

TESIS

**ANALISIS KELAYAKAN LUMPUR IPAL INDUSTRI BUMBU MAKANAN
PT. X SEBAGAI PUPUK ORGANIK**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**BAGAS PANDU MURSANTO
22927015**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TESIS
ANALISIS KELAYAKAN LUMPUR IPAL INDUSTRI BUMBU
MAKANAN PT. X SEBAGAI PUPUK ORGANIK

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan



Disetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Kasam, MT.

NIK, 925110102

Tanggal :

Dr. Ir. Andik Yulianto, ST., MT.

NIK, 025100407

Tanggal :

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister FTSP UII,



Dr. Ir. Andik Yulianto, ST., MT.

NIK, 025100407

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis

ANALISIS KELAYAKAN LUMPUR IPAL INDUSTRI BUMBU MAKANAN PT. X SEBAGAI PUPUK ORGANIK

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari :

Tanggal :

Disusun Oleh

BAGAS PANDU MURSANTO

22927015

Tim Penguji :

Dr. Ir. Kasam, MT

()

Dr. Ir. Andik Yuianto, ST., MT

()

Prof. Ir. Eko Siswoyo, ST., M.Sc. ES. Ph.D

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Tulisan ini merupakan hasil orisinil dan belum pernah diajukan untuk tujuan mendapatkan gelar akademik di Universitas Islam Indonesia atau lembaga pendidikan tinggi lainnya.
2. Karya ini merupakan produk dan pemikiran, perumusan dan penelitian saya sendiri, dengan panduan dan bimbingan dari Dosen Pembimbing, tanpa melibatkan pihak lain.
3. Dalam penulisan ini , tidak ada penggunaan karya atau pandangan orang lain kecuali jika diakui secara jelas dalam teks dengan menyebutkan nama penulisnya dan mengikutsertakannya dalam daftar Pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dimasa mendatang terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 11 Maret 2024

Yang membuat Pernyataan,



Bagas Pandu Mursanto
NIM : 22927015

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
ABSTRAK.....	1
BAB I	
PENDAHULUAN	2
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Kerangka Berpikir Penelitian.....	5
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Produk Bumbu Makanan	8
2.2. Limbah Lumpur IPAL	10
2.3. Limbah B3	11
2.4. Penentuan Status Limbah B3 Menjadi Limbah Non B3.....	13
BAB III	
METODE PENELITIAN.....	16
3.1. Jenis Penelitian.....	16
3.1.1. Lokasi Penelitian.....	17
3.1.2. Teknik Pengumpulan Data.....	17
3.1.3. Alat Pengujian.....	26
3.2. Prosedur Penelitian	26
3.2.1. Jumlah Contoh uji	27
3.2.2. Metode Pengawetan Contoh Uji	27
3.2.3. Metode Uji Toksisitas Karakteristik Limbah	28
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1. Bahan Baku dan Bahan Penolong.....	30
4.2. Evaluasi Proses Pengolahan IPAL.....	31
4.3. Evaluasi Toksisitas dan Dampak Pengelolaan Lumpur IPAL	40
4.3.1 Pengambilan Contoh Uji.....	40
4.3.2 Hasil Pengujian Toksisitas.....	41

4.3.2.1	Pengujian Karakteristik.....	41
4.3.2.2	Pengujian <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> (TCLP)	42
4.3.2.3	Hasil Uji <i>lethal Dose 50</i> (LD50).....	46
4.3.3	Dampak Timbunan Lumpur IPAL.....	49
4.4	Analisis Kelayakan Lumpur IPAL Menjadi Bahan Baku Pupuk Organik	51
4.4.1	Perbandingan Biaya Pengelolaan Limbah B3 vs Limbah Non-B3	58
4.4.2	Efisiensi Pemanfaatan Limbah Lumpur setelah Pengolahan IPAL Sebagai Pupuk Organik....	55
BAB V		
KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Limbah B3 dan Karakteristik Limbah B3 di PT. X	13
Tabel 3. 1 Bahan Uji Toksisitas	23
Tabel 3. 2 Alat Pengujian Penelitian	26
Tabel 4. 1 Jenis Bahan Baku dan Bahan Penolong Industri PT. X	30
Tabel 4. 2 Identifikasi Limbah	31
Tabel 4. 3 Spesifikasi pada pit collector	33
Tabel 4. 4 Spesifikasi pada fat oil and grease	33
Tabel 4. 5 Spesifikasi pada bak ekualisasi	34
Tabel 4. 6 Spesifikasi proses anaerobic CSTR	35
Tabel 4. 7 Spesifikasi sedimentasi CSTR	35
Tabel 4. 8 Spesifikasi proses aerasi.....	35
Tabel 4. 9 Spesifikasi sedimentasi aerasi	36
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Karakteristik Limbah	41
Tabel 4. 11 Hasil Uji Toxicity Characteristic Leaching Prosedure (TCLP).....	43
Tabel 4. 12 Perbandingan Selisih nilai Pada Tiap Parameter TCLP.....	45
Tabel 4. 13 Hasil Uji LD50.....	47
Tabel 4. 14 Penilaian Toksisitas.....	48
Tabel 4. 15. Data Timbulan Lumpur IPAL PT. X	49
Tabel 4. 16 Analisa Logam Berat Lumpur IPAL PT.X	50
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Lumpur IPAL	52
Tabel 4. 18 Rincian Biaya Pengelolaan Lumpur Limbah B3	54
Tabel 4. 19 Rincian Biaya Pengangkutan Limbah Non B3	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian.....	6
Gambar 2. 1 Penetapan Limbah B3	15
Gambar 3. 1 Pengujian TCLP	20
Gambar 3. 2 Pengujian LD 50	22
Gambar 3. 3 Pengujian Karakteristik Limbah Lumpur	23
Gambar 3. 4 Pengujian Unsur Hara Limbah Lumpur.....	25
Gambar 4. 1 Proses Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Bumbu Makanan PT. X	32
Gambar 4. 2 Contoh Uji sampel Lumpur Sebelum Proses IPAL dan Sesudah Proses IPAL...	40
Gambar 4. 3 Neskropsi Pengamatan Hewan Uji*	48
Gambar 4. 4 Analisis Biaya Pengelolaan Lumpur IPAL dan Biaya Pengomposan Lumpur ..	56

ABSTRAK

Pengelolaan limbah industri menjadi tantangan utama dalam menjaga kelestarian lingkungan. Salah satu limbah yang dihasilkan dari industri bumbu makanan adalah lumpur IPAL, yang jumlahnya mencapai 200-400 kg per hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat toksisitas lumpur IPAL, mengkaji kelayakannya sebagai bahan baku pupuk organik, serta menganalisis efisiensi biaya antara pengelolaan lumpur sebagai limbah B3 dan non-B3. Metode yang digunakan mencakup uji karakteristik limbah, *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), uji LD50, serta analisis unsur hara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lumpur IPAL tidak termasuk kategori limbah B3 berdasarkan karakteristik fisiknya serta hasil uji toksisitas yang menunjukkan nilai LD50 di atas 5000 mg/kg, menandakan lumpur ini "praktis tidak toksik". Pengujian unsur hara menunjukkan kandungan nitrogen (N) sebesar 2,01 %, fosfor (P) sebesar 0,02 %, dan kalium (K) sebesar 0,25 % dalam lumpur IPAL berpotensi digunakan sebagai bahan baku pupuk organik. Dari segi efisiensi biaya, pengelolaan lumpur sebagai pupuk lebih menguntungkan dengan efisiensi mencapai 81,16%, dibandingkan biaya pengelolaan lumpur sebagai limbah., strategi pengelolaan lumpur IPAL harus mempertimbangkan aspek efisiensi ekonomi dan regulasi lingkungan agar lebih optimal dalam mendukung industri yang berkelanjutan.

Kata Kunci : *Efisiensi, Lumpur IPAL, Pupuk Organik, Toksisitas,*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dunia industri semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia terhadap kehidupannya. Tumbuh dan berkembangnya industri-industri di Indonesia mampu meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Namun disisi lain dapat menimbulkan dampak yang kurang baik bagi lingkungan, seperti adanya limbah yang dihasilkan dari suatu proses pengolahan dalam industri, sehingga limbah yang dihasilkan perlu diolah (Anggara, 2021)

Permasalahan limbah menjadi perhatian saat ini, terkhususnya limbah industri yang dihasilkan oleh tiap perusahaan yang semakin meningkat hingga saat ini. Jumlah limbah industri yang bergerak di bidang makanan (*consumer good*) menghasilkan jenis limbah yang bervariasi baik jenis limbah domestik, limbah B3 dan limbah non B3. Pemilihan jenis industri dari bumbu makanan menjadi fokus pada penelitian ini. Jenis industri ini merupakan perusahaan pembuat bumbu makanan salah satu kota di Indonesia. Pemilihan jenis industri ini dikarenakan fokus penelitian terhadap limbah berupa lumpur yang dihasilkan dari proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berjumlah 200 hingga 400 kg/hari. *Sludge* atau lumpur yang dihasilkan dengan jumlah yang sangat besar sehingga memerlukan pengolahan khusus untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Agustina et al, 2024).

Jumlah lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah antara 200 kg - 400 kg per hari. Dengan jumlah lumpur yang dihasilkan perlu dilakukan pengolahan lanjutan agar tidak merusak ekosistem dan lingkungan. Pengolahan industri yang kurang baik dapat mengakibatkan pencemaran air, pencemaran tanah dan kualitas udara yang dihasilkan menjadi buruk. Pengolahan limbah yang dihasilkan perlu dilakukan pengolahan lanjut dan efektif untuk mengurangi resiko kerusakan lingkungan. Menurut Agustina et al, (2024) bahwa pupuk organik dari limbah lumpur IPAL berpotensi memperbaiki kualitas unsur hara di dalam tanah dan menyediakan nutrisi penting bagi tanaman, hal ini sejalan dengan konsep lingkungan berkelanjutan dengan tujuan mengurangi resiko cemaran terhadap limbah yang dihasilkan oleh suatu industri.

Dalam pengaplikasiannya, hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan lumpur IPAL sebagai pupuk organik adalah tingkat toksisitas yang terkandung di dalam lumpur tersebut. Lumpur IPAL harus aman dan tidak menimbulkan risiko buruk jika diaplikasikan pada tanah dan tanaman. Selain itu, jumlah lumpur IPAL yang dihasilkan relatif banyak, sehingga diperlukan proses pengelolaan lanjutan untuk mengurangi timbulan lumpur. Dalam proses pengelolaan lanjutan, perlu dilakukan pengujian tingkat toksisitas lumpur IPAL serta evaluasi efisiensinya sebagai pupuk organik.

