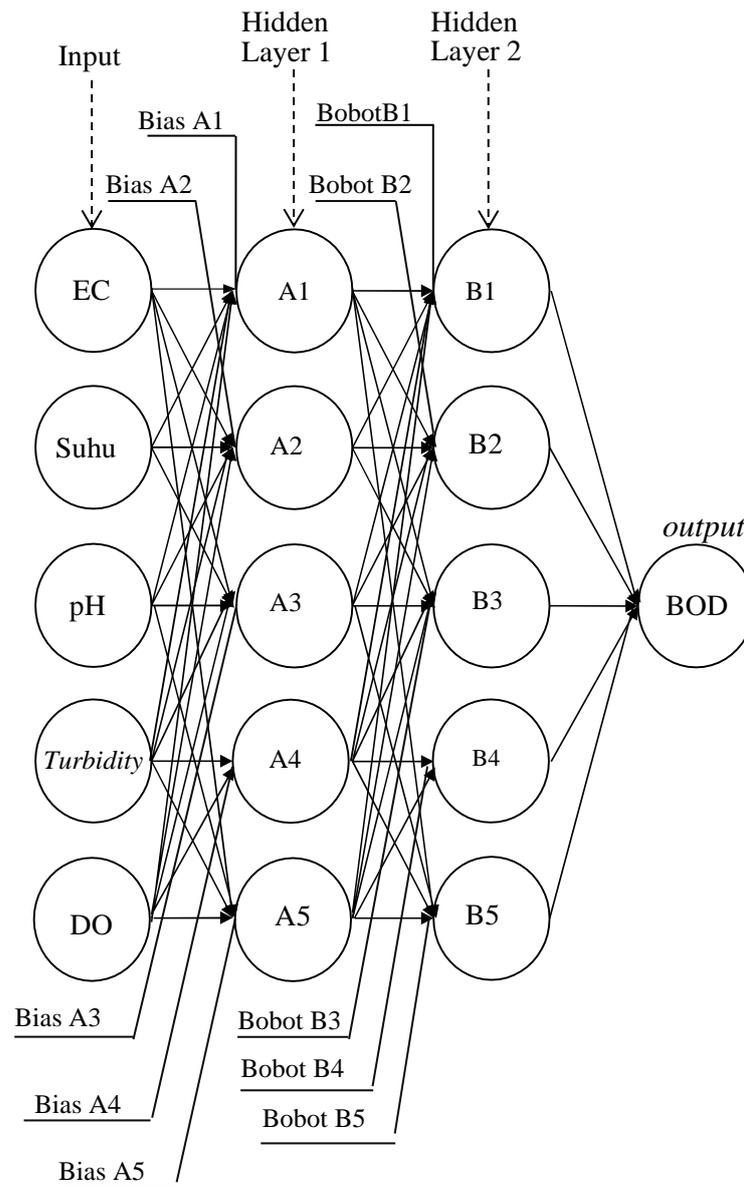
No	Aktivasi	Pengujian	
		R^2	RMSE
1	Logsig-logsig-logsig		
2	Logsig-logsig-tansig		
3	Logsig-tansig-logsig		
4	Logsig-tansig-tansig		
5	Tansig-logsig-logsig		
6	Tansig-tansig-logsig		
7	Tansig-tansig-tansig		
8	Tansig-logsig-tansig		
9	Logsig-tansig-purelin		
10	Logsig-logsig-purelin		
11	Tansig-logsig-purelin		
12	Tansig-tansig-purelin		
13	Logsig-purelin-logsig		
14	Logsig-purelin-tansig		
15	Tansig-purelin-logsig		
16	Tansig-purelin-tansig		
17	Purelin-logsig-logsig		
18	Purelin-logsig-tansig		
19	Purelin-tansig-logsig		
20	Purelin-tansig-tansig		
21	Purelin-purelin-purelin		
22	Purelin-purelin-tansig		
23	Purelin-purelin-logsig		
24	Purelin-tansig-purelin		
25	Purelin-logsig-purelin		
26	Logsig-purelin-purelin		
27	Tansig-purelin-purelin		

3.12.1 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 dibelakang nilai ada e+00 berarti 100 atau nilainya dikali 1 (tetap)
4. Jika dibelakang nilai ada e+01 berarti 101 atau 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 15. Model arsitektur jaringan saraf tiruan

3.13. Integrasi Model JST ke Mikrokontroler

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 memasukan 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, EC, DO, dan TB dengan aktivasi *Tansig-tansig-purelin* memiliki nilai RMSE sebesar 243,008 dan R^2 sebesar 0,9984. Variasi dengan input Suhu, EC, DO, dan TB dengan aktivasi *Tansig-tansig-tansig* memiliki nilai RMSE sebesar 817,004 dan R^2 sebesar 0,9814. Variasi dengan input Suhu, pH, DO, dan TB dengan aktivasi *Tansig-logsig-tansig* memiliki nilai RMSE sebesar 642,775 dan R^2 sebesar 0,9885. Variasi dengan input Suhu, pH, EC, dan TB dengan aktivasi *Logsig-tansig-logsig* memiliki nilai RMSE sebesar 301,916 dan R^2 sebesar 0,9977. Variasi dengan input Suhu, pH, EC, dan DO dengan aktivasi *Logsig-tansig-purelin* memiliki nilai RMSE sebesar 248,527 dan R^2 sebesar 0,9983. Variasi dengan input pH dan EC dengan aktivasi *Tansig-logsig-tansig* memiliki nilai RMSE sebesar 1269,605 dan R^2 sebesar 0,9577. Variasi dengan input EC dan DO dengan aktivasi *Tansig-purelin-purelin* memiliki nilai RMSE sebesar 4766,761 dan R^2 sebesar 0,4033. Variasi dengan input pH dan DO dengan aktivasi *Tansig-purelin-purelin* memiliki nilai RMSE sebesar 2513,138 dan R^2 sebesar 0,8341. Variasi dengan input pH, EC dan TB dengan aktivasi *Purelin-logsig-purelin* memiliki nilai RMSE sebesar 2515,984 dan R^2 sebesar 0,8338. Variasi dengan input pH, EC dan DO dengan aktivasi *Logsig-purelin-purelin* memiliki nilai RMSE sebesar 1925,054 dan R^2 sebesar 0,9034. Serta variasi dengan 5 input Suhu, pH, EC, DO, dan TB dengan aktivasi *Tansig-logsig-tansig* memiliki nilai RMSE sebesar 754,1757 dan R^2 sebesar 0,9852.

