

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDKPS)

JUDUL PENELITIAN

"Pengembangan Teknologi Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit Berbasis IoT untuk Mendukung *Sustainability*"

KELOMPOK PENELITI

Perguruan Tinggi

Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc (Teknik Pertanian Universitas Lampung)

Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc (Teknik Pertanian Universitas Lampung)

Martinus, S.T., M.Sc (Teknik Mesin Universitas Lampung)

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P (Teknik Pertanian Universitas Lampung)

Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc (Teknik Pertanian Universitas Lampung)

BIDANG PENELITIAN

Lingkungan

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN/PERGURUAN TINGGI

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat

Universitas Lampung

Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit

Kementerian Keuangan

Tahun 2021

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pengembangan Teknologi Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit Berbasis IoT untuk Mendukung *Sustainability*
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc
 - b. Jenis Kelamin : L / P
 - c. NIP/NIK : 196112111987031004
 - d. Jabatan Struktural : Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Unila
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - f. Lembaga Periset : Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung
 - g. Alamat : Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145
 - h. Telpon/Faks : 0721-705173 / 0721-773798
 - i. Alamat Rumah : Jl. Untung Suropati, Gg Somad No 10b. Labuhan Ratu, Bandar Lampung, 35143
 - j. Telpon/Faks/E-mail : 081369595560 / striyono2001@yahoo.com
3. Lembaga Mitra : PT. Lambang Bumi Perkasa, Lampung Indonesia.
4. Anggota Peneliti

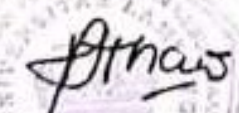
No	Nama	Instansi
1	Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc	LPPM Universitas Lampung
2	Martinus S.T., M.Sc	LPPM Universitas Lampung
3	Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P	LPPM Universitas Lampung
4	Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc	LPPM Universitas Lampung

5. Pembiayaan

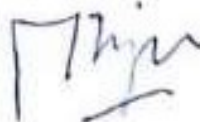
Uraian	Jumlah
Biaya yang dibutuhkan Tahun I	Rp 1.074.027.000
Biaya yang dibutuhkan Tahun II	Rp 726.962.000
Biaya yang dibutuhkan Tahun III	Rp 612.909.000

Bandar Lampung, 7 Maret 2022

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian dan
Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Lampung


Dr. Luzmellia Afriani, D.EA
NIP 19650510 1993032008

Ketua Peneliti



Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc
NIP 196112111987031004

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR ISI	3
DAFTAR GAMBAR	5
DAFTAR TABEL	5
ABSTRAK	6
BAB I. PENDAHULUAN	7
1.1. Latar Belakang	7
1.2. Tujuan Khusus	8
1.3. Rumusan Masalah	8
1.4. Urgensi Penelitian	8
1.5. Manfaat Penelitian	9
1.6. Luaran yang Akan Diperoleh.....	9
1.7. Kontribusi Lembaga dan Mitra	9
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1. Karakteristik POME	10
2.2. Pengukuran Parameter Kualitas Air Limbah.....	11
2.2.1. Pengukuran Suhu	12
2.2.2. Pengukuran Kekeruhan atau Turbidity.....	12
2.2.3. Pengukuran pH	13
2.2.4. Pengukuran Electrical Conductivity (EC) dan Total Dissolved Solids (TDS)	13
2.2.5. Pengukuran BOD dan COD	14
2.3. Metode Elektrokimia	14
2.4. Teknologi IoT	15
BAB III. METODE RISET	16
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2. Bahan dan Perlakuan	16
3.3. Konsep Perakitan	16
3.4. Parameter dan Metode Analisis.....	16
3.5. Pengujian Alat Ukur Cepat BOD, COD, Minyak, TSS, TN	17
3.5.1. Kalibrasi	17
3.5.2. Validasi.....	17

3.6. Pengujian Transmisi Sistem Pengukur Cepat Berbasis IoT	18
3.6.1. Akurasi Data Pengiriman	18
3.6.2. Persediaan dan Penggunaan Energi Listrik	18
3.6.3. Kecepatan Pengiriman Data	18
BAB IV. HASIL YANG TELAH DILAKUKAN	19
BAB V. BIAYA DAN JADWAL	26

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Contoh aplikasi IoT pada waste water management.....	10
Gambar 3.1.	Skema mekanisme kerja alat.....	13
Gambar 3.2.	Roadmap Penelitian Alat Ukur Cepat BOD dan COD.....	14
Gambar 3.3.	Pengembangan model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada alat ukur Cepat COD dan BOD.....	15
Gambar 3.4.	Arsitektur Jaringan Pengukuran Cepat.....	16
Gambar 4.1.	Alat Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit IoT.....	20
Gambar 4.2.	Motherboard Sistem Alat Ukur Limbah.....	22
Gambar 4.3.	Modul dan Sensor suhu limbah.....	23
Gambar 4.4.	Modul dan Sensor pH limbah	23
Gambar 4.5.	Modul dan Sensor <i>Electrical Conductivity</i> (EC) limbah.....	24
Gambar 4.6.	Modul dan Sensor Amonia.....	24
Gambar 4.7.	Modul dan Sensor Turbidity (Kekeruhan).....	25

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik air limbah pabrik kelapa sawit.....	5
Tabel 2.2	Baku mutu limbah cair kelapa sawit.....	6
Tabel 4.1	Hasil Rancang Bangun Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Kelapa Sawit	19
Tabel 4.2	Hasil Pra-Kalibrasi Sistem Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Kelapa Sawit.....	21
Tabel 4.3	Luaran Tahunan.....	25
Tabel 5.1	Komponen Biaya.....	26
Tabel 5.2	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	27

ABSTRAK

Air limbah pabrik pengolahan kelapa sawit atau POME (Palm Oil Mill Effluent) merupakan limbah yang paling besar. POME bersifat asam, berwarna kecoklatan, memiliki nilai COD yang sangat tinggi dan berpotensi buruk pada lingkungan. Pengelolaan POME yang baik perlu didukung oleh pemantauan kualitasnya secara rutin. Pengukuran dan analisis air limbah POME yang ada saat ini memerlukan waktu yang lama untuk mengetahui hasilnya. Sifat-sifat kelistrikan air limbah POME akan dipengaruhi oleh karakteristik air limbah itu sendiri. Oleh karena itu, salah satu alternatif untuk memperoleh pengukuran yang cepat adalah menggunakan perkakas yang mampu mengkonversi karakteristik air limbah POME menjadi parameter lain yang dapat diukur dengan cepat seperti konduktivitas listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat teknologi pengukuran kualitas air limbah POME yang dapat dioperasikan secara cepat, real time, dan remote. Beberapa sensor mulai dari sensor logam dan sensor cahaya infra merah akan dikembangkan untuk kepentingan ini. Penelitian direncanakan akan dilakukan dalam 3 tahun. Tahun pertama akan mengembangkan sensor logam untuk mengkonversi karakteristik air limbah POME menjadi konduktivitas listrik. Sensor EC yang sudah banyak dijumpai di pasaran akan digunakan untuk konversi ini. Tahun kedua dilakukan pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan dan Internet of Think terhadap sensor infra merah sehingga dapat melakukan pengukuran kualitas limbah POME tanpa menyentuh (non-contact). Pada tahun ketiga yaitu implementasi teknologi perangkat pengukuran di lahan mitra dan pemasangan panel surya internet, serta pengukuran dan pemantauan secara *real-time* dan *remote*.

Kegiatan yang sudah dilakukan meliputi pengadaan peralatan penunjang laboratorium dan bahan-bahan kimia yang diperlukan untuk analisis air limbah sawit. Alat-alat lab dan bahan-bahan kimia sudah tersedia. Pembenahan fasilitas laboratorium seperti jaringan air, ruang asam, lemari alat telah dilakukan. Di Waktu yang sama. "Alat Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit Berbasis IoT" sebanyak satu unit sudah berhasil dirakit dan siap untuk di kalibrasi dan validasi.