Peraturan Pemerintah nomor 22 Tahun 2021, khususnya dalam Lampiran IX, menjadi acuan utama dalam pengelolaan limbah industri, termasuk dalam sektor industri bumbu makanan. Regulasi ini mengatur pengelolaan limbah B3 maupun limbah non-B3, serta mekanisme pengajuan permohonan dan penerbitan keputusan terkait pengelolaan limbah. Dalam industri bumbu makanan, limbah lumpur IPAL dikategorikan sebagai limbah non-B3, sebagaimana diatur dalam lampiran tersebut. Namun, meskipun tidak termasuk dalam kategori limbah B3, klarifikasi lebih lanjut tetap diperlukan untuk memastikan bahwa lumpur IPAL yang dihasilkan benar-benar aman bagi lingkungan.

Salah satu metode klarifikasi yang harus dilakukan adalah pengujian toksisitas terhadap lumpur IPAL, sebagaimana diterapkan dalam proses klarifikasi limbah B3. Uji toksisitas dilakukan untuk memastikan bahwa produk akhir tidak mengandung senyawa berbahaya yang dapat merusak kualitas tanah atau air. Berbeda dengan pendekatan konvensional, penelitian ini menekankan pentingnya uji toksisitas sebelum lumpur IPAL digunakan sebagai pupuk (Tian et al., 2020).

Selain itu, pengujian toksisitas juga penting untuk menentukan metode pengelolaan atau pemanfaatan lumpur IPAL yang tepat. Lumpur yang tidak berbahaya dapat dimanfaatkan, sedangkan lumpur yang bersifat toksik perlu diolah secara khusus agar aman. uji toksisitas lumpur IPAL mendukung kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku. Pemerintah umumnya memiliki aturan ketat mengenai pembuangan limbah, termasuk lumpur dari IPAL, untuk mencegah pencemaran lingkungan. Dengan melakukan pengujian ini, perusahaan atau pengelola IPAL dapat memastikan bahwa pengolahan limbah mereka sesuai standar yang ditetapkan sehingga menghindari sanksi atau penalti, serta membantu menjaga lingkungan tetap aman dan sehat bagi masyarakat sekitar.

Dengan memanfaatkan lumpur IPAL sebagai pupuk organik, industri bumbu makanan dapat menerapkan konsep ekonomi sirkular, yaitu mengubah limbah menjadi produk bernilai ekonomi (Agustina et al., 2024). Dengan memanfaatkan lumpur IPAL sebagai sumber daya alternatif, hasil penelitian ini berpotensi memberikan dampak jangka panjang terhadap pelestarian lingkungan sekaligus mendukung pembangunan ekonomi hijau. Model ini sejalan dengan strategi pengurangan limbah dan keberlanjutan industri yang telah diterapkan dalam beberapa sektor lain, seperti industri pertanian dan peternakan (Wu et al., 2021). Industri dapat didorong untuk lebih bertanggung jawab terhadap limbah yang dihasilkan, sementara masyarakat dapat menikmati manfaat dari berkurangnya polusi dan meningkatnya akses ke produk berbasis lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang jumlah limbah lumpur IPAL yang dihasilkan, rumusan masalah dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Bagaimana proses pengolahan limbah cair pada industri bumbu makanan hingga menjadi lumpur (*sludge*)
- b. Bagaimana tingkat toksisitas lumpur IPAL yang dihasilkan oleh industri bumbu makanan dan apakah lumpur tersebut aman untuk diaplikasikan sebagai pupuk organik pada tanah dan tanaman
- c. Bagaimana dampak dari jumlah timbunan lumpur IPAL yang besar (200-400 kg per hari) terhadap lingkungan jika tidak dilakukan pengelolaan lanjutan yang tepat
- d. Bagaimana potensi pemanfaatan Lumpur IPAL sebagai pupuk organik untuk mendukung efisiensi industri dan pertanian berkelanjutan dan potensi ekonomi.

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah ditentukan, maka tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Mengevaluasi proses pengolahan air limbah pada industri bumbu makanan
- b. Mengevaluasi tingkat toksisitas dan timbunan lumpur IPAL dari industri bumbu makanan setelah proses pengolahan limbah cair

- c. Menganalisis kelayakan lumpur IPAL sebagai pupuk organik untuk mendukung efisiensi industri dan potensi ekonomi dari pemanfaatan lumpur IPAL

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil evaluasi toksisitas limbah lumpur IPAL dari industri bumbu makanan dan evaluasi efisiensi lumpur IPAL menjadi pupuk organik akan menjadi keberlanjutan dalam pengelolaan lingkungan kedepannya. Selain itu juga hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, peneliti dan akademisi dalam memperdalam isu lingkungan yang berhubungan dengan limbah.

Industri bumbu makanan saat ini tengah mengalami pertumbuhan yang pesat, sehingga menghasilkan limbah berupa lumpur dari sistem IPAL. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terkait pengelolaan limbah lumpur IPAL secara berkelanjutan, sehingga dapat meminimalkan dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi dalam proses pengelolaannya. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan dalam memperbarui regulasi yang telah berlaku, khususnya Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, agar lebih sesuai dengan tantangan serta kebutuhan industri saat ini. Selain itu, penelitian ini juga berperan dalam membantu pemerintah, pelaku industri, serta masyarakat dalam meningkatkan kesadaran dan pengetahuan mengenai pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Dengan adanya strategi pengelolaan yang lebih efektif, diharapkan industri bumbu makanan dapat terus berkembang secara berkelanjutan tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan.

1.5. Kerangka Berpikir Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini berupa pengujian toksisitas limbah lumpur IPAL dari industri bumbu makanan pada PT. X. Lumpur IPAL yang diambil sebagai sampel uji adalah lumpur sebelum pengolahan IPAL dan lumpur IPAL hasil pengeringan dari proses *sludge dewatering*. Pengujian dengan metode TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) dan pengujian LD 50 pada kedua sampel Lumpur.

Baku mutu karakteristik toksisitas melalui TCLP mengacu pada Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada lampiran XI.

Volume lumpur IPAL yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah yang cukup tinggi (200-400 Kg/hari) dapat menjadi masalah dikemudian hari. Perlu dilakukan proses pengelolaan secara berkelanjutan untuk mengurangi penumpukan volume lumpur IPAL. Salah satu cara dalam pengelolaan lanjut lumpur IPAL dengan menjadikan bahan baku sebagai pupuk organik, cara ini dinilai sangat mudah diaplikasikan tanpa harus dilakukan proses pengolahan kembali. Sebelum dijadikan bahan baku pupuk organik padat perlu dilakukan penelitian terhadap toksisitas lumpur IPAL dan pengujian efisiensi kandungan hara terhadap lumpur IPAL yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah. Adapun kerangka berpikir dari penelitian ini pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

1.6. Batasan Masalah

Dalam penulisan tesis ini terdapat beberapa batasan masalah yang ditetapkan berdasarkan tujuan penelitian

a. Evaluasi Proses Pengolahan Air Limbah

- o Penelitian hanya akan menganalisis proses pengolahan air limbah pada industri bumbu makanan di PT. X , tanpa membahas pengolahan limbah dari industri lain.

- Metode pengolahan yang dievaluasi terbatas pada teknologi yang telah diterapkan oleh industri yang menjadi objek penelitian.
- b. Evaluasi Tingkat Toksisitas dan Dampak Timbulan Lumpur IPAL
 - Pengujian toksisitas hanya dilakukan pada lumpur sebelum proses pengolahan dan lumpur setelah proses pengolahan IPAL yang dihasilkan dari industri bumbu makanan pada PT. X,
 - Pengujian toksisitas yang dilakukan akan mengikuti standar metode yang berlaku, seperti uji karakteristik limbah, TCLP dan LD 50.
 - Dampak lumpur IPAL dianalisa terkait jumlah timbulan dan efek dari timbulan terhadap pencemaran air dan tanah di lingkungan sekitar
- c. Analisis Potensi Kelayakan Pemanfaatan Lumpur IPAL sebagai Pupuk Organik
 - Kajian pemanfaatan lumpur IPAL sebagai pupuk organik dilakukan dalam skala laboratorium dengan pengujian unsur hara berupa Natrium, Fosfor, dan Kalium dari lumpur yang dihasilkan pada proses pengolahan IPAL.
 Pupuk organik dapat didefinisikan sebagai bahan pemupukan yang berasal dari sisa makhluk hidup, baik hewan maupun tumbuhan, yang mengandung unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman dan berfungsi untuk meningkatkan kesuburan tanah secara berkelanjutan. Berdasarkan sumber bahan pupuk organik berasal dari bahan alami seperti kotoran hewan, sisa tanaman, kompos, pupuk hijau, dan limbah organik lainnya. Dalam proses penguraian pupuk organik mengalami proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah.
 - Analisis ekonomi hanya mencakup perkiraan nilai manfaat dan efisiensi biaya, tanpa melakukan uji coba pemanfaatan dalam skala industri atau pertanian luas.
 - Pemanfaatan lumpur IPAL sebagai pupuk hanya difokuskan pada kandungan unsur hara dan kelayakan sebagai pupuk organik, tanpa membahas aspek regulasi atau perizinan lebih lanjut.

Dengan batasan masalah ini, penelitian dapat lebih fokus dan terarah dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan, serta memastikan ruang lingkup penelitian tetap realistis dan dapat diselesaikan sesuai dengan sumber daya yang tersedia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Produk Bumbu Makanan

Industri bumbu makanan saat ini menjadi salah satu industri yang sedang berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan produk bumbu cepat saji yang mudah diaplikasikan. Bumbu makanan tidak hanya dikenal sebagai penyedap makanan saja namun juga sebagai bahan utama dalam suatu masakan. Dalam penelitian ini industri bumbu makanan sebagai penghasil lumpur IPAL merupakan industri bumbu makanan penyedap dari salah satu produk mie instan. Hasil produk bumbu makanan ini berupa bumbu dan minyak bumbu.

Pada umumnya bahan baku dari bumbu ini menggunakan bahan setengah jadi, sedangkan bahan baku pada produk minyak bumbu menggunakan bahan baku mentah (*fresh*). Industri bumbu makanan ini dalam proses pengolahannya menjadi sebuah produk memiliki tahapan berbeda antara proses pengolahan bumbu dan minyak bumbu diantaranya adalah :

1. Bumbu

- a) Penuangan (*dumping*): proses penuangan bumbu di mesin dumping merupakan proses pertama dilakukan secara otomatis dan manual.
- b) Penimbangan: proses ini untuk menakar agar formula yang dihasilkan sesuai dengan standar
- c) Pencampuran (*mixing*): proses pencampuran bahan setengah jadi berupa gula, garam, MSG, dan premix
- d) Pengemasan (*Packing*) : produk yang telah lulus uji dilakukan pengemasan di dalam *eticket* sesuai dengan varian rasa.

2. Minyak Bumbu

- a) Penerimaan bahan baku : bahan baku yang digunakan dalam proses minyak bumbu berupa bahan *fresh*. Bahan baku yang sudah diterima kemudian ditimbang dan disimpan di dalam ruangan (*coll storage*)
- b) Pencucian (*washing*) : proses pencucian dilakukan sebelum bahan baku segar dilakukan proses penggilingan. Pencucian bahan baku bertujuan agar bahan baku menjadi bersih. Pencucian dilakukan dengan alat yang

disebut *brush washer*.

