

**RANCANG BANGUN PREDIKSI PENGUKURAN LIMBAH CAIR
KELAPA SAWIT PORTABEL MENGGUNAKAN ESPDUINO-32
BERBASIS *INTERNET OF THING* (IoT)**

(Skripsi)

Oleh

Aksal Pramuja

1814071025



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

DESIGN AND DESIGN OF PREDICTION MEASUREMENT OF PORTABLE PALM PALM LIQUID WASTE USING ESPDUINO-32 BASED ON THE *INTERNET OF THINGS* (IoT)

BY

AKSAL PRAMUJA

Palm Oil Mill Effluent (POME) which has the potential to pollute the environment if not managed properly. The application of technology is needed as a solution to the limitations of conventional laboratory methods. This study aims to design a prediction tool for measuring the level of pollution of palm oil liquid waste based on the Internet of Thing (IoT) using ESPDUINO32 and the blynk application, obtain system responses and data delivery accuracy, and obtain the best mathematical model based on artificial neural networks. The research was conducted from April to May 2023 at the Water and Land Resources Engineering Laboratory, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung. JST training data based on previous research was used for training with variations in activation functions (Logsig-Tansig-Purelin) using the backpropagation method. The results showed that the system response took 9.2 seconds (initialization) and 2.4 seconds (data transmission). The accuracy of data delivery obtained an RMSE value of 0 for all parameters. The best mathematical model for each parameter: BOD (tansig-purelin, $R^2 = 0.9633$, RMSE = 1467, 242), COD (tansig-tansig- tansig-tansig, $R^2 = 0.9718$, RMSE = 3955, 373), TSS (tansig -purelin $R^2 = 0.8424$, RMSE = 2192, 422), ammonia (tansig-purelin, $R^2 = 0.9304$, RMSE = 16, 744), and oil (tansig-purelin-logsig-purelin, $R^2 = 0.955$, RMSE = 63,630)

Keywords: IoT, Palm oil wastewater, Artificial neural network, RMSE, Coefficient of determination (R^2).

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PREDIKSI PENGUKURAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT PORTABEL MENGGUNAKAN ESPDUINO-32 BERBASIS *INTERNET OF THING* (IoT)

OLEH

AKSAL PRAMUJA

Palm Oil Mill Effluent (POME) memiliki potensi mencemari lingkungan apabila tidak dilakukan pengelolaan yang baik. Penerapan teknologi diperlukan sebagai solusi keterbatasan metode laboratorium konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat prediksi pengukuran kadar pencemaran limbah cair kelapa sawit berbasis *Internet of Thing* (IoT) menggunakan ESPDUINO32 dan aplikasi *blynk*, memperoleh respon sistem dan akurasi pengiriman data, serta memperoleh model matematika terbaik berbasis jaringan saraf tiruan. Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai bulan Mei tahun 2023 di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Data pelatihan JST berdasarkan penelitian sebelumnya digunakan untuk pelatihan dengan variasi fungsi aktivasi (*Logsig-Tansig-Purelin*) menggunakan metode *backpropagation*. Hasil penelitian menunjukkan respon sistem membutuhkan waktu sebesar 9,2 detik (inisialisasi) dan 2,4 detik (transmisi data). Akurasi pengiriman data diperoleh nilai RMSE sebesar 0 untuk keseluruhan parameter. Model matematika terbaik untuk masing-masing parameter : BOD (*tansig-purelin*, $R^2 = 0,9633$, RMSE = 1467, 242), COD (*tansig-tansig-tansig-tansig*, $R^2 = 0,9718$, RMSE = 3955, 373), TSS (*tansig-purelin* $R^2 = 0,8424$, RMSE = 2192, 422), amonia (*tansig-purelin*, $R^2 = 0,9304$, RMSE = 16, 744), dan minyak (*tansig-purelin-logsig-purelin*, $R^2 = 0,955$, RMSE = 63,630).

Kata Kunci : IoT, Limbah cair kelapa sawit, Jaringan saraf tiruan, RMSE, Koefisien determinasi (R^2).

**RANCANG BANGUN PREDIKSI PENGUKURAN LIMBAH CAIR
KELAPA SAWIT PORTABEL MENGGUNAKAN ESPDUINO-32
BERBASIS *INTERNET OF THING* (IoT)**

Oleh

AKSAL PRAMUJA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

**: RANCANG BANGUN PREDIKSI
PENGUKURAN LIMBAH CAIR KELAPA
SAWIT PORTABEL MENGGUNAKAN
ESPDUINO-32 BERBASIS *INTERNET OF
THING* (IoT)**

Nama Mahasiswa

: Aksal Pramuja

No. Pokok Mahasiswa

: 1814071025

Jurusan

: Teknik Pertanian

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

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

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

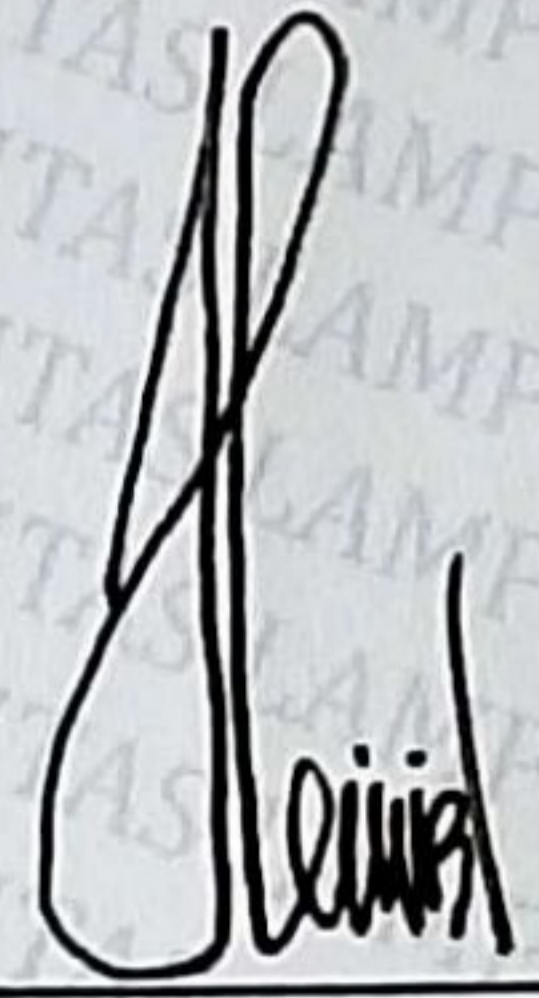
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Warji, S. T. P., M.Si., IPM
NIP. 197801022003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

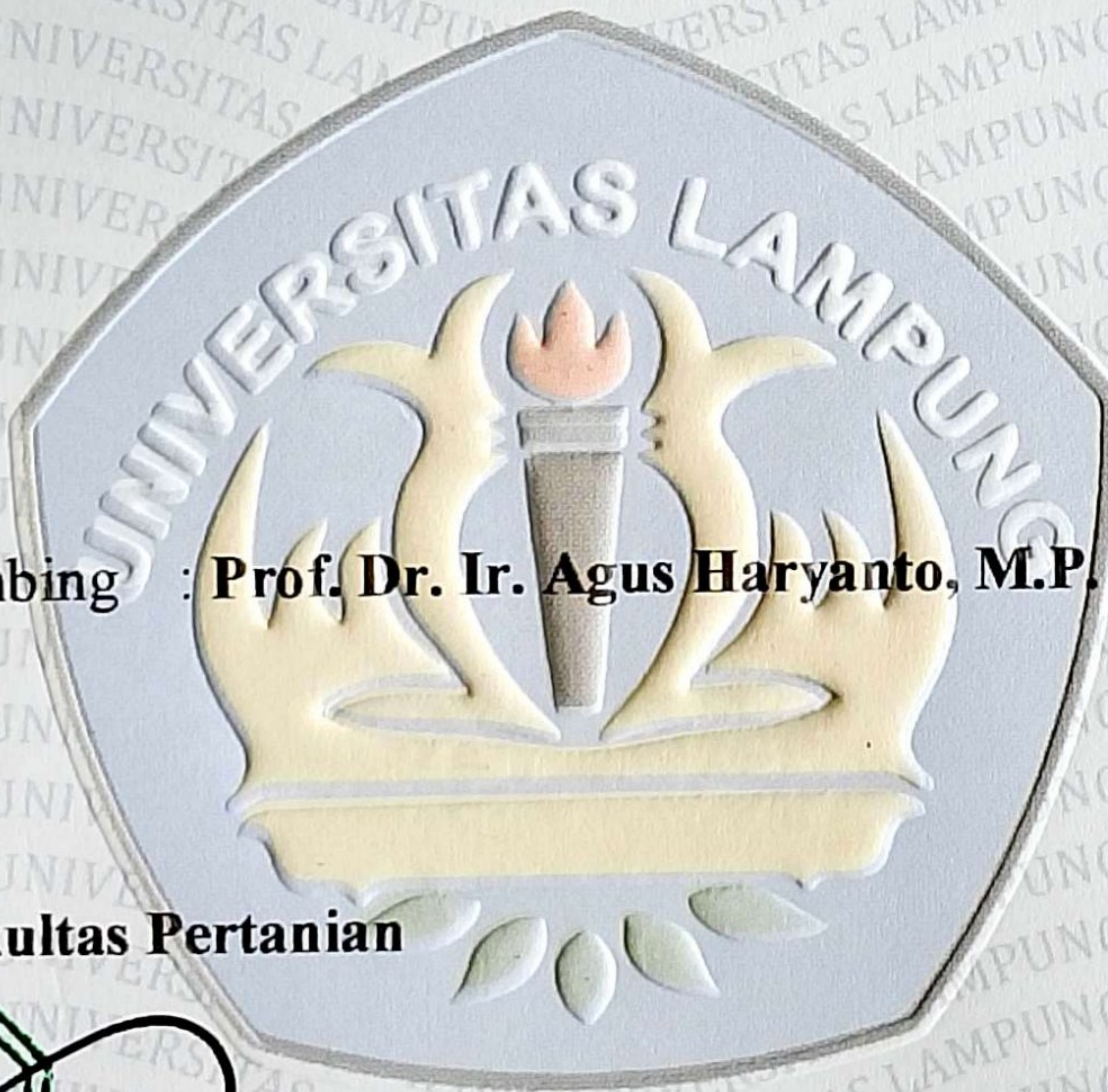
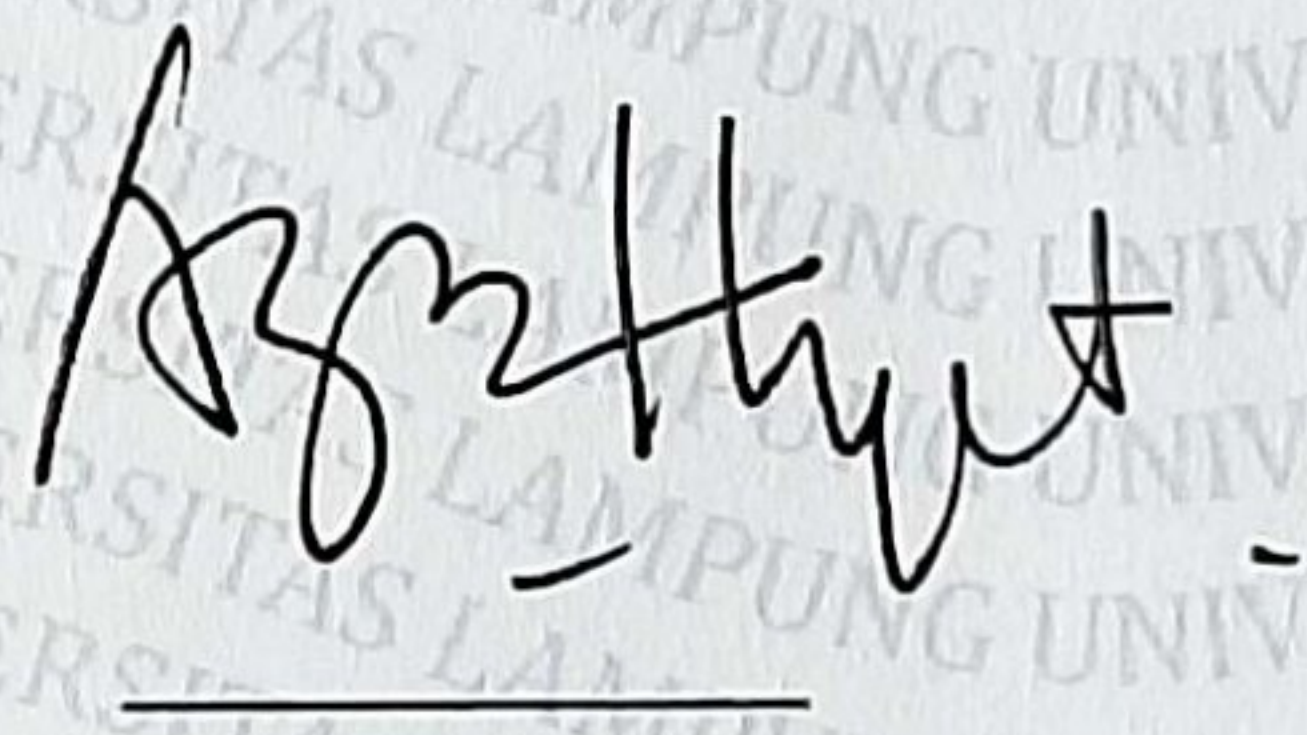


Sekretaris : **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 Mei 2025**

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya **Aksal Pramuja** NPM 1814071025.

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, Juni 2025

Yang membuat pernyataan



Aksal Pramuja

NPM 1814071025

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Braja Asri pada tanggal 13 Juni 2000 dari pasangan Bapak Nana Suryana dan Ibu Suratmi.

Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara.

Penulis menempuh pendidikan taman kanak-kanak di TK Aisyiah Kecamatan Way Jepara pada tahun 2005-2007, lalu dilanjutkan menempuh pendidikan sekolah dasar di Madrasah Ibtid'iyah Muhammadiyah pada tahun 2007-

2012. Setelah menyelesaikan sekolah dasar penulis menempuh pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Muhammadiyah 1 Way Jepara pada tahun 2012-2015. Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Way Jepara pada tahun 2015-2018.

Penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dalam lembaga kemahasiswaan sebagai anggota Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP). Penulis pernah menjabat sebagai anggota dalam bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) pada periode 2020. Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Braja Asri, Kecamatan Way Jepara, Kabupaten Lampung Timur. Penulis melaksanakan Praktik Umum pada bulan Agustus-September tahun 2021 selama 40 hari di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu, Pesawaran dengan judul laporan “ Pengolahan dan Penanganan Limbah Pengolahan Getah Karet PT. Perkebunan Nusantara VII Way Berulu Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung.”

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 (Nana Suryana dan Suratmi)

Terima kasih Bapak, Ibu, 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 Bapak dan Ibu, aku belum tentu sampai di titik ini.

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 **“RANCANG BANGUN PREDIKSI PENGUKURAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT PORTABEL MENGGUNAKAN ESPDUINO-32 BERBASIS *INTERNET OF THING (IOT)*”** 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 serta 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. Bapak Dr.Ir.Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat;
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan motivasi, masukan, bimbingan, dan saran kepada penulis hingga penyusunan skripsi ini;
4. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran dalam penyusunan skripsi ini;

5. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Dosen Pembahas yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan untuk perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh Dosen dan para Karyawan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
7. Bapak Nana Suryana dan Ibu Suratmi, selaku orang tua penulis yang telah memberikan semangat dalam melaksanakan penyusunan skripsi dan dukungan finansial dalam menyelesaikan perkuliahan. Terima kasih atas doa dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis ini;
8. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kakek dan Nenek yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan moril dalam menyelesaikan perkuliahan. Terimakasih atas doa dan dukungan yang selalu diberikan;
9. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Desty Anggi Astuti yang telah memberikan motivasi, dukungan, serta semangat dalam menyelesaikan perkuliahan;
10. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Adji, Hendri, RisZak, Beki, Rena, selaku sahabat penulis yang selalu bertukar informasi maupun tempat keluh kesah dan memberikan semangat, motivasi, dan dukungan dengan caranya masing-masing sehingga membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi;
11. 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;
12. Semua pihak yang telah berjasa dan membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga kebaikan tersebut mendapat balasan dari Allah SWT.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih belum sempurna.

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.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang.....	1
1. 2. Rumusan Masalah.....	3
1. 3. Tujuan Penelitian	3
1. 4. Manfaat Penelitian	4
1. 5. Hipotesis Penelitian.....	4
1. 6. Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2. 1. Kelapa Sawit.....	5
2. 2. Pengertian Limbah Cair.....	5
2. 3. Limbah Cair Kelapa Sawit.....	6
2. 4. Spesifikasi Limbah Cair Kelapa Sawit	7
2. 5. Parameter Pencemaran Air	7
2. 5. 1. <i>Biological Oxygen Demand</i>	8
2. 5. 2. <i>Chemical Oxygen Demand</i>	8
2. 5. 3. <i>Total Suspended Solid</i>	8
2. 5. 4. Minyak.....	8
2. 5. 5. Amonia	9
2. 6. <i>Internet of Things</i>	9
2. 7. Sistem Transmisi Data	10
2. 8. Mikrokontroler.....	11
2. 9. ESPDUINO-32	11
2. 10. Modem.....	12
2. 11. Aplikasi <i>Blynk</i>	13
2. 12. Jaringan Saraf Tiruan.....	13
2. 12. 1. Komponen Utama JST	15

2. 12. 2. Jaringan Saraf Tiruan Metode <i>Backpropagation</i>	17
2. 12. 3. Model Jaringan Saraf Tiruan	18
2. 13. Metode Prediksi Selain Jaringan Saraf Tiruan	19
2. 14. Penelitian Pendukung	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	25
3. 1. Waktu dan Tempat	25
3. 2. Alat	25
3. 3. Bahan	26
3. 3. 1. <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	26
3. 3. 2. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	27
3. 3. 3. <i>Total Suspend Solid</i> (TSS)	30
3. 3. 4. Amonia	31
3. 3. 5. Minyak	32
3. 4. Metode Penelitian	33
3. 4. 1. Kriteria Desain	35
3. 4. 2. Rancangan Struktural	36
3. 4. 3. Rancangan Sistem Transmisi Data	37
3. 4. 4. Rancangan Tampilan <i>Blynk</i>	38
3. 4. 5. Rancangan Fungsional	39
3. 5. Pemodelan Jaringan Saraf Tiruan	40
3. 6. Pemodelan Matematika	43
3. 7. Uji Kinerja Alat	44
3. 7. 1. Konsistensi Hasil Pengukuran	45
3. 7. 2. Respon Sistem	45
3. 7. 4. Akurasi Sistem	45
3. 7. 5. Uji Jarak	46
3. 7. 6. Biaya Pengiriman	46
3. 8. Pengujian <i>Input</i> Data dan <i>Push Button</i>	46
3. 8. 1. Akurasi <i>Input</i> Data <i>Push Button</i>	46
3. 8. 2. Stabilitas <i>Input Push Button</i>	46
3. 8. 3. Respon <i>Push Button</i>	47
3. 9. Analisis Data	47
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4. 1. Hasil Rancangan Alat	49
4. 2. Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan	52
4. 2. 1. Optimasi Jaringan Metode <i>Grid Search</i>	52
4. 2. 2. Pelatihan dan Pengujian <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	65
4. 2. 3. Pelatihan dan Pengujian <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	69

