

**ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN TRAFO BEKAS TERINDIKASI  
MENGANDUNG LIMBAH B3 POLYCHLORINATED BIPHENYLS PADA  
TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH B3 PT PLN (PERSERO)  
UP3 TANJUNG KARANG**

**(Tesis)**

**Oleh**

**ROMI SEPSRIZAL  
NPM 2020012006**



**PROGRAM STARATA 2  
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
PASCASARJANA  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN TRAFO BEKAS TERINDIKASI  
MENGANDUNG LIMBAH B3 *POLYCHLORINATED BIPHENYLS* PADA  
TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH B3 PT PLN  
(PERSERO) UP3 TANJUNG KARANG**

Oleh

**ROMI SEPSRIZAL**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER LINGKUNGAN**

Pada

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan  
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STARATA 2  
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
PASCASARJANA  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN TRAFO BEKAS TERINDIKASI MENGANDUNG LIMBAH B3 *POLYCHLORINATED BIPHENYLS* PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH B3 PT PLN (PERSERO) UP3 TANJUNG KARANG

Oleh

**ROMI SEPSRIZAL**

Isu pencemaran lingkungan dampak dari *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) telah menjadi perhatian dunia. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah meratifikasi perjanjian lingkungan internasional bidang lingkungan hidup yang berkaitan dengan bahan pencemar organik persisten yaitu Konvensi Stockholm pada tahun 2001 tentang Bahan Pencemar Organik Persisten khususnya *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) yang ditanda tangani oleh 151 negara termasuk Indonesia. Oli trafo bekas merupakan salah satu limbah B3 yang diindikasikan mengandung *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs). PLN UP3 Tanjung karang selaku pemilik limbah perlu melakukan peningkatan pengelolaan limbah B3 di Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 yaitu perbaikan sistem inventarisasi, pengujian oli trafo bekas yang terindikasi mengandung PCBs dan melakukan pemantauan lingkungan di sekitar TPS Limbah B3. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi, wawancara dan pengujian PCBs menggunakan *Dexsil L2000DX/Chloride Analyzer* sebagai deteksi dini keberadaan PCBs pada oli trafo offline dan memilah sampel dengan konsentrasi klorida > 50 ppm. Hasil pengujian adalah 33,3 % oli trafo bekas terindikasi terkontaminasi PCBs dan 66,7 % oli trafo bekas tidak terkontaminasi PCBs. Hasil pemantauan lingkungan yang dilakukan adalah dibawah baku mutu lingkungan hidup sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada pencemaran terhadap lingkungan sekitar.

Kata kunci: *Polychlorinated Biphenyls*, *Chloride Analyzer*, Oli trafo bekas, limbah B3

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF USED TRANSFORMERS MANAGEMENT SYSTEMS INDICATED TO CONTAIN B3 POLYCHLORINATED BIPHENYLS WASTE AT TEMPORARY STORAGE OF B3 WASTE PT PLN (PERSERO) UP3 TANJUNG KARANG**

**By**

**ROMI SEPSRIZAL**

The issue of environmental pollution from polychlorinated biphenyls (PCBs) has become a global concern. The Ministry of Environment and Forestry has ratified international environmental agreements related to persistent organic pollutants, namely the 2001 Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, especially Polychlorinated Biphenyls (PCBs), signed by 151 countries, including Indonesia. Used transformer oil is one of the B3 wastes which is indicated to contain Polychlorinated Biphenyls (PCBs). PLN UP3 Tanjung Karang as the waste owner needs to improve the management of B3 waste in the Temporary Storage of B3 Waste, namely improving the inventory system, testing used transformer oil which is indicated to contain PCBs and conducting environmental monitoring around the B3 Waste TPS. The methods used in this study were observation, interviews and testing of PCBs using the Dexsil L2000DX/Chloride Analyzer as an early detection of the presence of PCBs in offline transformer oil and sorting out samples with chloride concentrations > 50 ppm. The test results showed that 33.3% of used transformer oil was indicated to be contaminated with PCBs and 66.7% of used transformer oil was not contaminated with PCBs. The results of environmental monitoring carried out were below the environmental quality standards so that it can be concluded that there was no pollution to the surrounding environment.

**Keywords:** Polychlorinated Biphenyls, Chloride Analyzer, Used Trafo Oil, B3 waste

**Judul Tesis** : ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN TRAFIK  
BEKAS TERINDIKASI MENGANDUNG  
LIMBAH B3 POLYCHLORINATED BIPHENYLS  
PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA  
LIMBAH B3 PT PLN (PERSERO) UP3 TANJUNG  
KARANG

**Nama Mahasiswa** : Romi Sepsrizal

**Nomor Pokok Mahasiswa** : 2020012006

**Program Studi** : Magister Ilmu Lingkungan

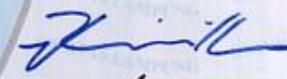
**Fakultas** : Pascasarjana Multidisiplin

**MENYETUJUI**  
1. **Komisi Pembimbing**

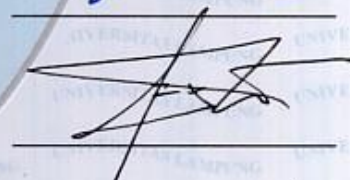
**Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T.**  
NIP 197204281998032001



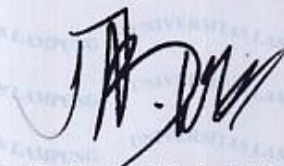
**Rinawati, Ph.D.**  
NIP 197104142000032001



**Dr. Eng F.X Arinto Setiawan, S.T.,M.T**  
NIP 196912191999031002



2. **Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan**  
**Universitas Lampung**



**Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.**  
NIP. 196105051987031002



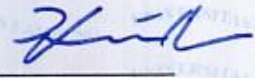
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua** : Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T.



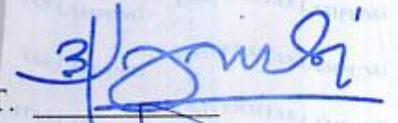
**Sekretaris** : Rinawati, Ph.D.



**Anggota** : Dr. Eng F.X Arinto Setiawan, S.T.,M.T.



**Penguji  
Bukan Pembimbing** : Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.



**Anggota** : Dr. Ir. Agus Setiawan, M.Si.



**2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung**



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**  
NIP.196403261989021001

**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 19 Juni 2023**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul: **“ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN TRAF0 BEKAS TERINDIKASI MENGANDUNG LIMBAH B3 POLYCHLORINATED BIPHENYLS PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH B3 PT PLN (PERSERO) UP3 TANJUNG KARANG”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Juni 2023

buat pernyataan,



ROMI SEPSRIZAL  
NPM 2020012006

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Metro pada tanggal 18 September 1986, sebagai anak kedua dari lima bersaudara, dari bapak Wirzal Hasan dan Ibu Sri Astuti.

Penulis pertama kali menempuh pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 02 Kotagajah pada tahun 1992-1998. kemudian melanjutkan ke SLTP Negeri 02 Kotagajah (1998-2001) dan SMA Negeri 01 Tanjung Raya, Maninjau, Sumatera Barat pada tahun 2001-2004. Pada tahun 2005 penulis melanjutkan pendidikan D3 Manajemen Informatika di STMIK Darmajaya dan lulus pada tahun 2008, setelahnya melanjutkan ke S1 Sistem Informatika di IBI Darmajaya pada tahun 2016 dan melanjutkan pendidikan S2 Magister Ilmu Lingkungan di Universitas Lampung pada tahun 2020.



## **PERSEMBAHAN**

Kepada Papa, Mama, Suamiku dan Anak-anak Tersayang

## SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta jalan kemudahan sehingga tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis dengan judul “Analisis Sistem Pengelolaan Trafo Bekas Terindikasi Mengandung Limbah B3 *Polychlorinated Biphenyls* Pada Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 PT PLN (Persero) Up3 Tanjung Karang” adalah salah satu rangkaian tahapan syarat untuk memperoleh gelar Magister Ilmu Lingkungan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si, selaku Direktur Pascasarjana;
2. Bapak Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si. selaku Kepala Program Studi Magister Ilmu Lingkungan atas memberikan semangat dalam proses penyelesaian tesis ini;
3. Ibu Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T. selaku pembimbing utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta selalu memberikan semangat dalam proses penyelesaian tesis ini;
4. Ibu Rinawati, Ph.D. selaku pembimbing kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
5. Bapak Dr. Eng F.X Arinto Setiawan, S.T.,M.T selaku pembimbing ketiga atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;

6. Bapak Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku pembahas pertama pada tesis ini. Terima kasih atas saran-saran pada penyelesaian tesis ini.
7. Bapak Dr. Ir. Agus Setiawan, M.Si, selaku pembahas kedua pada tesis ini. Terima kasih untuk masukan dan saran-saran pada penyelesaian tesis ini.

Bandar Lampung, 19 Juni 2023

Romi Sepsrizal

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Kerangka Pemikiran .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 <i>Polychlorinated Biphenyls</i> (PCBs) .....	6
2.1.1 Sejarah PCBs.....	7
2.1.2 Sifat Umum Senyawa POPs.....	9
2.1.3 Karakteristik PCBs .....	10
2.1.4 Ciri Fisik dan Kode .....	12
2.1.5 Kategori Konsentrasi PCBs .....	14
2.1.6 Dampak bagi Lingkungan dan Kesehatan .....	15
2.2 Transformator .....	19
2.3 <i>Environmental Safeguards</i> .....	21
2.4 <i>Internet Of Things</i> (IoT) .....	22
2.5 Sensor Ultrasonik.....	24
2.6 Firebase .....	24
2.7 Firebase .....	24
2.8 Parameter Pemantauan Lingkungan .....	25
2.8.1 <i>Potential Hydrogen</i> (pH) .....	25
2.8.2 <i>Total Suspended Solids</i> (TSS).....	26
2.8.3 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD).....	26
2.8.4 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) .....	27
2.8.5 <i>Free Ammoniac</i> .....	27
2.8.6 <i>Oil &amp; Grease</i> .....	28
2.8.7 <i>Total Coliform</i> .....	28
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1 Tempat dan Waktu .....	30
3.2 Bahan dan Alat.....	32
3.2.1 Bahan Penelitian .....	32