- c) Penimbangan : proses penimbangan bertujuan untuk menakar agar formula yang dihasilkan sesuai dengan standar.
- d) Penggilingan : Bahan baku segar yang sudah dilakukan penimbangan kemudian digiling dengan alat comitrol dengan kehalusan tertentu.
- e) Proses Penggorengan (*extraction*) : Bahan baku segar yang sudah digiling halus digoreng dengan alat *friyer* bersama minyak olein dengan suhu 131⁰ C. dalam proses ini dilakukan inspeksi kualitas dari formula yang telah dibuat.
- f) Proses pemanasan : proses pemanasan dilakukan untuk bahan baku setengah jadi berupa minyak olein, kecap dan sambal. Proses ini dilakukan di dalam *steam jacket tank* dengan metode *closed sistem*.
- g) Pendinginan dan Pencampuran : Seluruh material yang telah diproses pada tahap sebelumnya dilakukan pendinginan dan pencampuran (formulasi). Proses ini dilakukan secara *closed sistem*.
- h) Pengemasan : Produk yang telah release pada proses sebelumnya, akan dilakukan pengemasan. Produk dikemas didalam *etiket* sesuai dengan jenis formula

Timbulan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan bumbu dan minyak bumbu pada industri bumbu makanan sebagian besar bersifat limbah organik dan domestik. Limbah B3 yang dihasilkan berupa dari proses pendukung. Pengelolaan limbah dari industri bumbu makanan adalah identifikasi dan mengklasifikasi jenis limbah. Beberapa metode pengelolaan limbah dilakukan proses sebagai berikut:

- a. Pengelolaan air limbah : Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan cara yang efektif untuk mengolah air sisa proses produksi dan domestik sehingga memenuhi standar yang ditentukan sebelum dibuang ke badan air.
- b. Daur ulang kemasan : melakukan program daur ulang terhadap kemasan drum, botol, kaleng dan kemasan lainnya untuk mengurangi volume limbah padat.

2.2. Limbah Lumpur IPAL

Lumpur IPAL merupakan produk sampingan sisa hasil pengolahan limbah. Proses terjadinya lumpur terjadi saat proses pengolahan air limbah, baik itu limbah produksi, limbah domestik. lumpur IPAL mengandung bahan organik dan anorganik yang terperangkap selama proses pengolahan air. Limbah lumpur IPAL terbentuk melalui beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

- a. Pengendapan (sedimentasi): Proses ini memisahkan partikel-partikel padat dari air limbah melalui gravitasi. Partikel berat mengendap di dasar tangki dan membentuk lumpur.
- b. Proses Biologis: Mikroorganisme digunakan untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Sel-sel mikroorganisme mati dan bahan organik yang terdegradasi membentuk lumpur yang disebut dengan lumpur aktif.
- c. Proses Kimia: Bahan kimia ditambahkan untuk mengendapkan bahan anorganik seperti fosfor dan logam berat. Partikel-partikel ini kemudian membentuk lumpur kimia.

Pada umumnya limbah lumpur IPAL pada umumnya mengandung bahan organik, bahan anorganik dan mikroorganisme. Dalam aktual pengelolaan limbah lumpur IPAL ini bertujuan mencegah pencemaran lingkungan, adapun beberapa metode yang umum digunakan dalam pengelolaan lumpur IPAL yaitu sebagai berikut:

- a. Stabilisasi: Proses untuk mengurangi bau dan potensi patogen, misalnya melalui pengomposan atau *anaerobic digestion*.
- b. Pengeringan: Mengurangi kadar air dalam lumpur untuk mempermudah pengangkutan dan pembuangan. Ini bisa dilakukan dengan penjemuran atau menggunakan alat pengering.
- c. Pemanfaatan kembali: Limbah lumpur yang telah diproses bisa digunakan sebagai pupuk organik atau bahan bakar alternatif setelah dilakukan pengujian keamanan dan kelayakan.
- d. Pembuangan akhir: Lumpur yang tidak bisa diolah lebih lanjut harus dibuang di lokasi yang sesuai, seperti tempat pembuangan akhir yang telah memenuhi standar lingkungan.

Lumpur IPAL dari proses suatu industri masuk dalam kategori limbah B3. Limbah B3 *Sludge* adalah lumpur yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang dihasilkan dari berbagai proses industri. *Sludge* ini bisa berasal dari berbagai sumber, seperti pengolahan air limbah domestik dan industri proses produksi di industri kimia, farmasi, dan metalurgi pengolahan air minum yang menggunakan bahan kimia koagulan dan flokulan (Agustina et al, 2024).

Limbah B3 lumpur memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya berbahaya, antara lain:

- a) Toksisitas: mengandung bahan kimia beracun seperti logam berat (merkuri, timbal, kadmium), senyawa organik berbahaya (pcb, pestisida), dan senyawa anorganik (asam kuat, basa kuat).
- b) Korosif: bisa mengandung bahan yang dapat merusak atau mengikis bahan lain, termasuk logam dan jaringan biologis
- c) Reaktivitas: dapat bereaksi dengan bahan lain, air, atau udara untuk menghasilkan gas beracun atau ledakan
- d) Inflamabilitas: beberapa lumpur mungkin mengandung bahan yang mudah terbakar atau meledak.

2.3. Limbah B3

Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) adalah sisa yang tidak dipergunakan kembali dan mengandung bahan – bahan berbahaya atau beracun bagi manusia, hewan dan lingkungan. secara definisi dalam Permen LHK No. 6 tahun 2021 limbah B3 sendiri adalah suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan kesehatan manusia. Limbah B3 diklasifikasikan berdasarkan sumber dan karakteristiknya, seperti berikut:

- a) Sumber Limbah B3
 - Limbah rumah tangga : baterai bekas, lampu TL, cat bekas, dan kaleng bekas

- Limbah medis : limbah berasal dari aktifitas medis rumah sakit dan laboratorium (jarum suntik, obat-obatan, dan bahan kimia cair padat dari laboratorium)
- Limbah industri : limbah dari proses pabrik kimia, tekstil minyak dan gas , farmasi dan industri lainnya

b) Karakteristik limbah B3

- Korosif: bahan yang dapat menyebabkan kerusakan pada kulit atau logam, seperti asam kuat dan basa kuat
- Reaktif: bahan yang dapat menyebabkan ledakan atau reaksi kimia berbahaya, seperti peroksida organik dan logam alkali.
- Beracun: bahan yang dapat menyebabkan keracunan jika terhirup, tertelan, atau terserap melalui kulit, seperti sianida, merkuri, dan pestisida.
- Mudah terbakar: bahan yang mudah menyala pada suhu rendah, seperti pelarut organik (bensin, toluena) dan gas mudah terbakar (propana, butana)
- Toksisitas: kemampuan limbah untuk menyebabkan keracunan atau efek merugikan pada organisme hidup. Toksisitas ini dapat bersifat akut (efek jangka pendek) atau kronis (efek jangka panjang).
- Persistensi: kemampuan limbah untuk tetap ada dalam lingkungan untuk waktu yang lama tanpa terurai, seperti senyawa organik persisten (pops) dan logam berat.
- Mobilitas: kemampuan limbah untuk berpindah dalam lingkungan, baik melalui air, udara, atau tanah. Limbah dengan mobilitas tinggi dapat menyebar luas dan mencemari area yang lebih luas.
- Reaktivitas: kemampuan bahan untuk bereaksi secara cepat dan hebat dengan air, udara, atau bahan kimia lain, yang dapat menyebabkan ledakan, kebakaran, atau pelepasan gas beracun

Pada studi kasus yang dilakukan, limbah yang dihasilkan oleh industri bumbu makanan pada PT. X umumnya dihasilkan pada aktivitas utama dan penunjang. Total limbah B3 yang dihasilkan dari PT. X pada industri bumbu makanan berjumlah 10 (sepuluh) jenis limbah yang memiliki potensi bahaya berbeda sesuai dengan karakteristik. Adapun jenis limbah B3 yang dihasilkan dari PT. X industri bumbu makanan tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Jenis Limbah B3 dan Karakteristik Limbah B3 di PT. X

No	Limbah B3 Dihasilkan	Karakteristik Limbah B3
1	Limbah Laboratorium (A106d)	Beracun, Mudah menyala
2	Aki Bekas (A102d)	Korosif
3	Pelumas & Oli Bekas (B105d)	Cairan mudah menyala
4	Kemasan Bekas B3 (B104d)	Beracun
5	Kemasan Terkontaminasi B3 (A108d)	Beracun
6	Kain Majun Bekas (B110d)	Beracun
7	Filter Oli Bekas (B109d)	Mudah menyala
8	Limbah Elektronik (B107d)	Beracun
9	Kemasan Bekas Tinta (B321-4)	Beracun
10	Resin Bekas (B106d)	Beracun

2.4. Penentuan Status Limbah B3 Menjadi Limbah Non B3

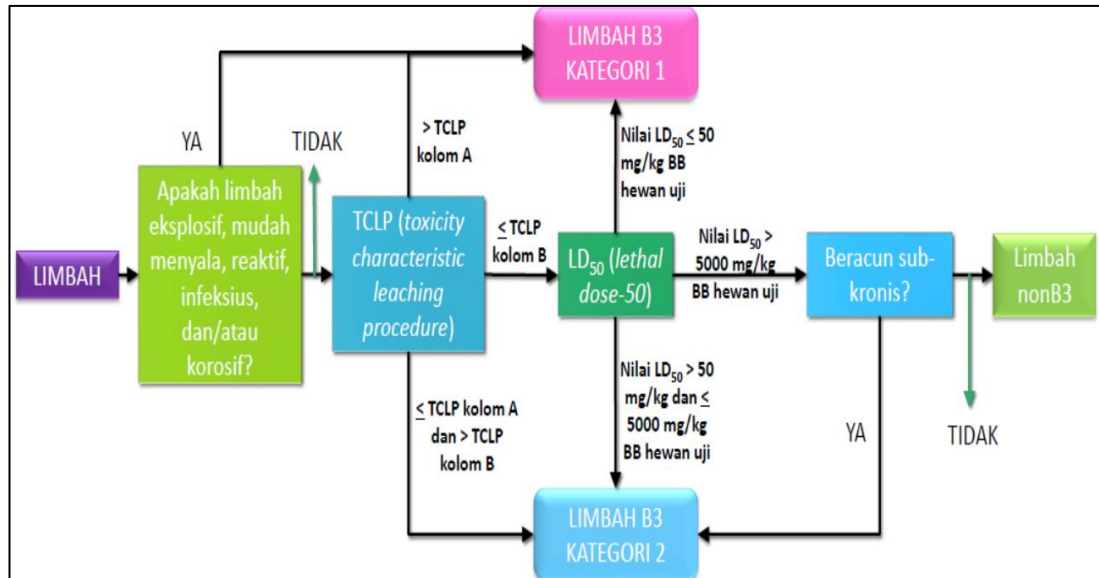
Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3, khususnya pada Bab II Pasal 3, dijelaskan bahwa penetapan status limbah B3 dilakukan terhadap limbah yang berasal dari sumber spesifik. Ketentuan ini mencakup kemungkinan pengecualian suatu limbah dari kategori Limbah B3, penggolongan sebagai produk samping, serta identifikasi limbah yang memiliki karakteristik tertentu untuk diklasifikasikan sebagai limbah B3 maupun limbah non-B3. Oleh karena itu, setiap limbah yang dihasilkan dari suatu proses industri harus melalui kajian mendalam untuk menentukan statusnya, agar pengelolaanya dapat dilakukan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

Dalam penelitian ini, lumpur IPAL yang dihasilkan dari industri bumbu makanan menjadi fokus utama dalam aspek pengelolaan limbah. Berdasarkan Lampiran IX Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, lumpur IPAL dari industri bumbu makanan tidak tercantum sebagai limbah B3, baik dalam kategori limbah dari sumber tidak spesifik, sumber spesifik, maupun sumber spesifik khusus. Hal ini menunjukkan bahwa secara administratif, lumpur IPAL dari industri bumbu makanan belum dikategorikan sebagai limbah berbahaya dan beracun. Namun, dalam praktiknya, keberadaan lumpur IPAL tetap harus dikaji

lebih lanjut karena karakteristiknya dapat bervariasi tergantung pada bahan baku, proses produksi, serta zat adiktif yang digunakan dalam industri tersebut.