Kata Kunci : POME, kualitas, COD, ammonia, bau, suhu, IoT, remote, real time.

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang kunci bagi ekonomi Indonesia. Eksport produk kelapa sawit merupakan sumber devisa yang penting dan industri pengolahan kelapa sawit (PKS) telah menyediakan kesempatan kerja bagi jutaan rakyat Indonesia. Peningkatan dan keberlanjutan produksi kelapa sawit sangat berkaitan dengan pertumbuhan daerah-daerah terpencil, menurunnya kemiskinan, dan meningkatnya standar hidup penduduk pedesaan (PASPI, 2018).

Selain volume produk utama berupa CPO, PKS juga menghasilkan limbah yang sangat besar, baik padat maupun cair. Limbah cair dari proses pengolahan kelapa sawit dinamakan POME (*palm oil mill effluent*). Setiap ton tandan buah segar yang diolah, akan menghasilkan POME pada kisaran 0,6-0,8 m³ (Haryanto et al., 2019). Dari sisi berat, limbah POME lebih besar dibandingkan semua limbah padat (TKKS 22%, serat 13%, cangkang 5%). Setiap ton tandan buah segar yang diolah akan menghasilkan POME pada kisaran 0,6-0,8 m³ (Haryanto et al., 2019) Dari sisi berat, limbah POME lebih besar dibandingkan semua limbah padat (TKKS 22%, serat 13%, cangkang 5%). POME berwarna kecoklatan, bersifat asam, dan mengandung bahan organik yang tinggi dengan nilai COD hingga 90.000 mg/L sehingga memerlukan pengelolaan yang baik. 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 nilai COD sampai level yang diijinkan untuk dialirkan ke badan air (sungai). Sumber emisi gas rumah kaca hingga 80%. 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 Tahun 2018). Oleh karena itu, karakteristik limbah POME harus dipantau secara rutin. Masalahnya adalah bahwa pengukuran dan analisis parameter kualitas air limbah saat ini, selain mahal juga memerlukan waktu panjang dan hanya bisa dilakukan oleh sedikit laboratorium.

Oleh karena itu, metode pengukuran dan analisis kualitas air limbah POME secara cepat sangat dibutuhkan untuk dapat mengambil tindakan yang perlu di level manajerial agar POME memenuhi baku mutu air limbah. Perkembangan teknologi sensor dan elektronika sangat berpeluang untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Secara sederhana, komponen air limbah POME akan menghasilkan karakteristik yang bisa dikonversi menjadi parameter seperti konduktivitas listrik yang bisa diukur dengan cepat. Sensor logam diharapkan dapat mengkonversi beberapa parameter dalam standar baku mutu air limbah (COD, BOD, ammonia, bau, pH, kekeruhan) menjadi konduktivitas listrik. Selain itu, penggunaan sensor tak-menyesentuh seperti sinar infra merah juga dapat diaplikasikan untuk mengembangkan e-nose yang lebih praktis untuk keperluan pemantauan secara cepat kualitas air limbah. Perkembangan teknologi informasi juga memungkinkan untuk merakit semua peralatan ini menggunakan IoT (Internet of Thing) terkoneksi ke perangkat smart phone sehingga pemantauan dapat dilakukan secara real time dan dari jarak jauh (remote).

1.2. Tujuan Khusus

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan teknologi pengukuran kualitas air limbah POME yang mampu mendeteksi secara tepat karakteristik POME. Teknologi yang dikembangkan diharapkan mampu mendeteksi secara cepat parameter kualitas air limbah seperti COD, BOD, minyak, TSS, TN, kadar ammonia, pH, kekeruhan, dan suhu. Pengembangan teknologi juga ditujukan agar pemantauan dapat dilakukan secara real time dan remote.

1.3. Rumusan Masalah

Bagaimana mengkonversi parameter kualitas air limbah POME menjadi parameter lain yang dapat diukur secara cepat seperti daya hantar listrik yang bisa dibaca secara langsung pada alat.

1.4. Urgensi Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memudahkan pemantauan kualitas air limbah POME sehingga dapat segera diambil tindakan yang perlu guna memperoleh pengelolaan POME yang memenuhi baku mutu sesuai dengan PMLHK No 21 Tahun 2018.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian dapat digunakan untuk monitoring pengelolaan air limbah sehingga dapat menghasilkan air limbah yang memenuhi baku mutu, mengurangi permasalahan yang timbul akibat kualitas POME yang buruk. Diharapkan hal ini akan memberikan citra yang baik dalam pengelolaan air limbah POME di pabrik pengolahan kelapa sawit.

1.6. Luaran yang Akan Diperoleh

Luaran adalah teknologi dan perangkat (alat) pengukuran kualitas air limbah POME secara cepat, real time, dan remote.

1.7. Kontribusi Lembaga dan Mitra

Dalam penelitian ini, tim peneliti dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung (LPPM Unila) yang diketuai oleh Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc. akan bekerjasama dengan pabrik pengolahan kelapa sawit di Lampung seperti PKS PT. Lambang Bumi Perkasa Lampung, PTPN VII Bekri Lampung, PKS PT. Sinar Mas Lampung, dan PKS PT. Sinar Mas Sumatera Utara. Tim peneliti dari LPPM Unila akan mengembangkan perangkat keras dan perangkat lunak perkakas untuk pengukuran kualitas limbah POME yang bisa dioperasikan secara cepat, real time, dan remote. Sementara itu mitra PKS PT. Lambang Bumi Perkasa, PTPN VII Bekri Lampung, PKS PT Sinar Mas Lampung, dan PKS PT Sinar Mas Sumatera Utara akan menyediakan tempat dan bahan POME untuk pengujian alat.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik POME

Air limbah pabrik sawit (POME) sangat berbahaya karena mengandung senyawa organik yang tinggi. Kandungan TS berkisar antara 11500-67900 mg/L, BOD berkisar antara 10300-47500 mg/L, COD antara 15600-53600 mg/L (Tabel 1). Jika dibuang ke badan sungai, air limbah sawit dapat menyebabkan kerusakan-kerusakan kualitas air seperti menurunnya kadar oksigen terlarut dan pendangkalan sungai. Derajat keasaman air limbah sawit yang juga sangat tinggi dengan nilai pH 3,8-4,5, dapat merusak proses alami di perairan. Selain itu, air limbah sawit juga mengandung nutrient fosfor dan nitrogen yang tinggi yaitu masing-masing 0-110 mg/L dan 180-1820 mg/L. Di perairan sungai, unsur ini dapat menyebabkan eutrophication atau pengkayaan air, sehingga memicu peledakan tanaman liar di sungai.

Tabel 2.1. Karakteristik air limbah pabrik kelapa sawit

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

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

Banyak langkah-langkah yang telah dilakukan untuk mencegah kerusakan lingkungan oleh air limbah sawit. Pemerintah RI membuat peraturan agar air limbah sawit diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 21 Tahun 2018 untuk menentukan baku mutu kualitas air limbah sawit yang boleh dibuang ke badan air (Tabel 2). Mengikuti peraturan yang berlaku, industri kelapa sawit membuat unit pengolahan air limbah sawit dengan bermacam teknik, yang

umumnya bertipe lagoon. Upaya pengoperasian unit pengolahan air limbah sawit ini umumnya berhasil memperbaiki kualitas air limbah hingga layak dibuang ke sungai.