3.2.2	Alat Penelitian.....	32
3.3	Metode Penelitian .....	33
3.3.1	Teknik Pengumpulan Data.....	34
3.3.2	Teknik Analisis Data.....	35
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1	Sistem Inventarisasi .....	35
4.1.1	Sistem Inventarisasi di TPS LB3 .....	35
4.1.2	Perbaikan Penataan Trafo di TPS Limbah B3.....	36
4.1.3	Implementasi PCBs Management Plan.....	43
4.1.4	Hasil Pengujian PCBs .....	48
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
5.1	KESIMPULAN.....	56
5.2	SARAN.....	56
<b>VI.</b>	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>58</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
Tabel 1 Ciri Fisik Dan Kode Polychlorinated Biphenyls.....	12
Tabel 2 Nama Dagang Oli Dielektrik Mengandung Polychlorinated.....	13
Tabel 3 Kategori Konsentrasi PCBs .....	14
Tabel 4 Dampak Buruk PCBs Terhadap Lingkungan Dan Kesehatan .....	155
Tabel 5 Jumlah Pasien Yusho Di Prefektur Fukuoka Dan Nagasaki 1973.....	18
Tabel 6 Kriteria Diagnostic Yusho .....	19
Tabel 7 Jumlah Sampel Oli Trafo Bekas UP3 Tanjung Karang .....	322
Tabel 8 Teknik Pengumpulan Data.....	33
Tabel 9 Langkah Perbaikan Sistem Inventarisasi PCBs .....	35
Tabel 10 Hasil Pengujian PCBs Pada Trafo .....	48
Tabel 11 Persentase Hasil Pengujian PCBs pada Trafo.....	49
Tabel 12 Key Action Items .....	49
Tabel 13 Environment Quality Standard.....	53
Tabel 14 Hasil Pemantauan Lingkungan .....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1 Algoritma Penelitian .....	4
Gambar 2 Negara-Negara Produksi Global PCBs .....	7
Gambar 3 Struktur Kimia PCBs.....	11
Gambar 4 Peringatan Sungai Dan Ikan Tercemar PCBs .....	16
Gambar 5 Peringatan Sungai Dan Ikan Tercemar PCBs .....	17
Gambar 6 Komponen dalam Trafo .....	20
Gambar 7 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan .....	20
Gambar 8 Internet Of Things (lot) .....	213
Gambar 9 Sensor HR-SR04 .....	24
Gambar 10 Peta Lokasi Administrasi Kegiatan Penelitian .....	30
Gambar 11 Layout Lokasi Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3.....	31
Gambar 12 TPS LB3 PLN UP3 Tanjung Karang .....	31
Gambar 13 Peralatan Uji Dexsil L2000 Dx .....	314
Gambar 14 Inventarisasi Dan Penataan Transformator Bekas .....	36
Gambar 15 Penataan Transformator .....	37
Gambar 16 Penataan Trafo dan Drum Oli Bekas dalam TPS Limbah B3.....	38
Gambar 17 Penataan Trafo dan Drum Oli Bekas tampak Samping.....	38
Gambar 18 Penataan Sensor.....	39
Gambar 19 Diagram Alir Aplikasi Android.....	40
Gambar 20 Desain Server .....	41
Gambar 21 Blok diagram perancangan sistem client-server dan aplikasi android	42
Gambar 22 Denah Lokasi Gudang PLN UP3 Tanjung Karang .....	43

Gambar 23 Business Process Model (BPM).....	44
Gambar 24 Pelekatan Simbol Dan Label PCBs.....	45
Gambar 25 Dexsil L2000 Dx .....	46
Gambar 26 Pekerja Menggunakan Alat Pelindung Diri .....	47
Gambar 27 Dampak PCBs pada Kesehatan Manusia .....	51
Gambar 28 Pengambilan Sample .....	52
Gambar 29 Pengambilan Sample .....	52



# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Polutan Organik yang Persisten (POPs) merupakan senyawa organik yang tahan terhadap degradasi lingkungan baik melalui proses fisik, kimia dan biologi (Zacharia, 2019). Oleh sebab itu, POPs dapat bertahan dalam lingkungan, berpindah dengan jarak jauh, terakumulasi secara biologis dalam jaringan manusia dan hewan, ikut dalam rantai makanan dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu Polutan Organik yang Persisten (POPs) adalah *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs).

Tragedi terkait *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) terjadi di prefektur Fukuoka dan Nagasaki, Jepang pada tahun 1968. Tragedi ini dikenal dengan nama ‘Yusho’ alias “penyakit karena oli” atau *Oil Disease*. Penyebab penyakit tersebut adalah konsumsi oli bekatul (rice bran oil) yang telah terkontaminasi Kanechlor 400 yang merupakan produk PCBs yang diproduksi oleh Kanegafuchi Chemical Industry Co. Ltd. Tragedi ini menyebabkan kematian 500 warga dan 1.800 warga menderita penyakit aneh serta mati rasa dan kerusakan organ hati. Selain itu menyebabkan *Black Baby Syndrome*, Kanker, IQ dan imunitas rendah. Dampak jangka panjang, yaitu setelah dua tahun dapat menyebabkan 40% bronchitis dan setelah 40 tahun menyebabkan mortalitas tinggi (kanker paru dan kanker hati).

Pemerintah melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah meratifikasi perjanjian lingkungan internasional bidang lingkungan hidup yang berkaitan dengan bahan pencemar organik persisten yaitu Konvensi Stockholm pada tahun 2001 tentang Bahan Pencemar Organik Persisten khususnya *Polychlorinated Biphenyls* (PCBSs) yang ditanda tangani oleh 151 negara termasuk Indonesia. Indonesia meratifikasi melalui UU nomor 19 tahun 2009.

PCBs harus dikelola dan diharapkan dapat dihapus penggunaannya secara bertahap (*phase out*) sebelum tahun 2028. Pemusnahan PCBs harus diawali dengan Inventarisasi yang valid secara nasional. Inventarisasi menjadi kewajiban pemilik limbah B3. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, UNIDO

(*United Nations Industrial Development Organization*) dan GEF (*Global Environment Facility*) sejak 2001 melaksanakan proyek “*Introduction of an Environmentally-sound Management and Disposal System for PCBS-Wastes and PCBS-Contaminated Equipment*” dimana salah satu kegiatan yang dilaksanakan adalah Inventarisasi PCBs.

Pengelolaan *Polychlorinated Biphenyls* harus sesuai dengan regulasi yang berlaku dan disimpan pada Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) limbah B3 yang telah mempunyai izin. Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) telah diatur dalam regulasi terkait lingkungan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor: P.29/MENLHK/SETJEN/PLB.3/12/2020 tentang Pengelolaan *Polychlorinated Biphenyls* serta menjadi salah satu program kinerja lingkungan hidup PT PLN (Persero).

PT PLN (Persero) merupakan salah satu badan usaha milik negara yang menyediakan pasokan listrik yang andal bagi seluruh rakyat Indonesia (Kurniawati, 2022). Dalam menjalankan usahanya PT PLN (Persero) juga menghasilkan limbah yang memiliki keterkaitan langsung dengan isu-isu kelestarian lingkungan yang relevan seperti pencemaran lingkungan, limbah B3, emisi karbon, pemakaian sumber daya alam dan lain-lain (Basuki, 2015). Salah satu limbah B3 yang dihasilkan adalah limbah oli transformator yang berasal dari transformator bekas yang sudah tidak dapat digunakan lagi dan masuk kategori ATTB (Aktiva Tetap Tidak Beroperasi). Limbah trafo tahun produksi < tahun 1997 diindikasikan mengandung PCBs (*Polychlorinated Biphenyls*) yang merupakan Polutan Organik yang Persisten (POPs) yang berbahaya bagi

lingkungan dan manusia (KLHK 2020, Sudaryanto *et al.*, 2009). Sistem inventarisasi PCBs di Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 UP3 Tanjung Karang masih harus ditingkatkan, penempatan transformator masih bercampur belum sesuai dengan tahun produksi, agar dilakukan pengujian PCBs dan pemantauan lingkungan sekitar sebagai upaya pencegahan terhadap pencemaran.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

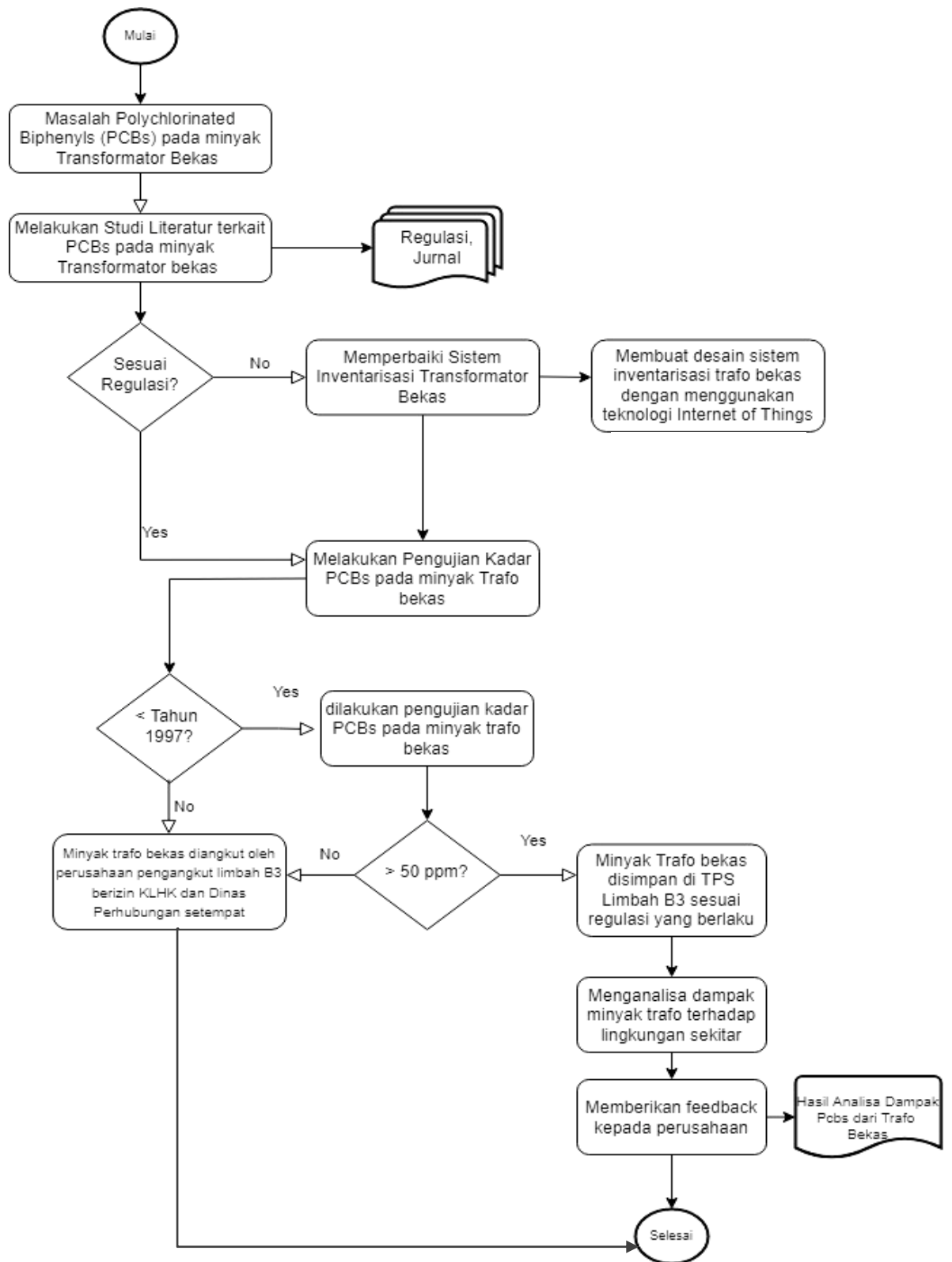
1. Perlu dilakukan perbaikan sistem inventarisasi trafo bekas *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) di TPS Limbah B3 PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang?
2. Perlu menetapkan besaran kandungan *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) pada oli transformator bekas di TPS Limbah B3 PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang?
3. Sejauh mana dampak dari *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) mempengaruhi lingkungan sekitarnya?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memperbaiki sistem inventarisasi transformator bekas menjadi lebih baik.
2. Melakukan pengujian untuk mengetahui kadar kandungan PCBs pada oli transformator bekas di TPS Limbah B3 PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang.
3. Melakukan analisis untuk mengetahui dampak oli transformator terhadap lingkungan.