Meskipun regulasi saat ini tidak mencantumkan lumpur IPAL industri bumbu makanan sebagai limbah B3, perlu dilakukan proses klarifikasi dan analisis sesuai dengan peraturan yang berlaku. Pemeriksaan lebih lanjut diperlukan untuk menentukan apakah lumpur yang dihasilkan mengandung parameter pencemar yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Proses ini mencakup pengujian terhadap berbagai indikator seperti kandungan logam berat, senyawa organik berbahaya, serta parameter fisik dan kimia lainnya yang menjadi standar dalam penetapan limbah B3. Dengan adanya kajian ilmiah yang mendalam, status lumpur IPAL dapat ditetapkan secara lebih akurat, apakah tergolong sebagai limbah B3 atau non-B3.

Pentingnya klarifikasi status limbah ini tidak hanya berkaitan dengan aspek kepatuhan terhadap regulasi, tetapi juga berdampak pada strategi pengelolaan yang harus diterapkan oleh industri. Jika lumpur IPAL dikategorikan sebagai limbah B3, maka pengelolaannya harus memenuhi standar ketat sesuai dengan ketentuan perundang-undangan, termasuk dalam hal penyimpanan, pengangkutan, pengolahan, hingga pembuangan akhir. Sebaliknya, jika lumpur IPAL dikategorikan sebagai limbah non-B3, maka industri dapat menerapkan strategi pemanfaatan yang lebih fleksibel, misalnya melalui metode pengolahan ramah lingkungan atau pemanfaatan kembali dalam bentuk produk samping. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki peran penting dalam memastikan bahwa pengelolaan lumpur IPAL dari industri bumbu makanan dilakukan dengan prinsip keberlanjutan serta tetap sesuai dengan regulasi yang berlaku. Berikut adalah alur penetapan limbah B3 pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Penetapan Limbah B3

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis pengelolaan lumpur IPAL yang dihasilkan oleh industri bumbu makanan di PT. X, dengan menyoroti berbagai aspek penting terkait toksisitas limbah serta strategi pengelolaannya. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini mengadopsi pendekatan deskriptif dan analitis yang menggabungkan kajian empiris serta telaah literatur guna memperoleh pemahaman yang komprehensif.

Metode penelitian ini mencakup pengumpulan dan analisis data yang bersumber dari hasil uji laboratorium serta studi pustaka dari penelitian sebelumnya. Data yang dikumpulkan meliputi parameter fisik, kimia, dan biologis lumpur IPAL, yang mencakup kandungan zat organik, logam berat, senyawa berbahaya, serta potensi toksisitasnya terhadap lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga menilai dampak lingkungan yang mungkin ditimbulkan oleh lumpur IPAL, termasuk potensi pencemaran air, tanah, dan udara apabila limbah tidak dikelola dengan baik.

Tidak hanya terbatas pada aspek lingkungan, penelitian ini juga mengkaji potensi ekonomi dari lumpur IPAL, terutama dalam konteks pemanfaatan kembali atau daur ulang. Analisis ini mencakup kemungkinan pengolahan lumpur IPAL menjadi produk yang bernilai ekonomi, seperti pupuk organik, bahan baku pembuatan kompos, atau alternatif sumber energi biomassa. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi untuk meminimalkan dampak negatif dari limbah, tetapi juga mengeksplorasi peluang untuk mengubah limbah menjadi sumber daya yang bermanfaat.

Dengan pendekatan yang sistematis, penelitian ini dirancang untuk mencakup seluruh aspek pengelolaan lumpur IPAL secara menyeluruh, mulai dari identifikasi karakteristik limbah, penentuan statusnya sebagai limbah B3 atau non-B3, evaluasi dampak lingkungan, hingga potensi pemanfaatannya dalam skala industri.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengelolaan limbah industri bumbu makanan yang lebih berkelanjutan, sekaligus menjadi referensi bagi kebijakan lingkungan dan praktik industri yang lebih ramah lingkungan di masa depan.

3.1.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Industri bumbu makanan pada PT.X yang memiliki fasilitas IPAL. Pengambilan sampel lumpur dilakukan secara mandiri sesuai dengan SNI. Sampel pengujian lumpur diuji pada laboratorium lingkungan yang terakreditasi.

3.1.2. Teknik Pengumpulan Data

a. Evaluasi proses pengolahan IPAL

Evaluasi Proses Pengolahan Air Limbah industri bumbu makanan PT.X dilakukan dengan menilai efisiensi pada setiap tahapan pengolahan, guna memastikan bahwa sistem IPAL yang digunakan mampu mengolah limbah secara optimal dan sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku. Penilaian ini mencakup analisis terhadap parameter kualitas air limbah sebelum dan sesudah proses pengolahan, efektivitas setiap unit pengolahan, serta potensi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem.

Sebagai langkah komparatif, penelitian ini juga membandingkan proses pengolahan IPAL di PT. X dengan industri lain yang memiliki sistem serupa, melalui studi literatur dari penelitian sebelumnya. Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan sistem yang diterapkan di PT. X . Melalui evaluasi ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas pengolahan IPAL di PT. X, sekaligus memberikan rekomendasi yang berbasis ilmiah untuk meningkatkan efisiensi sistem pengolahan

b. Pengujian toksisitas lumpur IPAL

Pengujian toksisitas merupakan langkah penting dalam menentukan potensi bahaya lumpur IPAL terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Metode pengujian yang digunakan bergantung pada jenis toksikan yang diuji, dengan tujuan utama untuk mengevaluasi apakah lumpur IPAL yang dihasilkan dari industri bumbu makanan di PT. X mengandung zat berbahaya yang dapat diklasifikasikan sebagai limbah B3 atau tidak. Dalam penelitian ini, pengujian toksisitas dilakukan melalui dua metode utama, yaitu *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), *Lethal Dose 50* (LD50) dan pengujian karakteristik limbah, masing-masing memiliki pendekatan spesifik dalam menilai dampak limbah terhadap lingkungan dan organisme hidup.

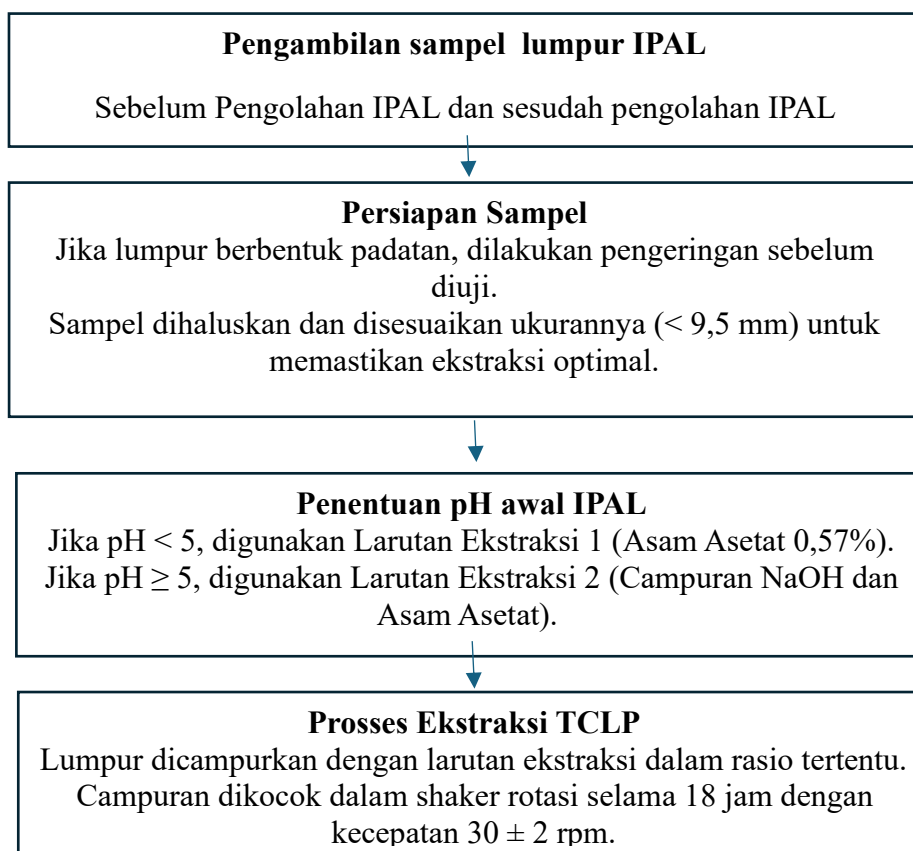
Metode TCLP bertujuan untuk mengidentifikasi potensi pencemaran yang ditimbulkan oleh lumpur IPAL dengan menguji kemampuan zat berbahaya dalam lumpur untuk larut ke dalam lingkungan, terutama ke sumber air tanah dan perairan. Dalam prosedur ini, sampel lumpur diekstraksi menggunakan larutan simulasi dan diuji

Sementara itu, metode LD50 digunakan untuk menilai tingkat toksisitas lumpur IPAL terhadap organisme hidup dengan menentukan dosis yang menyebabkan kematian pada 50% populasi uji, seperti ikan, udang, atau hewan laboratorium lainnya. Uji ini dilakukan dalam kondisi terkontrol dengan memantau respons fisiologis organisme uji terhadap paparan lumpur IPAL dalam berbagai konsentrasi. Parameter lingkungan seperti pH, kandungan oksigen terlarut, serta suhu media uji juga diamati untuk memastikan validitas hasil penelitian.