2. Pelatihan model Jaringan Saraf Tiruan pada penelitian ini menggunakan dua hidden layer 5-5-5-1. Proses pelatihan Jaringan Saraf Tiruan menggunakan 27 aktivasi dari varian *logsig*, *tansig*, dan *purelin*.
3. Validasi model dengan menggunakan 4 input yaitu pH, EC, DO, dan TB memiliki nilai RMSE sebesar 3951 dan RRMSE sebesar 104,37%. Validasi dengan 4 input yaitu Suhu, EC, DO, dan TB memiliki nilai RMSE sebesar 3653 dan RRMSE sebesar 96,49%. Validasi dengan 4 input yaitu Suhu, pH, DO, dan TB memiliki nilai RMSE sebesar 3160 dan RRMSE sebesar 83%. Validasi dengan 4 input yaitu Suhu, pH, EC, dan TB memiliki RMSE sebesar 3723 dan RRMSE sebesar 98,35%. Validasi dengan 4 input yaitu Suhu, pH, EC, dan DO memiliki nilai RMSE sebesar 3912 dan RRMSE sebesar 103,33%. Validasi dengan input pH dan EC memiliki nilai RMSE sebesar 3824 dan RRMSE sebesar 101,01%. Validasi dengan input EC dan DO memiliki nilai RMSE sebesar 4626 dan RRMSE sebesar 112,20%. Validasi dengan input pH dan DO memiliki nilai RMSE sebesar 3692 dan RRMSE sebesar 97%. Validasi dengan input pH, EC dan TB memiliki nilai RMSE sebesar 4752 dan RRMSE sebesar 125,54%. Validasi dengan input pH, EC dan DO memiliki nilai RMSE sebesar 3415 dan RRMSE sebesar 90,21 %. Serta validasi dengan 5 input yaitu Suhu, pH, EC, DO, dan TB memiliki nilai RMSE sebesar 2159 dan RRMSE sebesar 57,03%.
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 2159 dan RRMSE sebesar 57,03%.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah :

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

DAFTAR PUSTAKA

- Atima, W. 2015. BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air Limbah. *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2009. SNI 6989.72:2009: Air dan air limbah bagian 72: Cara uji kebutuhan oksigen biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*).
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta. Kanisius.
- Frank D. Petruzella. 2001. *Elektronik Industri*. Yogyakarta. ANDI.
- Ginting, P. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah*. Jakarta: Penerbit Pustaka Sinar Harapan
- Hamonangan, N. 2009. *Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit*. Diklat Kuliah Departemen Kimia FMIPA USU. Medan.
- Hermawan, Arif. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta ANDI.
- Manurung, H.A. 2018. *Identifikasi Karakteristik Fisik Kedelai Unggul Lokal Selama Perendaman 12 Jam Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)*. Lampung: Universitas Lampung.
- Mitescu, M. dan Susnea, I. 2005. “*Sringer Series, Advanced Microelectronics, Microcontrollers in practice*”, Springer.
- Nurhasanah. 2009. *Penentuan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit, Pabrik Karet Dan Domestik*. Kimia Analisis Universitas Sumatera Utara, Medan.

- 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.
- Rahardjo, Nugroho. 2006. *Teknologi Pengelolaan Limbah Cair yang Ideal Untuk Pabrik Kelapa Sawit*. Jurnal Vol. 2 No. 1.
- Raharjo P.N. 2009. *Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. Jurnal Teknologi Lingkungan. Jakarta. 18 Hal.
- Ratnawati, E. 2011. *Pengaruh Waktu Reaksi dan Suhu Pada Proses Ozonasi Terhadap Penurunan Warna, COD, dan BOD Air Limbah Industri Tekstil*. Jurnal Kimia Dan Kemasan, 33(1), 107.
- Said, E. G., 1996. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit*. Cetakan Pertama. Bogor: Trubus Agriwidya.
- 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.
- Sugiharto. 2007. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Syahrul. 2014. *Pemrograman Mikrokontroler AVR Bahasa Assembly dan C*. Bandung. Informatika.
- Wahyu, D.A. 2021. *Rancang Bangun Alat Ukur Kelengasan Tanah Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan pada Beberapa Jenis Tanah*. Lampung. Universitas Lampung.
- Widowati dan Sutimin. 2007. *Pemodelan Matematika*. Semarang: Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Diponegoro.
- Wuryandari, M.D. & Afriyanto, I. 2012. Perbandingan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dan Learning Vector Quantization pada Pengenalan Wajah. *Jurnal Komputer dan Informatika Universitas Komputer Indonesia*, 01: 45–51.