## 1.4 Kerangka Pemikiran



Gambar 1 Algoritma Penelitian



Permasalahan oli transformator (trafo) bekas di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah B3 PLN UP3 Tanjung Karang akan dikelola dengan melakukan studi literatur berdasarkan regulasi yang berlaku yaitu PP 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Peraturan Menteri KLHK nomor P.29 tahun 2020 tentang Pengelolaan *Polychlorinated Biphenyl* (PCBs) dan jurnal yang berkaitan.

Jika belum sesuai dengan regulasi maka akan dilakukan perbaikan terhadap sistem inventarisasi yang sedang berjalan secara manual dengan membuat sistem inventarisasi secara realtime berbasis *Internet of Things*. Oli trafo bekas kemudian diinventarisasi dengan variabel Jumlah Trafo, Merk Trafo dan Tahun Produksi trafo. Hasil dari inventarisasi kemudian diidentifikasi jumlah trafo yang terindikasi mengandung *Polychlorinated Biphenyl* (PCBs) berdasarkan pada tahun produksi trafo. PCBs Jika > tahun 1997 maka dapat diangkut oleh perusahaan pengangkut limbah B3 yang berizin Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta Dinas Perhubungan setempat. Jika < tahun 1997 maka akan dilakukan pengujian kandungan PCBs dengan menggunakan alat pendeteksi awal keberadaan PCBs di sampel oli trafo dan menyortir sampel sesuai dengan konsentrasi *Chloride*. Jika hasil pengujian > 50 ppm maka oli trafo tersebut mengandung PCBs. Transformator yang terindikasi mengandung PCBs kemudian disimpan di TPS Limbah B3 sesuai dengan aturan yang berlaku.

Dengan adanya inventarisasi dan pengujian kandungan PCBs maka dapat dianalisa hasilnya yaitu jumlah dan persentase oli trafo yang terindikasi mengandung PCBs sehingga dapat dilakukan pengujian selanjutnya dianalisis terkait dampak oli trafo yang terindikasi PCBs terhadap lingkungan sekitar. Penelitian ini dapat memberikan feedback kepada PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang terkait pengelolaan PCBs di TPS Limbah B3.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) harus dikelola dengan baik untuk mencegah pencemaran lingkungan (Exposto & Sujaya, 2021). Dalam pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun mengacu pada peraturan sebagai berikut :

1. Konvensi Stockholm 2009 tentang Polutan Organik Persisten;
2. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Penciptaan Pekerjaan;
3. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.29/MENLHK/SETJEN/PLB.3/12/2020 tentang Pengelolaan *Polychlorinated Biphenyls* (PCBSs);
4. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

### 2.1 *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs)

Polutan Organik yang Persisten (POPs) merupakan senyawa organik yang tahan terhadap degradasi lingkungan baik melalui proses kimia, biologi dan fotolitik. POP dapat terlibat dalam perjalanan jarak jauh di lingkungan melalui udara atau langit sehingga mereka hadir dalam ekosistem yang belum tercemar dan dapat mengakibatkan polusi secara global. Pemerintah melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah meratifikasi perjanjian lingkungan internasional bidang lingkungan hidup yang berkaitan dengan bahan pencemar organik persisten yaitu Konvensi Stockholm pada tahun 2001 tentang Bahan Pencemar Organik Persisten khususnya *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) yang harus dikelola dan diharap dapat dihapus penggunaannya secara bertahap.

### 2.1.1 Sejarah PCBs

*Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) merupakan salah satu polutan organik yang persisten (POPs). POPs telah diatur dalam Konvensi Stockholm yang merupakan konvensi Internasional tentang pemusnahan bahan berbahaya dan beracun yang tersebar di seluruh dunia yang didukung oleh 179 negara dan 92 negara menandatangani konvensi tersebut termasuk Indonesia. Bukti keseriusan pengelolaan PCBs ditunjukkan dengan adanya dana *co-financing* yang dikeluarkan (setara US \$ 24 juta) yang ditandai dengan adanya *co-financing* letter dari berbagai pihak (Pemerintah, BUMN, Swasta) melalui Kementerian Lingkungan Hidup tentang alokasi dana untuk kegiatan yang terkait baik langsung maupun tidak langsung dalam penanganan PCBs. *Co-Financing* dapat berupa sosialisasi mengenai PCBs, pendataan dan inventori peralatan terindikasi PCBs, penggantian atau pembelian trafo bebas PCBs, hingga proses disposal oli trafo yang mengandung PCBs.

 AMERIKA 1930 - 1979	 SPANYOL 1955 - 1984
 JERMAN 1930 - 1983	 CINA 1960 - 1979
 JEPANG 1954 - 1976	 ITALIA 1958 - 1983
 UNI SOVIET 1972 - 1993	 INGGRIS RAYA 1954 - 1977
 PERANCIS 1930 - 1984	 CEKOSLOVAKIA 1959 - 1984

(UNEP, 1999)

Gambar 2 Negara-negara Produksi Global PCBs

PCBs (*polychlorinated biphenyls*) pertama kali dikembangkan pada awal abad ke-20 oleh perusahaan kimia asal Jerman bernama Badische Anilin- und Soda-Fabrik (BASF). Senyawa ini ditemukan pada tahun 1881 oleh ahli kimia Austria bernama Carl Gräbe dan Carl Liebermann, dan kemudian diadopsi oleh BASF sebagai bahan kimia untuk industri. PCBs pertama kali digunakan secara komersial pada tahun 1929 oleh perusahaan kimia asal Amerika Serikat bernama Swann Chemical Company untuk memproduksi pendingin transformator listrik di Anniston, Amerika Serikat. Pada tahun 1930-an hingga 1970-an, penggunaan

PCBs semakin meluas di berbagai sektor industri, termasuk industri listrik, transportasi, dan elektronik. PCBs dianggap sebagai bahan kimia yang sangat berguna karena sifatnya yang stabil, tahan terhadap panas dan tekanan, serta tidak mudah terbakar. PCBs juga digunakan sebagai bahan tambahan dalam cat, lilin, dan produk lainnya.

Pada tahun 1935 perusahaan ini diakuisisi oleh Monsanto Corporation dan PCBs diproduksi lebih masif. Pada tahun 1954, Jepang ikut memproduksi PCBs dan kemudian diikuti oleh Cina pada tahun 1965. Secara global, PCBs telah diproduksi dan tersebar di dunia diperkirakan mencapai 1,5 juta ton.

Namun pada tahun 1960-an, mulai terungkap bahwa PCBs dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia. Studi ilmiah menunjukkan bahwa PCBs dapat menyebabkan efek toksik pada organisme hidup, termasuk gangguan hormon, kerusakan organ, dan kanker. Pada tahun 1979, Amerika Serikat melarang penggunaan PCBs dan mengeluarkan peraturan yang mewajibkan penghancuran PCBs yang sudah tidak digunakan. Sejak saat itu, banyak negara di seluruh dunia mengikuti jejak AS dan mengeluarkan peraturan yang sama untuk membatasi penggunaan dan mengelola PCBs. Meskipun penggunaan PCBs telah dilarang, senyawa ini masih ditemukan dalam lingkungan dan masih menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan di banyak daerah di seluruh dunia.

Setelah banyaknya tragedi akibat pencemaran PCBs baik di Amerika maupun Jepang, maka pada tahun 1971 Monsanto menghentikan produksi PCBs. Ironisnya, PCBs secara resmi baru dilang pada tahun 1977 di Amerika Serikat dan secara global pada tahun 1979. Namun peralatan listrik terutama transformator dan kapasitor yang diproduksi hingga tahun 1985 patut dicurigai masih terkontaminasi PCBs.

PCBs masuk ke Indonesia melalui transformator dan kapasitor yang diproduksi pada tahun 70an dan 80an dan kemudian diimpor ke dalam negeri. Indonesia tidak pernah memproduksi PCBs. Merk dagang transformator yang masuk adalah



Askarel, Aroclor, Chlopen, Chlorexol dan lain sebagainya. Transformator harus dibersihkan dengan baik karena kontaminasi pada transformator yang lebih baru terjadi melalui kontaminasi silang (*cross contamination*) dari transformator lama yang mengandung PCBs.

Salah satu limbah bahan berbahaya dan beracun yang dihasilkan dari PT PLN adalah oli dari transformator bekas dengan kode B105D yang merupakan kategori bahaya 2 dari sumber tidak spesifik. Transformator yang terindikasi PCBs adalah transformator dengan tahun produksi < 1997.

### **2.1.2 Sifat Umum Senyawa POPs**

Senyawa POPs memiliki empat sifat umum (IPEN, 2008) yang terdiri dari :

- a) Senyawa POPs (Persistent Organic Pollutants) adalah senyawa kimia organik yang sangat stabil dan sulit terurai oleh lingkungan. Senyawa POPs memiliki sifat umum sebagai berikut:
- b) Stabilitas: Senyawa POPs sangat stabil dan sulit terurai oleh lingkungan, sehingga dapat menumpuk dalam jaringan organisme hidup dan memicu efek toksik pada organisme tersebut.
- c) Bioakumulasi: Senyawa POPs memiliki kemampuan untuk menumpuk dalam jaringan organisme hidup, baik pada tingkat individu maupun pada tingkat trofik tertentu, sehingga dapat memicu efek toksik pada organisme tersebut.
- d) Toksisitas: Senyawa POPs bersifat racun dan dapat memicu berbagai efek toksik pada kesehatan manusia dan lingkungan, termasuk gangguan hormon, kanker, kerusakan organ, dan gangguan perkembangan.
- e) Mobilitas: Senyawa POPs relatif tidak larut dalam air, namun dapat terikat pada partikel debu dan endapan lumpur, sehingga dapat terbawa oleh aliran air dan angin.
- f) Resistensi terhadap degradasi: Senyawa POPs memiliki resistensi terhadap degradasi biologis dan kimia, sehingga dapat bertahan dalam lingkungan selama bertahun-tahun atau bahkan berdekade.