4. 2. 4. Pelatihan dan Pengujian <i>Total Suspend Solids</i> (TSS)	76
4. 2. 5. Pelatihan dan Pengujian Amonia.....	79
4. 2. 6. Pelatihan dan Pengujian Minyak	81
4. 3. Persamaan Matematika dari Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan	86
4. 3. 1. Persamaan Matematika pada Hasil JST <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	88
4. 3. 2. Persamaan Matematika pada Hasil JST <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	92
4. 3. 3. Persamaan Matematika pada Hasil JST <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	101
4. 3. 4. Persamaan Matematika pada Hasil JST Amonia.....	106
4. 3. 5. Persamaan Matematika pada Hasil JST Minyak	112
4. 4. Integrasi Jaringan Saraf Tiruan dengan Mikrokontroler.....	117
4. 5. Transmisi Pengiriman Data.....	118
4. 5. 1. Pengaturan Tampilan Aplikasi <i>Blynk</i>	119
4. 6. Konsistensi Hasil Pengukuran	125
4. 7. Respon Sistem.....	127
4. 8. Akurasi Sistem	128
4. 9. Biaya Pengiriman Data ke Aplikasi <i>Blynk</i>	132
4. 10. Pengujian Jangkauan Jarak Alat	133
4. 11. Akurasi <i>Input Push Button</i>	134
4. 12. Stabilitas <i>Input Push Button</i>	135
4. 13. Respon <i>Push Button</i>	141
4. 14. Validasi Model Matematika Terbaik	142
4. 14. 1. Validasi <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	142
4. 14. 2. Validasi <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	144
4. 14. 3. Validasi Minyak	146
4. 14. 4. Validasi <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	147
4. 14. 5. Validasi Amonia.....	149
V. KESIMPULAN DAN SARAN	152
5. 1. Kesimpulan	152
5. 2. Saran	153
DAFTAR PUSTAKA	154
LAMPIRAN.....	158

DAFTAR TABEL

Tabel	<i>Teks</i>	Halaman
1.	Spesifikasi ESPDUINO-32	12
2.	Perbandingan model prediksi.....	21
3.	Penelitian pendukung	22
4.	Interprestasi koefisien determinasi.....	48
5.	Perbandingan karakteristik antara penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini.....	51
6.	Hasil pelatihan dan pengujian model JST pada BOD	65
7.	Hasil pelatihan dan pengujian model JST pada COD	69
8.	Hasil pelatihan dan pengujian model JST pada TSS	77
9.	Hasil pelatihan dan pengujian model JST pada ammonia	79
10.	Hasil pelatihan dan pengujian model JST pada minyak	81
11.	Data uji respon sistem dari pertama alat dihidupkan sampai terhubung ke internet	127
12.	Data uji respon dari terhubung ke internet sampai mengirimkan data ke aplikasi <i>blynk</i>	128
13.	Akurasi sistem.....	131
14.	Penggunaan kouta data.....	132
15.	Pengujian jangkauan jarak alat.....	133
16.	Stabilitas <i>Push Button</i>	135
17.	Data uji respon <i>push button</i> dari pertama ditekan.....	141
18.	Data validasi <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	143
19.	Data validasi <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	144
20.	Data validasi minyak.....	146
21.	Data validasi <i>total suspended solid</i> (TSS)	147
22.	Data validasi amonia	149
23.	Perbandingan R^2 , RMSE, MAPE, dan RRMSE.	151
24.	Data aktual hasil pengukuran BOD.....	203
25.	Data aktual hasil pengukuran COD.....	205
26.	Data aktual hasil pengukuran amonia	208
27.	Data aktual hasil pengukuran minyak	212
28.	Data aktual hasil pengukuran TSS	216
29.	Validasi BOD	220
30.	Validasi COD	220
31.	Validasi amonia.....	221
32.	Validasi Minyak.....	221
33.	Validasi TSS	222

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Diagram sistem komunikasi data	10
2.	ESPDUINO-32.....	12
3.	Modem 4G LTE	13
4.	Elemen dasar dari jaringan saraf tiruan.....	16
5.	Model matematis JST.....	19
6.	Diagram alir penelitian.....	35
7.	Rancangan alur sistem	36
8.	Diagram alir sistem kontrol.....	37
9.	Diagram alir transmisi data keseluruhan.....	38
10.	Proses pengembangan model jaringan saraf tiruan.....	42
11.	Model matematis jaringan saraf tiruan.....	44
12.	Alat pengukuran limbah cair kelapa sawit.....	49
13.	Arsitektur jaringan parameter amonia <i>output logsig</i>	53
14.	Arsitektur jaringan parameter amonia <i>output purelin</i>	54
15.	Arsitektur jaringan parameter amonia <i>output tansig</i>	54
16.	Arsitektur jaringan parameter BOD <i>output logsig</i>	55
17.	Arsitektur jaringan parameter BOD <i>output purelin</i>	55
18.	Arsitektur jaringan parameter BOD <i>output tansig</i>	56
19.	Arsitektur jaringan parameter COD <i>output logsig</i>	56
20.	Arsitektur jaringan parameter COD <i>output purelin</i>	57
21.	Arsitektur jaringan parameter COD <i>output tansig</i>	57
22.	Arsitektur jaringan parameter minyak <i>output logsig</i>	58
23.	Arsitektur jaringan parameter minyak <i>output purelin</i>	58
24.	Arsitektur jaringan parameter minyak <i>output tansig</i>	59
25.	Arsitektur jaringan parameter TSS <i>output logsig</i>	60
26.	Arsitektur jaringan parameter TSS <i>output purelin</i>	61
27.	Arsitektur jaringan parameter TSS <i>output tansig</i>	62
28.	Tampilan layar pada aplikasi MATLAB.....	63
29.	<i>Neural network training</i>	63
30.	Grafik hasil perbandingan antara observasi dengan pelatihan.....	64
31.	Grafik <i>plot regression</i>	64
32.	Pelatihan model JST BOD	68
33.	Pengujian model JST BOD	69
34.	Pelatihan model JST COD	75
35.	Pengujian model JST COD	76
36.	Pelatihan model JST TSS.....	78
37.	Pengujian model JST TSS.....	78
38.	Pelatihan model JST Amonia.....	80
39.	Pengujian model JST Amonia.....	80
40.	Pelatihan model JST Minyak	85

41. Pengujian model JST Minyak	86
42. Tampilan folder bobot dan bias yang tersimpan dalam bentuk .txt	87
43. Diagram alir transimis data	118
44. Tampilan <i>blynk</i> di <i>play store</i>	120
45. Tampilan awal aplikasi <i>blynk</i>	120
46. Penggantian nama projek dan pemilihan jenis mikrokontroler	121
47. Notifikasi auth token ke email pengguna	121
48. Fitur untuk menampilkan data pembacaan sensor	122
49. Tampilan widget pada <i>blynk</i>	122
50. Widget sebelum diatur pin virtual	123
51. Pengaturan <i>widget</i> pada <i>blynk</i>	123
52. Penyesuaian pada <i>widget</i>	124
53. Tampilan akhir pada <i>blynk</i>	124
54. Tampilan google sheets	125
55. Grafik konsistensi hasil pengukuran	127
56. Grafik stabilitas <i>push button input</i> suhu	136
57. Grafik stabilitas <i>push button input</i> pH	137
58. Grafik stabilitas <i>push button input</i> EC	138
59. Grafik stabilitas <i>push button input</i> DO	139
60. Grafik stabilitas <i>push button input</i> DO	140
61. Grafik validasi <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	143
62. Grafik validasi <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	145
63. Grafik validasi minyak	146
64. Grafik validasi <i>Total Suspend Solid</i>	148
65. Grafik validasi amonia	150
66. Skematik alat	159
67. Penampakan alat	159
68. Program arduino	160
69. Tampilan awal aplikasi MATLAB R2015b	194
70. Membuka file pelatihan dan pengujian pada MATLAB	194
71. Tampilan pelatihan pada aplikasi MATLAB	195
72. <i>Running</i> pelatihan pada aplikasi MATLAB	195
73. Tampilan plot perform dan plot regression	196
74. Tampilan pengujian pada aplikasi MATLAB	196
75. Tampilan file bobot dan bias	197
76. Program Google Sheets	197
77. Tampilan menu alat	202

I. PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Indonesia memiliki sektor pertanian yang luas, termasuk industri perkebunan yang berkembang pesat. Geografi dan iklim yang beragam di Indonesia menjadikannya lokasi ideal untuk berbagai jenis perkebunan. Sektor perkebunan di Indonesia mencakup berbagai macam tanaman seperti kelapa sawit, karet, kakao, teh, kopi, dan tebu. Diantaranya, perkebunan kelapa sawit telah menjadi kontributor signifikan bagi perekonomian negara.

Kelapa sawit telah menjadi salah satu tanaman perkebunan utama di Indonesia karena produktivitas dan keserbagunaannya yang tinggi. Perluasan perkebunan kelapa sawit telah memberikan kontribusi signifikan terhadap ekspor pertanian negara, menyediakan lapangan kerja dan berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi.

Industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan produk utama berupa *Crude Palm Oil* (CPO). Tingkat ekspor CPO di Indonesia selalu mengalami peningkatan yang dapat kita lihat dari tahun 2019 sampai 2023. Pada tahun 2019 nilai ekspor CPO sebesar 30,6 juta ton dan pada tahun 2023 nilai ekspor CPO sebesar 32,1 juta ton (BPS, 2023).

Namun, pengolahan buah kelapa sawit menghasilkan limbah dalam jumlah besar, termasuk limbah cair yang dikenal dengan limbah cair pabrik kelapa sawit atau *palm oil mill effluent* (POME). Produk sampingan ini menimbulkan tantangan lingkungan karena kandungan organikanya yang tinggi, adanya padatan tersuspensi, dan sifat asam. Jika tidak dikelola dengan baik, POME dapat menyebabkan pencemaran badan air, degradasi tanah, dan dampak buruk terhadap ekosistem sekitar (Osman *et al.*, 2020).

Pengelolaan POME yang buruk dapat menimbulkan dampak sosial dan lingkungan yang tidak diinginkan, seperti protes masyarakat akibat bau dan penilaian buruk oleh lembaga sertifikasi nasional maupun internasional. Sebagian besar pabrik pengolahan kelapa sawit melakukan pengelolaan POME menggunakan serangkaian kolam aerobik-anaerobik untuk menurunkan kadar pencemaran sampai pada parameter yang diijinkan untuk dialirkan ke badan air (sungai). Berdasarkan peraturan, kualitas limbah POME yang boleh dialirkan ke badan air meliputi nilai COD (200 mg/L), BOD (30 mg/L), pH (6-9), total N (30 mg/L), minyak (5 mg/L), TSS (60 mg/L) dan volume air limbah 40 m³/ton bahan baku (PMLHK No. 21, 2018).

Akan tetapi, di dalam penentuan kadar pencemaran pada limbah cair kelapa sawit terbilang cukup lama sebab membutuhkan tahapan uji laboratorium guna memperoleh hasil pengujian. Uji laboratorium dilakukan dengan melakukan pengambilan sampel pada limbah cair untuk kemudian dilakukan analisa dengan tujuan untuk menghasilkan data akhir kadar pencemaran pada limbah cair. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu metode untuk mempersingkat dalam memperoleh hasil akhir kadar pencemaran tersebut dengan menerapkan teknologi dalam pengukuran kadar pencemaran limbah cair tersebut.

Pemecahan masalah tersebut memerlukan penerapan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dan *Internet of Things* (IoT) di dalam pengukuran kadar pencemaran limbah cair. Jaringan Saraf Tiruan (JST) dipilih, sebab mampu menghasilkan nilai yang presisi dalam penentuan kadar pencemaran meskipun dalam prosesnya dipengaruhi oleh kondisi yang kompleks mencakup oksigen terlarut, suhu, pH, EC, dan *turbidity*. Kondisi ini sangat kompleks dan sulit dalam menentukan pemodelan persamaan matematika. Jaringan Saraf Tiruan (JST) lebih cocok digunakan untuk memodelkan sistem yang kompleks sebab memiliki kemampuan untuk mengenali dan mempelajari hubungan *input* dan *output* dari sistem tanpa memperhatikan kondisi fisiknya secara eksplisit.

Operator hanya membutuhkan rangkaian dan mikrokontroler yang telah diinput model matematika untuk pengukuran kadar pencemaran limbah cair.

Sedangkan *Internet of Things* (IoT) akan digunakan untuk memudahkan bagi pengakses dalam memperoleh data pengukuran melalui aplikasi berbasis *mobile* selama terkoneksi dengan jaringan internet. Dengan demikian, penelitian ini difokuskan untuk merancang alat yang dapat mengintegrasikan data mentah kadar pencemaran limbah cair tanpa melakukan pelatihan serta menampilkan hasil pengukuran ke dalam *smartphone* operator ataupun pihak lain yang memiliki akses.

1. 2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian sebagai berikut.

- 1) Bagaimana merancang alat prediksi kadar pencemaran limbah cair kelapa sawit dengan sistem *internet of things* (IoT) menggunakan mikrokontroller dan aplikasi *blynk* ?
- 2) Bagaimana respon sistem dan akurasi pengiriman data dalam mengukur parameter limbah cair kelapa sawit ?
- 3) Bagaimana memperoleh model jaringan saraf tiruan terbaik alat prediksi limbah cair kelapa sawit ?

1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian sebagai berikut.

- 1) Menghasilkan alat prediksi pengukur kadar pencemaran limbah cair kelapa sawit menggunakan mikrokontroller dan aplikasi *blynk* berbasis *Internet of Things* (IoT).
- 2) Memperoleh nilai respon sistem dan akurasi pengiriman data dari hasil pengukuran.
- 3) Mendapatkan model matematika terbaik untuk alat prediksi kadar pencemaran limbah cair kelapa sawit berdasarkan analisis *Root Mean Square Error* (RMSE) dan analisis koefisien determinasi (R^2).

1. 4. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian sebagai berikut.

- 1) Mampu memberikan hasil penelitian yang nyata berupa alat prediksi kualitas air limbah kelapa sawit yang memudahkan dalam pengoperasian.
- 2) Peneliti dapat menerapkan disiplin ilmu keteknikan yang diperoleh dari perkuliahan maupun praktikum untuk merancang, menciptakan, dan memecahkan permasalahan yang sedang terjadi.

1. 5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian sebagai berikut.

- 1) Jaringan saraf tiruan mampu memprediksi nilai BOD, COD, TSS, Minyak, dan Amonia berdasarkan parameter suhu, pH, DO, EC, dan *turbidity*.
- 2) Alat mampu mengirimkan data hasil pengukuran pada aplikasi *blynk*.

1. 6. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian sebagai berikut.

- 1) Mikrokontroler yang digunakan adalah ESPDUINO-32.
- 2) Tidak dilakukan uji laboratorium.
- 3) Data penelitian diperoleh berdasarkan sumber hasil penelitian lapangan dan laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya.
- 4) Menggunakan aplikasi *blynk* sebagai platform.
- 5) Bahasa yang digunakan pada penelitian ini adalah Bahasa C dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Kelapa Sawit

Kelapa Sawit merupakan salah satu tanaman budidaya penghasil minyak nabati berupa *Crude Palm Oil* (CPO). Kelapa sawit membutuhkan kondisi tumbuh yang baik guna memaksimalkan potensi produksinya. Faktor lingkungan tumbuh kelapa sawit yang utama diperhatikan ialah iklim, kondisi fisik dan kesuburan tanah. Selain itu, faktor lain yang mempengaruhi kondisi tumbuh kelapa sawit seperti faktor genetik kelapa sawit, perlakuan yang diberikan, dan pemeliharaan kelapa sawit.

Kelapa sawit termasuk kedalam tanaman monokotil yang dapat hidup atau tumbuh dengan optimal di dataran rendah. Tinggi kelapa sawit mencapai 20-30 meter dengan buah berwarna merah, berbentuk bulat, dan kulit buah yang tebal. Tanaman kelapa sawit dapat menghasilkan buah ketika memasuki usia 24-30 bulan dan memiliki umur produktif hingga 25-30 tahun. Buah yang pertama dinamakan buah pasir yang belum dapat diolah karena kandungan minyak yang terkandung masih sedikit. Kelapa sawit memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

- 1) Kelapa sawit memiliki akar serabut.
- 2) Kelapa sawit memiliki daun majemuk.
- 3) Buah tersusun pada sebuah tandan yang disebut tandan buah segar (TBS).
- 4) Tandan dewasa dapat mencapai berat 5-30 Kg yang tersusun dari 600-2000 buah kelapa sawit.
- 5) Batangnya diselimuti bekas pelapah hingga umur 12 tahun, setelah itu pelapah mengering akan terlepas (PASPI, 2024).

2. 2. Pengertian Limbah Cair

Limbah merupakan segala sesuatu yang tidak dipakai kembali pada kegiatan

produksi baik industri maupun rumah tangga. Limbah juga tidak memiliki nilai ekonomi dan daya guna, melainkan bisa sangat membahayakan jika sudah mencemari lingkungan sekitar. Terutama untuk limbah yang mengandung bahan kimia yang tidak mudah terurai oleh bakteri. Limbah cair merupakan air limbah dari kegiatan/usaha yang di dalamnya mengandung polutan yang dapat menurunkan kualitas sumber air (Fauzia & Siska, 2022). Undang-undang perlindungan lingkungan nomor 32 tahun 2009 ayat 1 pasal 20 mengartikan limbah sebagai usaha/kegiatan yang bersumber pada kegiatan manusia dan proses alam dan tidak mempunyai nilai ekonomi, dapat mempunyai nilai ekonomi negatif, atau tidak bernilai ekonomi (Osman *et al.*, 2020).

2. 3. Limbah Cair Kelapa Sawit

Aktivitas dari pengolahan pada pabrik kelapa sawit membentuk beberapa limbah diantaranya yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah cair dihasilkan paling banyak daripada limbah yang lainnya. Limbah cair termasuk jenis limbah yang paling banyak dihasilkan selama proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit. Setiap ton dari tandan buah kelapa sawit yang telah diolah membentuk lebih kurang 50% limbah cair kelapa sawit. Limbah cair kelapa sawit berasal dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang merupakan residu buangan yang mengandung bahan organik yang daya pencemarannya tergolong tinggi. Limbah cair kelapa sawit terdapat suatu padatan terapung dan terlarut serta emulsi minyak dalam air. Jika limbah tersebut dibuang langsung ke sungai, maka sebagian akan mengendap, perlahan terurai, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, berbau menyengat dan dapat merusak tempat pemeliharaan ikan. Karena tingginya potensi pencemaran limbah cair yang tidak tertangani dengan baik, maka diperlukan pemahaman dan pengetahuan tentang penanganan limbah cair yang tepat. Limbah dari industri kelapa sawit banyak mengandung bahan organik yang dapat mencemari air tanah dan badan air (Osman *et al.*, 2020).

2. 4. Spesifikasi Limbah Cair Kelapa Sawit

Pabrik kelapa sawit (PKS) memiliki spesifikasi limbah cair yang berbeda pada setiap tahapan proses produksinya, tetapi karakter yang ditinjau pada saat masuk unit pengolahan limbah, adalah karakteristik limbah secara keseluruhan. Limbah cair PKS umumnya mengandung padatan terlarut bersuhu tinggi, berwarna coklat dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak. Bahan pencemar yang terdapat dalam limbah cair tersebut belum memenuhi baku mutu limbah cair, oleh sebab itu perlu adanya pengolahan limbah cair, agar memenuhi baku mutu. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Di bawah ini ada 6 parameter utama yang dijadikan acuan baku mutu limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu : COD (200 mg/L), BOD (30 mg/L), pH (6-9), total N (30 mg/L), minyak (5 mg/L), TSS (60 mg/L) dan volume air limbah 40 m³/ton bahan baku (PMLHK No. 21, 2018).