Pengujian karakteristik limbah lumpur IPAL dilakukan untuk memahami sifat fisik, kimia, dan biologis lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah industri. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah lumpur IPAL tergolong sebagai limbah B3 atau non-B3, serta mengevaluasi dampaknya terhadap lingkungan. Analisis dilakukan melalui serangkaian uji laboratorium yang mencakup parameter

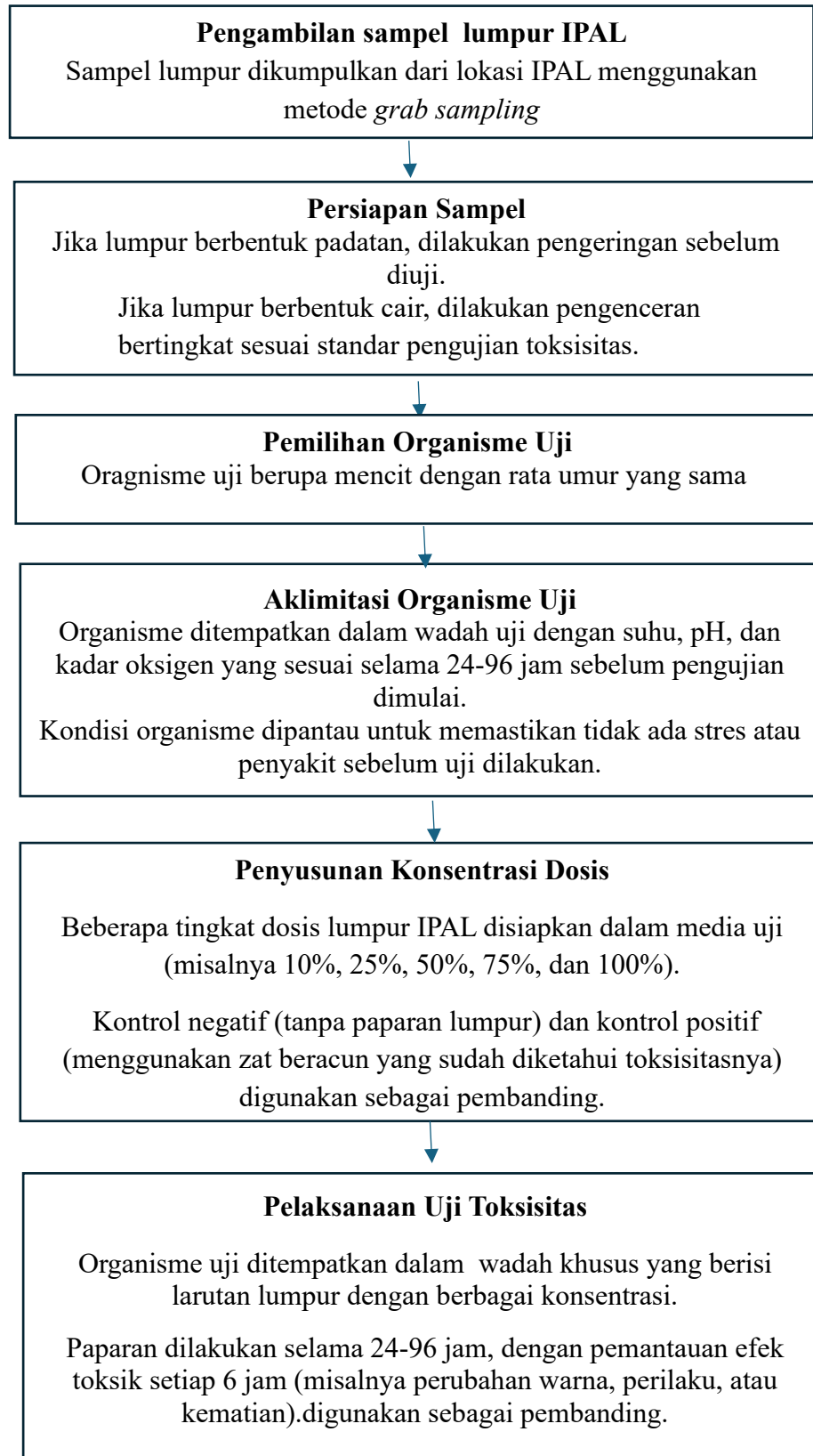
fisik parameter kimia serta parameter biologis yang mencakup keberadaan mikroorganisme patogen dalam lumpur.

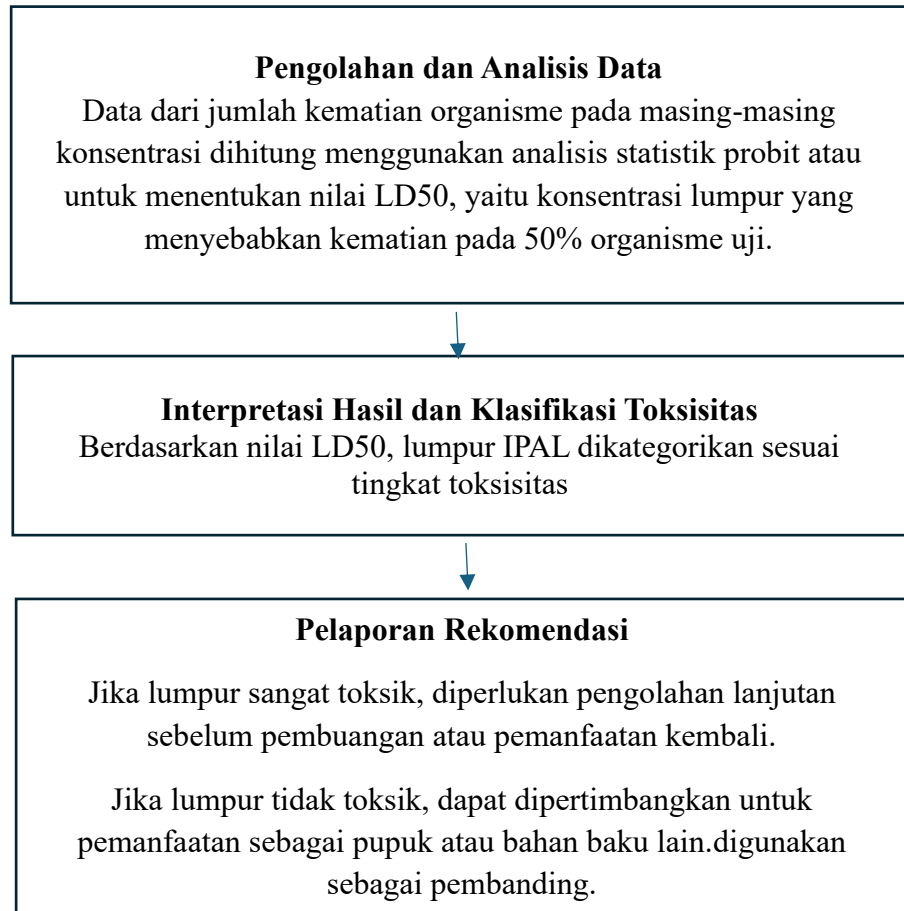
Melalui pengujian ini, data yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan apakah lumpur IPAL dari PT. X memerlukan perlakuan khusus sebelum dibuang atau dimanfaatkan kembali. Hasil analisis juga menjadi dasar bagi industri dalam merancang strategi pengelolaan limbah yang lebih aman dan ramah lingkungan, sekaligus memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku. Adapun *flowchart* pengujian toksisitas tersaji pada Gambar 3.1. sampai dengan Gambar 3.3.



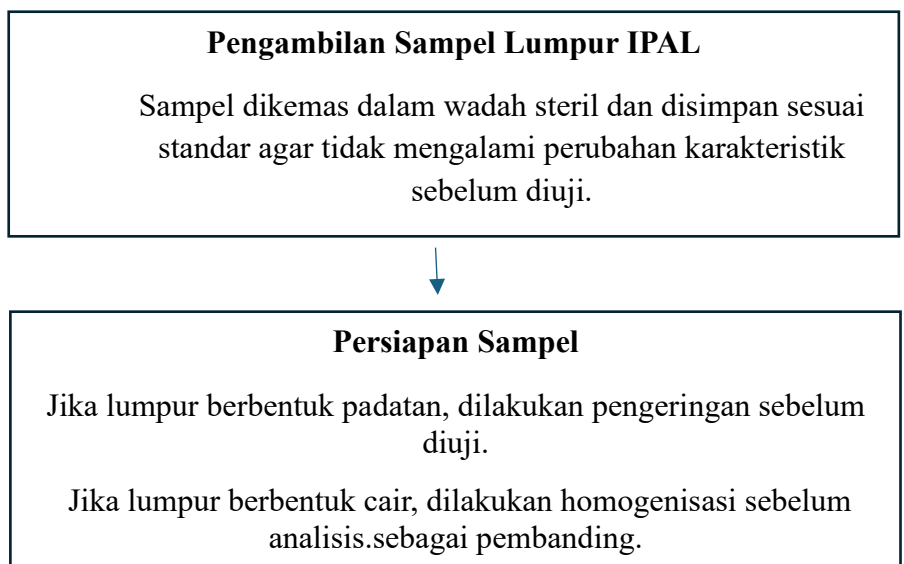


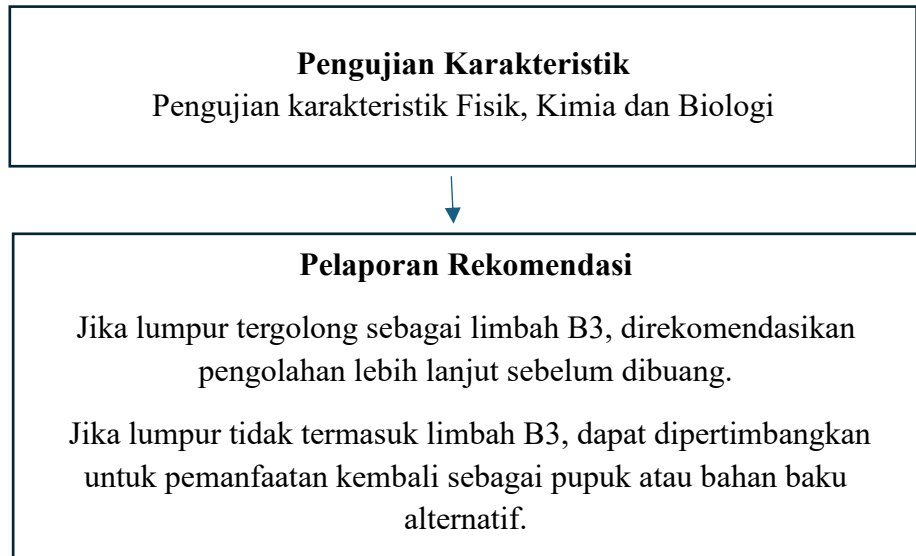
Gambar 3. 1 Pengujian TCLP





Gambar 3. 2 Pengujian LD 50





Gambar 3. 3 Pengujian Karakteristik Limbah Lumpur

Tabel 3. 1 Bahan Uji Toksisitas

No	Bahan pengujian	Toksisitas
1	Contoh uji lumpur IPAL	✓
2	Organisme uji <i>Escherria coli</i> atau <i>Vibrio fischeri</i>	✓
3	Hewan uji (Mencit)	✓
4	Medium uji Larutan air atau media kultur yang digunakan sebagai tempat pengenceran limbah	✓
5	Bahan kimia Larutan buffer dan reagen kimia	✓
6	Indicator atau pewarna	✓
7	Air deminirelisasi	✓

c. Analisis Dampak Timbulan Lumpur IPAL

Limbah lumpur yang dihasilkan dari proses IPAL pada industri bumbu makanan di PT. X merupakan hasil dari proses fisik, kimia, dan biologi dalam pengolahan air limbah. Lumpur ini terbentuk sebagai residu dari berbagai tahapan pengolahan, termasuk sedimentasi, serta aktivitas mikroorganisme dalam proses biologi.