- g) Globalisasi: Senyawa POPs dapat menyebar secara global melalui transportasi udara dan air, sehingga dapat mempengaruhi kesehatan dan lingkungan di daerah yang jauh dari sumber pencemaran.

Sifat-sifat ini menjadikan senyawa POPs sebagai senyawa yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, dan menjadi perhatian utama dalam upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran lingkungan. Maka limbah harus dikoreksi dan diproduksi sesuai dengan standar yang sesuai dengan hukum dan peraturan yang berlaku. (Taufan & Purwanto, 2018).

### 2.1.3 Karakteristik PCBs

*Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) senyawa kimia yang dapat berupa cairan oli atau padatan yang ditemukan pada tahun 1920 dan mempunyai beberapa karakteristik yang bermanfaat dalam industri sebagai berikut :

- a) Tahan terhadap panas sampai dengan 1.500°C.
- b) Komposisi kimia sulit diubah dan terurai (senyawa kimia stabil).
- c) Sebagai Isolator karena konduktivitas listrik yang rendah.
- d) Tidak larut dalam lemak maupun air.

*Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) memiliki beberapa karakteristik penting yang mempengaruhi sifat fisika, kimia dan efek toksik pada lingkungan dan kesehatan manusia, antara lain:

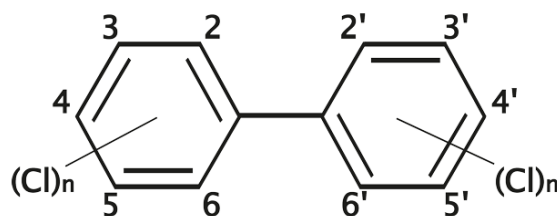
- a) Stabilitas: PCBs sangat stabil dan sulit terurai oleh lingkungan, sehingga dapat menumpuk dalam jaringan organisme hidup dan memicu efek toksik pada organisme tersebut.
- b) Bioakumulasi: PCBs memiliki kemampuan untuk menumpuk dalam jaringan organisme hidup, baik pada tingkat individu maupun pada tingkat trofik tertentu, sehingga dapat memicu efek toksik pada organisme tersebut.
- c) Toksisitas: PCBs bersifat racun dan dapat memicu berbagai efek toksik pada kesehatan manusia dan lingkungan, termasuk gangguan hormon, kanker, kerusakan organ, dan gangguan perkembangan.

- d) Mobilitas: PCBs relatif tidak larut dalam air, namun dapat terikat pada partikel debu dan endapan lumpur, sehingga dapat terbawa oleh aliran air dan angin.
- e) Resistensi terhadap degradasi: PCBs memiliki resistensi terhadap degradasi biologis dan kimia, sehingga dapat bertahan dalam lingkungan selama bertahun-tahun atau bahkan berdekade.
- f) Logam berat: PCBs sering kali terkontaminasi dengan logam berat seperti timbal dan merkuri, yang dapat meningkatkan toksisitas dan bioakumulasi PCBs.

Karakteristik-karakteristik ini menjadikan PCBs sebagai senyawa yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, dan menjadi perhatian utama dalam upaya pencegahan dan pengendalian pencemaran lingkungan.

Karakteristik yang dijelaskan diatas maka digunakan dalam peralatan listrik sebagai oli isolator, pelumas, dan fluida penghantar panas. Daya tahan PCBs terhadap panas, asam dan basa memungkinkan digunakan juga sebagai pelapis permukaan, bahan pembuat plastik, tinta, zat anti api, cat, perekat, dan kertas fotokopi non-karbon. Kandungan PCBs ditemukan di lingkungan dan jaringan lemak manusia dalam konsentrasi tinggi pada akhir tahun 1970, kemudian penggunaannya dilarang oleh sebagian besar negara berkembang.

Terdapat 209 jenis ikatan kandungan PCBs, tetapi hanya 130 diantaranya terjadi pada produk komersial. namun semua tipe tersebut mempunyai struktur dasar kimia yang sama seperti diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3 Struktur Kimia PCBs

*Polychlorinated biphenyls* (PCBs) adalah senyawa kimia yang terdiri dari 209 isomer struktural yang berbeda. PCBs dibentuk oleh ikatan antara karbon dan klorin pada cincin biphenyl (dikenal juga sebagai difenil) dengan kisaran jumlah klorin yang bervariasi dari satu hingga sepuluh atom klorin per molekul.

Struktur kimia PCBs terdiri dari dua cincin fenil yang terikat oleh ikatan karbon-karbon. Masing-masing cincin fenil dapat memiliki satu hingga lima atom klorin yang terikat pada karbon cincin tersebut. Jumlah dan letak atom klorin pada cincin biphenyl menentukan sifat fisikokimia dan toksisitas PCBs. Semakin banyak atom klorin yang terikat pada cincin biphenyl, semakin sulit PCBs diuraikan oleh lingkungan dan semakin berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan.

Secara umum, struktur kimia PCBs menunjukkan sifat yang mirip dengan senyawa organoklorin lainnya, seperti klorodan dan dioxin. Senyawa organoklorin ini sangat stabil dan sulit terurai oleh lingkungan, sehingga dapat menumpuk dalam jaringan organisme hidup dan memicu efek toksik pada organisme tersebut.

#### 2.1.4 Ciri Fisik dan Kode

Ciri fisik dan kode dari *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1 Ciri Fisik dan Kode Polychlorinated Biphenyls

No	Ciri Fisik
1	Wujud cair sampai padat
2	Tidak berbau, tidak berasa
3	Tidak berwarna sampai kuning muda
4	Umumnya berupa campuran senyawa
5	Kadar Cl 21-68% (b/b)
6	Aroclor menggunakan 4 digit, misal Aroclor 1242 (42% Cl)
7	Clophen A60, Phenochlor DP6, Kanechlor : rata-rata 6 Cl per molekul, 59% b/b
8	Selalu dicampur pelarut berupa triklorobenzena

- 9 Berat jenis lebih berat dari air
- 10 Terkontaminasi OCDF (furan), misal dalam Aroclor 1248 : 2,8 mg/kg; dalam Aroclor bekas 12 mb/kg.

Daftar nama dagang oli dielektrik yang mengandung *Polychlorinated Biphenyls* dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2 Nama Dagang Oli Trafo Mengandung PCBs

Nama Dagang Oli Trafo Mengandung PCBs		
Aceclor	Diaclor	Orophene
Askarel	Dicolor	PCBS
ALC	Diconal	PCB's
Apirolio	Diphenyl, chlorinated	PCBs
Apirorio	DK	Pheaoclor
Aroclor	Duconal	Phenochlor
Arochlors	Dykanol	Phenoclor
Aroclor	Educarel	Plastivar
Aroclors	EEC-18	Polychlorinated biphenyl
Arubren	Elaol	Polychlorinated biphenyls
Asbestol	Electrophenyl	Polychlorinated diphenyl
ASK	Elemex	Polychlorinated diphenyls
Askael	Elinol	Polychlorobiphenyl
Askarel	Eucarel	Polychlorodiphenyl
Auxol	Fenchlor	Prodelec
Bakola	Fenclor	Pydraul
Biphenyl, chlorinated	Fenocloro	Pyraclor
Chlophen	Gilotherm	Pyralene
Chloretol	Hydol	Pyranol
Chlorectol	Hyrol	Pyroclor
Chlorinated biphenyl	Hyvol	Pyronol
Chlorinated diphenyl	Inclor	Saf-T-Kuhl
Chlorinol	Inerteen	Saf-T-Kohl
Chlorobiphenyl	Inertenn	Santosol
Chlorodiphenyl	Kanechlor	Santotherm
Chlorphen	Kaneclor	Santotherm

Chorextol	Kennechlor	Santovac
Chorinol	Kenneclor	Solvol
Chorinol	Leromoll	Sorol
Clophen	Magvar	Soval
Clophenharz	MCS 1489	Sovol
Cloresil	Montar	Sovtol
Clorinal	Nepolin	Terphenychlore
Clorphen	No-Flamol	Therminal
Decachlorodiphenyl	NoFlamol	Therminol
Delor	Non-Flamol	Turbinol
Delorene	Olex-sf-d	

### 2.1.5 Kategori Konsentrasi PCBs

*United Nation Environment Programme* (UNEP) telah menetapkan pengkategorian konsentrasi PCBs pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3 Kategori Konsentrasi PCBs

Kategori	Konsentrasi (ppm)
< 5 ppm	Non PCBs
5 - 50 ppm	Berpotensi terkontaminasi PCBs
50 - 500 ppm	Terkontaminasi PCBs
> 500 ppm	Murni PCBs

Kategori konsentrasi PCBs dalam oli trafo biasanya dinyatakan dalam ppm (parts per million) atau mg/kg (milligram per kilogram). Beberapa negara memiliki batasan konsentrasi PCBs dalam oli trafo yang diizinkan, dengan batasan umumnya berkisar antara 1 ppm hingga 50 ppm. Namun, beberapa negara tidak mengizinkan adanya PCBs dalam oli trafo sama sekali. Konsentrasi PCBs dalam oli trafo dapat bervariasi tergantung pada usia dan jenis trafo, kondisi penggunaan, dan riwayat perawatan dan pemeliharaan. Konsentrasi PCBs yang tinggi dalam oli trafo dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan dan kesehatan masyarakat jika trafo rusak atau bocor dan PCBs terlepas ke lingkungan sekitarnya. Oleh

karena itu, pengelolaan oli trafo dan limbahnya harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai dengan peraturan dan standar keselamatan yang berlaku.

Tidak semua kandungan PCBs harus dimusnahkan. Kriteria PCBs yang harus dimusnahkan yaitu kandungan PCBs yang melebihi ambang batas yaitu  $> 50$  ppm. Sedangkan jika kandungan PCBs nya  $< 50$  ppm maka dilakukan Retrofil adalah pengosongan oli dari trafo untuk kemudian diangkut oleh perusahaan pengangkut limbah B3 berizin dan penggantian oli dengan non-PCBs.