2. 5. Parameter Pencemaran Air

Limbah cair perlu memiliki batasan hasil pengolahan limbah atau yang disebut dengan baku mutu. Limbah cair industri yang dibuang ke lingkungan khususnya sungai tanpa pengolahan dapat mempengaruhi kualitas air. Air limbah industri mempengaruhi beberapa parameter pada air sungai apabila melampaui standar baku mutu. Parameter air sendiri terbagi menjadi 3 antara lain fisik, kimia dan biologi. Parameter fisik air terdiri dari tingkat kekeruhan, kepadatan larut, suhu dan lain sebagainya. Parameter kimia yang dapat diukur yaitu *Dissolved Oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), fosfat, nitrat, nitrit dan parameter kimia lainnya. Parameter biologi yang diukur untuk mengetahui kualitas air meliputi keberadaan bakteri, plankton dan lain sebagainya (Septyawan & Pramaningsih, 2022).

Parameter tolak ukur pencemaran air limbah kelapa sawit pada penelitian ini yaitu BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), amonia dan Minyak .

2. 5. 1. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological oxygen demand ialah suatu derajat yang menunjukkan banyaknya kadar oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk pemecahan bahan organik dalam kondisi anaerob. Uji BOD dibutuhkan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk maupun perindustrian. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik dibutuhkan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya dari proses oksidasi (Ramadani *et al.*, 2021).

2. 5. 2. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical oxygen emand ialah jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi atau banyaknya oksigen-oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO₂ dan H₂O. Hasil dari pengukuran COD tidak dapat membedakan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil. Angka COD juga merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara ilmiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Ramadani *et al.*, 2021).

2. 5. 3. *Total Suspend Solid* (TSS)

Total Suspend Solid ialah padatan yang tercampur pada limbah cair yang berupa bahan organik dan bahan anorganik yang berpotensi menimbulkan dampak buruk terhadap kualitas air berupa kekeruhan air yang meningkatkan dan gangguan pertumbuhan organisme air yang berperan sebagai pengurai serta dengan meningkatnya kadar padatan dalam cair akan mengurangi masuknya cahaya matahari ke dalam kolam limbah cair (Luvita *et al.*, 2016).

2. 5. 4. Minyak

Minyak merupakan parameter yang konsentrasi maksimumnya dipersyaratkan

untuk air limbah industri dan air permukaan. Minyak juga termasuk salah satu senyawa yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran disuatu perairan sehingga konsentrasinya harus dibatasi. Minyak mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Kondisi ini dapat mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat. Minyak yang menutupi permukaan air juga akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga mengganggu ketidak seimbangan rantai makanan. Kandungan minyak pada limbah cair biasanya banyak dijumpai pada industri yang mengolah bahan baku mengandung minyak (S & Rivai, 2023). Dampak yang terjadi oleh limbah cair tersebut pada selang waktu tertentu akan mengeras sehingga menutupi permukaan badan air penerima. Akibatnya akan menghambat kontak antara air dengan udara bebas sekitarnya.

2. 5. 5. Amonia

Amonia merupakan senyawa hasil oksidasi bahan organik dalam limbah cair yang mengandung senyawa nitrogen. Proses oksidasi dibantu oleh mikroorganisme yang terdapat pada kolam pengolahan limbah cair. Senyawa terindikasinya ammonia dalam limbah cair menandakan adanya pencemaran nitrogen dalam buangan limbah cair ke lingkungan yang disebabkan oleh gangguan pada proses aerasi dalam pengolahan limbah cair (Sakti, 2019). Faktor utama yang dapat mempengaruhi kadar amonia dalam air merupakan pH dan suhu. Selain itu, kadar amonia yang berlebihan akan menyebabkan kekeruhan air serta menurunkan kadar oksigen dalam air (Putrawan *et al.*, 2019).

2. 6. *Internet of Things* (IoT)

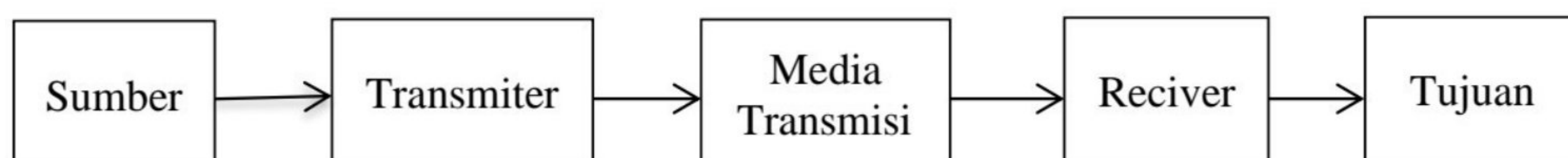
Internet of Things atau biasa dikenal dengan singkatan IoT merupakan suatu konsep perkembangan teknologi masa kini, yang mampu menghubungkan perangkat-perangkat elektronik, untuk dapat melakukan manfaat dan fungsinya secara modern melalui koneksi jaringan internet. *Internet of Things* dapat dimanfaatkan

sebagai alat untuk mengontrol atau mengetahui terhadap suatu sistem tertentu, dengan proses pengiriman dan penerimaan data dari perangkat elektronik yang terhubung secara terus menerus melalui koneksi internet.

Internet of Things banyak digunakan dalam berbagai bidang kehidupan, contoh sederhana penerapan *Internet of Things* adalah pada rumah atau gedung tertentu yang dimanfaatkan untuk mengendalikan peralatan elektronik seperti lampu ruangan dengan cara *online* melalui *mobile* menggunakan koneksi internet, pemasangan CCTV disepanjang jalan yang terhubung dengan koneksi internet yang disatukan pada sebuah ruang kontrol dari jarak jauh, dan masih banyak lagi. Pada dasarnya perangkat *Internet of Things* terdiri dari, sensor sebagai media pengumpul data, internet sebagai media komunikasi dan server sebagai pengumpul informasi yang diterima sensor untuk analisa (Shodiq *et al.*, 2021).

2. 7. Sistem Transmisi Data

Transmisi adalah pergerakan informasi melalui sebuah media telekomunikasi. Transmisi memperhatikan pembuatan saluran yang dipakai untuk mengirim informasi, serta memastikan bahwa informasi sampai secara akurat dan dapat diandalkan. Transmisi data merupakan proses pengiriman data dari sumber data ke penerima data melalui media pengiriman tertentu. Misalnya dari perangkat *input* ke pemroses, pemroses ke *storage*, pemroses ke media *output* , atau bahkan dari suatu sistem komputer ke sistem komputer lainnya. Dua faktor yang mempengaruhi keberhasilan dari suatu transmisi data yaitu, kualitas sinyal dan karakteristik media transmisi (Purbawanto, 2020). Diagram sistem komunikasi data dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram sistem komunikasi data

2. 8. Mikrokontroler

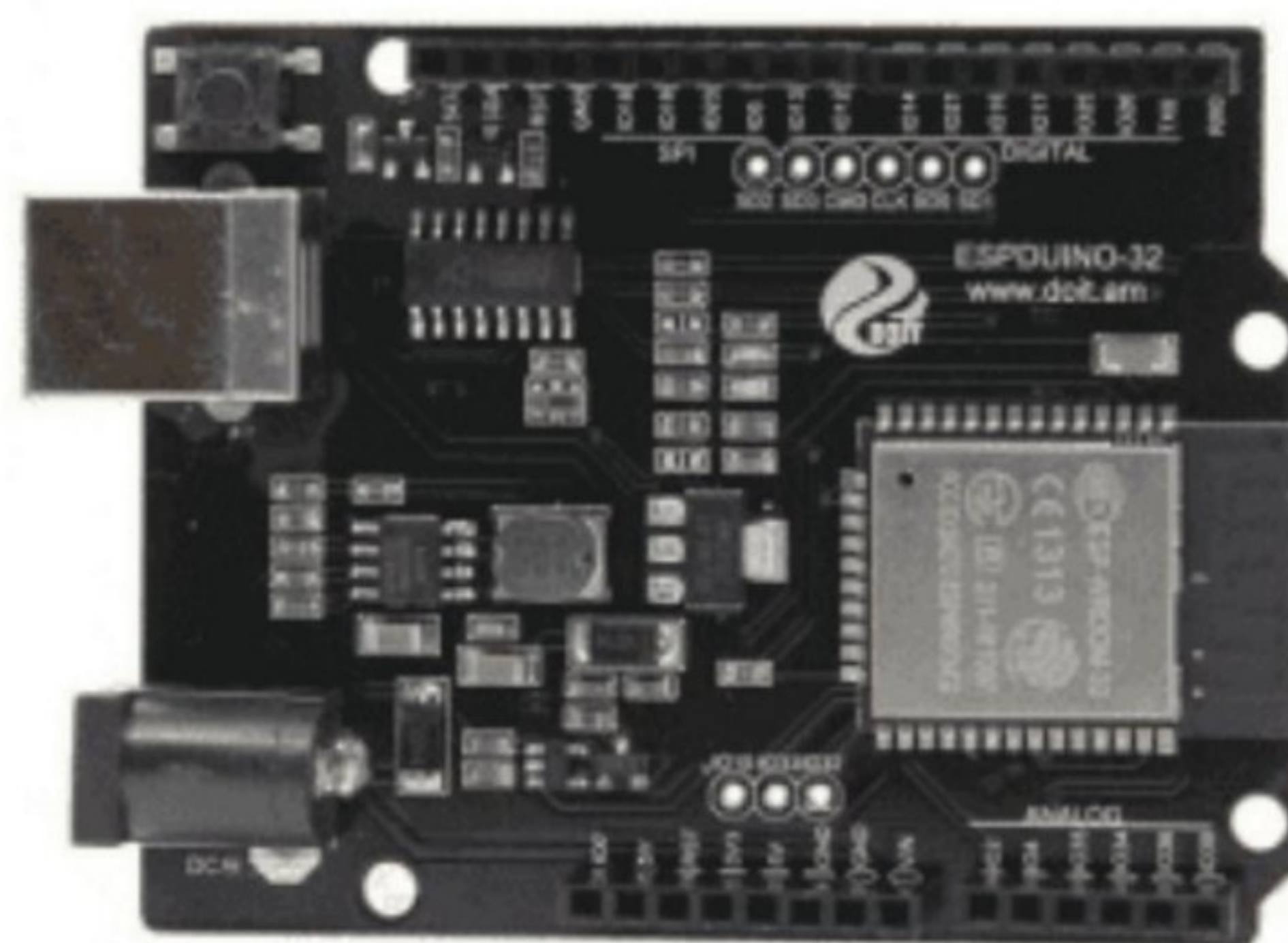
Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi dan komputer mainframe, mikrokontroler dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan *output* spesifik berdasarkan *input* an yang diterima dan program yang dikerjakan. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler adalah alat yang mengerjakan instruksi instruksi yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang programmer. Program ini menginstruksikan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh programmer. Mikrokontroler tersusun dalam satu chip dimana prosesor, memori, dan I/O terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem sehingga mikrokontroler dapat dikatakan sebagai komputer mini yang dapat bekerja secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem. Sistem *running* bersifat berdiri sendiri tanpa tergantung dengan komputer sedangkan parameter komputer hanya digunakan untuk *download* perintah instruksi atau program. Langkah-langkah untuk *download* komputer dengan mikrokontroler sangat mudah digunakan karena tidak menggunakan banyak perintah. Pada mikrokontroler tersedia fasilitas tambahan untuk pengembangan memori dan I/O yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Harga untuk memperoleh alat ini lebih murah dan mudah didapat (Istiana & Cahyono, 2022)

2. 9. ESPDUINO-32

ESPDUINO-32 merupakan module *development board* yang berbasis wifi dari keluarga ESP32 dimana dapat diprogram menggunakan *software* IDE Arduino. Meskipun bentuk board ini dirancang menyerupai Arduino Uno. Akan tetapi dari sisi spesifikasi sebenarnya jauh lebih unggul ESPDUINO-32. Salah satunya dikarenakan inti dari ESPDUINO-32 adalah ESP32 yang memiliki *Dual Core* 32 bit. Spesifikasi dari ESPDUINO-32 dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar ESPDUINO-32 dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi ESPDUINO-32

Spesifikasi ESPDUINO-32	Keterangan
MCU	Xtensa Dual-Core 32- bit LX6 with 600 DMIPS
Mikrokontroler	ESP-32
<i>Input</i> Tegangan	5V-12V
Pin I/O Digital	20
Pin Analog	6
Kecepatan Clock	240MHz
Wi-Fi	802. 11 b/g/n tipe HT40
<i>Bluetooth</i>	tipe 4. 2 dan BLE
Total GPIO	36
Suhu operasional Kerja	-40°C to 125°C
Sensor di dalam	<i>touch sensor, temperature sensor, hall effect sensor</i>



Gambar 2. ESPDUINO-32

2. 10. Modem

Modem berasal dari singkatan *Modulator Demodulator*. Modem merupakan akronim dari *Modulator Demodulator*. *Modulator* adalah suatu alat dengan fungsi melakukan proses modulasi yang bertujuan mengubah sinyal informasi kedalam sinyal pembawa (*carrier signal*) untuk dikirimkan ke alamat tujuan, sedangkan *Demodulator* ialah bagian yang melakukan proses demodulasi dengan tujuan memisahkan sinyal informasi (berisi berbagai jenis data) dari *carrier signal* yang

diterima sehingga informasi tersebut dapat diterima dengan baik tanpa ada kerusakan pada datanya. Selain itu Modem adalah bentuk gabungan dari *modulator* dan *demodulator* yang berarti dapat melakukan komunikasi dua arah sekaligus (Pratama & Oktiawati, 2022).



Gambar 3. Modem 4G LTE

2. 11. Aplikasi *Blynk*

Blynk merupakan salah satu *platform* IoT yang dapat digunakan untuk mengontrol dan memonitor berbagai data dari *push button* secara *real time* selama ada jaringan internet. Penggunaan aplikasi *blynk* sangat mudah hanya dengan *metode drag and drop widget*. *Blynk* sendiri digunakan untuk mengendalikan perangkat *hardware* yang dapat digunakan untuk mengetahui hasil dari jarak jauh melalui internet atau WiFi ke android maupun IOS. Dengan terhubung ke internet dan koneksi yang stabil membuat kita dapat mengontrol suatu sistem di mana pun kita berada dari jarak jauh dengan aplikasi *blynk*. Fitur yang ditampilkan dalam aplikasi *blynk* dapat dengan mudah digunakan dan dipahami sehingga tidak perlu waktu lama untuk mengkoneksikan perangkat keras ke *blynk* (Dwiyaniti *et al.*, 2019).

2. 12. Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan ialah bagian dari sistem kecerdasan buatan untuk memproses informasi yang dirancang dengan menirukan cara kerja otak manusia dengan melakukan proses belajar, terdiri dari node yang terusun berlapis dan saling terhubung dengan bobot sinapsisnya (Zaynurroyhan, 2023).

Jaringan saraf tiruan memiliki kesamaan dengan kerja saraf pada tubuh salah satu contoh saraf secara biologis dimana setiap sel saraf (neuron) akan mempunyai satu inti sel yang bertugas untuk melakukan pemrosesan informasi. Informasi yang datang akan diterima oleh dendrit. Selain menerima informasi, dendrit juga menyertai axon sebagai keluaran dari suatu pemrosesan informasi. Informasi hasil olahan ini akan menjadi *input* bagi neuron lain dimana antar dendrit kedua sel tadi dipertemukan dengan sinapsisnya. Informasi yang dikirimkan antar neuron ini berupa rangsangan yang dilewatkan melalui dendrit. Informasi yang datang serta diterima oleh dendrit akan dijumlahkan dan dikirim melalui *axon* lain. Informasi ini akan diterima oleh neuron lain jika memenuhi batasan tertentu dikenal dengan nilai ambang (*threshold*) yang dikatakan teraktivasi (Safitri, 2019)

Ciri jaringan saraf dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu:

- 1) Pola korelasi antar *neuron* sebagai arsitektur jaringan.
- 2) Metode penentuan bobot-bobot sambungan sebagai proses belajar jaringan.
- 3) Fungsi aktivasi (Iskandar, 2020).

Konsep jaringan saraf tiruan telah berkembang pesat sehingga menimbulkan beberapa metode guna menciptakan pemodelan jaringan saraf tiruan dengan kekurangan dan kelebihan yang dimiliki. Salah satu metode yang diterapkan pada jaringan saraf tiruan ialah metode *backpropagation* (Wahyu, 2021).

Metode *backpropagation* ialah algoritma melatih jaringan guna memperoleh keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan.

Selain itu, untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tidak sama) dengan pola yang digunakan selama pelatihan. Metode *backpropagation* secara umum digunakan guna menirukan kinerja otak manusia yang mempunyai kinerja beradaptasi dan memahami sesuatu yang baru. Salah satu karakteristik dari jaringan saraf tiruan ialah fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi ialah operasi matematik yang dikenakan padasinyal *output* y (keluaran).

Secara umum terdapat beberapa fungsi aktivasi yang digunakan sebagai berikut.

- 1) Fungsi identitas (linier), mempunyai nilai keluaran (*output*) yang sama

dengan nilai masukannya (*input*). Biasa disebut dengan purelin, dengan persamaan sebagai berikut.

$$Y = Fx = x \dots\dots\dots (2. 1)$$

Keterangan :

y : nilai *input*

x : nilai *output*

- 2) Fungsi biner sigmoid mempunyai nilai keluaran (*ouput*) angka biner (0 sampai 1). Biasa disebut dengan logsig, dengan persamaan sebagai berikut.

$$Y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}} \dots\dots\dots (2. 2)$$

Keterangan :

y = nilai *input*

x = nilai *output*

e = bilangan natural (2,7182818285)

α = threshold

- 3) Fungsi bipolar sigmoid, mempunyai jangkauan yang sangat umum antara -1 sampai 1. Fungsi bipolar sigmoid dekat dengan fungsi tangen hiperbolik yang keduanya memiliki jangkauan antara -1 sampai 1. Persamaan tangen hiperbolik sebagai berikut.

$$Y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \dots\dots\dots (2. 3)$$

Keterangan :

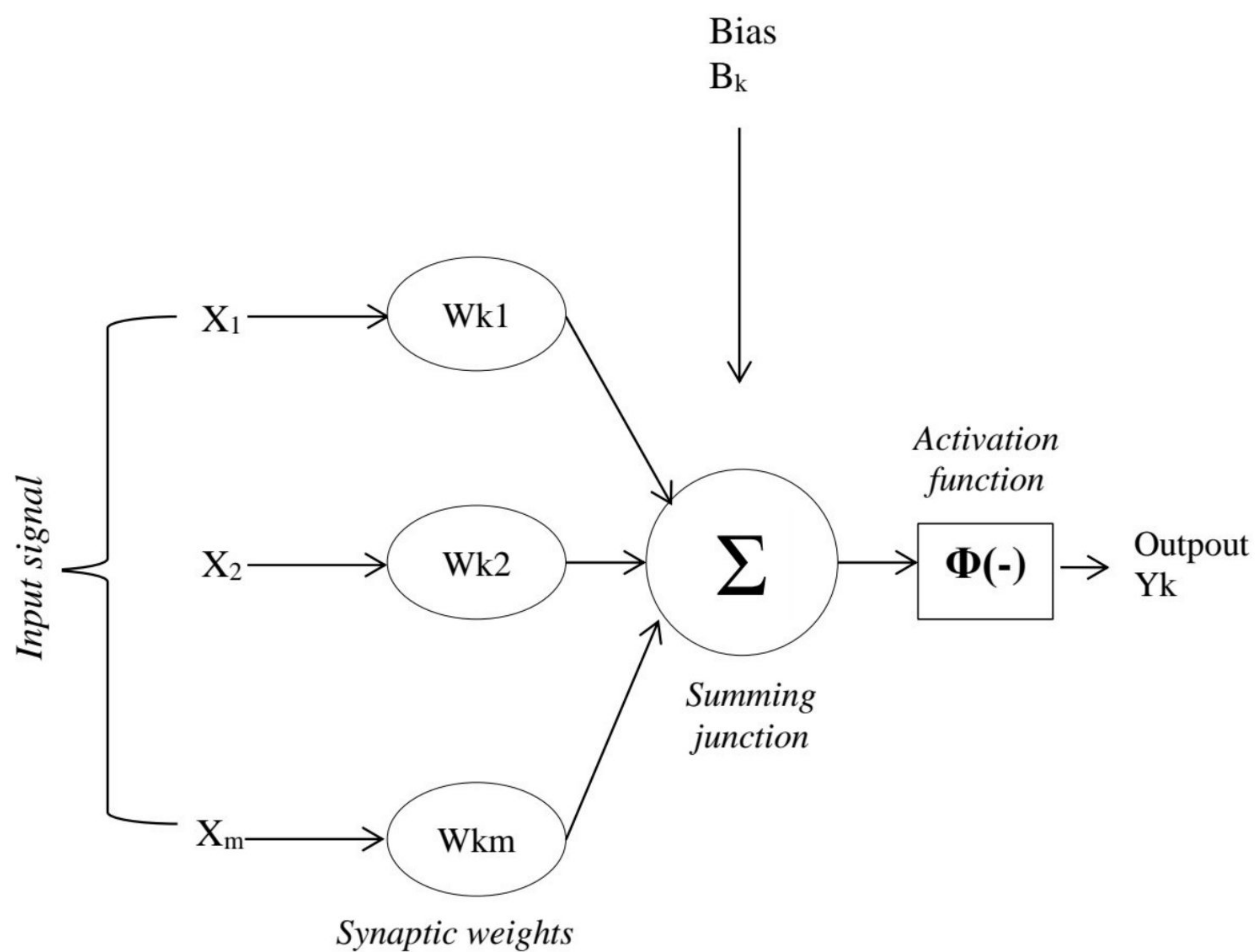
y = nilai *input*

x = nilai *output*

e = bilangan natural (2,7182818285)

2. 12. 1. Komponen Utama JST

Jaringan saraf tiruan terdiri dari beberapa neuron yang mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarnya menuju ke neuron-neuron lainnya. Pada jaringan saraf, hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut disimpan pada suatu nilai tertentu pada bobot tersebut.