Tabel 2.2. Baku mutu limbah cair kelapa sawit

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

Sumber : PMLHK No 21 Tahun 2018

Namun demikian, kelemahan unit pengolahan air limbah kelapa sawit umumnya terletak pada sistem kontrol dan pemantauannya. Kualitas air limbah sangat dipengaruhi oleh kinerja pabrik, ketika beban kerja pabrik naik maka kualitas air limbah menurun dan volumenya meningkat. Ketika kualitas influent air limbah memburuk maka kinerja unit pengolahan air limbah bisa menurun karena mendapatkan beban lebih tinggi dan kualitas effluent yang dihasilkan juga memburuk. Masalah ini sering terjadi karena lemahnya system pemantaun kualitas air limbah dan pengendalian proses. Pemantauan kualitas air limbah dilakukan dengan teknik pengukuran tidak secara cepat sehingga tindakan pencegahan atau perbaikan proses di unit pengolahan air limbah tidak bisa dilakukan secara cepat.

Pengukuran dan pemantauan kualitas air limbah sawit secara langsung sangat diperlukan. Bagi industri, pemantauan secara langsung dapat memberikan informasi lebih awal sehingga tindakan modifikasi atau perbaikan proses pengolahan air limbah bisa dilakukan tepat waktu ketika diperlukan. Bagi pihak pemerintah, informasi lifetime kualitas air limbah sawit bisa digunakan untuk memantau konsistensi pembuangan effluent air limbah sawit ke lingkungan.

2.2. Pengukuran Parameter Kualitas Air Limbah

Parameter kualitas air limbah sawit yang diatur oleh Kementerian Lingkungan Hidup RI terdiri dari pH, BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, dan Nitrogen total

(Tabel 2). Namun demikian, bukan berarti parameter lain tidak penting karena saling berkaitan terutama untuk kepentingan pengukuran cepat secara elektrokimia.

2.2.1. Pengukuran Suhu

Pengukuran suhu dapat dilakukan dengan beberapa teknik, semisal secara mekanis, thermojunctive, thermoresistive, radiative. Contoh termometer yang menggunakan teknik mekanis adalah termometer gelas atau termometer bimetal. Cairan di dalam gelas atau bimetal akan memuai ketika terkena panas. Contoh pengukuran suhu dengan proses thermojunctive adalah termokopel. Termokopel terbuat dari dua kawat yang berbeda, disambungkan, dan memunculkan voltase sebagai respon dari suhu. Beda voltase di antara kedua kawat metal tersebut proporsional terhadap besarnya suhu lingkungan yang diukur. Termometer resistif terbuat dari bahan resistor atau semikonduktor yang nilainya berubah ketika terpapar suhu lingkungan yang berbeda. Besarnya suhu lingkungan yang diukur kemudian diformulasikan berdasarkan besarnya tahanan yang terbaca. Keunggulan termometer transistif adalah karena memiliki kisaran suhu yang besar, respon cepat, dan lebih stabil. Termometer radiative bisa dibedakan menjadi dua yaitu pirometer infra merah dan optic. Termometer jenis ini dikenal dengan termometer non kontak, sehingga bisa digunakan dalam teknik remote sensing (PDHonline, 2020). Meskipun suhu bukan termasuk parameter baku mutu air limbah sawit, tetapi suhu sangat berpengaruh pada parameter lain seperti pada pengukuran pH terutama untuk pengukuran dengan metoda yang melibatkan sifat-sifat kelistrikan.

2.2.2. Pengukuran Kekeruhan atau Turbidity

Kekeruhan atau turbidity juga bukan termasuk parameter yang diatur oleh kementerian LH dengan ambang batas, namun kekeruhan berpengaruh pada karakteristik kimia terutama jika pengukuran dilakukan dengan metoda elektrokimia. Turbidity merupakan pengukuran cahaya yang tersebar yang dihasilkan dari interaksi antara berkas cahaya dan material partikulat dalam sampel cairan. Kekeruhan adalah ekspresi dari sifat optik sampel yang menyebabkan berkas cahaya yang tersebar dan diserap daripada yang ditransmisikan melalui sampel. Kekeruhan air limbah sering kali disebabkan oleh adanya zat tersuspensi dan terlarut seperti tanah, bahan organik, pewarna, plankton, dan organisme mikroskopis lainnya. Satuan turbidity adalah Turbidity

Unit (TU) atau Nephelometric Turbidity Unit (NTU). Satu TU ekuivalen dengan 1 mg/L Kaolin. Pengukuran turbidity didasarkan pada tiga kriteria desain: jenis sumber cahaya insiden, deteksi sudut cahaya tersebar, dan penggunaan dua atau lebih detector sebaran cahaya. Sumber sinar infra merah sering digunakan dalam pengukuran turbidity. Beberapa factor yang mempengaruhi dalam pengukuran turbidity adalah warna, ukuran partikel, gelembung, densitas partikel, sifat optik partikel, cahaya (Sadar et al., 2009).

2.2.3. Pengukuran pH

Derajat keasaman atau pH adalah ukuran jumlah relatif ion hidrogen dan hidroksida dalam larutan air. Di dalam molekul air, sejumlah kecil akan terdisosiasi membentuk hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-). Perkalian konsentrasi molar ion H^+ dan OH^- adalah konstan atau dikenal dengan konstanta disosiasi air, K_w , yang nilainya $1,00 \times 10^{-14}$ pada $25^\circ C$ namun nilai ini dipengaruhi oleh suhu. Sebenarnya nilai pH adalah lebih tepat sebagai ukuran aktivitas ion daripada sebagai nilai logaritma ion H^+ . Nilai pH umumnya ditentukan dengan mengukur tegangan elektrokimia. Tegangan antara elektroda berbanding lurus dengan pH larutan, dan konstanta proporsionalitas dipengaruhi oleh suhu (Emerson, 2010).

2.2.4. Pengukuran Electrical Conductivity (EC) dan Total Dissolved Solids (TDS)

Konduktivitas listrik atau electrical conductivity (EC) suatu larutan adalah ukuran kemampuannya untuk mengalirkan arus listrik, dan dinyatakan dalam satuan mS/cm. Nilai EC dipengaruhi oleh konsentrasi, mobilitas ion, valensi ion, dan temperature. Semakin banyak zat terlarut di dalam air, maka nilai konduktivitas listriknya semakin besar. Konduktivitas listrik dapat digunakan sebagai indikator kasar kualitas air atau air limbah karena EC berhubungan dengan total solid terlarut (TDS). Tetapi hubungan antara EC dan TDS tidak bersifat linear, karena mobilitas konduktivitas partikel ionic bervariasi. Kation bervalensi tunggal lebih mobil daripada ion-ion bervalensi jamak. Namun sebagai pendekatan $TDS (mg/L) = EC (\mu S/cm) \times 0,67$. Nilai EC dipengaruhi oleh nilai suhu karena elektrostatis potensial meningkat dengan meningkatnya suhu. Konduktivitas dapat diukur dengan menggunakan arus listrik bolak-balik ke dua elektroda yang direndam dalam larutan, kemudian mengukur tegangan yang

dihasilkan (V). Selama proses ini, kation bermigrasi ke elektroda negatif, dan anion ke elektroda positif, sedangkan larutan bertindak sebagai konduktor listrik. Umumnya nilai EC dikoreksi dengan SEC (specific electrical conductivity) yaitu nilai EC yang diukur pada suhu 25°C, dan dikalikan dengan konstanta kompensasi suhu (%/°C) dengan asumsi hubungan linier. Nilai EC banyak digunakan untuk monitoring kualitas air permukaan dan air tanah (Radiometer Analytical SAS, 2004).