### 2.1.6 Dampak bagi Lingkungan dan Kesehatan

Unsur PCBs termasuk tahan api, konduktivitas listrik yang rendah, resistensi yang tinggi terhadap kerusakan termal, tingkat tinggi stabilitas kimia dan ketahanan terhadap berbagai oksidan dan dahan kimia lainnya sehingga dapat memberikan dampak negatif yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan. Tidak ada suhu maksimum yang aman khusus untuk PCBs, karena efek suhu pada PCBs tergantung pada aplikasi dan konteks spesifik. Namun, penting untuk menghindari paparan PCBs pada suhu tinggi untuk mencegah pelepasan senyawa berbahaya ke lingkungan. PCBs dapat menahan suhu hingga  $90^{\circ}\text{C}$  hingga  $110^{\circ}\text{C}$ , tetapi suhu tinggi dapat mengubah struktur PCB dan mengurangi kinerja. Adapun efek yang ditimbulkan PCBs terhadap lingkungan dan kesehatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Dampak Buruk PCBs terhadap Lingkungan dan Kesehatan

Lingkungan	Kesehatan
1. Tahan urai yang berarti tidak dapat dimetabolisme oleh mikro menjadi senyawa sederhana jika lepas ke lingkungan.	1. Kanker pada hewan, potensi karsinogenik pada manusia
2. Tak larut air dan akan terakumulasi dalam jaringan lemak tubuh.	2. Penyakit non-kanker yang parah : gangguan sistem imun dan sistem endokrin
3. Bila terbakar pada kondisi tidak sesuai dapat menimbulkan senyawa baru yaitu dioksin, furan (UPOPS) yang lebih berbahaya.	3. Diketahui berdampak kronis pada proses reproduksi, gangguan pencernaan, dan lesi pada kulit.



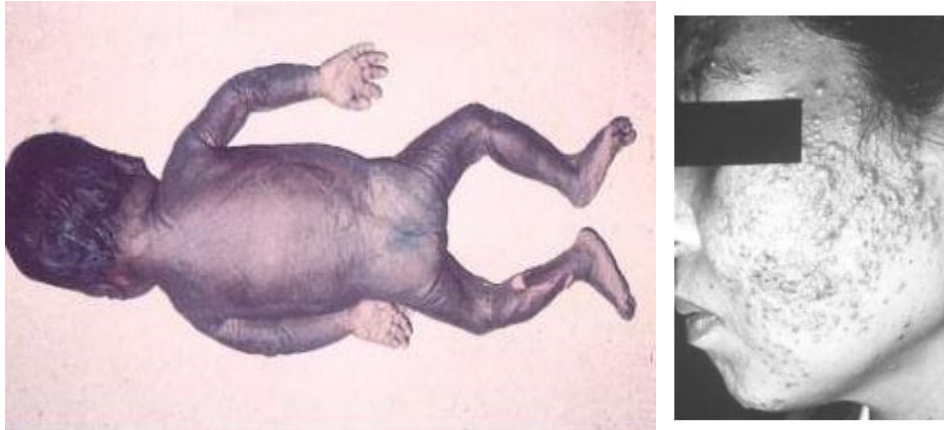
Studi sebelumnya terkait PCBs menyatakan bahwa senyawa POPs terdeteksi pada sedimen, bahan makanan dan juga air susu ibu (Sudaryanto et al., 2006) serta melalui konsumsi daging, ikan dan produk susu.



Sumber : [www.bostonglobe.com](http://www.bostonglobe.com)

Gambar 4 Peringatan Sungai dan Ikan tercemar PCBs

Oleh sebab itu, kemudian dikaitkan dengan efek kronis pada manusia termasuk penurunan fungsi paru-paru, bronkitis, kerusakan sistem kekebalan tubuh serta gangguan hormon yang menyebabkan kanker. Selain itu terdapat masalah perkembangan yang serius pada anak-anak seperti berat badan lahir rendah, gangguan perilaku dan gangguan pendengaran pada paparan PCBs yang relatif tinggi (lebih dr 10 pg/kg berat badan per hari). Selain itu, terbukti efek paparan PCBs pada hewan tikus seperti kerusakan hati, penekanan sistem kekebalan, induksi enzim, sarkoma, kelainan perkembangan janin, limfoma non-Hodgkin dan lipid serum. Studi lain menyatakan status PCBs dalam air sungai Ciliwung, Puti, Jakarta terdeteksi *Dichlorinated Biphenyls* (PCBS IUPAC #11) yang menunjukkan bahwa hasil produk samping industri yang menjadi sumber pencemaran air.



Sumber : Kuratsune, et. al., 2001

Gambar 5 Peringatan Sungai dan Ikan tercemar PCBs

Tragedi Yusho terjadi pada tahun 1968 di Jepang dan disebabkan oleh keracunan massal oleh dioksin, yaitu senyawa kimia beracun yang dihasilkan dari proses produksi pestisida oleh perusahaan Chisso Corporation. Sebanyak sekitar 1.700 orang diketahui terkena dampak keracunan dioksin, termasuk sekitar 1.000 orang yang meninggal dunia. Korban yang selamat juga mengalami berbagai jenis kelainan kesehatan jangka panjang, termasuk kelainan kulit, gangguan saraf, kelainan hormonal, dan kanker. Dampak kesehatan ini disebabkan oleh toksisitas dioksin yang sangat tinggi dan kemampuannya untuk menumpuk dalam jaringan tubuh manusia.

Setelah tragedi Yusho, pemerintah Jepang mengeluarkan undang-undang untuk mengatur penggunaan senyawa kimia berbahaya, dan kasus ini juga menjadi sorotan dunia dan menjadi salah satu tragedi lingkungan yang paling terkenal di Jepang. Perusahaan Chisso juga mengeluarkan permintaan maaf publik dan membayar kompensasi kepada korban dan keluarga mereka.

Menurut Kuratsune (2001), fenomena yang dikenal sebagai “penyakit aneh” tersebut menimpa 1.800 warga Kyushu di Prefektur Fukuoka. Beberapa sumber lain menyebut total jumlah korban mencapai 14.000 jiwa (Suzuki & Kobayashi, 1968). Pelacakan yang dilakukan oleh Onozuka et al (2020) selama 50 tahun dari 1968 sampai tahun 2017 menemukan bahwa kasus yang tercatat resmi di Jepang

hanyalah 2.318 jiwa. Perbedaan angka ini sangat mungkin disebabkan oleh metode pelacakan dan pencatatan yang berbeda. Onozuka et al misalnya menggunakan data resmi yang tercatat pada Kementerian Kesehatan Tenaga Kerja dan Kesejahteraan di Jepang. Meski tidak dijelaskan secara eksplisit, angka korban yang ditulis oleh Kuratsune (2001) dan Suzuki dan Kobayashi (1968) tampaknya berasal dari data survei lapangan pada masa awal kejadian.

Hasil penyelidikan resmi menyimpulkan bahwa penyebab penyakit tersebut adalah dikarenakan mengkonsumsi oli bekatul (*rice bran oil*) yang telah terkontaminasi oleh Kanechlor 400, yang merupakan produk PCBs yang diproduksi oleh Kanegafuchi Chemical Industry Co., Ltd. Penyakit Yusho ditandai dengan gejala munculnya benjolan-benjolan berbentuk jerawat di permukaan kulit, pigmentasi pada kulit, peradangan kelopak mata (konjungtivitis), peningkatan sekresi mata, dan mati rasa pada anggota tubuh (akibat gangguan syaraf ke otak).

Tabel 5 Jumlah Pasien Yusho di prefektur Fukuoka dan Nagasaki 1973

Wadah		Jumlah Pasien	Persen
Kaleng	Pengguna oli produksi 5-6 Februari 1968	166	51.1
	Tidak diketahui	4	1.2
Botol	Kemungkinan Pengguna oli produksi 5-15 Februari 1968	143	44.0
	Tidak diketahui	12	3.7
	Total	325	100%

*Rice bran oil* adalah oli nabati yang diekstraksi dari lapisan luar butir beras. Oli ini populer di Asia dan sering digunakan dalam masakan tradisional Asia. Pada kasus Yusho di Jepang, *rice bran oil* yang terkontaminasi PCBs menyebabkan keracunan masyarakat setempat yang mengonsumsinya. *Rice bran oil* tersebut dihasilkan dari beras yang diproses di pabrik yang menggunakan kapas isolator yang telah terkontaminasi PCBs. Orang yang terpapar *rice bran oil* yang terkontaminasi PCBs dapat mengalami berbagai efek kesehatan, seperti jerawat, gatal-gatal, sakit kepala, mual, muntah, dan bahkan kanker.

Pada kasus Yusho di Jepang, kapas isolator digunakan dalam proses produksi untuk memisahkan lapisan beras dari lingkungan sekitarnya, tetapi kemudian diketahui bahwa isolator tersebut terkontaminasi PCBs dan menjadi sumber keracunan masyarakat setempat. Setelah tragedi Yusho, penggunaan isolator yang terkontaminasi PCBs dilarang di Jepang dan banyak negara lainnya.

Tabel 6 Kriteria Diagnostic Yusho

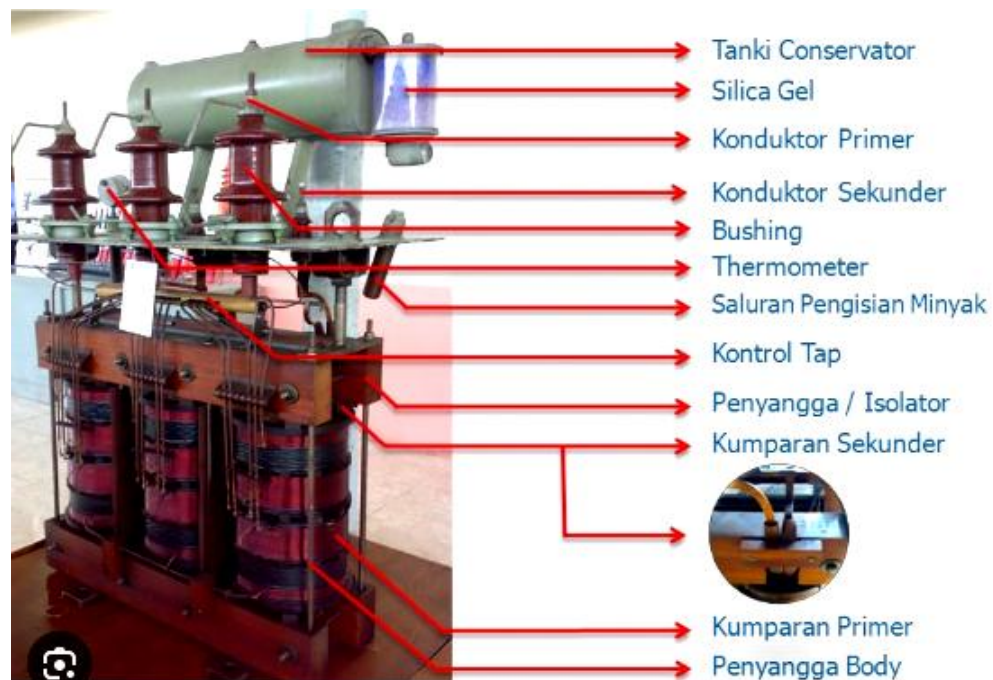
Kriteria Diagnostic Yusho (1968)	
1.	Faktor Referensi
	1) Konsumsi Rice Brain Oil (terkontaminasi oleh Kanechlor)
	2) Kejadian yang sering terjadi
	3) Timbulnya gejala setelah bulan April 1968
2.	Gejala dan tanda-tanda
	1). Gejala Subjektif : Pembengkakan kelopak mata bagian atas, peningkatan debit pada mata, kehilangan selera makan, mual, gatal, mati rasa pada ekstremitas, prestasi kaki, Arthalgia, dan tonjolan pada kulit.
	2) Tanda Okular : Hipersekterion kelenjar Meibomian (sebum), Hiperemia, dan pigmentasi selaput lender, dan keringat berlebih pada telapak tangan.
	3) Tanda Dermatologi : Kuku menghitam, titik hitam pada pori rambut, komedo, dan jerawat seperti erupsi kulit, perubahan warna kulit (pigmentasi abnormal), pigmentasi selaput lendir, dan keringat berlebih pada telapak tangan.
	4) Temuan Umum : Anemia yang tidak jelas, hepatomegaly, atau splenomegaly. Terkadang demam ringan atau fungsi liver abnormal, mati rasa dan lemah tangan serta kaki tangan paresis.