Gambar 4. Elemen dasar dari jaringan saraf tiruan

Elemen dasar dari JST yang mengikuti jaringan saraf biologis yaitu bobot (*weight*), *threshold*, dan fungsi aktivasi. Berikut merupakan penjelasan dari elemen dari jaringan saraf tiruan.

1. *Input* : $X_1, X_2, \dots, X_m$ merupakan sinyal yang masuk ke sel saraf
2. Bobot (*weight*) : $w_1, w_2, \dots, w_m$ merupakan faktor bobot yang saling berhubungan di masing-masing node. Setiap bobot dikalikan dengan masing-masing node, $xT.w$. nilai dari $xT.w$ dapat membangkitkan (*excite*) node atau menghalangi (*inhibit*) node.
3. *Threshold* (nilai ambang internal) dari node merupakan besarnya offset yang mempengaruhi aktivasi dari *output* node y .
4. Fungsi aktivasi merupakan sinyal *output* y yang dihasilkan dari operasi matematik. Terdapat fungsi aktivasi yang dipakai dalam JST ini dengan variasi logsig-tansig-purelin (Safitri, 2019).

2. 12. 2. Jaringan Saraf Tiruan Metode *Backpropagation*

Backpropagation merupakan ilmu dalam jaringan saraf tiruan yang terbentuk oleh beberapa lapisan untuk pengubahan bobot-bobot. Pada jaringan, diberikan pasangan suatu pola yang tersusun dari pola masukan dan pola yang diinginkan. Pola yang diberikan pada jaringan dinamakan proses pelatihan. Proses pelatihan berguna untuk memperoleh hasil yang optimal melalui pola yang diberikan pada jaringan. Arsitektur jaringan pada jaringan saraf tiruan terbangun dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer* (Zuhri et al., 2021). *Backpropagation* digunakan untuk melatih jaringan mendapatkan keseimbangan antar kemampuan jaringan mengenali pola yang digunakan selama *training* serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa namun tidak sama dengan pola yang dipakai selama pelatihan.

Secara garis besar, mengapa algoritma ini disebut sebagai propagasi balik atau *backpropagation* dapat dideskripsikan sebab ketika Jaringan diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut menuju ke unit-unit pada lapisan tersembunyi untuk diteruskan ke unit-unit lapisan keluaran. Kemudian unit-unit lapisan keluaran memberikan tanggapan yang disebut sebagai keluaran jaringan. Saat keluaran jaringan tidak sama dengan keluaran yang diharapkan maka keluaran akan menyebar mundur (*backward*) pada lapisan tersembunyi diteruskan ke unit pada lapisan masukan. Oleh karenanya maka mekanisme pelatihan tersebut dinamakan *backpropagation*/propagasi balik. Algoritma pembelajaran *backpropagation* adalah metode *gradient descent* (penurunan gradien) untuk meminimalkan nilai *error output* yang melibatkan pemetaan sekumpulan *input* terhadap sekumpulan target *output*.

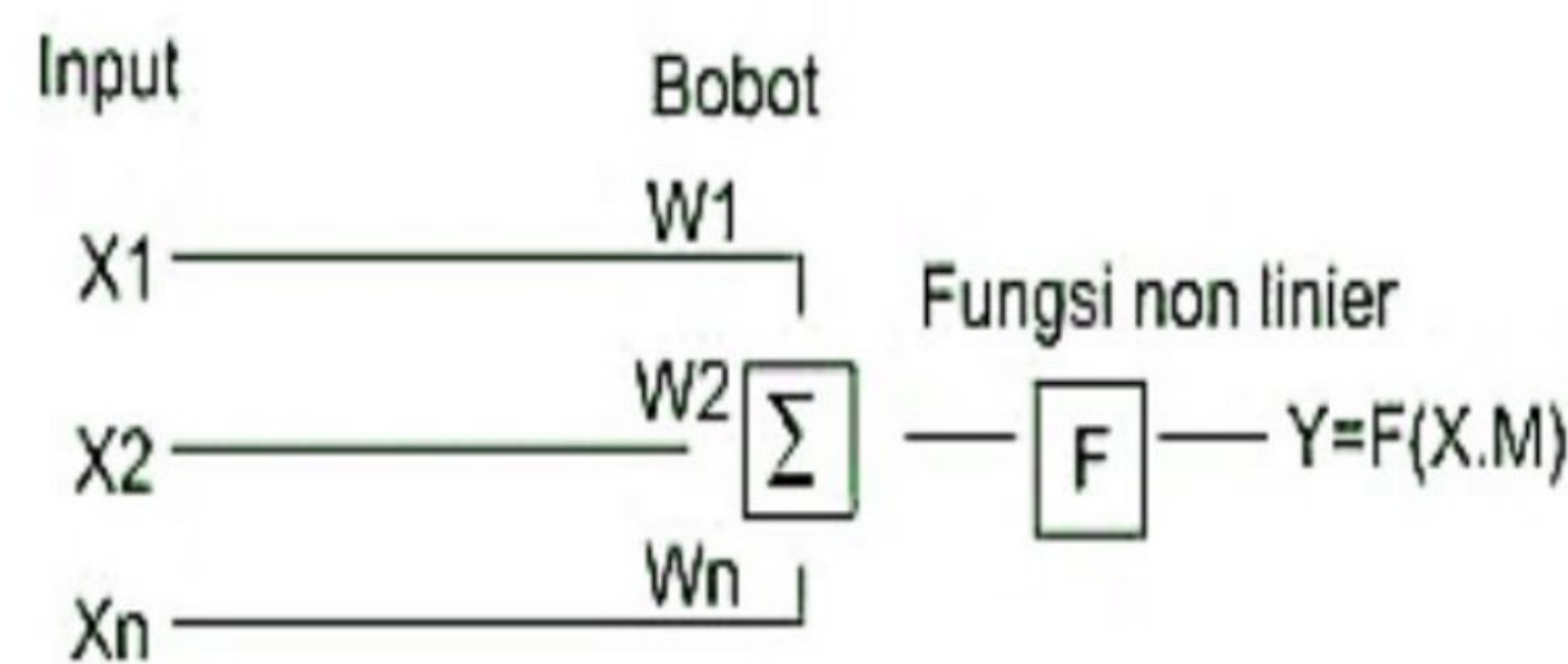
Algoritma pembelajaran *backpropagation* termasuk kategori jaringan dengan pelatihan terbimbing dengan tujuan mendapatkan keseimbangan antara *memorization* dan *generalization*. *Memorization* adalah kemampuan tanggapan yang benar terhadap pola *input* yang dipakai untuk pelatihan jaringan. *Generalization* adalah kemampuan memberikan tanggapan yang layak untuk *input* yang sejenis namun tidak identis dengan yang dipakai pada pelatihan. Proses

pelatihannya terdiri dari tiga tahapan yaitu *feedforward*, *backpropagation* dan penyesuaian bobot yang didahului dengan inisialisasi jaringan.

Pada tahap *feedforward*, node diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi logaritmik. Pada tahap *backpropagation error*, dilakukan perhitungan *error* yang dihasilkan. Pada tahap penyesuaian bobot dan bias, *error* yang terhitung akan digunakan untuk mengubah nilai-nilai bobot dan biasnya sehingga nilai *error* semakin kecil. Setelah pelatihan, aplikasi jaringan hanya melibatkan tahap *feedforward*. Walaupun proses pelatihan jaringan berlangsung relatif lambat, namun jaringan yang telah dilatih dapat menghasilkan keluaran dengan sangat cepat. Pada tahap inisialisasi, ditetapkan maksimum epoh, target *error* dan *learning rate*. Maksimum epoh merupakan jumlah maksimum iterasi yang ditetapkan. Jika epoh = 0 maka pelatihan akan terus diulang selama kondisi penghentian belum terpenuhi. Namun jika epoh > 0 maka pelatihan akan berhenti sampai kondisi penghentian terpenuhi atau epoh > dari maksimum epoh. Target *error* merupakan batas toleransi *error* yang diijinkan berupa nilai MSE (*mean square error*) dan pelatihan akan terus diulang sampai nilai MSE mendekati target *error*. *Learning rate* (α) merupakan laju pembelajaran, semakin besar *learning rate* akan berimplikasi pada semakin besarnya langkah pembelajaran (Safitri, 2019)

2. 12. 3. 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 peristiwa alam. Model matematika mendiskripsikan peristiwa alam dengan satu set persamaan. Pemodelan matematika juga proses untuk mempresentasikan dan menjelaskan permasalahan pada dunia nyata ke dalam pernyataan matematis (Suyitno, 2020). Pada jaringan saraf tiruan terdapat beberapa lapisan (*layer*) yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*) dengan banyak node sebagai unit pemrosesan informasi. Model matematis dari sebuah sel saraf (neuron) diperlihatkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Model matematis JST

Jika dinyatakan dalam notasi matematika: $y = (x_1w_1 + x_2w_2 + \dots x_m. w_m)$ atau $y = (x. w)$

f = fungsi non linear atau fungsi aktivasi

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 tansig adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$
- 7) Persamaan fungsi aktivasi purelin adalah : $y = x$

2. 13. Metode Prediksi Selain Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan Saraf Tiruan (JST) tergolong kedalam salah satu model prediktif dalam *machine learning*, meskipun demikian masih ada beberapa metode lain yang memiliki kemiripan dalam hal fungsi (prediksi/klasifikasi) atau arsitektur. Berikut beberapa metode sejenis beserta penjelasannya:

A. *Support Vector Machine* (SVM)

Support Vector Machine tergolong kedalam salah satu metode klasifikasi dengan menggunakan metode *machine learning*. *Support Vector Machine* melakukan prediksi kelas berdasarkan pola yang dihasilkan pada proses *training* yang digagas oleh Vladimir Vapnik. Proses klasifikasi dilakukan

dengan menerapkan garis pembatas yang membagi antara kelas opini positif dan opini negatif. Ciri khas garis pembatas yang baik adalah yang memiliki jarak terbesar ke titik data pelatihan terdekat dari setiap kelas, sebab semakin besar margin (jarak dari suatu vektor pada suatu kelas terhadap garis pembatas), maka akan semakin rendah kesalahan atau *error* generalisasi dari pemilah (Tanggraeni & Sitokdana, 2022).

B. *Decesion Trees* dan *Random Forest*

Decesion trees adalah metode klasifikasi yang menerapkan pengubahan pada fakta yang sangat besar untuk diubah menjadi pohon keputusan yang mencitrakan aturan (Kriswantara & Sadikin, 2022). *Decesion trees* dapat digunakan untuk melakukan pembagian dari sekumpulan data yang besar kedalam sekumpulan data yang lebih kecil dengan menerapkan aturan keputusan (Aditya *et al*, 2024). Sedangkan *random forest* merupakan salah satu *machine learning* yang digunakan untuk meningkatkan hasil prediksi dengan menggabungkan keunggulan dari pohon keputusan yang dihasilkan oleh *decesion trees*. Prosesnya pada setiap pohon keputusan membuat prediksi secara independen, kemudian hasil akhir klasifikasi ditentukan setelah dilakukan penggabungan hasil keluaran melalui mekanisme voting atau perataan rata-rata. Hasil akhir nantinya akan menghasilkan hasil yang lebih baik daripada hanya menggunakan satu pohon keputusan (Sandag, 2020).

C. *Bayesian Neural Network* (BNN)

Bayesian neural network adalah salah satu metode prediksi yang menggunakan konsep probabilitas bayesian ke dalam proses arsitektur jaringan. Tujuan utama BNN ialah mengatasi dari ketidakpastian dalam proses *training* dengan memperlakukan setiap parameter sebagai variabel acak yang terdistribusi menurut distribusi probabilitas, sehingga BNN mampu menghasilkan hasil yang presisi meskipun dengan data terbatas dengan *overfitting* yang rendah, dan menghasilkan nilai estimasi dari ketidakpastian (Astutik, *et al.*, 2024).

D. *Extreme Learning Machine* (ELM)

Extreme Learning Machine adalah salah satu metode prediksi yang mampu menghasilkan nilai prediksi dengan kesalahan yang rendah tanpa perlu adanya iterasi serta tidak memerlukan *backpropagation* sehingga waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil prediksi tergolong singkat (Apalem, 2023).

Beragam metode prediksi selain menggunakan jaringan saraf tiruan yang dapat digunakan untuk memperoleh hasil prediksi. Meskipun demikian, proses dalam perolehan nilai prediksi menitikberatkan pada penggunaan jaringan saraf tiruan sebab adanya hubungan yang kompleks antara parameter *input* dengan parameter *output*. Pemilihan jaringan saraf tiruan dibandingkan dengan metode prediksi yang lain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan model prediksi.

Kriteria	BNN	ELM	SVM	Decision Tree	Random Forest	JST
Akurasi	Baik (tapi kompleks)	Cukup	Baik untuk data kecil	Rendah	Baik	Terbaik (tangkap pola kompleks)
Ketahanan Noise	Sangat baik	Rentan	Baik	Buruk	Baik	Sangat Baik (dengan dropout+BN)
Multi-Target	Bisa	Terbatas	Tidak	Tidak	Bisa	Optimal (<i>output layer</i> fleksibel)
Interaksi Fitur	Probabilistik	Linear	Kernel-dependent	Dangkal	Acak	Otomatis & Hierarkis
Kecepatan Training	Lambat	Sangat Cepat	Cepat	Cepat	Cepat	Sedang (tapi GPU bisa percepat)
Overfitting	Sangat tahan	Rentan	Tergantung tuning	Sangat rentan	Tahan	Tahan (dengan regulasi)
Implementasi	Kompleks	Mudah	Mudah	Mudah	Mudah	Sedang (butuh tuning)

2. 14. Penelitian Pendukung

Penelitian pendukung sangat diperlukan guna menambahkan informasi dan ilmu yang berhubungan dengan serta menambah referensi agar memudahkan dalam penelitian yang dilakukan. Penelitian pendukung terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penelitian pendukung

No	Nama	Judul	Kesimpulan
1	S, S., & Rivai, A. M. N. 2023	Gambaran Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit di PT Perkebunan Nusantara XIV Kabupaten Luwu Timur	Hasil dari penelitian menunjukkan limbah cair kelapa sawit yang mengalami penurunan kadar pencemar dimana BOD, COD, TSS, N total, dan pH memenuhi baku mutu yang ditetapkan sebelum dikeluarkan ke badan air.
2.	Shodiq, A., Baqaruzi, S., & Muhtar, A. 2021	Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis <i>Internet Of Things</i>	Alat monitoring dan kontrol pemakaian listrik berbasis IoT, telah berhasil dirancang dan digunakan dengan baik. Dengan menggunakan mikrokontroler dan chip WiFi seperti NodeMCU ESP8266, serta program database server MySQL, sistem ini dapat diimplementasikan untuk monitoring dan kontrol listrik berbasis IoT.
3	Dwiyaniti, M., Wardhani, R. N., & Zen, T. 2019	Desain Sistem Pemantauan Kualitas Air pada Perikanan Budidaya Berbasis <i>Internet Of Things</i> dan Pengujiannya	Implementasi sistem pemantauan kualitas air pada budidaya perikanan menggunakan teknologi IoT, ESP32, dan Blynk telah berhasil. Sistem ini mampu mengukur nilai parameter udara seperti pH, suhu, salinitas, dan DO dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini berfungsi dengan baik dan dapat memberikan notifikasi alarm jika terjadi perubahan nilai parameter diluar rentang yang telah ditentukan.