2.2.5. Pengukuran BOD dan COD

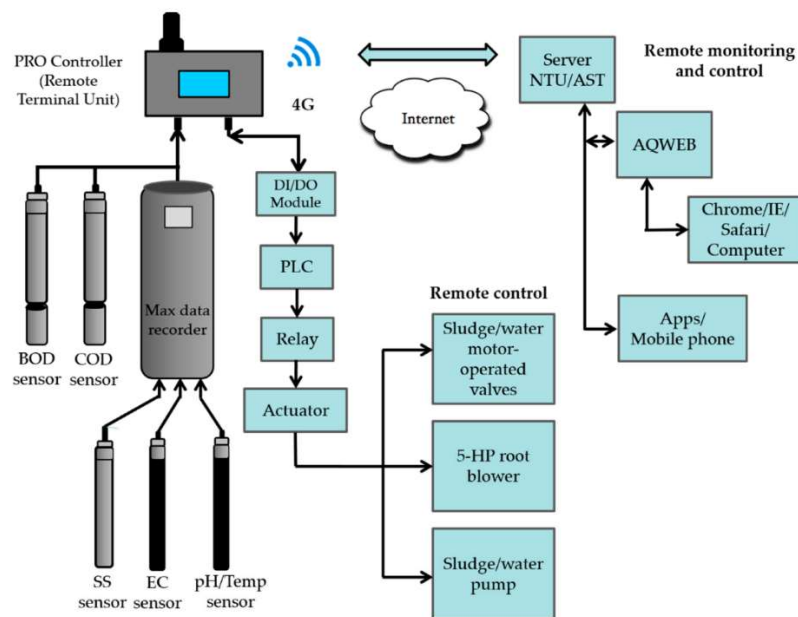
Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah kebutuhan oksigen bagi mikroba dalam proses perombakan bahan organik biodegradable secara aerobic, sedangkan Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi total bahan organik di air. Secara empiris BOD sampel air limbah diukur berdasarkan selisih dissolved oxygen (DO) atau oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi sampel air limbah selama 5 hari pada suhu 20°C. Hanya bahan organik yang biodegradable saja yang bisa dirombak oleh mikroba. Sedangkan COD diukur dengan cara mengoksidasi secara kimia bahan organik dengan potassium dikromat, pereaksi asam sukfat pekat dan perak sulfat, dan fero ammonium sulfat (APHA, 1975). Kelebihan pengukuran parameter COD adalah waktu analisis lebih cepat (sekitar 2 jam) dibandingkan dengan pengukuran BOD.

2.3. Metode Elektrokimia

Metode pengukuran secara elektrokimia adalah teknik atau cara pengukuran kandungan kimia di dalam sebuah cairan dengan memanfaatkan sifat-sifat kelistrikkannya. Karena setiap senyawa kimia yang terkandung di dalam cairan memiliki sifat kelistrikan yang khas, maka sifat kelistrikan ini bisa digunakan untuk mendeteksi keberadaannya di dalam suatu cairan. Sifat-sifat kelistrikan berkorelasi dengan tingkat kepekatan atau konsentrasinya, maka besaran listrik yang terukur tersebut bisa dikonversi menjadi konsentrasi suatu kandungan senyawa. Sebagai contoh adalah pengukuran pH cairan dengan menggunakan alat pH meter. Alat pH meter hanya mengukur voltase di antara dua elektroda (Napporn, 2018), kemudian nilai voltase ini kemudian dikonversi menjadi nilai pH setelah dikalibrasi terlebih. Total Dissolved Solids (TDS) umumnya diukur dengan metoda gravimetri, namun secara elektrokimia TDS bisa dideteksi dengan alat TDS meter.

2.4. Teknologi IoT

Coordinator and support action for global RFID-related activities and standardization menyatakan internet of things (IoT) adalah sebuah infrastruktur koneksi jaringan global, yang mengkoneksikan perangkat keras dan virtual dengan teknologi komunikasi atau internet. Infrastruktur IoT terdiri dari jaringan yang telah ada dan internet berikut pengembangannya. Hal ini menjadikan sistem ini sangat fleksibel dalam aplikasinya dan dapat menyajikan kondisi perangkat keras secara real time. Contoh aplikasi IoT pada waste water management disajikan pada Gambar 1.



Gambar 2.1. Contoh aplikasi IoT pada waste water management

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) menjelaskan bahwa Internet of things (IoT) adalah sebagai sebuah sistem perangkat keras yang terhubung dalam jaringan internet. Internet of things menggunakan tiga elemen utama yaitu: sistem perangkat keras yang memiliki modul-modul sensor, koneksi internet, dan pengumpulan data pada server. Penggunaan IoT akan menghimpun data yang kemudian terkumpul menjadi big data untuk kemudian diolah, dianalisa baik oleh instansi pemerintah, perusahaan terkait, maupun instansi lain kemudian dimanfaatkan bagi kepentingan masing-masing.

Biasanya pada aplikasi IoT perangkat keras di lapangan akan dikelola oleh sebuah kontroler baik wired maupun wireless. Data dari perangkat keras akan di-*push* ke server melalui sebuah jalur komunikasi via internet. Perangkat keras yang

terhubung dengan kontroler berupa sensor dan aktuator, di mana sensor akan menerjemahkan kondisi fisik lingkungan dan aktuator akan mengubah sesuai kondisi lingkungan. Big data yang dihasilkan kemudian dapat diproses dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk digunakan sebagai pengambilan keputusan. IoT dapat membuat proses monitoring dan pengambilan keputusan dilakukan secara cepat dan mudah.

BAB III. METODE Riset

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan selama 3 (tiga) tahun, dari tahun 2021 hingga tahun 2024 di *Workshop* Teknik Pertanian, Laboratorium Bioproses Jurusan Teknik Pertanian, Laboratorium Kimia Terapan Jurusan Teknik Kimia, Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Implementasi kalibrasi, validasi alat ukur dilakukan di PKS PT. Lambang Bumi Perkasa Lampung, PKS PTPN VII Bekri Lampung, PKS PT. Sinar Mas Lampung, dan PKS PT. Sinar Mas Sumatera Utara. Roadmap penelitian selama tiga tahun disajikan pada Gambar 3.2.

3.2. Bahan dan Perlakuan

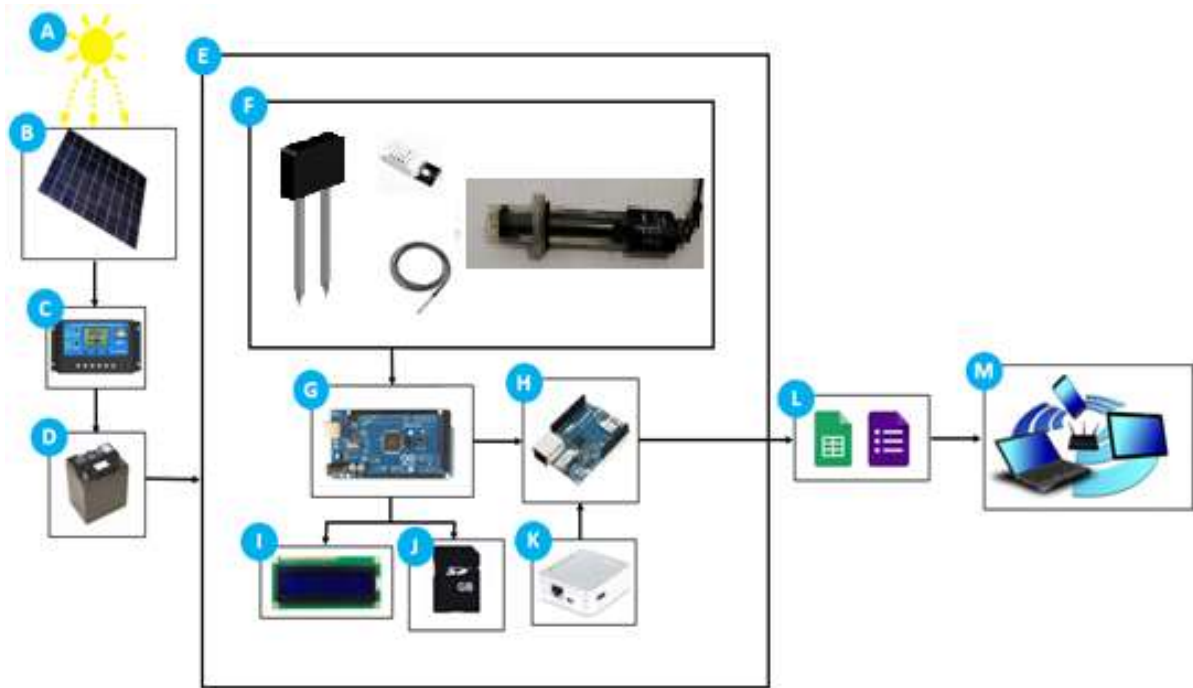
Alat yang digunakan terdiri dari DO meter, BOD inkubator, pH meter, EC meter, COD reaktor, waterbatch, dan alat kalibrasi laboratorium lainnya. Bahan yang digunakan dalam perakitan alat ukur cepat adalah mikrokontroler, sensor EC (*electrical conductivity*), sensor pH, sensor suhu air, sensor suhu Lingkungan, RTC, Modul SD Card, Paket kabel pendukung, OpAmp-IC074, PC, software matlab, Modem, *Router*, Panel Surya dan perangkat pendukung, Accu, *Board* PCB, dan bahan pendukung lainnya. Bahan baku limbah untuk penelitian ini diperoleh dari mitra Perusahaan Pabrik Kelapa Sawit PKS PT. Lambang Bumi Perkasa Lampung, PTPN VII Bekri Lampung, PKS P.T Sinar Mas Lampung, dan PKS P.T Sinar Mas Sumatera Utara. Perakitan sistem pengukuran cepat dilaksanakan di *Workshop* Teknik Pertanian dan Laboratorium Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