Untuk memahami dampaknya, diperlukan pengumpulan data mengenai volume lumpur yang dihasilkan serta analisis potensi pencemaran yang dapat ditimbulkan apabila lumpur tersebut tidak dikelola dengan baik. Dengan adanya data yang akurat, PT.X dapat merancang strategi pengelolaan lumpur yang lebih efektif dan ramah lingkungan, sehingga dapat meminimalkan risiko pencemaran terhadap lingkungan sekitar.

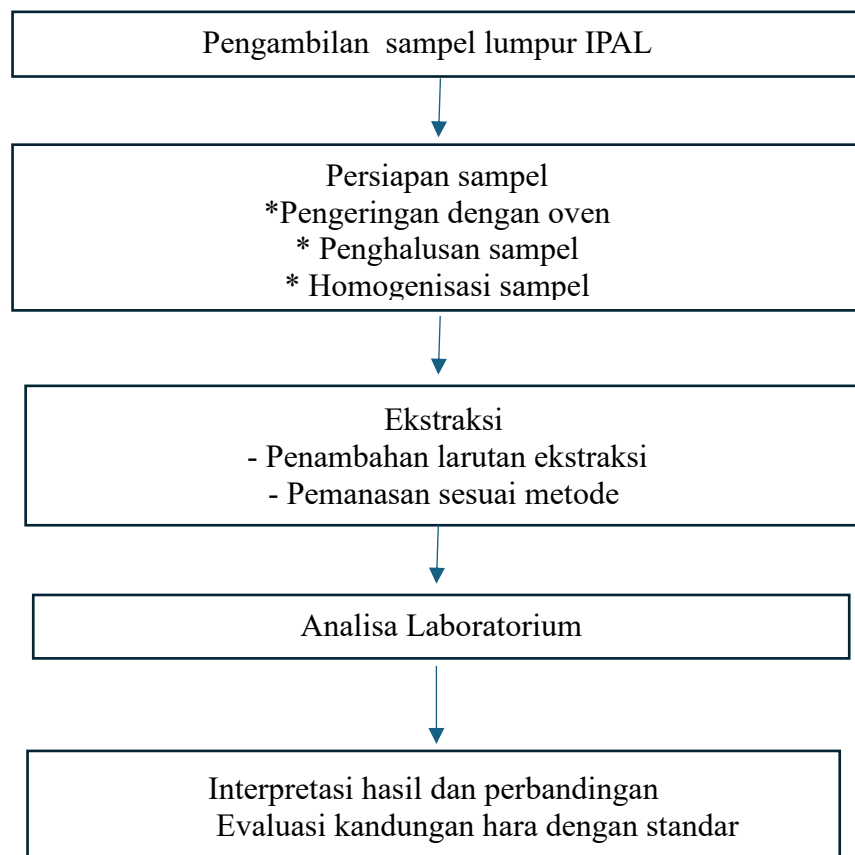
d. Analisis Kelayakan lumpur IPAL sebagai pupuk organik dan Potensi Ekonomi Pemanfaatan Lumpur IPAL.

Lumpur yang dihasilkan dari IPAL pada industri bumbu makanan berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk organik jika memiliki kandungan unsur hara yang cukup dan aman bagi lingkungan. Oleh karena itu, tahap awal dalam menentukan kelayakan lumpur IPAL sebagai pupuk adalah dengan melakukan pengujian kandungan unsur hara. Analisis ini melibatkan pemeriksaan makronutrien utama seperti nitrogen (N), Fosfor (P), dan kalium (K), yang merupakan elemen penting bagi pertumbuhan tanaman. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah lumpur memiliki komposisi yang sesuai dengan standar pupuk organik yang direkomendasikan dalam pertanian.

Selain kandungan unsur hara, aspek keamanan lumpur IPAL juga harus dievaluasi untuk memastikan tidak adanya zat berbahaya yang dapat mencemari tanah atau tanaman. Oleh karena itu, analisis kandungan logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), menjadi bagian penting dalam pengujian ini. Jika kandungan logam berat melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan, lumpur tidak dapat

digunakan sebagai pupuk organik karena berisiko mencemari lahan pertanian dan rantai makanan.

Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa lumpur IPAL memiliki kandungan unsur hara yang cukup dan aman dari zat berbahaya, maka dapat diolah lebih lanjut menjadi pupuk organik. Proses stabilisasi seperti kompos atau vermikompos dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas pupuk sebelum digunakan dalam sektor pertanian. Pemanfaatan lumpur IPAL sebagai pupuk tidak hanya membantu mengurangi limbah industri, tetapi juga mendukung prinsip ekonomi sirkular dan praktik pertanian berkelanjutan. Dalam pengujian unsur hara, sampel yang diuji berupa sampel lumpur dari proses pengolahan IPAL dari *sludge dewatering* pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Pengujian Unsur Hara Limbah Lumpur

Selanjutnya, hasil pengujian unsur hara dari pengujian lumpur IPAL dari industri bumbu makanan PT.X akan dibandingkan dengan

KEPMENTAN nomor 261 tahun 2019 Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Hayati dan Pembenah Tanah. Untuk menghitung nilai ekonomi dilakukan perhitungan berdasarkan biaya produksi antara hasil lumpur IPAL dan biaya produksi pupuk komersil.

3.1.3. Alat Pengujian

Pengujian karakteristik, toksisitas, dan unsur hara lumpur IPAL memerlukan penggunaan berbagai alat uji utama yang berperan dalam menganalisis parameter fisik, kimia, serta dampak lingkungan dari limbah tersebut. Dalam pengujian lumpur IPAL, alat utama yang digunakan meliputi pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Alat Pengujian Penelitian

No	Alat	Karakteristik	Toksisitas	Unsur Hara
1	<i>Rotary agitator</i>	-	√	-
2	pH meter	√	√	√
3	<i>Spektrofotometer</i>	√	√	√
4	Centifuge	√	√	-
5	<i>Vacum Filtration unit</i>	-	√	-
6	Timbangan anakitik	√	√	√
7	DO meter	√	√	-
8	Termometer	√	√	√
9	Oven	√	√	-
10	<i>Furnace</i>	√	√	√
11	<i>Flame photometer</i>	-	-	√

3.2. Prosedur Penelitian

Dalam pengujian unsur hara ini contoh uji berupa lumpur IPAL industri bumbu makanan di PT. X dari proses akhir pengolahan limbah (*sludge dewatering*). Sedangkan untuk pengujian karakteristik dan toksisitas sampel lumpur yang diambil adalah lumpur sebelum pengolahan IPAL dan lumpur setelah pengolahan IPAL (*Sludge dewatering*) Pengambilan contoh uji dilakukan secara mandiri sesuai dengan SNI.

3.2.1. Jumlah Contoh uji

Jumlah contoh uji yang diambil mewakili dari total lumpur IPAL di bak *filter press* penyimpanan. Secara umum sampel yang diambil adalah lumpur IPAL yang sudah di press sebelumnya dengan alat penyaring. press dan lumpur yang diambil pada bak *pit collector* sebelum masuk ke proses IPAL.

Kemudian sampel diambil minimal 1 (satu) kg untuk 1 (satu) kali pengujian. wadah contoh uji dapat digunakan satu atau lebih jenis wadah yang memiliki persyaratan wadah contoh uji sebagai berikut.

- a) Botol dengan bukaan lebar berbahan kaca
- b) Wadah berbahan *high density polietilen (HDPE)*
- c) Wadah dapat ditutup dengan kuat dan tertutup rapat
- d) Wadah bersih dan bebas dari kontaminan
- e) Tidak bereaksi dengan contoh uji.

Wadah sampel di letakkan pada wadah *container tin wall* berbahan HDPE kemudian sampel dikirim ke laboratorium pengujian untuk diuji.

3.2.2. Metode Pengawetan Contoh Uji

Pengawetan contoh uji dilakukan oleh tim laboratorium. Pengawetan contoh uji untuk pengujian karakteristik limbah mudah menyala, mudah meledak dan reaktif mengacu pada metode pengujian yang digunakan.

a. Mudah menyala

Berdasarkan SNI 7184.3 – 2011 tentang Karakteristik Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) – Bagian 3, Cara Uji Titik Nyala dalam limbah cair dan semi padat, semua contoh uji dikumpulkan sesuai urutan pengambilan contoh uji yang tercantum dalam *Test Method for Evaluating Solid Waste* (USEPA SW 846, 1994). Selanjutnya, contoh uji yang mengandung air dikeringkan dengan melewati bahan melalui CaCl_2 .

b. Mudah meledak

Berdasarkan *Methods of Evaluating Explosive Reactivity of Explosive Contaminated Solid Waste Substances*, sampel ditempatkan dalam pipa baja yang ditutup di kedua ujungnya. Untuk sampel padat, dimuat dengan kerapatan

yang dicapai dengan mengetuk silinder sampai tidak terlihat pengendapan lebih lanjut.

c. Reaktif

Pada Method 1050 tentang *Test Methods to Determine Substance Likely to Spontaneously Combust* di mana sampel harus dikumpulkan, diangkat dan disimpan sedemikian rupa untuk menghindari semua kontak dengan udara. Berdasarkan metode ini, tidak diperlukan pengawetan sampel kimia untuk pengujian ini.

3.2.3. Metode Uji Toksisitas Karakteristik Limbah

a) Mudah Meledak

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 22 Tahun 2021 Lampiran X tentang Parameter Uji Karakteristik Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah B3 yang mudah meledak adalah limbah yang pada suhu dan tekanan standar, yaitu 25°C atau 760 mmHg, dapat meledak, atau melalui reaksi kimia dan/atau fisika menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dapat merusak lingkungan sekitarnya dengan cepat.

Pengukuran ini dilakukan dengan metode ASTM D93-10, yang digunakan untuk mendeteksi kontaminasi bahan yang relatif tidak mudah menguap atau terbakar dengan bahan yang mudah menguap atau terbakar. Dalam metode ASTM D93, sejumlah sampel dipanaskan dengan kecepatan tertentu sambil diaduk dalam cup tertutup. Pengujian penyalan dilakukan saat sampel mencapai suhu tertentu dengan mendekatkan api ke permukaan sampel hingga *flash point* terdeteksi.

b) Mudah Menyala

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran X, limbah B3 yang mudah menyala adalah limbah cair yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan/atau memiliki titik nyala tidak lebih dari 60°C atau 140°F yang menyala jika terkena api, percikan api, atau sumber nyala lainnya pada tekanan udara 760 mmHg. Pengujian ini dilakukan menggunakan *seta closed tester*,

pensky martens closed up atau metode setara dengan terbaru, seperti metode 1030 EPA-*United States Environmental Protection Agency (US-EPA): Ignitability of solids*.

c) Reaktif

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran X, limbah B3 yang reaktif adalah limbah yang pada kondisi normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan, serta menunjukkan tanda-tanda seperti gelembung gas, asap, dan perubahan warna. Limbah yang bereaksi dengan air sehingga menimbulkan ledakan atau menghasilkan gas, uap, atau asap, juga termasuk dalam kategori ini. Sifat reaktif dapat diketahui tanpa pengujian laboratorium.