No	Nama	Judul	Kesimpulan
4	Zaynurroyhan, M. 2023	Pemanfaatan Metode Jaringan Saraf Tiruan dalam Prediksi Laju Luas Lahan Sawah di Kecamatan Wanayasa Purwakarta	Metode <i>backpropagation</i> menunjukkan performa yang baik selama tahap pelatihan, regresi menunjukkan korelasi yang kuat, dan pengujian menunjukkan akurasi MSE yang rendah dengan nilai MSE sebesar 0.011914.
5	Iskandar, A. P. 2020	Efektifitas Jaringan Syaraf Tiruan Metode <i>Backpropagation</i> dalam Memprediksi Potensi Banjir (Studi Kasus: Kecamatan Sungai Serut Bengkulu)	Penggunaan algoritma <i>backpropagation</i> dapat membantu dalam prediksi potensi banjir dengan faktor-faktor tertentu yang mempengaruhi tingkat kebenaran prediksi, seperti learning rate, target error, jumlah data pembelajaran, dan nilai bobot. Semakin banyak unit dalam lapisan tersembunyi, hasil prediksi semakin mendekati target.
6	Wahyu, 2021	Rancang Bangun Alat prediksi Kelengasan Tanah Berbasis Jaringan Saraf Tiruan pada Beberapa Jenis Tanah	Alat prediksi kelengasan tanah memiliki nilai <i>error</i> berupa RMSE sebesar 5, 19768, RRMSE sebesar 11, 75 %, dan koefisien determinasi sebesar 0,8774. Sehingga alat prediksi layak untuk mengukur nilai lengas tanah.
7	Zuhri, A. F., Windarto, A. P., Parlina, I., Safii, M., & Andani, S. R. 2021	Optimasi Levenberg-Marquardt <i>backpropagation</i> dalam Mempercepat Pelatihan <i>backpropagation</i> .	Metode Optimasi Levenberg-Marquardt lebih cepat dan meningkatkan akurasi pelatihan <i>backpropagation</i> dibandingkan dengan metode <i>backpropagation</i> standar. Penentuan metode pelatihan sangat berpengaruh terhadap hasil, dan metode

No	Nama	Judul	Kesimpulan
			Levenberg-Marquardt mampu meningkatkan proses pembelajaran dan akurasi.
8	Suyitno, R. B. B. S. 2020.	Implementasi Jaringan Saraf Tiruan backpropagation untuk Prediksi Produksi Jagung (Studi Kasus : Daerah Istimewa Yogyakarta)	Penggunaan metode <i>backpropagation</i> dalam jaringan saraf tiruan mampu memberikan prediksi produksi jagung dengan tingkat akurasi yang tinggi, mencapai 90% pada data uji dengan jumlah data sebanyak 5 menggunakan <i>hidden layer</i> 12, MSE 0.0001, dan <i>learning rate</i> 0.1.
9	Setyonugroho, B., Permanasari, A. E., & Kusumawardani, S. S. 2017	Perbandingan Akurasi Algoritme Pelatihan dalam Jaringan Saraf Tiruan untuk Peramalan Jumlah Pengguna Kereta Api di Pulau Jawa	Hasil perbandingan akurasi dari ketiga algoritme pelatihan tersebut menunjukkan bahwa arsitektur 12-30-1 dengan laju pembelajaran 0,5 menggunakan algoritme pelatihan Levenberg-Marquardt (trainlm) memberikan hasil yang paling optimal.
10	Gunawan, 2020	Prototipe Penerapan <i>Internet Of Things</i> (IoT) Pada Monitoring Level Air Tandon Menggunakan Nodemcu Esp8266 dan <i>Blynk</i>	Pada penelitian ini dihasilkan alat prototipe yang dapat mengontrol ketinggian air dengan IoT. Hasil pembacaan sensor ditampilkan pada aplikasi blynk dan juga terdapat notifikasi pemberitahuan bila air habis.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3. 1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai bulan Mei tahun 2023 di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3. 2. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut.

- 1) Laptop yang telah terinstall arduino IDE dan Matlab berfungsi sebagai alat untuk melakukan penulisan program dan menentukan model matematika.
- 2) *Smarthphone* berfungsi untuk alat untuk mengetahui hasil pengukuran melalui aplikasi *blynk*.
- 3) Solder berfungsi untuk melakukan penyatuan komponen.
- 4) Alat tulis berfungsi untuk melakukan pencatatan data penelitian.
- 5) ESPDUINO-32 berfungsi sebagai pusat kendali alat.
- 6) Kabel jumper berfungsi untuk menghubungkan antar komponen.
- 7) *Breadboard* berfungsi sebagai papan rangkaian untuk menempatkan seluruh komponen.
- 8) *Push button* berfungsi untuk memasukkan nilai.
- 9) LCD I2C berfungsi untuk menampilkan nilai.
- 10) Kotak elektronika berfungsi sebagai wadah rangkaian.
- 11) Baterai berfungsi sebagai sumber daya alat.
- 12) *Socket* baterai berfungsi sebagai wadah untuk menghubungkan baterai dengan rangkaian.
- 13) Modem berfungsi sebagai penyedia jaringan internet bagi alat.
- 14) *Switch on/off* berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan alat.

3. 3. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian berupa data penelitian terdahulu yang terdiri dari data suhu, DO, EC, pH, *Turbidity*, BOD, COD, TSS, amonia, dan minyak. Data tersebut digunakan sebagai data *input* yang digunakan dalam pelatihan dan pengujian pada jaringan saraf tiruan. Data yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari beberapa tahapan proses pengukuran sampel limbah cair kelapa sawit. Data suhu, DO, EC, pH, dan *Turbidity* diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung pada kolam limbah cair kelapa sawit, sedangkan untuk data BOD, COD, TSS, amonia, dan minyak diperlukan perlakuan laboratorium untuk memperoleh hasil tersebut. Berikut tahapan-tahapan dalam memperoleh data hasil pengukuran sampel limbah cair kelapa sawit yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya.

3. 3. 1. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Perhitungan *Biological 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 *Biological 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:

$$\text{BOD}_5 = \frac{(DO_0 - DO_5) - (\text{Blanko } DO_0 - DO_5)}{\text{Pengenceran}} \dots\dots\dots (3.1)$$

- DO_0 : Konsentrasi oksigen terlarut awal sebelum inkubasi (mg/L).
 - DO_5 : Konsentrasi oksigen terlarut setelah 5 hari inkubasi (mg/L).
 - Blanko DO_0 dan DO_5 : Konsentrasi oksigen terlarut pada Aquadest
 - Pengenceran: Jika sampel telah diencerkan sebelum pengukuran, faktor ini diperhitungkan untuk mengoreksi konsentrasi.
6. **Interpretasi:** Nilai BOD_5 yang dihasilkan menunjukkan jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air selama periode inkubasi 5 hari. Semakin tinggi nilai BOD_5 , 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. 3. 2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Pengukuran COD menggunakan metode *refluks* tertutup serta membandingkan hasil analisis COD hari pertama dan hari kedua. Adapun langkah metode *refluks* tertutup yaitu pembuatan larutan, standarisasi FAS, pengujian kadar COD, titrasi, dan kemudian yang terakhir perhitungan COD. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam perhitungan COD:

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. **Pembuatan Larutan** : Proses pembuatan larutan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :
 - a) Larutan baku kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$ 1 N) (*digestion solution*) dibuat dengan menambahkan 10,216 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan dengan

oven pada suhu 150°C selama 2 jam ke dalam 500 mL aquadest. Tambahkan 167 mL H₂SO₄ pekat dan 33,3 g HgSO₄. Larutkan dan didinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 1000 mL aquadest. Kemudian dihomogenkan sampai tercampur rata dengan magnetic stirrer selama 2 menit.

b) Larutan Pereaksi Asam Sulfat dibuat dengan menambahkan sebanyak 10,24 gram kristal Ag₂SO₄ ke dalam 1000 mL H₂SO₄ pekat. Kemudian dihomogenkan hingga larut. Proses pelarutan Ag₂SO₄ dalam asam sulfat dibutuhkan waktu pengadukan selama 2 (dua) hari atau selama 48 jam, menggunakan magnetic stirrer untuk mempercepat melarutnya.

c) Larutan Pereaksi Asam Sulfat dibuat dengan menimbang 19,6 gram Fero Amonium Sulfat (FAS) (NH₄)₂Fe(SO₄)₂·6H₂O kemudian dilarutkan dengan 300 mL air bebas organik/aquadest di labu ukur 1000 mL, tambahkan 20 mL H₂SO₄ pekat sambil didinginkan dan tetapkan sampai tanda tera, kemudian dihomogenkan. Larutan yang sudah dibuat siap untuk digunakan.

3. **Standardisasi FAS 0,05 N** : Setelah larutan yang sudah dibuat maka langkah selanjutnya yang dilakukan sebagai berikut :

a) Larutan K₂Cr₂O₇ 0,1 N dipipet sebanyak 10 mL ke dalam Erlenmeyer.

b) Asam sulfat pekat ditambahkan sebanyak 15 mL ke dalam erlenmeyer dan didiamkan terlebih dahulu sampai suhu ruang.

c) Setelah dingin, indikator ferroin yang berwarna merah ditambahkan ke dalam larutan sebanyak 10 tetes.

d) Dihomogenkan sampai larutan berubah warna.

e) Setelah di homogenkan akan terjadi perubahan warna menjadi warna hijau.

f) Larutan kemudian dititrasi dengan FAS 0,05 N sampai berwarna kemerahan, kemudian baca perubahan volume titrasi.

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

Untuk mendapatkan nilai FAS sebagai berikut ;

Normalitas FAS dihitung dengan rumus :

$$N \text{ FAS} = \frac{\text{Volume kalium dikromat yang digunakan (mL)}}{\text{volume rata-rata FAS yang diperoleh (mL)}} \times N \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$N \text{ FAS} = \frac{10 \text{ mL}}{19,6 \text{ mL}} \times 0,1 \text{ N} \dots\dots\dots (3.3)$$

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

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

4. **Pengujian Kadar COD Menggunakan Metode *Refluks* Tertutup :**

Pengujian kadar COD menggunakan metode COD *refluks* tertutup dengan cara sebagai berikut :

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

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

5. **Titration :** Langkah terakhir dalam pengujian COD yaitu titrasi. Berikut beberapa tahapan dalam proses titrasi :

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

6. **Perhitungan COD :** Setelah semua langkah yang sudah dilakukan selesai untuk mendapatkan nilai COD maka dilakukannya perhitungan.

Berikut contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai COD.

$$\text{Nilai COD sebagai mg/L O}_2 = \frac{(Ab - Ac) \times N \text{ FAS} \times 8000}{Ad} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

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

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

N FAS = Normalitas larutan FAS (N) ;

800 = Nilai ekivalen oksigen x 1.000

Ad = Volume contoh uji (mL) ;

Dari hasil perhitungan diatas dilakukan perhitungan lagi sebagai berikut :

$$\frac{\text{Hasil}}{1,5} \times 100 \dots\dots\dots (3.5)$$

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

3. 3. 3. *Total Suspend Solid (TSS)*

Pengukuran TSS menggunakan metode gravimetri. Berikut Langkah-langkah dalam perhitungan TSS.

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. **Metode Gravimetri** : Metode gravimetri bertujuan untuk mengetahui berapa banyak TSS yang ada di suatu sampel. Pengujian kadar TSS menggunakan metode gravimetri dengan cara sebagai berikut :
 - a) Dioven cawan dan kertas saring selama 20 menit dengan suhu 80° menit lalu dimasukan ke dalam desikator sampai dingin dan timbang.
 - b) Disaring 10 ml sampel menggunakan filtrasi vakum dan kertas saring.

c) Dioven cawan dan kertas saring yang sudah ada endapan/padatan sampel selama 24 jam dengan suhu 80°C lalu dimasukkan ke dalam desikator sampai dingin lalu timbang.

3. **Perhitungan TSS** : Penyaringan dilakukan dengan peralatan penyaring. Media penyaring kertas saring dibasahi dengan sedikit air bebas mineral, diaduk contoh uji hingga diperoleh contoh uji yang homogen kemudian diambil IJCR-*Indonesian Journal of Chemical Research* p. ISSN: 2354-9610, e. ISSN:2614-5081 Vol. 6, No. 1, Hal. 32-41 35 contoh uji secara kuantitatif sebanyak 50- 56 mL dan dimasukkan ke dalam kertas saring, dan dinyalakan sistem vakum, media penyaring dibilas 3 kali dengan masing-masing 10 ml air bebas mineral, dilanjutkan penyaringan dengan sistem vakum hingga tiris, setelah itu dipindahkan media penyaring (*glass-fiber filter*) dari alat penyaring ke timbangan, cawan *gouch*/porselen yang berisi kertas saring dikeringkan dalam oven minimal 1 jam pada kisaran suhu 100°C sampai dengan 105°C didinginkan dalam desikator dan ditimbang, dan diulangi pengovenan dan pendinginan hingga diperoleh berat tetap sebagai W_1 . Setelah semua langkah sudah selesai dilakukan maka dilanjutkan dengan perhitungan TSS seperti berikut:

Perhitungan

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(W_1 - W_0) \times 1000}{V} \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan:

W_0 : berat media penimbang yang berisi media penyaring (mg);

W_1 : berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg);

V : volume contoh uji (ml)

3. 3. 4. Amonia

Pengukuran amonia menggunakan metode kjeldahl yang meliputi tahap detruksi, destilasi, dan titrasi. Berikut Langkah-langkah dalam perhitungan amonia.

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. **Tahap destruksi** : Pada tahap ini sampel limbah cair kelapa sawit akan ditambahkan katalisator (CuSO_4 dan K_2SO_4) sebanyak 5 gram, batu didih, dan asam sulfat sebanyak 7 ml kemudian dipanaskan pada suhu sekitar 250° celcius. Pada tahap ini unsur-unsur akan diurai dan terjadi oksidasi sehingga akan menghasilkan ammonium sulfat. Proses destruksi bisa dikatakan sempurna apabila larutan berubah menjadi bening.
3. **Tahap destilasi** : Pada tahap ini ekstrak dari tahap destruksi diencerkan dengan cara ditambahkan aquades berlebih , kemudian ditambahkan NaOH 40% sebanyak 40 ml dengan tujuan untuk memberikan sensasi basa pada larutan kemudian dilanjutkan dengan penyambungan alat destilator dengan cepat untuk menghindari kehilangan amonia karena penguapan. Seiring dengan proses destilasi, kemudian disiapkan asam borat 10% dan metil merah pada gelas erlenmayer yang nantinya akan menangkap uap amonia dari alat destilasi. Proses destilasi selesai ketika larutan asam borat mencapai volume 50 ml dan adanya perubahan warna.
4. **Tahap titrasi** : Pada tahap ini hasil destilasi akan ditambahkan asam klorida 0.1 M melalui buret dan diteteskan sedikit demi sedikit sampai terjadi perubahan warna pada larutan asam borat. Proses titrasi selesai ditandai dengan terjadinya perubahan warna ke semula. Setelah selesai kemudian dihitung berapa banyak volume HCL yang diperlukan untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam suatu persamaan untuk mencari total kjeldahl nitrogen. Persamaan matematika yang digunakan yaitu : $\text{N Total (mg/l)} = \text{Volume titrasi (ml sampel- ml blanko)}/\text{vol. Sampel} \times \text{massa atom relatif N} \times \text{N HCL}$.

3. 3. 5. Minyak

Pada pengukuran kadar minyak limbah cair dilakukan dengan menggunakan analisis laboratorium. Berikut langkah-langkah dalam perhitungan amonia.

1. **Persiapan Sampel** : Ambil sampel air yang mewakili sumber air yang ingin

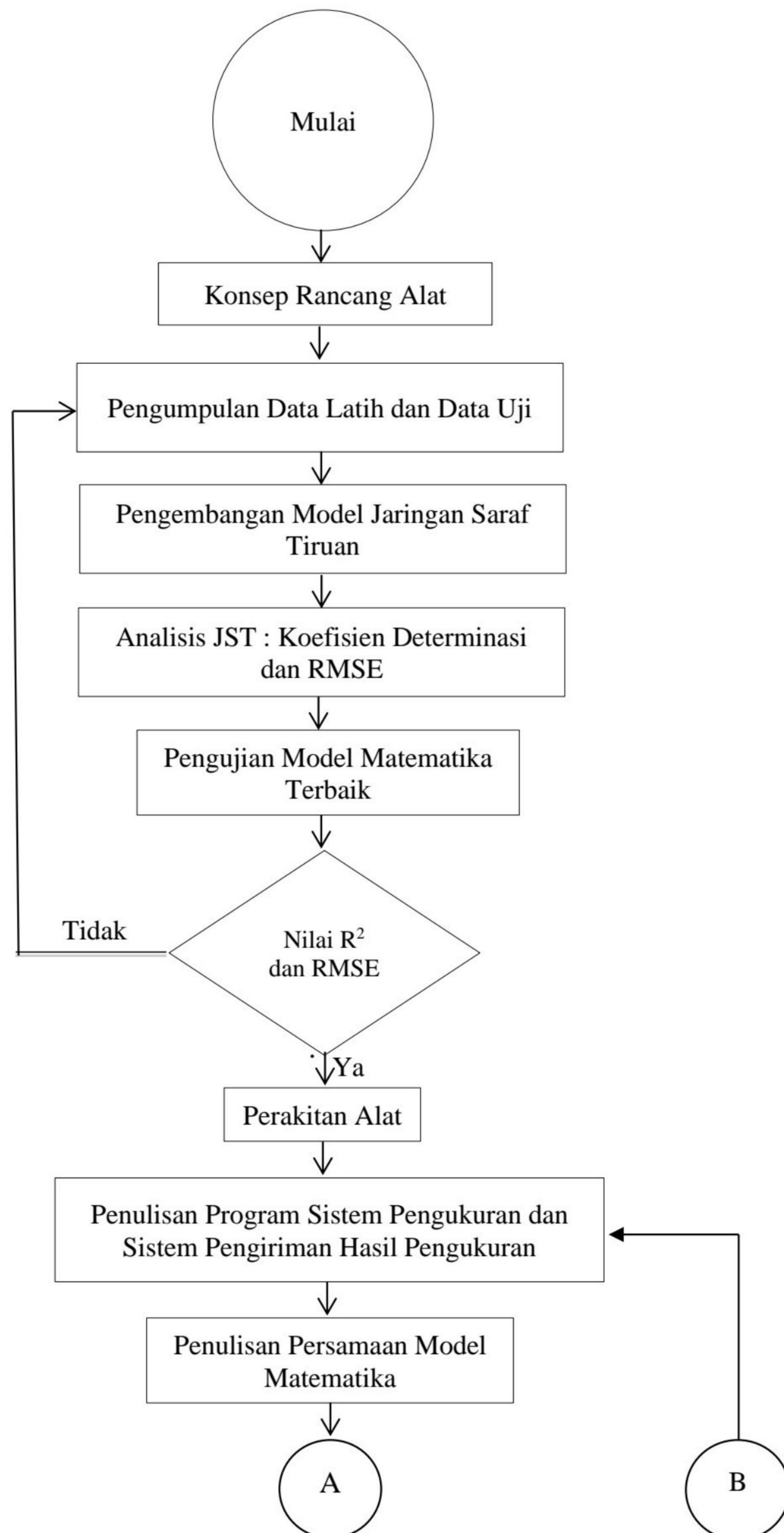
diuji. Pastikan sampel diambil dengan cara yang representatif dan sesuai dengan prosedur pengambilan sampel yang tepat.