3.3 Konsep Perakitan

Penggunaan mikrokontroler pada pengukuran, akuisisi, dan pengiriman data pengukuran melalui sistem *Internet of things* (IoT) dapat mempermudah asesibilitas,

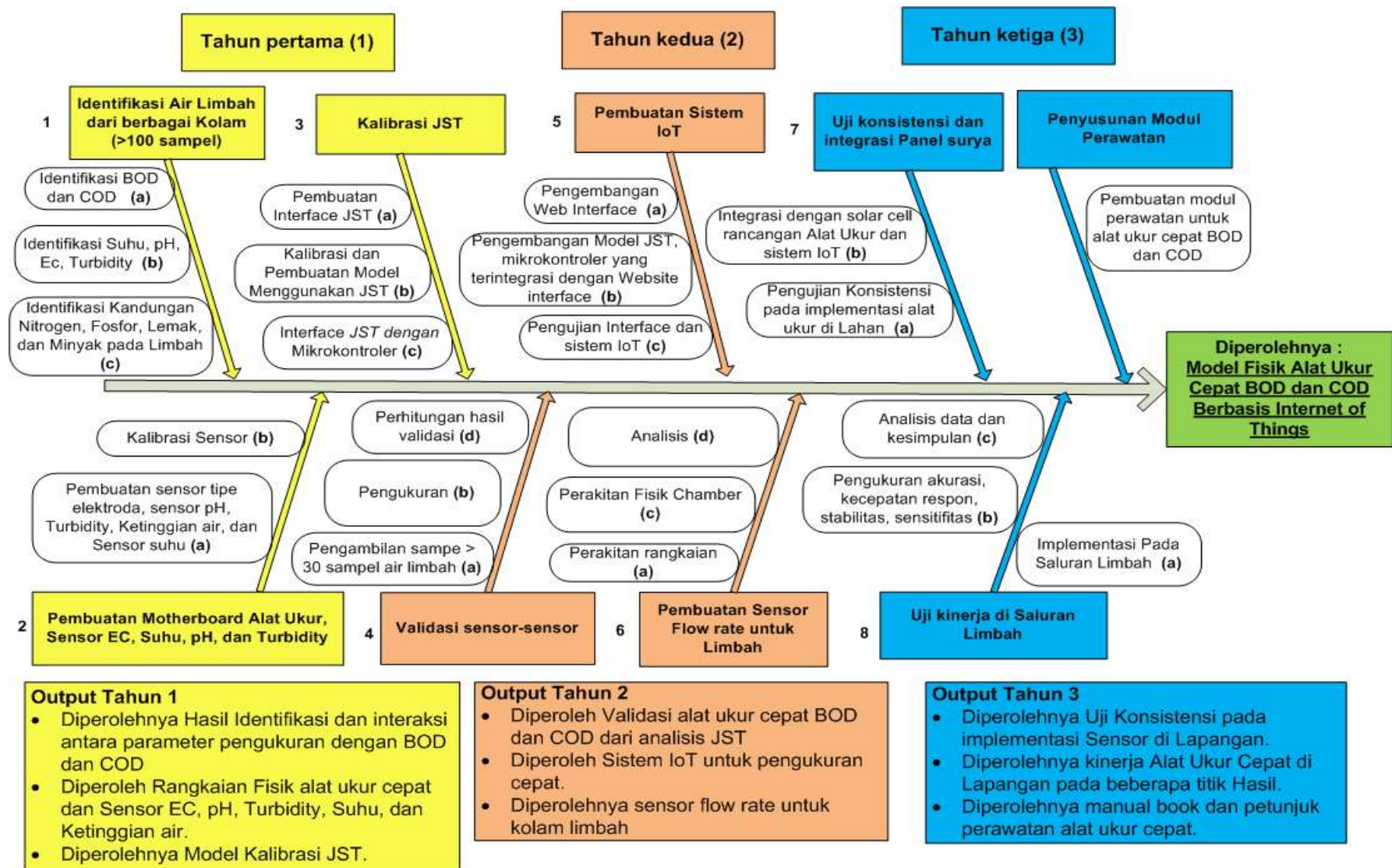
kecepatan pengolahan informasi, kestabilan yang tinggi, dan ketangguhan penggunaan alat pada berbagai kondisi. Perancangan modul mikrokontroler yang terintegrasi dengan sensor, dan sistem IoT dapat mempermudah penerimaan data di berbagai lokasi.

Konsep pembuatan dan perakitan sensor yang mampu mendeteksi EC, BOD, dan COD menggunakan penguat sinyal IC-Opamp 074TL. Sinyal dari elektroda ataupun sensor berbasis spektrum cahaya diakuisisi oleh mikrokontroler. Sinyal yang didapatkan dari perubahan BOD dan COD, akan dihaluskan menggunakan filter untuk mengeliminasi noise dari sensor dan efek elektromagnetik antar komponen. Sinyal dari sensor akan dikirimkan dan diolah secara langsung menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan yang tersemat pada mikrokontroler. Sistem *internet of things* disematkan pada mikrokontroler sehingga saling terintegrasi. Sistem *Internet of Things* yang dirakit, bertugas untuk mengirimkan data pengukuran secara *realtime* kepada pengguna yang dapat diakses melalui perangkat *smartphone* ataupun perangkat laptop. Selain itu, data pengukuran dapat diperoleh di lokasi peletakan alat yang terhubung melalui LCD dan tersimpan pada SD card. Durasi waktu yang dibutuhkan untuk pengukuran BOD dan COD membutuhkan waktu kurang dari 1 detik. Mekanisme kerja alat ukur cepat, dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pengembangan model jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Gambar 3.3.