## 2.2 Transformator

Transformator adalah alat yang dapat menaikkan atau menurunkan level tegangan suatu arus listrik. Hal ini penting karena transfer energi listrik jauh lebih banyak menguntungkan bila voltase dipertahankan pada level tinggi; ini karena kehilangan energi jauh lebih rendah pada voltase yang lebih tinggi, namun voltase

harus diturunkan sebelum digunakan, untuk sesuai dengan persyaratan industri mungkin beberapa ribu volt, atau untuk rumah tangga kebutuhan beberapa ratus volt (Thomas 1993).

Oli transformator (trafo) berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi serta mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan mempunyai daya tegangan tembus tinggi. Pada power trafo, terutama berkapasitas besar, kumparan dan inti besi direndam dalam oli trafo.



Gambar 6 Komponen dalam Trafo

Syarat cairan oli trafo adalah sebagai berikut :

- Ketahanan isolasi harus tinggi ( $> 10\text{kV/mm}$ )
- Berat jenis harus kecil, sehingga partikel-partikel inert di dalam oli dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan.
- Tidak merusak bahan isolasi padat
- Sifat kimia yang stabil.

### 2.3 Environmental Safeguards

Pengelolaan lingkungan yang baik sangat penting bagi pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*). Pembangunan berkelanjutan semakin populer setelah konsepnya disampaikan oleh Komisi Brundtland yang bekerja sejak Oktober 1984 sampai dengan Maret 1987 di bawah pimpinan Perdana Menteri Norwegia Gro Harlem Brundtland dan melahirkan buku '*Our Common Future*' yang diterbitkan pada tahun 1987 oleh *World Commission on Environment and Development* (WCED).



Gambar 7 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan

*Environmental safeguard* merujuk pada tindakan atau mekanisme yang diadopsi untuk melindungi atau memperbaiki lingkungan alam dan meminimalkan dampak negatif dari kegiatan manusia terhadap lingkungan. Hal ini biasanya mencakup serangkaian langkah dan aturan yang harus dipatuhi oleh perusahaan atau organisasi yang melakukan kegiatan yang berpotensi mencemari atau merusak lingkungan. Contoh *environmental safeguard* termasuk pengawasan dan pengendalian emisi bahan berbahaya ke udara, air, dan tanah, pemantauan kualitas air dan udara, pemantauan kesehatan masyarakat, pengelolaan limbah dan sampah, perlindungan dan pengelolaan sumber daya alam, serta pelatihan dan pendidikan lingkungan.

*Environmental safeguard* biasanya diterapkan oleh pemerintah, lembaga internasional, atau perusahaan sendiri sebagai tanggung jawab sosial dan lingkungan. Tujuannya adalah untuk mengurangi dampak negatif kegiatan manusia terhadap lingkungan, memastikan keberlanjutan sumber daya alam, dan melindungi kesehatan manusia dan ekosistem.

PT PLN (Persero) merupakan bidang usaha yang memiliki keterkaitan langsung dengan isu-isu kelestarian lingkungan yang relevan seperti pencemaran lingkungan, limbah B3, emisi karbon, pemakaian sumber daya alam dan lain-lain. Aspek-aspek tersebut menjadi perhatian PT PLN (Persero) dan memegang teguh komitmen untuk dapat mencapai kegiatan ketenagalistrikan yang berwawasan lingkungan dengan menerapkan *PLN Safeguards System*. Salah satunya adalah *Environmental Safeguard* terkait dengan Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 (TPS LB3). Dalam pengelolaan TPS Limbah B3 harus sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku yaitu Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 tahun 2021 Bagian Kedua tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dan program *Environmental Safeguard* PT PLN (Persero).

#### **2.4 Internet Of Things (IoT)**

Pada tahun 1999, Co-Founder Auto-ID Lab MIT Kevin Ashton memperkenalkan ide awal terkait *Internet of Things* berupa alat untuk mendeteksi barcode saat presentasi di Proctor & Gamble. Kemudian terus berkembang dan diluncurkan inovasi teknologi RFID (*Radio-Frequency Identification*). IoT lebih dari sekedar alat namun menjadi salah satu solusi teknologi yang akan memberikan warna baru pada suatu kegiatan yaitu Visibilitas. Visibilitas dapat memudahkan monitoring, melancarkan jalur komunikasi, memperkuat keamanan dan data yang dihasilkan adalah data konkrit. Dengan menggunakan IoT, pemilik usaha akan mengetahui kondisi usahanya secara realtime. Perusahaan-perusahaan besar seperti Microsoft, Intel, Oracle dan lainnya tertarik dengan ide yang cemerlang tersebut dan mulai mendalami *Internet of Things* untuk meningkatkan kinerja bisnis mereka.



Gambar 8 Konsep dan Cara Kerja *Internet Of Things* (IoT)

Pada gambar 9 diatas adalah konsep *Internet of Things* (IoT) yaitu jaringan perangkat atau objek yang terhubung satu sama lain dan dapat saling berkomunikasi dan bertukar data melalui internet tanpa adanya intervensi manusia. Dalam konsep IoT, perangkat atau objek tersebut dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan prosesor yang memungkinkan mereka untuk mendeteksi, mengumpulkan, dan memproses data secara otonom, serta mengambil tindakan atau memberikan respon secara otomatis berdasarkan data yang diperoleh. Contoh perangkat IoT yang umum meliputi sensor suhu, sensor kelembaban, kamera keamanan, perangkat pengukuran konsumsi energi, dan sebagainya.

Pada penelitian ini membahas rancang bangun sistem pemantauan dan kontrol lokasi penempatan trafo menggunakan NodeMCU ESP-12E. Alat ini dirancang agar dapat diketahui lokasi penyimpanan trafo melalui aplikasi android dengan jaringan internet (*online*) ataupun jaringan lokal (*offline*). Model komunikasi yang digunakan pada *client-server* menggunakan *transport-layer protocol* yaitu *User Datagram Protocol* (UDP), sehingga *server* dapat berkomunikasi dengan empat *client* secara bersamaan dengan respon waktu tercepat rata-rata yaitu 0.653 detik. Model komunikasi antara *server* dengan *cloud* menggunakan *Transmission Control Protocol* (TCP) sehingga data yang dikirim atau diterima oleh *server* melalui jaringan internet lebih reliabel. *Cloud* yang digunakan adalah Firebase yang dimana memiliki fasilitas *real-time database* dan data histori.



## 2.5 Sensor Ultrasonik

Penelitian ini menggunakan salah satu perangkat Internet of Things (IoT) yaitu sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik atau disebut juga sensor HC-SR04 yang digunakan adalah untuk mendeteksi jarak dari suatu objek. Sensor ini bekerja dengan mengirimkan suara ultrasonik dan kemudian mendeteksi waktu yang dibutuhkan untuk pantulan tersebut kembali ke sensor. Berdasarkan waktu pantulan, sensor HC-SR04 dapat menghitung jarak objek dari sensor. Sensor ultrasonik atau Sensor HC-SR04 yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti pada gambar 10 berikut.



Gambar 9 Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Sensor ultrasonik terhubung ke mikrokontroler atau single board computer seperti Arduino IDE dan ESP8266. Sensor ultrasonik akan mengirimkan sinyal suara ultrasonik dan kemudian menerima pantulan kembali dari Trafo yang berada di dekatnya. Sinyal ini kemudian diteruskan ke mikrokontroler untuk diolah dan dihitung jaraknya. Jika jarak antara sensor dan trafo  $< 2$  meter maka akan terdeteksi bahwa di lokasi tersebut terdapat trafo, jika  $> 2$  meter maka lokasi tersebut dalam keadaan tidak terdapat trafo.

## 2.6 Firebase

Penelitian ini menggunakan *Firebase Console* sebagai platform berbasis web yang disediakan oleh Firebase, yaitu layanan pengembangan aplikasi mobile dan web dari Google. *Firebase Console* menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif dan mudah digunakan, yang memungkinkan pengguna untuk mengelola

berbagai layanan Firebase yang tersedia, seperti penyimpanan data (*database*), otentikasi pengguna, pengiriman pesan (*messaging*), analitik, hosting, dan lain-lain. Selain itu, *Firebase Console* juga menyediakan berbagai alat pengembangan (*development tools*) dan sumber daya (*resources*) seperti dokumentasi, tutorial, dan forum diskusi, yang dapat membantu pengembang dalam membangun aplikasi mobile dan web yang kaya fitur dan bermutu tinggi.

## **2.7 ESP8266**

Penelitian ini menggunakan modul ESP8266, yaitu modul WiFi yang dapat diprogram dan terhubung ke jaringan nirkabel (*wireless network*). Modul ini didasarkan pada sistem-on-chip (SoC) yang memiliki prosesor Tensilica Xtensa LX106, memori flash, RAM, dan modul WiFi yang terintegrasi. ESP8266 memungkinkan perangkat elektronik untuk terhubung ke internet melalui jaringan WiFi, mengakses data dari server dan kemudian berkomunikasi dengan sensor ultrasonik yang akan mengirimkan sinyal suara ultrasonik dan kemudian menerima pantulan kembali dari Trafo yang berada di dekatnya. Kemudian sinyal ini diteruskan ke mikrokontroler untuk diolah dan dihitung jaraknya.