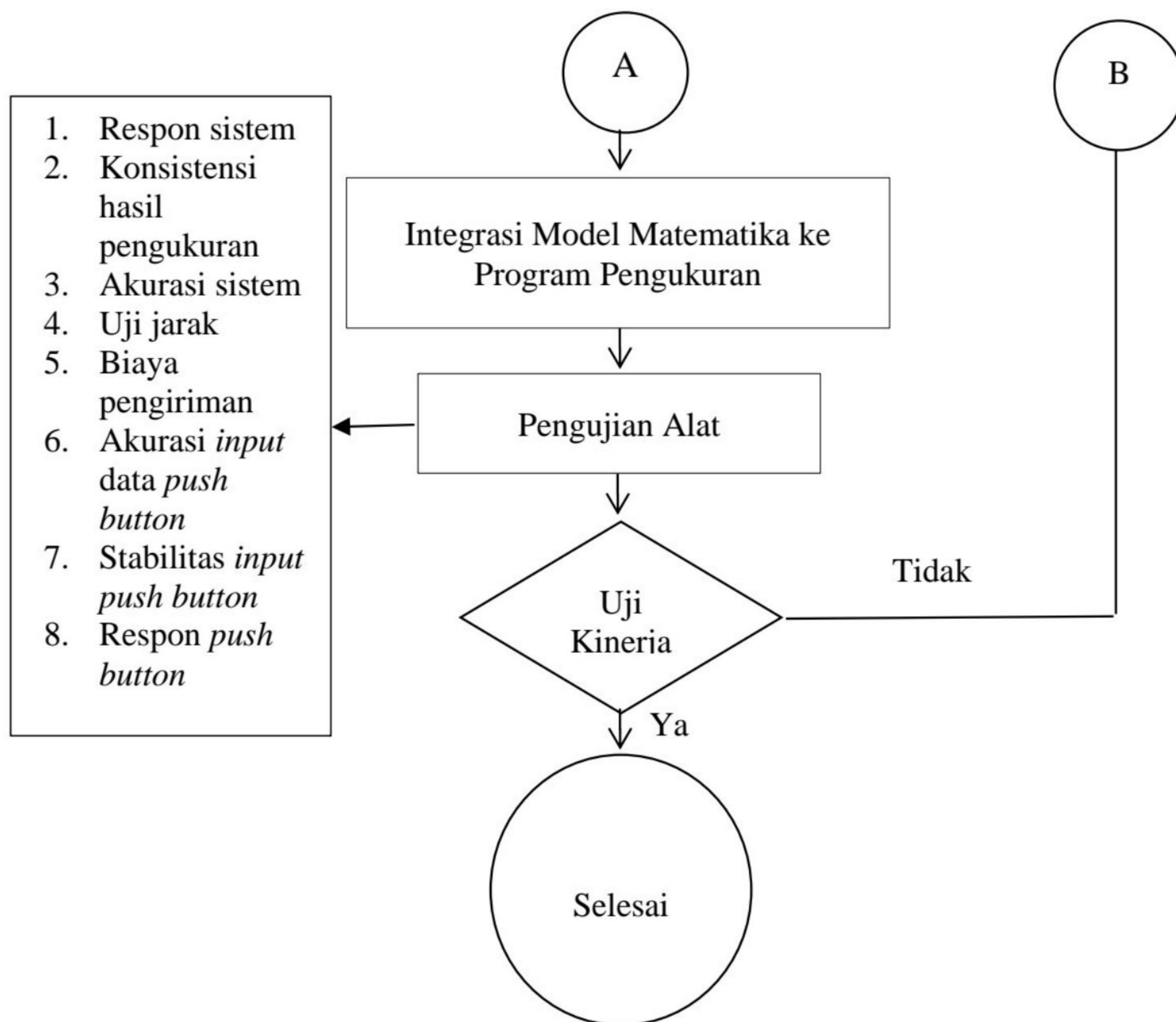
2. **Penentuan Kadar Minyak** : Penentuan kadar minyak dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :
 - a) Dilakukan pengovenan terhadap labu didih selama 15-20 menit untuk mendapatkan bobot konstan labu didih.
 - b) Didinginkan labu didih didalam desikator.
 - c) Ditimbang labu didih menggunakan timbangan analitik untuk mendapatkan bobot konstan.
 - d) Diambil sampel sebanyak 1000 ml dan masukkan kedalam labu pemisah.
 - e) Ditambahkan 30 mL N-Heksana ke dalam sampel.
 - f) Digoyangkan labu pemisahan selama 2 menit agar mendapatkan sampel yang homogen (keluarkan gas pada labu pemisah secara berkala).
 - g) Dipisahkan air sampel dari lapisan N-Heksana.
 - h) Lapisan N- heksana dituangkan ke dalam gelas beaker dengan ukuran lebih kecil.
 - i) Lakukan Pengulangan ekstraksi sampai 2 kali.
 - j) Ditambahkan lapisan N-heksana dengan natrium anhydrous sebanyak 3gr.
 - k) Penyaringan lapisan N-Heksana dengan corong dan kertas saring ke dalam labu rebus.
 - l) Dilakukan destilasi pada suhu 70°C dengan cara labu didih direbus.
 - m) Labu didih dioven selama 60 menit dengan suhu 85°C .
 - n) Pengambilan labu isi dan dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
 - o) Penimbangan labu didih hingga didapat bobot konstan labu didih + residu minyak.
 - p) Setelah step 1-14 dilaksanakan, akan didapatkan sampel kadar minyak.

3. 4. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu perancangan alat, pengembangan model jaringan saraf tiruan, pengujian model matematika, penulisan program alat, perangkaian alat, dan pengujian alat. Berikut

merupakan diagram alir tahapan penelitian ini disajikan dalam Gambar 6.





Gambar 6. Diagram alir penelitian

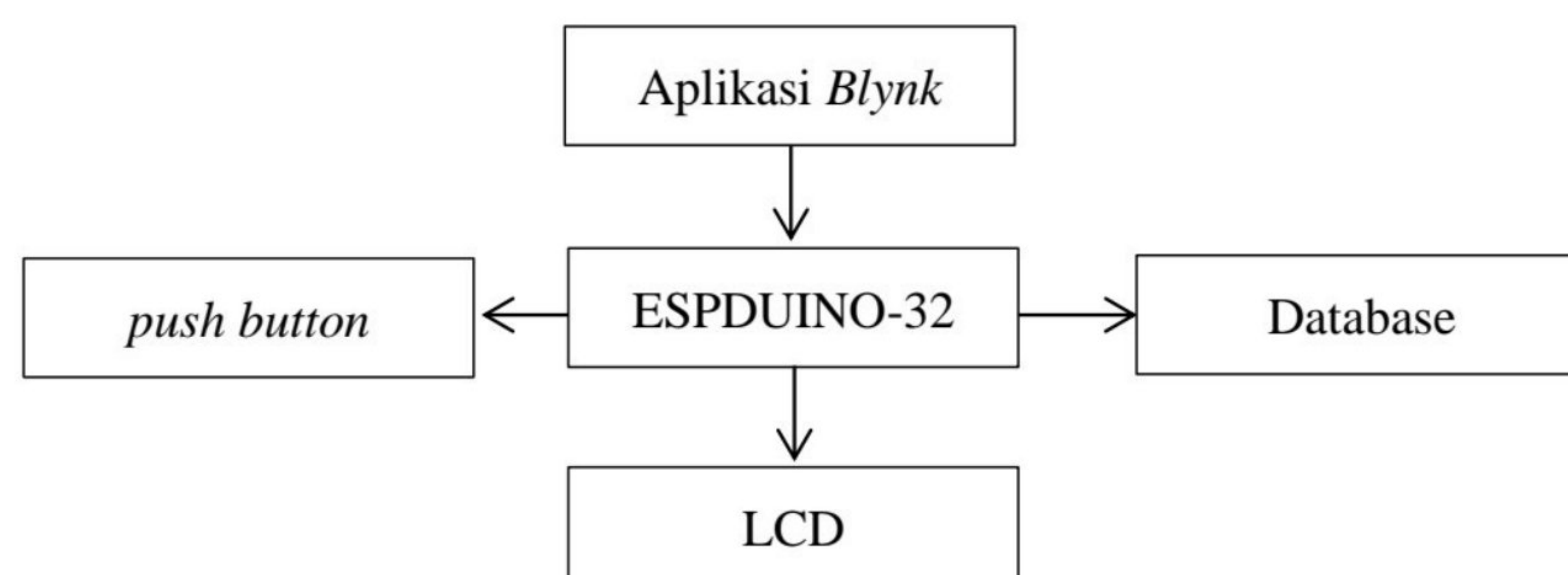
3. 4. 1. Kriteria Desain

Kriteria desain alat pengukuran limbah cair kelapa sawit dirancang untuk memudahkan dalam proses pengukuran baik dari segi operasional maupun segi pembawaan alat. Alat pengukuran akan diletakkan dalam wadah berbentuk persegi panjang yang terbuat dari plastik. Kotak alat yang digunakan berukuran panjang 15 cm, lebar 9,5 cm, dan tinggi 5 cm. Bentuk dan dimensi yang dipilih bertujuan untuk memudahkan dalam pembawaan dan penyimpanannya sebab tidak membutuhkan ruang yang luas. Pemilihan bahan plastik untuk kotak alat guna menghindari terjadinya pecah kotak alat ketika kotak alat terjatuh dan memudahkan dalam membawa kotak alat sebab memiliki berat yang ringan. Selain itu, di dalam kotak alat akan terdapat komponen pengukuran terdapat mikrokontroler ESPDUINO-32 yang terhubung dengan komponen seperti papan rangkaian, *push button*, *switch on/off* dan LCD. Sedangkan pada bagian luar kotak alat akan terpasang sejumlah 4 *push button* yang digunakan sebagai *input*

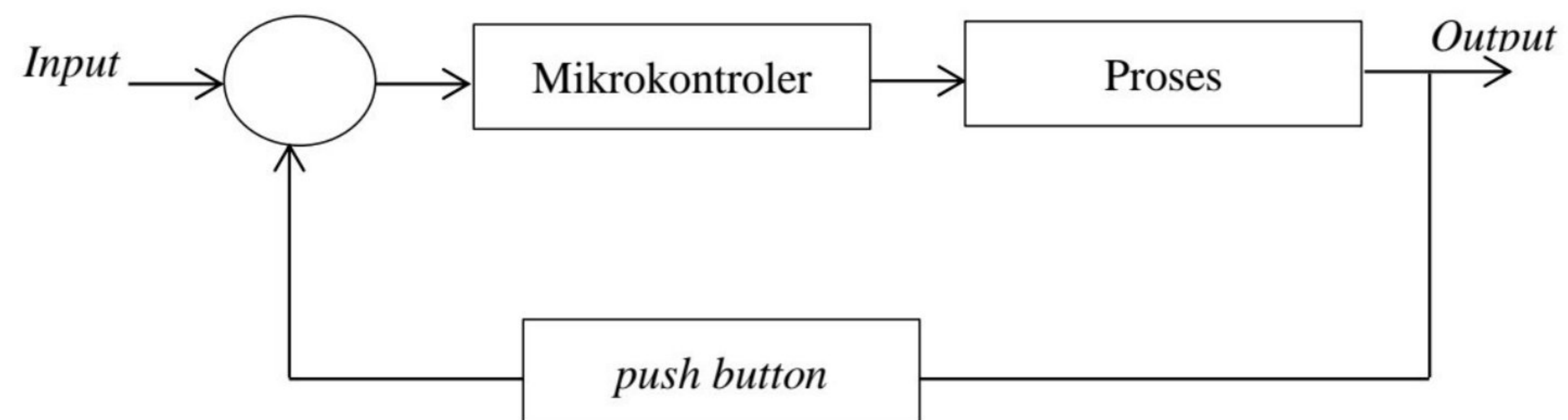
nilai dan mengatur menu *input* nilai, 1 buah *switch on/off* untuk mematikan dan menghidupkan alat, serta terpasang LCD untuk menampilkan hasil *input* nilai dan hasil pengukuran. Alat pengukuran limbah cair kelapa sawit akan menghasilkan nilai hasil pengukuran dengan tingkat keakurasian 90 %.

3. 4. 2. Rancangan Struktural

Proses perancangan terdiri dari beberapa tahap, meliputi membuat *prototype* alat pengukur limbah cair dan perakitan sistem. Pembuatan *prototype* menggunakan kotak plastik hitam berukuran panjang 15 cm, lebar 9.5 cm , dan tinggi 5 cm. Pada kotak akan terpasang dengan sistem pengukuran yang tersusun atas mikrokontroler ESPDUINO-32 sebanyak 1 buah, 4 buah *push button*, 1 buah *switch on/off*, dan LCD 20 x 4. Mikrokontroler ESPDUINO-32 akan diletakkan di dalam kotak alat agar mikrokontroler terhindar dari kerusakan. Sedangkan *push button*, *switch on/off* dan LCD akan diletakkan pada bagian luar kotak alat agar memudahkan pengguna dalam mengoperasikan alat dan melihat hasil pengukuran. Alat akan terhubung dengan wifi agar mampu mengirimkan hasil pengukuran yang dapat di akses perangkat lain seperti menggunakan aplikasi blynk pada smartpone. Rancangan alur sistem dan diagram alir sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Rancangan alur sistem

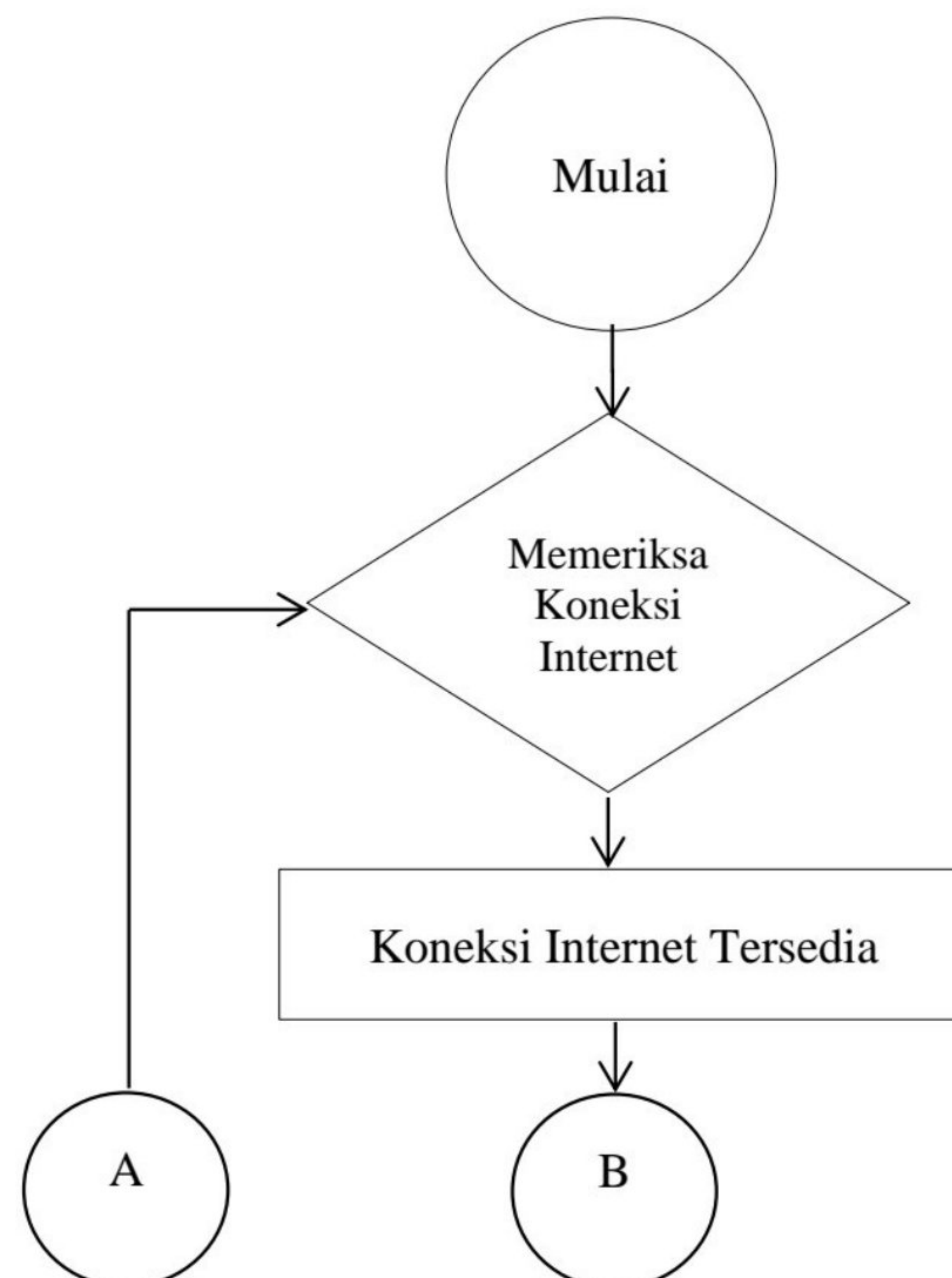


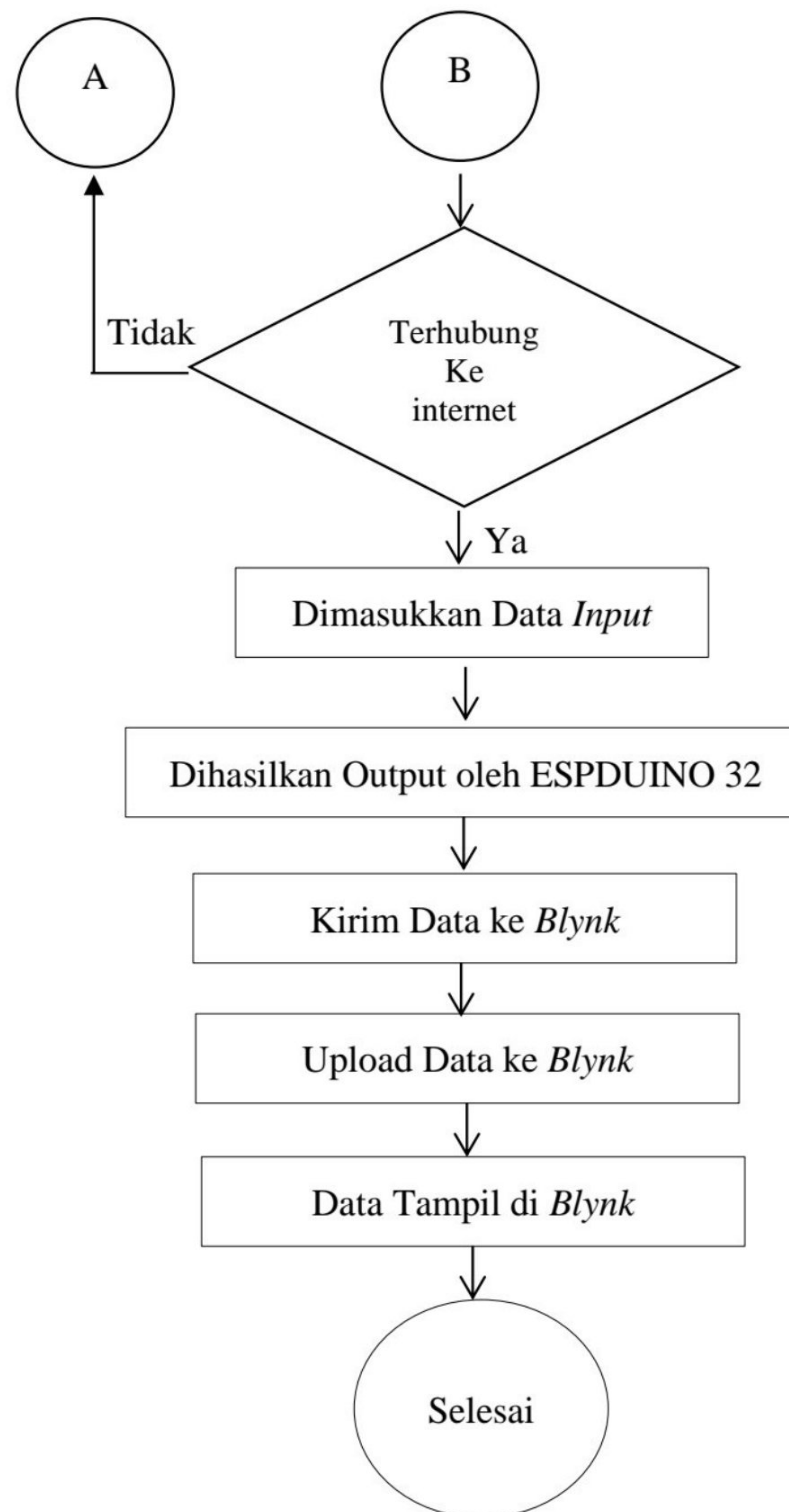
Gambar 8. Diagram alir sistem kontrol

3. 4. 3. Rancangan Sistem Transmisi Data

Rancangan sistem ini menggunakan bahasa pemrograman Arduino.

Pemrograman yang dibuat adalah pembacaan nilai dari *push button*, koneksi ke *blynk* dan pengiriman data ke *blynk*, seperti terlihat pada diagram alir Gambar 9. Diagram alir pada perangkat lunak dimulai dari deteksi koneksi internet yang terhubung dengan server *blynk*. Jika ada koneksi internet, *push button* mulai mengirimkan data dan ESPDUINO-32 menerima data tersebut untuk diteruskan ke *server blynk*. Setelah *server* pada *blynk* *terupdate* data akan ditampilkan pada aplikasi *blynk* di *smartphone*.