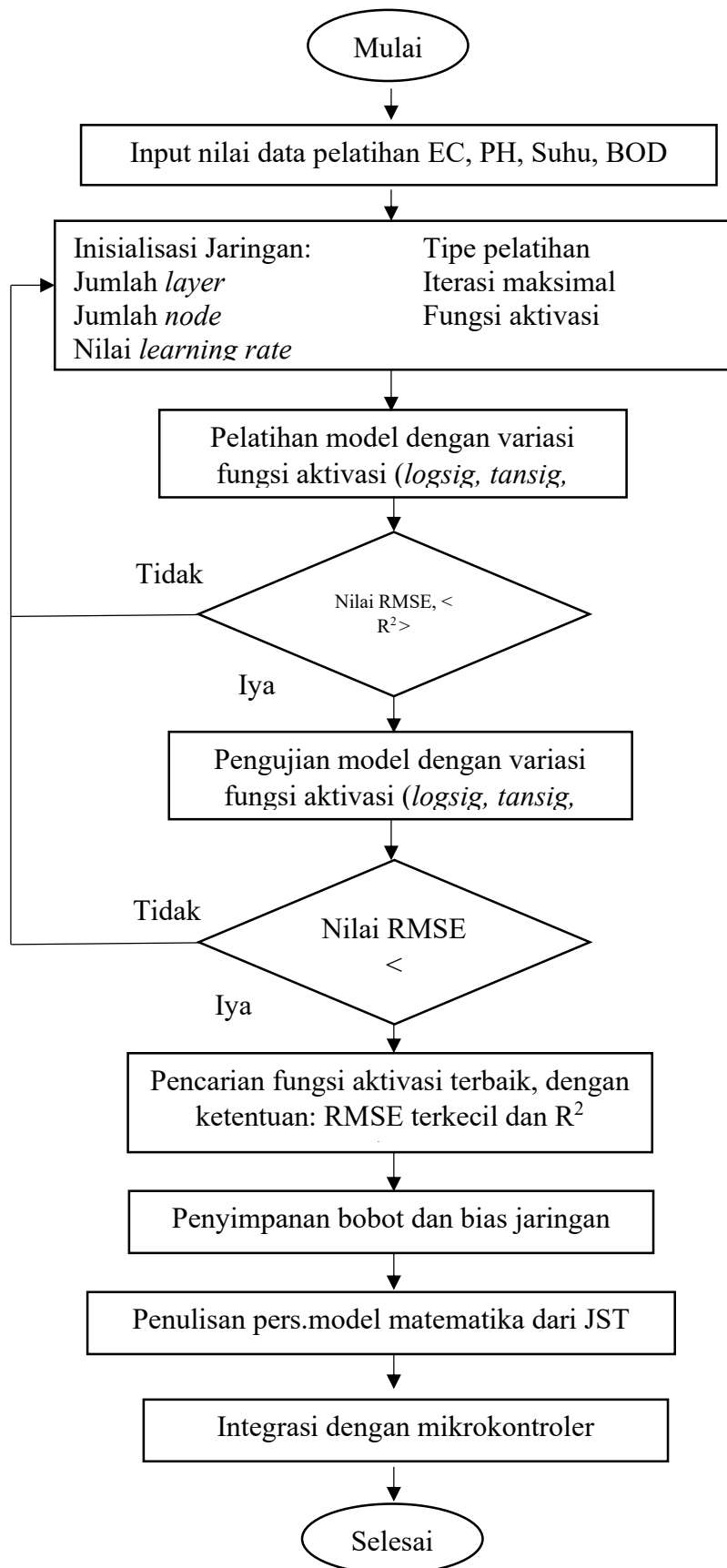


Keterangan:	
A. Cahaya Matahari	H. <i>Arduino Ethernet Shield</i>
B. Panel Surya	I. LCD
C. <i>Solar Charger Controler</i>	J. <i>SD Card</i>
D. Baterai 12V	K. Router dan Modem
E. Komponen dialiri listrik dari Baterai "D"	L. <i>Google Form dan google Spreadsheet</i>
F. Sensor-sensor	M. Perangkat keras Komputer dan <i>Gadget</i>
G. <i>Arduino ATmega 2560</i>	

Gambar 3.1. Skema mekanisme kerja alat

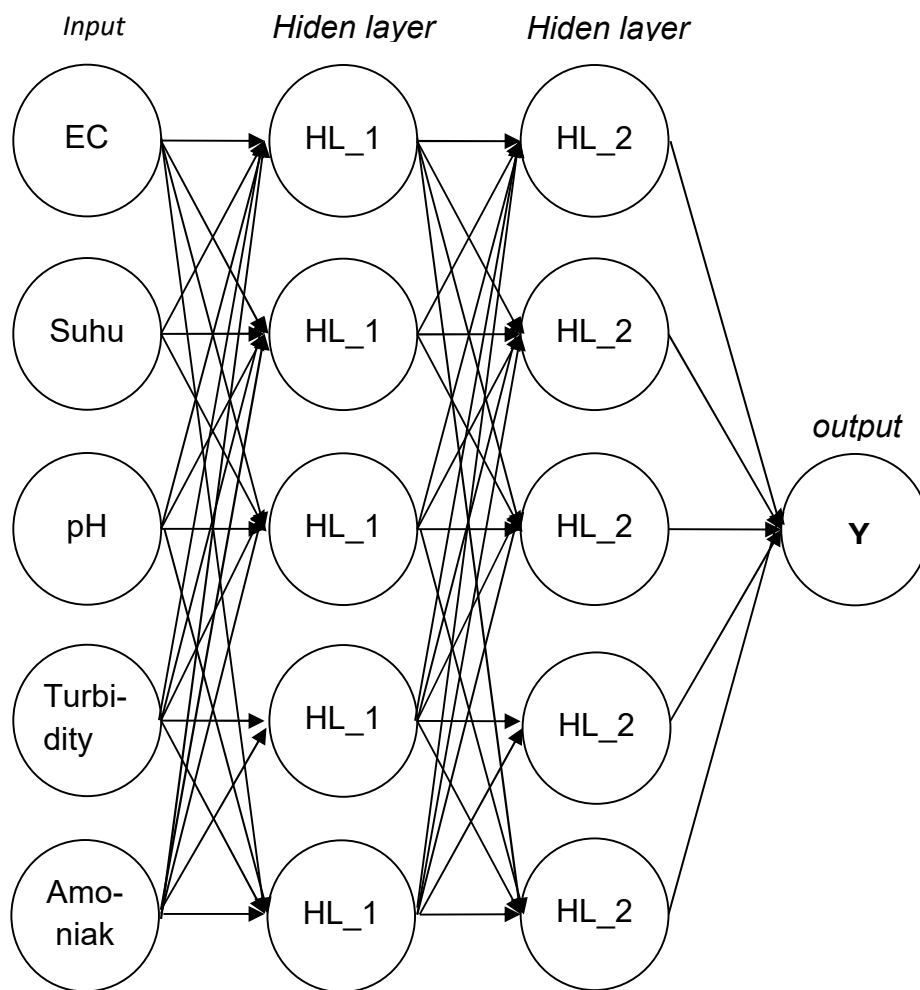


Gambar 3.2. Roadmap Penelitian Alat Ukur Cepat BOD dan COD



Gambar 3.3 Pengembangan model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada alat ukur Cepat COD dan BOD

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang presisi, maka penggunaan model jaringan syaraf tiruan harus mampu diakomodasi oleh mikrokontroler. Beberapa jenis arsitektur yang dapat diakomodasi menggunakan arduino Atmega2560 adalah 3-3-3-1. Perubahan arsitektur jaringan dapat mengikuti perubahan RMSE dan RRMSE dari hasil pengukuran. Model arsitektur pengembangan jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Arsitektur Jaringan Pengukuran Cepat

3.4. Parameter dan Metode Analisis

Parameter pengamatan pada penelitian ini meliputi COD, BOD, EC, Turbidity, TSS, Suhu, pH, Nitrogen total, dan Phosphor