## **2.8 Parameter Pemantauan Lingkungan**

### **2.8.1 *Potential Hydrogen (pH)***

pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan. Skala pH berkisar dari 0 hingga 14, di mana angka 7 menunjukkan keadaan netral, kurang dari 7 menunjukkan keasaman, dan lebih dari 7 menunjukkan kebasaan. Skala pH didasarkan pada konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dalam larutan. Semakin tinggi konsentrasi ion hidrogen, maka semakin rendah nilai pH-nya dan semakin asam larutan tersebut. Sebaliknya, semakin rendah konsentrasi ion hidrogen, maka semakin tinggi nilai pH-nya dan semakin basa larutan tersebut. Ukuran pH penting dalam berbagai aplikasi, seperti dalam bidang industri, pertanian, pengolahan air, dan ilmu kimia. Alat pengukur pH yang umum digunakan adalah pH meter atau kertas indikator pH.

### **2.8.2 Total Suspended Solids (TSS)**

*Total Suspended Solids* (TSS) adalah parameter kualitas air yang mengukur jumlah padatan tersuspensi dalam air. Padatan tersebut dapat berupa partikel tanah, pasir, lempung, lumpur, dan bahan organik yang membawa polutan seperti pestisida, logam berat, dan zat organik. TSS diukur dengan cara memfilter air dan mengukur berat padatan yang tersisa pada filter. Hasil pengukuran TSS biasanya dilaporkan dalam satuan mg/L atau ppm (parts per million). TSS adalah salah satu parameter yang penting dalam menentukan kualitas air dan seringkali diatur oleh standar baku mutu air, seperti yang ditetapkan oleh pemerintah atau lembaga pengelola air. Kadar TSS yang tinggi dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air, sehingga dapat mempengaruhi kehidupan akuatik dan keberlangsungan ekosistem perairan.

### **2.8.3 Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

BOD adalah singkatan dari *Biochemical Oxygen Demand*, yaitu ukuran kuantitatif kemampuan bakteri aerobik dalam mengurai bahan organik yang terkandung dalam air. Bahan organik seperti limbah domestik, limbah industri, atau limbah pertanian yang dibuang ke dalam air dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air, yang sangat penting bagi kehidupan akuatik. BOD diukur dengan cara mengukur jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri dalam proses penguraian bahan organik di dalam air selama periode waktu tertentu (biasanya 5 hari pada suhu 20 derajat Celcius). Hasil pengukuran BOD dilaporkan dalam satuan mg/L atau ppm (parts per million).

Kadar BOD yang tinggi dalam air dapat menunjukkan adanya polusi organik dan dapat mengancam ekosistem perairan, karena dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air. Oleh karena itu, BOD adalah salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas air dan biasanya diatur oleh standar baku mutu air, seperti yang ditetapkan oleh pemerintah atau lembaga pengelola air.

#### 2.8.4 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah singkatan dari *Chemical Oxygen Demand*, yaitu ukuran kuantitatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi (menguraikan) bahan organik yang terkandung dalam air secara kimiawi. COD digunakan sebagai parameter untuk menentukan kandungan bahan organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air, seperti limbah domestik, limbah industri, atau limbah pertanian. COD diukur dengan cara memanaskan sampel air bersamaan dengan bahan kimia oksidator (seperti kalium dikromat atau permanganat) dalam kondisi asam, sehingga bahan organik dioksidasi dan terjadi perubahan warna. Kemudian, jumlah oksigen yang digunakan dalam proses tersebut diukur dan dilaporkan dalam satuan mg/L atau ppm (parts per million).

Kadar COD yang tinggi dalam air dapat menunjukkan adanya polusi organik dan dapat mengancam keberlangsungan ekosistem perairan, karena dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air. Oleh karena itu, COD adalah salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas air dan biasanya diatur oleh standar baku mutu air, seperti yang ditetapkan oleh pemerintah atau lembaga pengelola air. COD sering digunakan sebagai pengukuran alternatif atau pelengkap untuk BOD (Biochemical Oxygen Demand) yang lebih lambat dan lebih mahal.

#### 2.8.5 *Free Ammoniac*

*Free Ammoniac* (NH<sub>3</sub>-N) atau Amoniak Bebas adalah salah satu parameter kimia penting dalam pengukuran kualitas air. Amoniak (NH<sub>3</sub>) adalah bentuk nitrogen yang dapat ditemukan di alam, seperti di dalam tanah, air, dan udara. Amoniak bebas diukur sebagai bagian dari kandungan nitrogen total (Total Nitrogen) dalam air, dan biasanya diukur dalam satuan mg/L atau ppm (parts per million).

Kadar amoniak bebas dalam air dapat meningkat karena berbagai faktor, seperti penggunaan pupuk, pemakaian deterjen, limbah pertanian dan peternakan, serta limbah industri. Kadar amoniak bebas yang tinggi dalam air dapat berdampak

negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Amoniak bebas dapat membentuk senyawa beracun seperti amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dalam air dan menjadi racun bagi kehidupan akuatik. Kadar amoniak bebas yang tinggi dalam air juga dapat mengurangi kualitas air dan mempengaruhi kesehatan manusia jika air tersebut digunakan sebagai sumber air minum atau untuk keperluan lainnya. Oleh karena itu, pengukuran kadar amoniak bebas dalam air sangat penting untuk menjaga kualitas air dan keberlangsungan ekosistem perairan.

### **2.8.6 Oil & Grease**

Oli dan Lemak (*Oil and Grease*) adalah parameter kimia yang umumnya diukur dalam pengujian kualitas air. Oli dan lemak umumnya berasal dari limbah industri atau komersial, seperti oli pelumas, bahan bakar, oli sayur, dan lemak hewan. Kadar oli dan lemak diukur dengan cara mengekstrak sampel air dengan pelarut organik, kemudian menguapkan pelarutnya dan menimbang sisa padatan oli dan lemak dalam sampel. Hasil pengukuran biasanya dilaporkan dalam satuan mg/L atau ppm (*parts per million*).

Kadar oli dan lemak yang tinggi dalam air dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Limbah oli dan lemak dapat mencemari perairan dan dapat merusak ekosistem perairan, seperti mematikan kehidupan akuatik dan memperburuk kualitas air. Oleh karena itu, pengukuran kadar oli dan lemak dalam air sangat penting untuk menjaga kualitas air dan mencegah dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Kadar oli dan lemak dalam air biasanya diatur oleh standar baku mutu air, seperti yang ditetapkan oleh pemerintah atau lembaga pengelola air.

### **2.8.7 Total Coliform**

*Total Coliforms* adalah kelompok bakteri yang biasa digunakan sebagai indikator untuk menentukan kualitas air dan kebersihan sanitasi. *Total Coliforms* mencakup beberapa jenis bakteri yang ditemukan di alam, termasuk *Escherichia coli* (*E. coli*) yang merupakan bakteri yang biasanya hidup di dalam saluran pencernaan

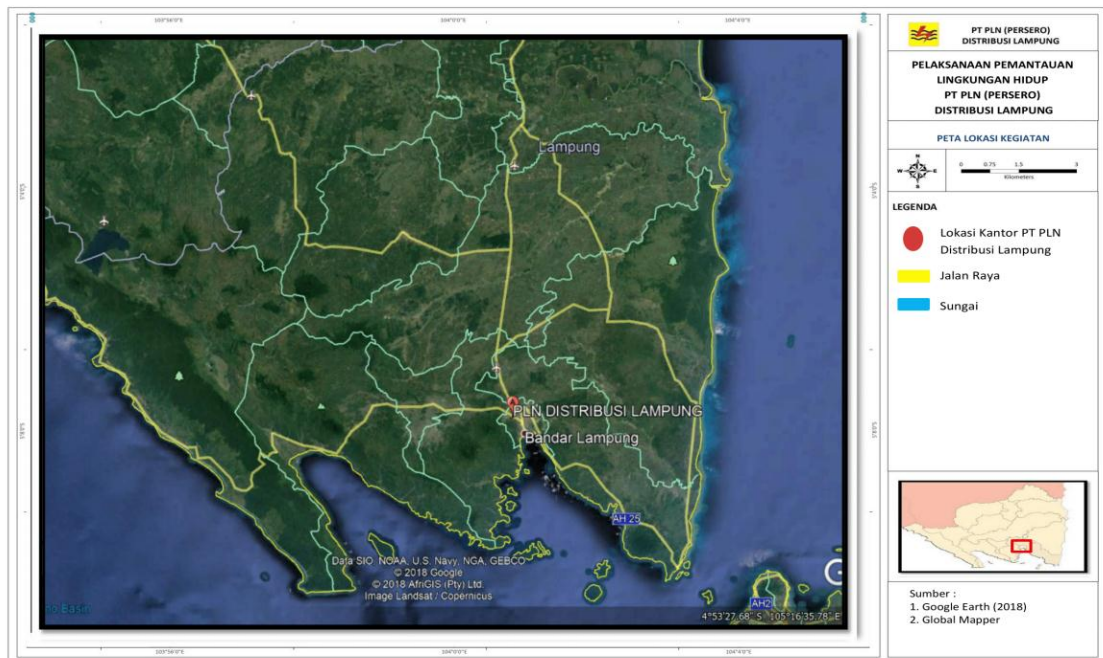
manusia dan hewan. Kadar *Total Coliforms* diukur dengan cara mengambil sampel air dan mengukur jumlah bakteri *total coliforms* yang ada dalam sampel, biasanya dilaporkan dalam satuan CFU (*colony-forming unit*) per 100 mL.

Kadar *Total Coliform* dalam air yang tinggi dapat menjadi indikasi adanya kontaminasi dari limbah manusia atau hewan. Jika air yang terkontaminasi *Total Coliforms* dikonsumsi, dapat menyebabkan penyakit pada manusia, seperti infeksi saluran pencernaan, diare, muntah, dan demam. Oleh karena itu, *Total Coliforms* adalah salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas air untuk keperluan konsumsi manusia dan biasanya diatur oleh standar baku mutu air, seperti yang ditetapkan oleh pemerintah atau lembaga pengelola air. Kadar *Total Coliforms* yang tinggi dalam air juga dapat menjadi indikasi adanya polusi organik dalam air dan dapat mempengaruhi ekosistem perairan.