Gambar 9. Diagram alir transmisi data keseluruhan

3. 4. 4. Rancangan Tampilan *Blynk*

Rancangan tampilan pada aplikasi *blynk* yaitu berupa tampilan antar muka atau *interface* yang bertujuan untuk memudahkan interaksi pengguna. Tampilan tersebut di desain dengan menambahkan *widget* sesuai kebutuhan. Ada beberapa pilihan *widget* yang bisa dipakai dalam pembuatan project. Pada aplikasi *blynk* terdapat pilihan widget yang beragam, seperti kontroler, *display*, notifikasi dan lain sebagainya. Untuk mengetahui hasil prediksi limbah cair menggunakan perancangan tampilan pada aplikasi *blynk* menggunakan widget *notification labeled value* untuk menampilkan nilai suhu, pH, EC, DO, *turbidity*, BOD, COD,

TSS, minyak, dan amonia.

3. 4. 5. Rancangan Fungsional

Perancangan alat prediksi limbah cair berfungsi untuk melakukan prediksi kadar pencemaran pada limbah cair kelapa sawit serta mengirimkan hasil pengukuran tersebut melalui aplikasi *blynk*. Pada alat terpasang *push button* yang berguna untuk menginput nilai, *switch on/off* berguna mematikan dan menghidupkan alat, dan LCD berguna menampilkan nilai *input* dan hasil pengukuran. Nilai *input* dan hasil pengukuran akan dikirimkan ke *smarthphone* melalui aplikasi *blynk*. Alat ini menggunakan beberapa komponen di antaranya ESPDUINO-32, *push button*, modem, *switch on/off*, dan LCD.

a) ESPDUINO-32

ESPDUINO-32 adalah *board* mikrokontroler berbasis ESP8266-12 sehingga memiliki kemampuan untuk terhubung dengan WiFi. ESPDUINO-32 dirancang khusus untuk keperluan *Internet of Things* (IoT). Pada dasarnya sebuah *integrated circuit* (IC) mikrokontroler terdiri dari satu atau lebih inti prosesor (CPU), memori (RAM dan ROM) serta perangkat *input* dan *output* yang dapat diprogram. ESPDUINO-32 memiliki 11 pin *input* dan *output* pin digital dan 1 pin ADC pin analog, clock speed 80 MHz/160 MHz, koneksi micro USB to USB type A, power jack, tombol reset dan operasi daya 5 V.

b) Push Button

Push button berfungsi guna mengatur tegangan pada *power supply* dan pembagi tegangan pada peralatan elektronik. *Push button* merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk memutus dan mengalirkan arus listrik. *Push button* dimanfaatkan sebagai komponen untuk memberikan nilai masukan ke mikrokontroler dengan cara menekan *push button*.

c) *Liquid Crystal Display (LCD)*

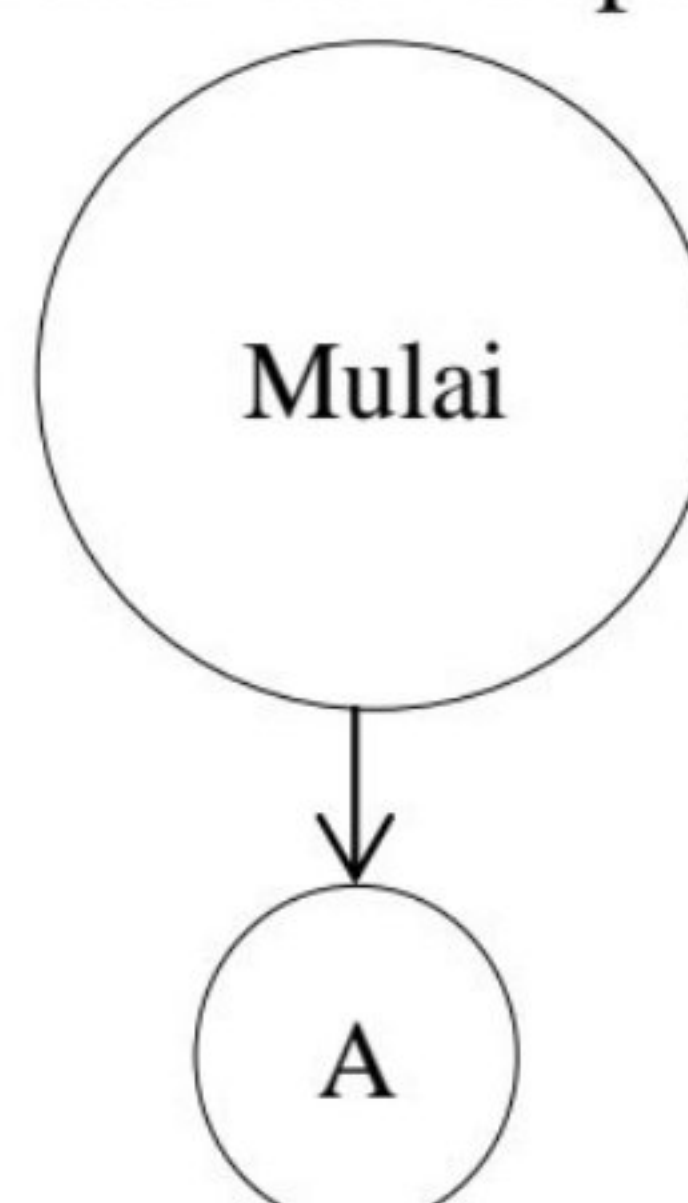
Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu jenis media *display* yang menggunakan kristal cair untuk menghasilkan gambar yang terlihat. *Liquid Crystal Display (LCD)* berfungsi menampilkan gambar dan nilai pengukuran yang diukur dan telah dikelola melalui mikrokontroler secara *real time*.

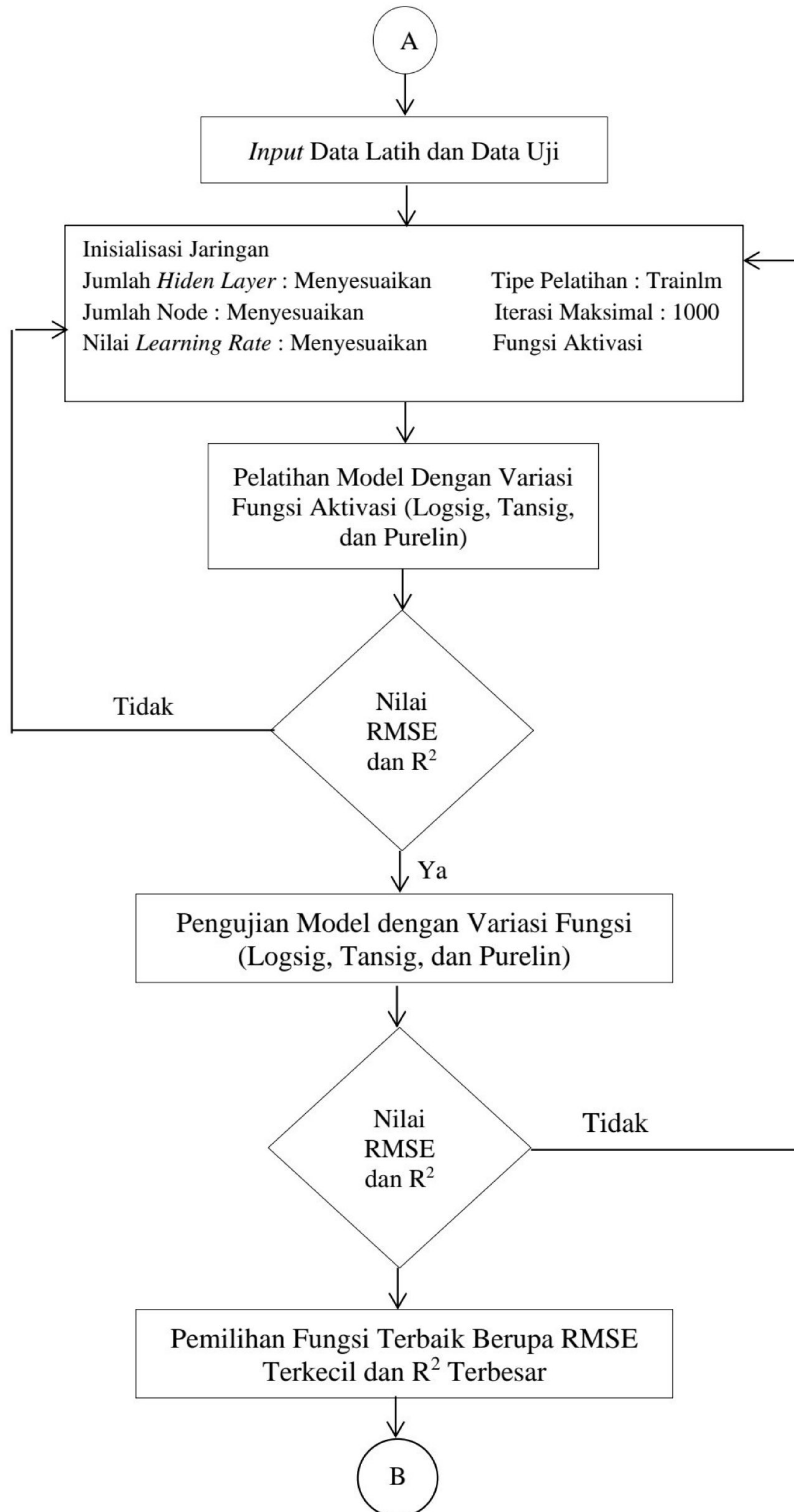
d) **Modem**

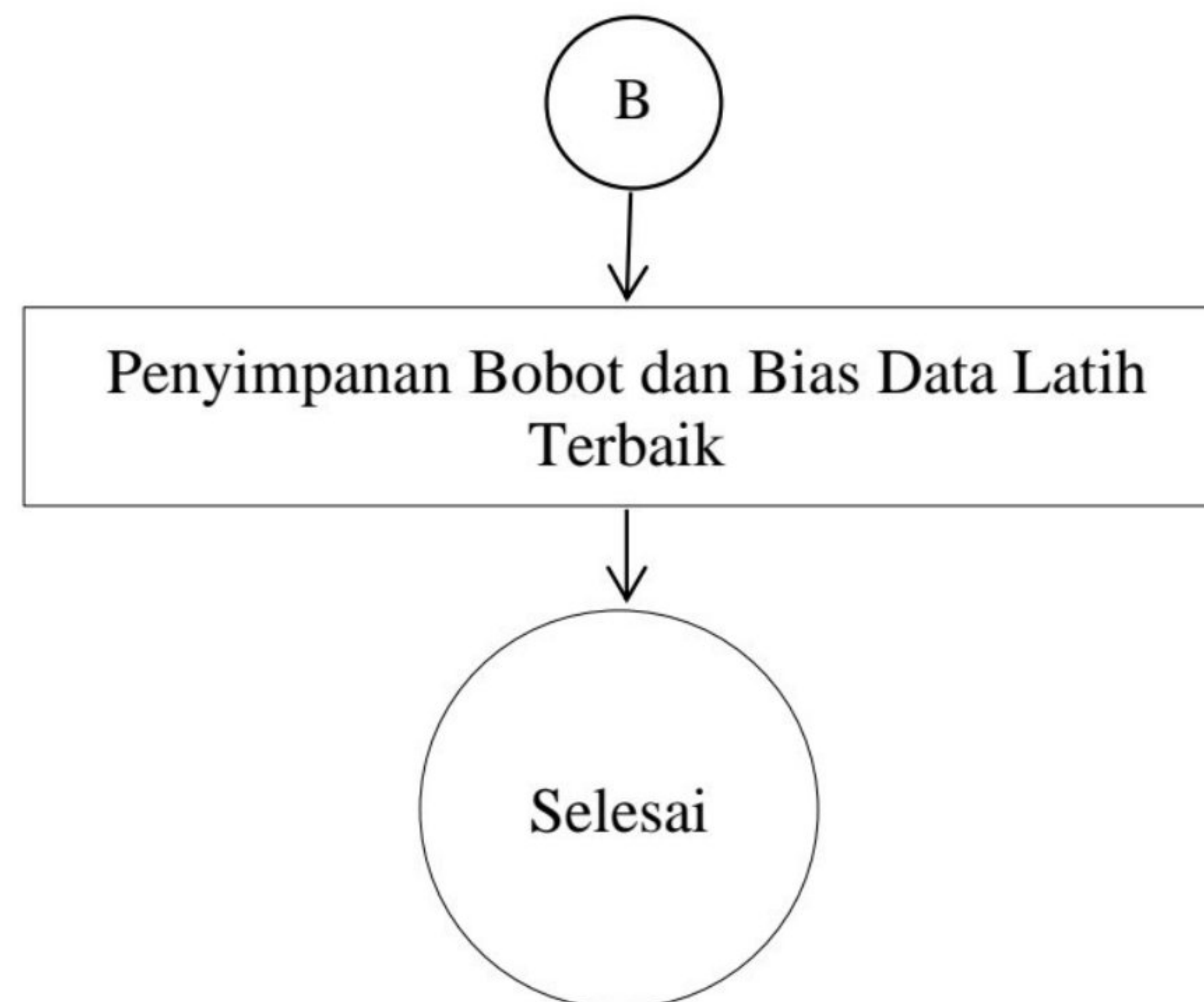
Modem merupakan singkatan dari *Modulator Demodulator* yang dapat diartikan sebagai perangkat keras untuk mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog. Sedangkan WiFi itu merupakan singkatan dari *Wireless Fidelity*, yang berarti jaringan nirkabel yang mampu memancarkan koneksi internet. Modem WiFi adalah sebuah perangkat yang mampu memancarkan koneksi internet tanpa memerlukan kabel. Dengan begitu, pengguna dapat membawanya kemanapun karena sudah mengusung sistem *portable*. Modem jenis ini memiliki spesifikasi yang mendukung kecepatan unduh hingga 500 Mbps dan kecepatan unggah hingga 5,76 Mbps. Modem ini juga dilengkapi oleh micro SD dan antena. Modem ini dapat membuat koneksi Wifi sehingga perangkat lain dapat terhubung.

3. 5. **Pemodelan Jaringan Saraf Tiruan**

Pemodelan jaringan saraf tiruan dilakukan dengan penentuan arsitektur jaringan berdasarkan dengan data yang dimiliki. Pemodelan jaringan diperoleh berdasarkan proses *grid search* untuk menghasilkan pemodelan jaringan yang optimal. Proses pengembangan model JST dapat dilihat pada Gambar 10.







Gambar 10. Proses pengembangan model jaringan saraf tiruan

Tahap pertama dalam pemodelan jaringan saraf tiruan adalah melakukan pelatihan. Tahap pelatihan memiliki tujuan untuk menghasilkan parameter-parameter JST dan bobot masing-masing lapisan yang paling sesuai yang 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 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 1000 dengan *Mean Square Error* (MSE) terkecil sebesar 0,00001.

Semakin kecil nilai target *error* maka nilai iterasinya akan semakin besar dan keakurasiannya juga semakin tinggi. Selain itu, lapisan-lapisan penyusun jaringan saraf tiruan dibagi menjadi 3, yaitu lapisan *input* (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output* (*output layer*) (Hendra *et al.*, 2018). Banyak peneliti melakukan upaya terbaik mereka dalam menganalisis solusi berapa banyak neuron yang disimpan dalam lapisan tersembunyi untuk mendapatkan hasil terbaik, tetapi peneliti belum berhasil menemukan formula yang tepat untuk menghitung jumlah neuron yang seharusnya disimpan di lapisan tersembunyi sehingga waktu pelatihan jaringan saraf dapat dikurangi dan juga akurasi dalam menentukan *output* target dapat

ditingkatkan. Pada dasarnya ketika berhadapan dengan jumlah neuron pada lapisan *input*, kita harus menganalisis tentang data yang dilatih.

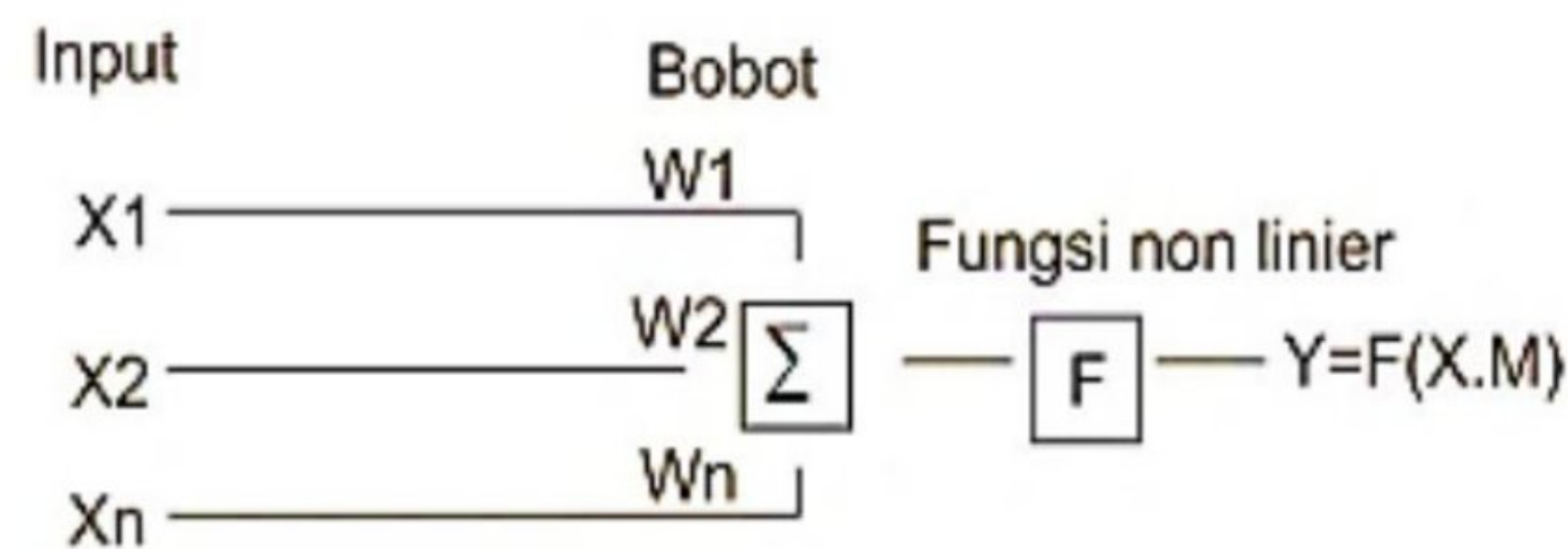
Jumlah *hidden layer* ditentukan menurut kerumitan data yang akan diolah. Semakin banyak data yang digunakan maka semakin banyak *hidden layer* dan neuron (node) yang digunakan (Karsoliya, 2012). Berdasarkan hal tersebut, pengembangan model jaringan saraf tiruan pada penelitian ini menggunakan *hidden layer* dengan node pada masing-masing *hidden layer* sesuai hasil dari *grid search*. Hal ini dikarenakan data yang diolah pada penelitian ini tidak terlalu rumit dan banyak, sehingga node dan *hidden layer* tersebut yang digunakan. Setelah memiliki jumlah *hidden layer*, nilai *learning rate* (LR) dimasukkan ke dalam inisialisasi jaringan. *Learning rate* (α) merupakan laju pembelajaran, semakin besar *learning rate* akan berimplikasi pada semakin besarnya langkah pembelajaran. Nilai *learning rate* (LR) yang optimal untuk pelatihan JST berkisar di antara 0,001 sampai 0,006 (Safitri, 2019).