3.5. Pengujian Alat Ukur Cepat BOD, COD, Minyak, TSS, TN

3.5.1. Kalibrasi

Pengujian sensor BOD, COD, Minyak, TSS dan TN terdiri dari dua tahap yaitu kalibrasi dan validasi. Kalibrasi sensor BOD, COD, Minyak, TSS dan TN menggunakan hasil akuisisi data pengukuran suhu, Ec, Turbidity, Amoniak, dan pH limbah aktual yang didapatkan secara periodik. Pengukuran suhu, Ec, Turbidity, Amoniak, dan pH dilakukan secara langsung di kolam limbah pabrik kelapa sawit dan di laboratorium. Data pengukuran BOD, COD, Minyak, TN, TSS, aktual dihubungkan melalui metode matematis dengan data pengukuran suhu, Ec, Turbidity, Amoniak, dan pH dari hasil rancangan. Metode matematis yang digunakan berupa metode matematika non-linear dan pendekatan jaringan syaraf tiruan. Hubungan antara data pengukuran BOD, COD, Suhu, Ec, Turbidity, Amoniak, pH aktual dengan data pengukuran Suhu, Ec, Turbidity, Amoniak, pH dari hasil rancangan diuji menggunakan pengukuran *standart error*. Akumulasi error yang kecil, menunjukkan tahap awal pada kalibrasi perancangan alat ukur cepat telah berjalan dengan baik, dan dapat dilanjutkan ke tahap validasi.

3.5.2. Validasi

Validasi rancangan sensor BOD, COD, Minyak, TSS dan TN merupakan bagian dalam perakitan alat ukur cepat untuk menguji validitas antara rancangan alat ukur dengan nilai aktual. Proses validasi dilakukan pada berbagai kondisi sehingga dapat mencerminkan akurasi rancangan alat ukur cepat.

Rancangan alat ukur yang telah divalidasi, diuji menggunakan :

- (a) *Root Mean Square Error* (RSME) dan *Relative Root Mean Square Error* (RRMSE)

Perhitungan *Root Mean Square Error* untuk bagian pengujian data validasi digunakan untuk mengetahui besarnya kesalahan pendugaan dari alat ukur cepat yang dikembangkan. Berikut merupakan rumus perhitungan RSME :

$$RSME = [n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{1/2} \dots \dots \dots (3.1)$$

n = jumlah data

e = nilai error

$$RRSME = \frac{[n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{1/2}}{\frac{1}{N} \sum y} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.2)$$

- (b) Uji koefisien determinasi (R^2)

Perhitungan koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat yaitu data kalibrator dan data alat ukur cepat. Berikut merupakan rumus perhitungan koefisien determinasi :

$$R^2 = \frac{[n\sum xy - (\sum x)(\sum y)]^2}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\} \cdot \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

n = jumlah data

$\sum x$ = jumlah data x

$\sum y$ = jumlah data y

3.6. Pengujian Transmisi Sistem Pengukur Cepat Berbasis IoT

3.6.1. Akurasi Data Pengiriman

Akurasi proses pengiriman yaitu dengan membandingkan data pada penyimpanan di mikro SD dan pengiriman ke *google spreadsheets* yang dapat diakses melalui perangkat *smartphone*. Perbandingan antara data yang terekam pada mikro SD dengan data yang dapat diakses dihitung dengan persamaan :

$$Akurasi\ Data = \sum_{i=0}^n \left(1 - \frac{Data\ Terekam - Data\ Terkirim}{Data\ Terekam} \times 100\ \% \right) \dots\dots\dots (3.4)$$

3.6.2. Persediaan dan Penggunaan Energi Listrik

Penggunaan panel surya yang terintegrasi pada perangkat alat ukur cepat, dapat membantu supply daya pada alat ukur secara kontinu. Diperlukan perhitungan antara kebutuhan listrik yang dibutuhkan oleh alat ukur cepat dengan energi yang dihasilkan oleh panel surya agar sistem dapat bekerja secara berkelanjutan.

3.6.3. Kecepatan Pengiriman Data

Perhitungan kecepatan pengiriman pada sistem internet of things yaitu dengan membandingkan waktu yang tersimpan pada SD card dengan data yang terbaca pada perangkat *smartphone*. Kecepatan pengiriman dipengaruhi oleh banyak hal diantaranya kerumitan program, delay pada website rujukan (interface), dan kondisi jaringan internet Sistem pengiriman yang baik yaitu selisih waktu antara data alat ukur pada SD Card dengan data yang tampil di *smartphone* < 1 menit.

BAB IV. KEGIATAN YANG TELAH DILAKUKAN

Kegiatan yang sudah dilakukan meliputi pengadaan peralatan penunjang laboratorium dan bahan-bahan kimia yang diperlukan untuk analisis air limbah sawit. Pada saat ini, alat-alat lab dan bahan-bahan kimia sudah tersedia. Pembenahan fasilitas laboratorium seperti jaringan air, ruang asam, lemari alat telah dilakukan. Pembenahan ini perlu dilakukan agar pelaksanaan penelitian tidak terkendala hal-hal not teknis. Di Waktu yang bersamaan, “Alat Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit Berbasis IoT” sebanyak satu unit sudah berhasil dirakit dan siap untuk di kalibrasi dan validasi.

Hasil rancang bangun yang diperoleh dari 6 bulan kegiatan penelitian ini meliputi fisik mainboard, sensor, aktuator, sistem supply energi, dan program kalibrasi tahap awal. Hasil perancangan yang telah diselesaikan meliputi :

1. Rancang bangun motherboard sistem alat ukur cepat.
2. Rancang bangun box untuk motherboard, sistem utama, dan sistem pengendali suhu lingkungan box.
3. Rancang bangun sistem catu daya, control input-output energi listrik, dan sistem pengisian energi melalui panel surya. Daya panel surya yang digunakan adalah 160 watt peak.
4. Rancang bangun sensor suhu limbah dan modul amplifier input-output sensor suhu limbah.
5. Rancang bangun sensor pH limbah dan modul amplifier input-output sensor pH limbah.
6. Rancang bangun sensor Konduktansi Dielektrik limbah dan modul amplifier input-output sensor Konduktansi Dielektrik limbah cair.
7. Rancang bangun sensor turbiditas (kekeruhan) limbah cair dan modul amplifier input-output sensor turbiditas limbah cair.
8. Rancang bangun sensor amonia limbah dan modul amplifier input-output sensor amonia limbah.

Seluruh sistem yang telah dirancang, dapat dilihat pada **Gambar 4.1**



Gambar 4.1 Alat Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit Berbasis IoT

Dari hasil Rancang bangun, diperoleh kondisi dan nilai seperti pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Rancang Bangun Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Kelapa Sawit

No	Nama	Rentang Nilai / Kondisi	Pengujian Pra-Kalibrasi
1	Motherboard	Seluruh Sistem Berfungsi	Stabil
2	Sistem Pengisian Kembali	Terukur pada 14-16 Volt	Stabil
3	Sistem Tampilan	Tampilan Monitor Berfungsi dengan baik	Stabil
4	Sensor Suhu Limbah	Sensor suhu air mampu mendeteksi perubahan suhu	Stabil
5	Sensor Konduktansi Elektrik	Sensor Konduktansi mampu mendeteksi perubahan EC	Stabil
6	Sensor pH	Sensor pH mampu mendeteksi perubahan pH	Stabil
7	Sensor Turbidity	Sensor Turbidity mampu mendeteksi Kekeruhan	Stabil
8	Sensor Amoniak	600-700 ADC Mampu mendeteksi perubahan kadar amoniak	Stabil

Dari hasil rancang bangun, motherboard/mainboard, sistem pengisian, sistem tampilan, sensor suhu Limbah, Sensor Konduktansi Elektrik, Sensor pH, Sensor Turbidity (kekeruhan), dan sensor amoniak dapat bekerja stabil saat pengujian tingkat dasar. Pengujian dasar ini dilakukan selama 30 - 120 menit sebagai tahapan untuk persiapan kalibrasi.