Metode 1050 – *United States Environmental Protection Agency (US-EPA): Test Methods to Determine Substances Likely to Spontaneously Combust* digunakan untuk menguji padatan piroforik, yang menyala spontan saat diuji sesuai prosedur metode ini. Pengapian ditandai oleh asap, nyala api, atau pijaran.

d) Beracun

Limbah B3 beracun dilakukan dengan pengujian TCLP dan LD50.

1. Uji TCLP: Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 1 (satu) jika konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLP-A sebagaimana tercantum dalam Lampiran XI Peraturan Pemerintah ini. Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 2 (dua) jika konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan lebih besar dari TCLP-B.
2. Uji Toksikologi LD50: Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 1 (satu) jika nilai LD50 oral 7 (tujuh) hari kurang dari atau sama dengan 50 mg/kg berat badan mencit. Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 2 (dua) jika nilai LD50 lebih dari 50 mg/kg dan kurang dari atau sama dengan 5000 mg/kg berat badan mencit. Nilai LD50 diperoleh dari analisis probit pada hewan uji.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Bahan Baku dan Bahan Penolong

Kapasitas produksi pada PT. X terpasang yaitu sebesar 5.2 Milyar *pack*/tahun untuk bumbu dan 3.5 Milyar *pack*/tahun untuk minyak bumbu. Sifat produk yang dihasilkan merupakan bahan jadi dan bahan *fresh material*. Sistem distribusi bahan dengan truk sebagai alat angkut. Jenis bahan baku dan bahan penolong yang digunakan selama kegiatan operasional tersaji pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Jenis Bahan Baku dan Bahan Penolong Industri PT. X

No	Nama Bahan	Jumlah (Ton/hari)	Bentuk	Sifat
Bahan Baku				
1	Gula	11	Padat	Non B3
2	Garam	25	Padat	Non B3
3	Vetsin	4.1	Padat	Non B3
4	Bubuk Cabe	7.4	Padat	Non B3
5	Kecap	16.15	Cair	Non B3
6	Sambal	2	Cair	Non B3
7	Minyak Olein	32.2	Cair	Non B3
Bahan Penolong				
1	Premix	0.8	Padat & Cair	Non B3
2	Konsentrat	8.5	Cair	Non B3
1	<i>Eticket</i>	3.7	Padat	Non B3
2	Plastik pembungkus	1	Padat	Non B3
3	Kardus non tetra pack	5.5	Padat	Non B3

Identifikasi sumber dan karakteristik air limbah berdasarkan proses kegiatan utama dan pendukung serta jenis bahan baku dan bahan penolong yang digunakan, maka dapat diketahui sumber dan karakteristik air limbah yang diuraikan pada Tabel 4.2.

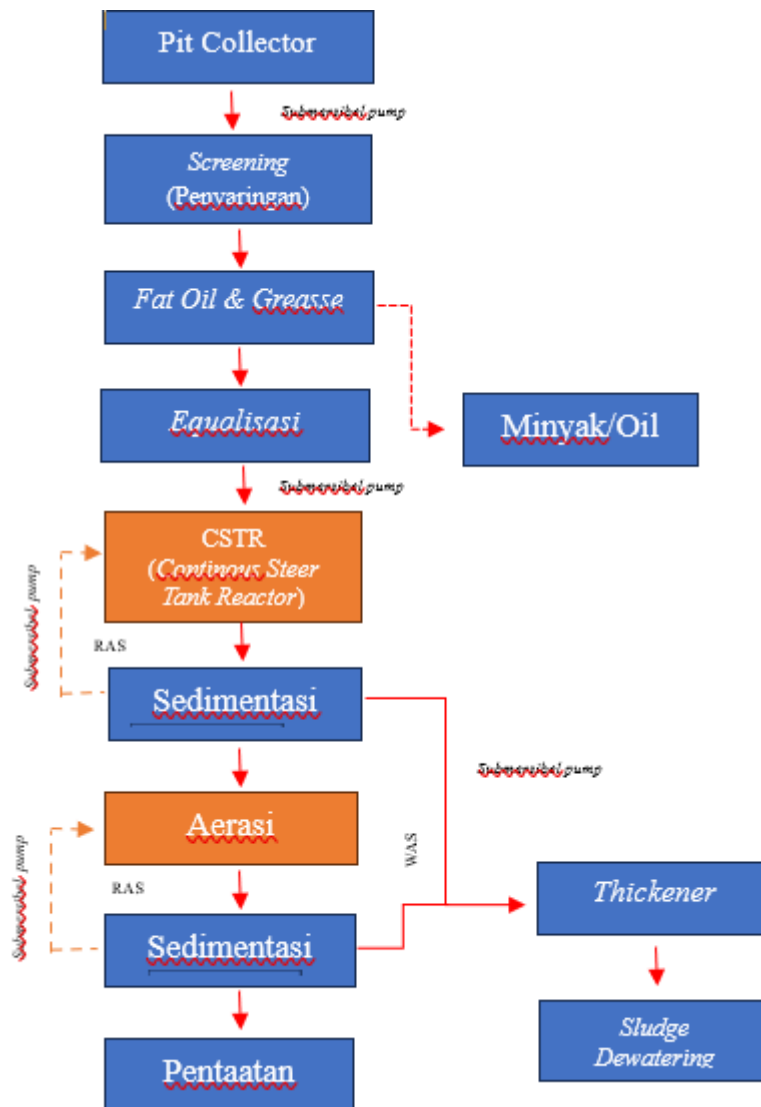
Tabel 4. 2 Identifikasi Limbah Cair

No	Sumber	Timbulan	Karakteristik
1	Produksi	Air limbah dari proses pencucian bahan baku segar berupa bawang merah dan cabai , mengandung sisa organik.	Padatan terlarut dan mikroorganisme. Volume 10 m ³ /hari pH 4-5
2	Pencucian	Air limbah dari proses pencucian alat dan sanitasi lantai. Mengandung sisa bahan baku berupa, gula, vetsin, kecap, sambal dan minyak olein dan bahan penolong lain.	Padatan tersuspensi, kimia organik, bahan kimia pembersih volume 35 m ³ /hari dengan pH di 4-5
3.	Boiler	Air <i>blowdown</i> dan air kondesat dari sistem boiler yang mengandung garam terlarut, bahan kimia antiskalant dan potensi logam berat lainnya	Padatan terlarut, suhu tinggi, bahan kimia pengolahan air, volume 2 m ³ /hari
4.	Laboratorium	Sisa air pencucian dari peralatan laboratorium yang tidak mengandung bahan berbahaya beracun (non-B3) tetapi dapat mengandung sisa bahan kimia penelitian dalam jumlah kecil.	Kimia organik ringan, sedikit asam atau netral, potensi bahan kimia penelitian volume 0,5 m ³ /hari
5.	Aktifitas Kantin	Air cucian dari pembersihan lantai dan asanitasi peralatan yang mengandung residu bahan pemebersih dan kontaminasi bahan lain di lantai.	Padatan tersuspensi, kimia organik, bahan kimia pembersih volume 0,5 m ³ /hari
6	Domestik Karyawan	Air limbah dari fasilitas umum seperti toilet, mushola yang mengandung bahan organik. Dan pemebersih lantai.	Padatan tersuspensi, kimia organik, mikroorganisme, nutrien, dengan volume 12 m ³ /hari.

4.2. Evaluasi Proses Pengolahan IPAL

Pada industri bumbu makanan, sistem pengolahan limbah dilakukan secara terpadu dengan menerapkan metode fisik, biologi, dan kimia untuk memastikan efisiensi dalam pengolahan. Limbah yang dihasilkan, baik dari proses produksi

maupun limbah domestik, diolah dalam satu sistem yang terintegrasi tanpa pemisahan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses pengolahan dan memastikan bahwa air limbah yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan sebelum dibuang atau dimanfaatkan kembali. Adapun tahapan pengolahan limbah di pabrik bumbu makanan dilakukan melalui serangkaian proses yang sistematis dan sesuai dengan regulasi yang berlaku pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 *Flow Diagram* Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Bumbu Makanan PT. X

a. *Pitt collector* (bak penampung limbah)

Pada proses ini merupakan proses pegumpulan air limbah sebelum masuk ke proses pengolahan lanjut, fungsi dari *pitt collector* adalah bak

pengumpul dari saluran pengolahan limbah yang bersumber dari produksi dan limbah domestik. Dengan level tertentu air limbah yang sudah tertampung di dalam sumpit dipompakan untuk masuk ke dalam proses pengolahan awal. Pada bak sumpit sendiri air limbah yang ditampung masih bercampur dengan padatan dan minyak dengan pH yang masih asam sekitar 4 – 5. Bak ini diintegrasikan dengan *screnning* dengan tipe *bar screen* untuk memisahkan padatan kasar dan sampah yang terbawa dari sumber limbah. Bak ini dikontrol dengan otomatis bila level air dalam bak rendah maka pompa secara otomatis akan berhenti. Adapun spesifikasi *pit collector* pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Spesifikasi pada *pit collector*

Jenis	Ukuran
Kapasitas	200 m ³ /hari = 8 3m ³ /jam
Dimensi	11 cm x 400 cm x 600 cm
Volume efluen	24,3 m ³
<i>Retention time</i>	2,9 jam

b. Bak pemisah minyak dan lemak (*fat oil and grease*)

FOG (*fat oil and grease*) berfungsi sebagai tahapan pengolahan awal sebagai pemisah minyak dan lemak yang terkandung didalam air limbah. Air limbah dari *pit collector* kemudian dipompakan kedalam FOG. Pemisahan secara perbedaan berat jenis dimana minyak dan lemak ini nantinya akan mengapung karena berat jenisnya lebih ringan, kemudian dipisahkan dari air limbah dengan bantuan *scrapper*. air limbah kemudian akan masuk ke proses selanjutnya setelah melewati *fine screen* dan FOG akan ditampung di dalam drum plastik. Adapun spesifikasi dari proses FOG pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Spesifikasi pada *fat oil and grease*