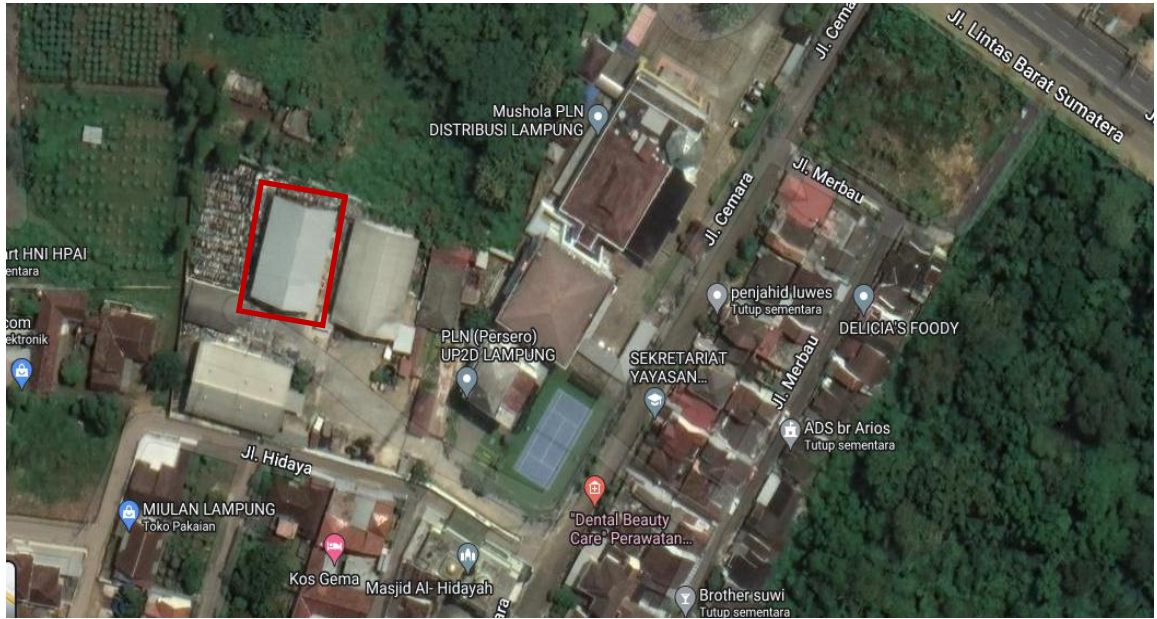
### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah B3 PLN UP3 Tanjung Karang yang berlokasi di jalan Zainal Abidin Pagar Alam No. 05, Rajabasa, Bandar Lampung. Dapat dilihat pada peta lokasi Gambar 11 dan *layout* di Gambar 12. Penelitian dilakukan pada bulan Juni-September 2022.



Gambar 10 Peta lokasi administrasi kegiatan penelitian



Gambar 11 Layout Lokasi Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3

Tempat Penyimpanan Limbah B3 (TPS LB3) PLN UP3 Tanjung Karang berada di Gudang Rajabasa dengan koordinat S : 5 21'' 55, 6092'' dan E : 105 13''35, 28876''. TPS Limbah B3 ini telah mempunyai Izin Operasional Pengelolaan Limbah B3 untuk Penghasil yang dikeluarkan melalui sistem OSS oleh Walikota Bandar Lampung. Limbah yang dihasilkan berupa oli/oli bekas dari transformator yang sudah rusak atau tidak layak dimanfaatkan lagi.



Gambar 12 TPS LB3 PLN UP3 Tanjung Karang



## 3.2 Bahan dan Alat

### 3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan obyek pada penelitian ini adalah limbah B3 berupa oli trafo bekas yang terindikasi terkandung *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) di Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 UP3 Tanjung Karang.

Tabel 7 Jumlah Sampel Oli Trafo Bekas UP3 Tanjung Karang

No	Unit	Total Jumlah Trafo
1	UP3 Tanjung Karang	12

Jumlah Sampel yang digunakan adalah 12 (dua belas) oli trafo offline yang berada di dalam Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang yang berlokasi di Rajabasa, Bandar Lampung.

### 3.2.2 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan sebagai berikut :

#### 3.2.2.1 Sistem Penataan Trafo

Sistem penataan trafo di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah B3 PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan perangkat sebagai berikut :

##### a. Perangkat Keras

- |                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| 1. NodeMCU ESP-12E              | 5 Buah |
| 2. Sensor Ultrasonik (HC-SR 04) | 5 Buah |
| 3. Relay 5V                     | 5 Buah |
| 4. <i>Smartphone</i> Android    | 1 Buah |

##### b. Perangkat Lunak

1. Arduino IDE
2. Kodular

### 3.2.2.2 Alat Pendeteksi PCBs

Alat yang digunakan untuk mendeteksi kandungan PCBs pada oli trafo bekas adalah Dexsil L2000DX/*Chlorine Analyzer*. Dengan alat tes ini, sampel oli trafo direaksikan dengan reagen yang ada sehingga dapat diketahui seluruh *Chlorinated Chlorine* yang ada pada sampel. Elektroda yang khusus mendeteksi klorida akan menentukan konsentrasi PCBs yang ada dalam sampel.

## 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Secara umum, analisis penelitian dilakukan dengan metode kualitatif deskriptif. Pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

Tabel 8 Teknik Pengumpulan Data

No	Jenis Data	Metode	Sumber Data
1	Data Primer	Observasi, Wawancara, Dokumentasi, Kuesioner pada pegawai bagian K3L	Instansi terkait
2	Data Sekunder	- Penelusuran Dokumen/Laporan terkait PCBs - Untuk mengindikasikan kontaminan PCBs dalam oli trafo menggunakan Dexsil L2000 DX / <i>Chloride Analyzer</i> sebagai pendeteksi awal keberadaan PCBs di sampel oli trafo. - Studi Literatur, Jurnal Penelitian sebelumnya dan Buku pendukung penelitian	- Instansi terkait - Internet, Web Jurnal, Artikel, Buku dll.

### 3.3.1 Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, untuk mendeteksi PCBSs menggunakan alat Dexsil L2000 DX/*Chlorine Analyzer*. Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi PCBSs pada oli trafo dan pada tanah serta permukaan. Dexsil L2000 DX/*Chlorine Analyzer* sebagai pendeteksi awal keberadaan PCBSs di sampel oli trafo dan menyortir sampel dengan konsentrasi *Chloride* > 50 ppm. Gambar 14 berikut adalah gambar peralatan uji Dexsil L2000DX.



Gambar 13 Peralatan Uji Dexsil L2000 DX

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 KESIMPULAN**

1. Sistem inventarisasi *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs) pada transformator bekas di TPS Limbah B3 PT PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang dapat diperbaiki
2. Hasil pengujian pada dua belas sampel limbah oli trafo bekas adalah sebesar 66,7% tidak ditemukan kandungan PCBs dan 33,3% limbah oli trafo terkontaminasi PCBs.
3. Hasil pemantauan lingkungan yang dilakukan oleh PLN UP3 Tanjung Karang secara keseluruhan parameternya masih di bawah baku mutu lingkungan. Kesimpulannya adalah tidak terjadi pencemaran di daerah sekitar TPS Limbah B3.

### **5.2 SARAN**

Pengelolaan limbah B3 (oli trafo bekas) harus dilakukan dengan baik agar tidak mencemari lingkungan sekitar dan pengelolaannya harus sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku serta bekerjasama dengan perusahaan yang telah berizin Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Dinas Perhubungan setempat.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Exposto, L. A. S., & Sujaya, I. N. 2021. The Impacts of Hazardous and Toxic Waste Management: A Systematic Review. *Interdisciplinary Social Studies*, 1(2), 103-123. Google Scholar
- Holoubek I, 2011. Environmental Fate of Persistent Organic Pollutants Definition, Sources, Fate, Recetox;
- Indonesia, 2020. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.29/Menlhk/Setjen/Plb.3/12/2020 tentang Pengelolaan Polychlorinated Biphenyls (PCBSs). Jakarta.
- Indonesia, 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- KLHK. 2017. Laporan Pelaksanaan Inventarisasi PCBSs: Inventarisasi PCBSs pada Oli Transformator Sektor Industri di Pulau Jawa. KLHK-UNIDO. Jakarta.
- Lang, V. 1992. Polychlorinated biphenyls in the environment. *Journal of Chromatography A*, 595(1-2), 1-43.
- Stockholm Convention. 2001. *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Secretariat of the Stockholm Convention. Geneva.
- Sudaryanto, A., Takahashi, S., & Tanabe, S. 2007. Persistent toxic substances in the environment of Indonesia. *Developments in Environmental Science*, 7, 587-627.

UNIDO, KLHK RI 2016. *Polychlorinated Biphenyls (PCBSs) Phasing-Out Regulation In Indonesia Final Report*. Bogor.

Zacharia, J. T. 2019. Degradation pathways of persistent organic pollutants (POPs) in the environment. *Persistent Organic Pollutants*, 17–30. Google Scholar

# **LAMPIRAN**





PROSIDING SNAIL 2021 SEMINAR NASIONAL ILMU LINGKUNGAN  
Tata Kelola Lingkungan untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan  
Bandar Lampung, 08 Juli 2021  
ISSN 2963-3257 (online)

## STUDI AWAL APLIKASI IOT UNTUK MONITORING OLI TRAFODI TEMPAT PENYIMPANAN SEMENTARA LIMBAH B3

Preliminary Study Of IoT Applications For Monitoring Of Transformation Oil In B3 Waste Transmissional Storage

Romi Sepsrizal<sup>1\*</sup>, Dikpride Despa<sup>2</sup>, Yul Martin<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung, Bandar Lampung

<sup>2</sup>Dosen Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Lampung<sup>2</sup>  
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

\*email: [romi.sepsrizal@gmail.com](mailto:romi.sepsrizal@gmail.com)<sup>1</sup>, [despa@eng.unila.ac.id](mailto:despa@eng.unila.ac.id)<sup>2</sup>, [yul.martin@eng.unila.ac.id](mailto:yul.martin@eng.unila.ac.id)<sup>2</sup>,

**ABSTRACT.** The issue of environmental pollution and its impact has now become a worldwide concern. Offline transformer oil is one of the hazardous and toxic waste materials that must be managed properly so as not to pollute the environment. Offline transformer oil management must be in accordance with applicable laws and regulations and the use of Internet of Thing (IoT) technology can make it easier to monitor offline transformer oil in real time. This research is an initial study of the possibility that IOT technology can be applied for offline transformer oil monitoring. The method used is using data collection methods by means of literature studies, interviews and direct observations to the Temporary Storage of Hazardous Waste PT PLN (Persero) Tanjung Karang Customer Service Implementing Unit, Bandar Lampung. Internet of Thing (IoT) can inventory and map offline transformer oil storage locations according to the year of manufacture and offline transformers indicated to contain Polychlorinated Biphenyl (PCBs). The application of the Internet of Thing (IoT) can make it easier for waste officers to manage and monitor offline transformer oil that can be transported by licensed B3 waste carriers.

**Keywords:** *Internet of Things, Oli Trafo Offline, Limbah B3, PCBs*