Hasil pengukuran respon sensor, stabilitas, dan reliabilitas sementara dari sensor suhu Limbah, Sensor Konduktansi Elektrik, Sensor pH, Sensor Turbidity (kekeruhan), dan sensor amoniak adalah sebagai berikut (**Tabel 4.2**). Motherboard sistem terdapat pada **Gambar 4.2**. dan sensor yang telah dirakit dapat dilihat pada **Gambar 4.3 – 4.7**.

Tabel 4.2 Hasil Pra-Kalibrasi Sistem Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Kelapa Sawit

No	Nama Sensor	Respon Alat Ukur Sementara Pada Sistem	Stabilitas / Reliabilitas Sementara
1	Sensor Suhu Limbah	5 - 20 s	Stabil / > 0,7
2	Sensor Konduktansi Elektrik	5 - 20 s	Stabil / > 0,7
3	Sensor pH	5 - 20 s	Stabil / > 0,7
4	Sensor Turbidity	5 - 20 s	Stabil / > 0,7
5	Sensor Amoniak	5 - 20 s	Stabil / > 0,7
6	Sensor Ultrasonic	Tahap Pengerjaan	-
7	Sensor suhu dan Kelembaban Lingkungan Kolam Limbah	Tahap Pengerjaan	-



Gambar 4.2 Motherboard Sistem Alat Ukur Limbah



Modul Ampilifier dan stabilizer
Sensor suhu Limbah



Sensor suhu limbah

Gambar 4.3 Modul dan Sensor suhu limbah



a. Modul Ampilifier dan stabilizer
Sensor pH Limbah



b. Sensor pH Limbah

Gambar 4.4 Modul dan Sensor pH limbah



a. Modul Amplifier dan stabilizer Sensor EC Limbah



b. Sensor EC Limbah

Gambar 4.5 Modul dan Sensor *Electrical Conductivity* (EC) limbah



Gambar 4.6 Modul dan Sensor Amonia



a. Modul Amplifier dan stabilizer Sensor Turbidity Limbah



b. Sensor Turbidity Limbah

Gambar 4.7 Modul dan Sensor Turbidity (Kekeruhan)

Output tahunan kegiatan penelitian ini yang direncanakan dan realisasi disajikan ada Tabel 4.1. Selain itu, kegiatan yang akan dilanjutkan juga disajikan.

Tabel 4.1 Luaran Tahunan

Tahun	Luaran	Realisasi	Rencana Selanjutnya
I	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alat Deteksi cepat sudah ada 2. Publikasi ilmiah di jurnal terindeks scopus 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1 unit sudah tersedia 2. Procurement alat dan bahan Lab 3. Pengumpulan referensi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kalibrasi dan Validasi sensor 2. Analisis parameter POME
II	<ol style="list-style-type: none"> 1. Teknologi IOT sudah ada dan mampu mendeteksi cepat kualitas air limbah 2. Publikasi ilmiah di jurnal terindeks scopus 	-	-
III	<ol style="list-style-type: none"> 1. Paten teknologi IoT 2. Publikasi ilmiah di jurnal terindeks scopus 	-	-

BAB V. BIAYA DAN JADWAL

5.1. Biaya

Biaya yang diajukan dalam penelitian ini sejumlah Rp. 1.074.027.000 (satu milyar tujuh puluh empat juta dua puluh tujuh ribu rupiah) pada tahun pertama, dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 5.1. Komponen Biaya

No	Komponen Biaya	Jumlah (Rp)					
		Tahun Pertama	(%)	Tahun Kedua	(%)	Tahun Ketiga	(%)
1	Gaji/upah	284.760.000	27	199.100.000	28	183.400.000	30
2	Biaya pembelian bahan baku dan/atau peralatan produksi termasuk sewa laboratorium dan uji pasar + Pajak 11.5 %	671.456.286	63	432.864.414	60	333.730.450	55
3	Biaya perjalanan dalam negeri dan publikasi	64.236.400	6	58.736.400	8	65.206.000	10
4	Biaya operasional institusi (<i>management fee</i>)	53.574.314	5	36.261.186	5	30.572.550	5
TOTAL		1.074.027.000		726.962.000		612.909.000	

Rincian rencana penggunaan biaya diberikan pada **Lampiran 2**.

5.2. Jadwal

Penelitian direncanakan dalam tiga tahun dengan jadwal sebagai berikut :

Tabel 5.2. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

		Tahun 1											
No	Jenis Kegiatan	BULAN											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan penelitian (koordinasi tim, rekrutmen mahasiswa, pengadaan alat dan bahan)												
2	Set up peralatan												
3	Identifikasi BOD, COD, Suhu, pH, Ec, TSS, Turbidity												
4	Identifikasi Nitrogen dan Fosfor												
5	Pembuatan 3 modul Alat Ukur												
6	Pembuatan Sensor suhu,pH, Ec, Tss dan Turbidity dan Integrasi antar board												

DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Abed, "Internet of Things (IoT): Architecture and design," *2016 Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA)*, Baghdad, 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/AIC-MITCSA.2016.7759958.
- APHA. 1975. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, p 550, Method 508.
- B. Dorsemaine, J. Gaulier, J. Wary, N. Kheir and P. Urien, "Internet of Things: A Definition & Taxonomy," *2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, Cambridge, 2015, pp. 72-77, doi: 10.1109/NGMAST.2015.71.
- Emerson, 2010. Theory and Practice of pH Measurement. PN 44-6033/rev. D
- Haryanto, A., Hasanudin, U., Sahari, B., and Sugiarto, R., 2019. Methane emission reduction in palm oil mill through co-composting empty fruit bunch and palm oil mill effluent. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, **6(3)**: 431-441
- 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.
- Napporn, Têko W. (2018). *Fuel Cells and Hydrogen || Electrochemical Measurement Methods and Characterization on the Cell Level*. 175–214. doi:10.1016/B978-0-12-811459-9.00009-8
- PDHonline. 2020. Principles and Methods of Temperature measurement. PDH Course E166. www.PDHcenter.com
- Radiometer Analytical SAS. 2004. Conductivity Theory and Practice. 72 rue d'Alsace, 6927 Villeurbanne Cedex, France. www.radiometer-analytical.com
- Sadar, M. 2009. The Basics of Turbidity Measurement Technologies. Aquatic Sensor Workgroup & Hach Company.
- Su, J.-J., Ding, S.-T. and Chung, H.-C. (2020) 'Establishing a Smart Farm-Scale Piggery Wastewater Treatment System with the Internet of Things (IoT) Applications'. doi: 10.3390/w12061654.
- Tim Riset PASPI. 2018. Devisa sawit dan neraca perdagangan non migas Indonesia. *Monitor* Vol. 4(8): 1105-1110.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Realisasi Pengadaan Barang dan Bahan Kimia

No	Uraian
1.	Pembelian Bahan Kimia a. Natrium Tetraborat Anhidrat b. Silver Sulfate c. Boiling Chips Granule d. Potassium Dicromate e. Sodium Sulfate Anhydrous f. Methylen Red g. Bori H3BO3 h. Ammonium Ferrous Sulfate i. Mercury Sulfate j. Hexane
2.	Peralatan Destilasi, hotplate, glasswares
3.	Alat pengukur Disolved Oxygen Meter
4.	COD Reactor
5.	Sensor dan Modul Sensor
6.	Elektronika dan Peralatan Pendukung
7.	Paket Komponen Alat Ukur Kualitas Air Limbah

Lampiran 2: Foto-Foto Peralatan Laboratorium yang Sudah Disediakan



Lampiran 2: Foto-Foto Bahan Kimia yang Sudah Disediakan