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini menggunakan nilai *learning rate* sebesar 0,001 sampai 0,006. Tipe pelatihan yang digunakan ialah tipe pelatihan *trainlm* (Lavenberg- Marquardt). Tipe pelatihan *trainlm* merupakan tipe pelatihan tercepat dan direkomendasikan pada saat pengembangan jaringan dibandingkan dengan tipe pelatihan yang lain (Setyonugroho *et al.*, 2017). Terdapat suatu penelitian yang membandingkan enam tipe pelatihan untuk memperoleh tingkat ketelitian pengenalan pola data pada algoritma pelatihan dalam jaringan saraf tiruan. Pada penelitian tersebut menggunakan enam tipe pelatihan yaitu *traingda*, *traingdx*, *trainrp*, *trainoss*, *trianbfg*, dan *trainlm*. Setelah melakukan perbandingan antara keenam tipe pelatihan tersebut, disimpulkan bahwa tipe *trainlm* menghasilkan tingkat keakuratan yang lebih tinggi dengan rata-rata *error* yang rendah dibandingkan dengan tipe pelatihan yang lain (Lailasari, 2023). Sehingga mampu disimpulkan bawa algoritma *trainlm* merupakan algoritma yang paling teliti.

3. 6. Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika pada jaringan saraf tiruan menyatakan topologis dari

interkoneksi para neuron dalam jaringan saraf tiruan berserta aturan-aturan yang dipergunakan dalam jaringan. Pemodelan matematika menggambarkan fenomena dalam satu set persamaan. Pemodelan matematika juga termasuk proses dalam menjelaskan suatu persoalan atau permasalahan nyata ke dalam pernyataan matematis (Widiowati *et al*, 2007). Pada Gambar 11 merupakan gambar model matematis dari sebuah sel saraf.



Gambar 11. Model matematis jaringan saraf tiruan

Apabila dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$Y = f(x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_mw_m)$$

Model matematika akan diperoleh dari fungsi aktivasi terbaik dimana fungsi aktivasi memiliki bobot dan bias. Bobot artinya suatu nilai yang menggambarkan kepentingan hubungan antara suatu node dengan node yang lain. Bias artinya salah satu node *input* yang bersifat khusus sebab selalu bernilai 1. Penggunaan bias dalam jaringan saraf tiruan guna mempercepat pelatihan, sebab keberadaan bias berguna sebagai faktor koreksi terhadap kecukupan variabel-variabel *input* yang telah ditetapkan. Bobot dan bias yang telah diperoleh dari fungsi aktivasi selanjutnya akan dirubah kedalam persamaan model matematika. Penggunaan fungsi aktivasi akan dihasilkan bobot dan bias pada masing-masing parameter yang diujikan. Bobot dan bias tersebut dihasilkan pada proses pengembangan jaringan saraf tiruan. Bobot dan bias tersebut akan menyesuaikan persamaan yang didapat dari fungsi aktivasi.

3. 7. Uji Kinerja Alat

Uji kinerja alat dilakukan dengan konsistensi hasil pengukuran, respon sistem, akurasi sistem, kecepatan pengiriman data, biaya pengiriman, dan uji jarak.

3. 7. 1. Konsistensi Hasil Pengukuran

Konsistensi hasil pengukuran pada sistem alat prediksi pengukuran limbah cair kelapa sawit merupakan hal yang sangat penting. Hasil yang konsisten yaitu apabila hasil yang diperoleh selalu tetap dan tidak berubah ketika dilakukan pengujian. Sedangkan pada hasil yang tidak konsisten dapat diakibatkan oleh kondisi tertentu, sehingga hasil yang diperoleh berubah-ubah saat dilakukan pengujian.

3. 7. 2. Respon Sistem

Respon sistem dapat memberitahu perubahan perilaku terhadap kecepatan kinerja alat. Respon sistem menunjukkan perubahan kinerja alat dalam bentuk kurva karakteristik yang merupakan dasar untuk menganalisa karakteristik selain menggunakan persamaan matematik (Sepriyawan, 2018). Respon sistem terbagi menjadi dua, yakni respon *steady state* dan *transient*. Respon *transient* merupakan respon sistem yang digunakan untuk mengukur waktu ketika sistem baru pertama kali digunakan (pada titik 0) hingga mencapai *steady state*. Sedangkan respon *steady state* digunakan untuk mengukur waktu respon ketika sistem telah dalam keadaan stabil hingga waktu yang tak terhingga (Prasetyo, 2017).

3. 7. 3. Akurasi Sistem

Pada pengujian nilai akurasi pengiriman data dilakukan dengan mengambil perbandingan nilai yang muncul pada serial monitor dengan nilai data yang tampil pada aplikasi *blynk*. Pada tahap ini memiliki tujuan untuk mengetahui besarnya perbedaan nilai yang ditampilkan pada kedua penampil data hasil pengukuran tersebut (Gunawan, 2020). Pada akurasi pengiriman data ini diharapkan dapat menunjukkan berapa besarnya nilai persamaan atau perbedaan variabel yang direkam dari *push button* ke mikrokontroller. Akurasi pengiriman data dapat dilakukan dengan membandingkan nilai data yang tampil pada LCD dengan nilai data yang tampil pada aplikasi *blynk*.

3. 7. 4. Uji Jarak

Menurut Nurrohmanasyah (2020) mengatakan bahwa jarak merupakan salah satu variabel penting pada pengendalian alat yang menggunakan sistem *wireless* atau *nirkabel*. Pada penelitian ini memerlukan pengujian pada jarak antara sistem pengukuran parameter limbah cair kelapa sawit dengan *user* sehingga dapat diketahui besarnya jangkauan terjauh untuk sistem tersebut.

3. 7. 5. Biaya Pengiriman

Biaya pengiriman berhubungan dengan penggunaan paket data. Paket data digunakan untuk dapat mengakses internet yang dapat dipergunakan oleh pengguna alat. Paket data diperuntukkan untuk ESPDUINO-32 agar dapat melakukan transfer data ke aplikasi *blynk* sehingga user dapat mengetahui nilai hasil pengukuran parameter limbah melalui *blynk*. Sehingga diperlukan adanya pengujian mengenai penggunaan jumlah paket data yang digunakan ketika melakukan akses *blynk*.

3. 8. Pengujian Push Button

Pengujian *push button* dilakukan dengan cara uji akurasi *input data push button*, uji stabilitas *input push button*, dan uji respon *push button*.

3. 8. 1. Akurasi Input Push Button

Pada pengujian nilai akurasi *input data push button* dilakukan dengan mengambil perbandingan nilai yang diinputkan secara manual dengan nilai yang tampil pada serial monitor. Pada tahap ini memiliki tujuan untuk mengetahui besarnya perbedaan nilai yang ditampilkan pada kedua penampil nilai *input push button*.

3. 8. 2. Stabilitas Input Push Button

Stabilitas *input push button* pada sistem alat prediksi pengukuran limbah cair

kelapa sawit merupakan hal yang sangat penting. Sistem yang stabil yaitu apabila variabel yang dikendalikan selalu berada ataupun mendekati nilai yang di *input* kan. Sedangkan pada sistem yang tidak stabil dapat diakibatkan oleh kondisi tertentu, sehingga variabel yang dikendalikan bergeser dari nilai yang diinginkan.

3. 8. 3. Respon *Push Button*

Respon *push button* dapat memberitahu perubahan perilaku terhadap kecepatan kinerja *push button* ketika *push button* di tekan. Respon *push button* menunjukkan perubahan kinerja *push button* dalam bentuk kurva guna menganalisis kinerja *push button*. Respon *push button* berguna untuk mengetahui waktu respon *push button* ketika di tekan hingga memunculkan nilai yang diinginkan.

3. 9. Analisis Data

Analisis data yang digunakan yaitu analisis determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE), dengan penjelasan sebagai berikut.

a) Analisis Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) pada intinya digunakan untuk mengukur seberapa besar kemampuan variabel bebas dalam menerangkan variabel terikat (Wahyu, 2021). Nilai koefisien determinasi terbesar adalah 1 dan terkecil adalah 0. Jika nilai $R^2 = 0$ atau $R^2 \approx 0$, berarti garis regresi tidak dapat digunakan untuk membuat perkiraan variabel bebas (x). Hal ini karena variabel-variabel bebas yang dimasukkan dalam persamaan regresi tidak mampu menjelaskan atau tidak berpengaruh terhadap variabel terikat (y). Nilai R^2 dicari dengan membuat grafik scatter nilai observasi versus nilai prediksi pada *Microsoft Excel*. Pada grafik, ditambahkan trendline lalu dipilih tipe regresi linier dan menampilkan nilai R^2 . Interpretasi mengenai koefisien determinasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Interpretasi koefisien determinasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00–0,199	Sangat rendah
0,20–0,399	Rendah
0,40–0,599	Sedang
0,60–0,799	Kuat
0,80–1	Sangat kuat

b) Analisis *Root Mean Square Error* (RMSE)

Analisis *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan. Nilai RMSE yang rendah menyatakan nilai variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya atau prediksinya semakin akurat (Wahyu, 2021). Dibawah ini merupakan rumus matematika untuk memperoleh nilai RMSE.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5. 1. Kesimpulan

Simpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Hasil rancangan berupa alat pengukuran kadar limbah cair kelapa sawit yang dapat terhubung dengan internet. Alat ini memiliki komponen seperti *espduino-32*, *push button*, dan LCD. Komponen diletakan dalam kotak hitam berukuran 15 cm x 9,5 cm x 5 cm. Alat akan menampilkan data pembacaan hasil pengukuran ke LCD dan aplikasi *blynk*.
2. Hasil dari pengujian kinerja alat pengukuran kadar limbah cair kelapa sawit sebagai berikut.
 - a. Uji respon sistem saat alat pertama kali dihidupkan sampai terhubung ke internet mendapatkan rata-rata kecepatan sebesar 9,2 detik.
 - b. Uji respon sistem saat alat pertama kali terhubung ke internet sampai mengirimkan data ke aplikasi *blynk* mendapatkan rata-rata kecepatan sebesar 2,4 detik.
 - c. Akurasi pengiriman data hasil pengukuran diperoleh RMSE untuk BOD sebesar 0, COD sebesar 0, TSS sebesar 0, amonia sebesar 0, dan minyak sebesar 0.
3. Hasil dari penentuan model matematika terbaik yang diperoleh sebagai berikut.
 - a. Model matematika terbaik untuk BOD diperoleh dari fungsi aktivasi *tansig-purelin*, dengan hasil validasi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9633 dan RMSE sebesar 1467, 242.
 - b. Model matematika terbaik untuk COD diperoleh dari fungsi aktivasi *tansig-tansig-tansig* dengan hasil validasi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9718, dan RMSE sebesar 3955, 373.
 - c. Model matematika terbaik untuk TSS diperoleh dari fungsi aktivasi *tansig-purelin* dengan hasil validasi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2)

sebesar 0,8424 dan RMSE sebesar 2192, 422.

- d. Model matematika terbaik untuk amonia diperoleh dari fungsi aktivasi *tansig-purelin* dengan hasil validasi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9304 dan RMSE sebesar 16, 744.
- e. Model matematika terbaik untuk minyak diperoleh dari fungsi aktivasi *tansig-purelin-logsig-purelin* dengan hasil validasi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,955 dan RMSE sebesar 63,630.

5. 2. Saran

Saran pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan lebih lanjut dan memperluas cakupan parameter pencemaran.
2. Menggunakan komponen yang lebih memudahkan dalam *penginputan* nilai.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. F., Azizah, N. L., & Indahyanti, U. 2024. Prediksi Penyakit Hipertensi Menggunakan metode. *Jurnal Ilmiah KOMPUTASI*, 9-15.
- Amadani, F. A. 2024. *Prediksi Kadar Biochemical Oxygen Demand pada Limbah Cair Kelapa Sawit menggunakan Metode Multi Sensor*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Apalem, R. 2023. Penerapan Metode Extreme Learning Machine (ELM) untuk Memprediksi Hasil Sensor EWS Trafo. *JTIK*, 30-39.
- Astutik, S., Rahmi, N. S., Sumarminingsih, E., Pramodyo, H., Irsandy, D., Saniyawati, F. Y. Susanto, M. H. 2024. Pemodelan Jaringan Syaraf Bayesian Curah Hujan: Studi Kasus Di Jawa Timur. *Journal of Mathematics and Its Applications* , 1105-1116.
- Ardyanto, F. 2020. 5 Penyebab Boros Kuota Internet, Ketahui Triknya Agar Hemat. liputan6.com. <https://hot.liputan6.com/read/4321773/5-penyebab-boros-kuota-internet-ketahui-triknya-agar-hemat>.
- Azhar , G. A., Sungkono, Achmadiyah, M. N., & Izza, S. 2023. Peningkatan Kestabilan Sistem Kontrol UGV melalui Optimalisasi Manajemen Core dan Free-RTOS pada ESP32. *Jurnal Elkolind Volume 10, Nomor 2*, 253-264.
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Chandra, M., Rini, S., & Permana, R. 2015. Analisis Metode Backpropagation Untuk Memprediksi Indeks Harga Saham Indofood Sukses Makmur TBL (INDF). *Jurnal KomTekInfo Fakultas Ilmu Komputer*, 02(1).
- Dwiyaniti, M., Wardhani, R. N., & Zen, T. 2019. Desain Sistem Pemantauan Kualitas Air Pada Perikanan Budidaya Berbasis Internet Of Things Dan Pengujiannya. *MULTINETICS*, 5(2), 57-61.
- Fauzia, A. D & Siska, F. 2022. Pengadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah sebagai Syarat Pembuangan Limbah Cair dalam Upaya Pencegahan Pencemaran Air berdasarkan Peraturan Bupati Cirebon Nomor 1 Tahun 2014 Tentang Ketentuan Perizinan Pembuangan Limbah Cair ke Sumber Air di Cirebon. *Jurnal Riset Ilmu Hukum*, 1(2), 104–110.
- Gunawan, I. 2020. Prototipe Penerapan Internet Of Things (Iot) Pada Monitoring Level Air Tandon Menggunakan Nodemcu Esp8266 Dan Blynk. *Jurnal*

Informatika dan Teknologi, 1-7.

- Hendra, J., Sabran, Idris, M. Muh., Djawad, A. Y., Ilham, A., & Ahmar, S. A. 2018. *Kecerdasan Buatan*. Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar. Makasar.
- Horowitz, P., & Hill, W. 2020. *The Art of Electronics : The X-Chapters*. Cambridge University Press
- Iskandar, A. P. 2020. Efektifitas Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation Dalam Memprediksi Potensi Banjir (Studi Kasus: Kecamatan Sungai Serut Bengkulu). *Journal of Technopreneurship and Information System (JTIS)*, 3(2), 50–56.
- Istiana, W., & Cahyono, R. P. 2022. Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis IoT. *Jurnal Portal Data*, 2(6), 1-14.
- Karsoliya, S. 2012. Approximating Number of *Hidden layer* neurons in Multiple *Hidden layer* BPNN Architecture. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 3(6), 714-717.
- Lailasari, R. 2023. *Design Of Soil Moisture Measuring Instrument Through Variations In Soil Density And Temperature Based On Artificial Neural Networks*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Leowan, M. M. 2024. *Prediksi Kadar Total Suspended Solid (TSS) pada Limbah Cair Kelapa Sawit menggunakan Metode Multisensor dan Jaringan Saraf Tiruan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Mesutoglu, O. C., & Gok, O. 2024. Prediction of COD in industrial wastewater treatment plant using an artificial neural network. *Scientific Reports*.
- Novriyanda, A. T. 2023. *Prediksi Minyak pada Limbah Cair Kelapa Sawit menggunakan Metode Multisensor*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Nurrohmanasyah, R. 2020. *Desain Interface Dan Sistem Kendali Gerak Traktor Tangan Menggunakan Jaringan Wireless Berbasis Mikrokontroller*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Osman, N. A., Ujang, F. A., Roslan, A. M., Ibrahim, M. F., & Hassan, M. A. 2020. The effect of Palm Oil Mill Effluent Final Discharge on the Characteristics of *Pennisetum purpureum*. *Scientific Reports*, 10(1), 6613.
- PASPI. 2024. Carbon Sink dalam Perkebunan Kelapa Sawit. *Journal Analysis of Palm Oil Strategic Issues*, 4(36).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. 2018. Perubahan Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2015 tentang Baku Mutu Air Limbah No.

P. 21/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2018.

- Prasetyo, B.D. 2017. *Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis Ph Limbah Cair Industri Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Mikrokontroler*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Pratama, N. P., & Oktiawati, U. Y. 2022. Analisis dan Implementasi Wireless Access Point Berbasis Raspberry Pi dan Pemberitahuan Akses Pengguna Menggunakan Telegram. *Journal of Internet and Software Engineering*, 3(1), 1–11.
- Putrawan, I. G. H., Rahardjo, P., & Agung, I. G. A. P. R. 2019. Sistem Monitoring Tingkat Kekeruhan Air dan Pemberi Pakan Otomatis pada Kolam Budidaya Ikan Koi Berbasis NodeMCU. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(1), 1–10.
- Putri, F. N. 2023. *Prediksi Kadar Chemical Oxygen Demand pada Limbah Cair Kelapa Sawit menggunakan Metode Multi Sensor*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. 2021. Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 6(2), 12–22.
- S, S., & Rivai, A. M. N. 2023. Gambaran Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit di PT Perkebunan Nusantara XIV Kabupaten Luwu Timur. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 23(1), 147-155.
- Safitri, N. R. 2019. *Rancang Bangun Sensor Kelengasan dan Suhu Tanah Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sakti, A. J. 2019. Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Di Pt. So Good Food Pesawaran Lampung. *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 13(2), 70-74.
- Santoso, I. 2023. *Prediksi Kadar Nitrogen Total pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit menggunakan Metode Multisensor*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Septyawan, A. Y., & Pramaningsih, V. 2022. Analisis Status Mutu Air Sungai Karang Mumus Dan Dampak Kesehatan Segmen Tanah Datar Dan Waduk Benanga Kota Samarinda. *Jurnal Ilmiah Bidang Pengelolaan SumberDaya Alam Dan Lingkungan*, 18(3), 125–133.
- Setyonugroho, B., Permanasari, A. E., & Kusumawardani, S. S. 2017. Perbandingan Akurasi Algoritme Pelatihan Dalam Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Jumlah Pengguna Kereta Api Di Pulau Jawa. *jurnal metik*, 1(1).

- Shodiq, A., Baqaruzi, S., & Muhtar, A. 2021. Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis Internet Of Things. *ELECTRON : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2(1), 18-26.
- Shyu, H. Y., Castro, J. C., Bair, A. R., Lu, Q., & Yeh, H. D. (2023). Development of a Soft Sensor Using Machine Learning Algorithms for Predicting the Water Quality of an Onsite Wastewater Treatment System. *Environmental Journal*, 308-318.
- Smith, J. R., & Lee, K. 2021. Debouncing Techniques for Reliable Inputs in Embedded Systems. *IEEE Embedded Systems Letters*, 15(3), 45-48.
- Suyitno, R. B. B. S. 2020. *Implementasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation Untuk Prediksi Produksi Jagung (Studi Kasus: Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta)*. Universitas Teknologi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Wahyu, A. D. 2021. *Rancang Bangun Alat prediksi Kelengasan Tanah Berbasis Jaringan Saraf Tiruan Pada Beberapa Jenis Tanah*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Zaynurroyhan, M. 2023. Pemanfaatan Metode Jaringan Saraf Tiruan Dalam Prediksi Laju Luas Lahan Sawah Di Kecamatan Wanayasa Purwakarta. *Jurnal SITECH : Sistem Informasi dan Teknologi*, 5(2), 65–72.
- Zuhri, A. F., Windarto, A. P., Parlina, I., Safii, M., & Andani, S. R. 2021. Optimasi Levenberg-Marquardt backpropagation dalam Mempercepat Pelatihan Backpropagation. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 627 – 630.