Jenis	Ukuran
Kapasitas	8 3m ³ /jam
Dimensi	190 cm x 200 cm
Volume efluen	5,1 m ³
<i>Retention time</i>	0,61 jam

c. Bak Ekualisasi

Berfungsi sebagai bak penampung hasil pengolahan *pre treatment* sebelum dipompakan kedalam pengolahan utama. Bak ini juga berfungsi untuk menghomogenisasi karakteristik limbah dengan bantuan udara atau bantuan mixer, dengan tujuan agar komposisi air limbah yang masuk ke dalam pengolahan air limbah relatif stabil sehingga sistem tidak mengalami *shock load* karena beban air yang bervariasi. Bak ekualisasi dilengkapi dengan level kontroler sehingga pompa dapat di atur dengan otomatis jika level air rendah akan mati. Bak ini juga dilengkapi dengan *finedisc diffuser* sebagai alat pengaduk sehingga pengadukan dengan bantuan udara yang bertujuan selain air limbah tercampur secara merata. Adapun spesifikasi dari proses ekualisasi pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Spesifikasi pada bak ekualisasi

Jenis	Ukuran
Kapasitas	8 3m ³ /jam
Dimensi	720 cm x 350 cm x 600 cm
Volume efluen	143,64 m ³
Retention time	17,24 jam

d. CSTR (*Continous Steer Tank Reactor*)

Merupakan tahapan pengolahan utama */primary treatment* berupa pengolahan biologi anaerobic dimana pada proses pengolahannya tidak memerlukan oksigen. CSTR (*Continous Steer Tank Reactor*) merupakan sistem pengolahan biologi anaerob dengan prinsip pengadukan secara terus menerus dalam satu reaktor tertutup sehingga bakteri akan mengalami kontak langsung dengan air limbah dan bercampur dengan rata karena adanya pengadukan. Reaktor ini dilengkapi dengan pH *controller* untuk mengetahui kondisi pH sehingga dapat di kontrol dan di jaga. Selain itu reaktor ini dilengkapi dengan *flaring unit* untuk pengolahan gas methane hasil sampling dari proses pendegradasian air limbah dalam reaktor ini. Sistem ini digunakan karena kemampuannya dalam mengolah air limbah dengan kandungan *suspended solid* yang tinggi seperti susu. Selain itu sisitem ini menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem lainnya. Bakteri dalam sistem ini juga tidak rentan *collapse* karena

adanya pengadukan dengan *mixer* sehingga pH di dalam reaktor cenderung stabil. Spesifikasi CSTR pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Spesifikasi CSTR

Jenis	Ukuran
Kapasitas	8 3m ³ /jam
Dimensi	460 cm x 460 cm x 660 cm
Volume efluen	131,92 m ³
<i>Retention time</i>	15,74 jam

e. Sedimentasi

Berfungsi sebagai bak penampung hasil pengolahan dari reaktor CSTR sebelum dialirkan ke dalam sistem aerasi. Bak ini juga berfungsi sebagai bak pengendap lumpur bakteri yang terbawa dari reaktor CSTR. Bak ini di desain dengan kemiringan 60° pada bagian bawahnya sehingga lumpur yang terbawa dapat langsung mengendap secara gravitasi tanpa memerlukan *scrapper*. Spesifikasi sedimentasi pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Spesifikasi sedimentasi

Jenis	Ukuran
Kapasitas	8 3m ³ /jam
Dimensi	460 cm x 460 cm x 600 cm
Volume efluen	82,9 m ³
<i>Retention time</i>	9,9 jam

f. Aerasi

Lanjutan dari pengolahan CSTR dimana air limbah akan diolah secara aerobik. Proses pengolahan aerobik dibantu dengan udara untuk mereduksi kandungan organik yang ada di dalam air limbah. Proses pengolahan aerasi ini menggunakan lumpur aktif. Pemilihan sistem pengolahan secara biologi karena efektifitasnya dalam mereduksi polutan organik hingga 95 %. Pada proses inilah jumlah lumpur IPAL yang dihasilkan. Spesifikasi pada proses aerasi pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Spesifikasi aerasi

Jenis	Ukuran
Kapasitas	8 3m ³ /jam
Dimensi	460 cm x 460 cm x 600 cm

Jenis	Ukuran
Volume efluen	120,6 m ³
<i>Retention time</i>	14,47 jam

g. Sedimentasi

Proses ini berfungsi sebagai bak penampung hasil pengolahan dari bak aerasi sebelum dialirkan ke pengolahan air di *fishpond* atau pentatan. Bak ini juga berfungsi sebagai bak pengendap lumpur bakteri yang terbawa dari bak aerasi. Bak ini di desain dengan kemiringan 60° pada bagian bawahnya sehingga lumpur yang terbawa dapat langsung mengendap secara gravitasi tanpa memerlukan *scraper*. Spesifikasi sedimentasi pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Spesifikasi sedimentasi

Jenis	Ukuran
Kapasitas	8 3m ³ /jam
Dimensi	460 cm x 460 cm x 600 cm
Volume efluen	82,9 m ³
<i>Retention time</i>	9,9 jam

h. Penaatan (*fish pond*)

Berfungsi sebagai bak kontrol dari rangkaian pengolahan air limbah. Bila hasil pengolahan telah memenuhi baku mutu bisa dialirkan melalui outlet. Bak ini di desain bersebelahan dengan *fish pond* (kolam ikan) sebagai indikator alami yang menunjukkan bahwa air olahan sudah diolah dengan baik oleh sistem yang ada. Pada unit ini dilengkapi dengan pH kontrol untuk mengetahui kondisi pH aktual selain itu juga dilengkapi dengan *flowmeter* untuk mengetahui debit limbah yang terolah.

i. *Thickener Tank*

Unit ini berfungsi untuk penanganan lumpur yang timbul dari kegiatan pengolahan limbah pada instalasi ini. Lumpur berlebih pada proses sedimentasi akan dipompa ke dalam *thickener* untuk mengentalkan lumpur tersebut. *Thickener* didesain khusus untuk mengentalkan lumpur yang masih bercampur dengan air limbah yang diproses. Dengan menggunakan prinsip gravitasi dan waktu tinggal yang telah ditentukan lumpur akan mengendap dan terpisah dengan air limbah.

j. *Sludge Dewatering* (proses pengeringan)

Unit ini berfungsi untuk penanganan lumpur yang timbul dari kegiatan pengolahan limbah pada instalasi ini. Lumpur berlebih pada proses sedimentasi akan dipompa ke dalam *thickener* untuk mengentalkan lumpur tersebut. *Thickener* didesain khusus untuk mengentalkan lumpur yang masih bercampur dengan air limbah yang diproses dengan menggunakan prinsip gravitasi dan waktu tinggal yang telah ditentukan lumpur akan mengendap dan terpisah dengan air limbah..

Industri bumbu makanan menghasilkan banyak lumpur IPAL karena limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi mengandung kandungan organik yang sangat tinggi, seperti sisa bahan makanan, minyak, lemak, protein, karbohidrat, dan senyawa kimia lain yang digunakan dalam produksi. Kandungan ini menciptakan beban pencemar yang tinggi, sehingga selama pengolahan di IPAL, proses pengendapan, penguraian biologis, dan pengolahan kimia menghasilkan lumpur dalam jumlah besar. (Maulina, D. 2020).

Beberapa faktor yang mempengaruhi kuantitas lumpur IPAL sangat tinggi pada industri bumbu makanan sebagai berikut :

- Kandungan Organik yang Tinggi

Limbah cair industri bumbu makanan mengandung sisa-sisa bahan organik seperti rempah-rempah, garam, gula. Kandungan ini membutuhkan penguraian intensif oleh mikroorganisme selama proses biologis di IPAL. Penguraian ini menghasilkan biomassa mikroorganisme yang tinggi, yang kemudian menjadi lumpur. Kandungan organik yang tinggi juga mempercepat pertumbuhan mikroorganisme, sehingga lebih banyak lumpur yang dihasilkan. Dari hasil swapantau yang dilakukan *Chemical Oxidant Demand* (COD) air limbah sebelum pengolahan rata-rata sebesar 4500 mg/l sedangkan *Total Suspended solid* (TSS) rata-rata 1300 mg/l. dengan nilai COD dan TSS yang tinggi lumpur yang dihasilkan relatif lebih banyak.

- Penggunaan Bahan Tambahan dalam Produksi

Banyak industri bumbu makanan menggunakan bahan tambahan seperti perasa zat yang sering kali sulit terurai secara alami dan memerlukan pengolahan lebih lanjut di IPAL. Selama penolakan bahan-bahan tersebut dapat mengendap atau membentuk gumpalan (flok), yang kemudian berkontribusi pada pembentukan lumpur. Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahan baku gula yang digunakan dalam produksi bumbu memiliki kuantitas yang banyak dengan rata-rata 11 (sebelas) ton/hari.

- Proses Pengolahan Limbah yang Intensif

Limbah cair dari industri bumbu makanan umumnya memiliki nilai COD dan BOD yang tinggi, yang menandakan banyaknya senyawa organik yang harus diolah. Proses biologis yang digunakan untuk mengurangi nilai COD dan BOD ini menghasilkan kelebihan biomassa mikroorganisme, yang meningkatkan volume lumpur yang dihasilkan. (Metcalf & Eddy, 2013)

- Minyak dan Lemak dalam Limbah

Industri bumbu makanan sering kali menghasilkan limbah yang mengandung minyak dan lemak dalam jumlah besar. Lemak dan minyak ini tidak larut dalam air dan dapat membentuk lumpur minyak setelah melalui proses pengolahan fisik (seperti pemisahan minyak-lemak) dan kimia (seperti koagulasi dan flokulasi) (Spellman, F. R. 2017).

dalam proses pengolahan IPAL pada industri, terdapat beberapa metode pengoptimalisasi proses IPAL dalam mengurangi kandungan lumpur IPAL, menurut Iqbal (2016) Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, proses biofilter menghasilkan jumlah lumpur yang lebih sedikit. Pada sistem lumpur aktif, sekitar 30–60% dari BOD yang dihilangkan diubah menjadi biomassa atau lumpur aktif, sedangkan pada proses biofilter, persentase ini jauh lebih rendah, yaitu hanya sekitar 10–30%. Perbedaan ini disebabkan oleh panjangnya rantai makanan dalam proses biofilter, yang memungkinkan aktivitas mikroorganisme dengan

tingkat trofik lebih tinggi untuk berperan dalam dekomposisi bahan organik. Dengan adanya mikroorganisme dari berbagai tingkatan, efisiensi penguraian bahan organik meningkat, sehingga produksi lumpur sisa menjadi lebih rendah dibandingkan dengan sistem lumpur aktif konvensional.. Selain itu juga proses pengolahan dengan sistem *Cyclic Sequencing Aerobic Sistem* (CSAS) , dengan penambahan nutrisi seperti NPK, urea, dan nutrisi tambahan lainnya dapat mengoptimalkan kinerja proses dengan meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam dekomposisi bahan organik. Pemberian nutrisi yang tepat juga berperan dalam mengurangi nilai SV30 (*Sludge Volume Index*) dan MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solids*), sehingga sistem pengolahan dapat berjalan lebih efisien dengan produksi lumpur yang lebih terkendali dan kualitas efluen yang lebih baik.(lintang, et all, 2012)

Secara umum, sistem IPAL yang digunakan oleh PT. X telah berfungsi dengan baik dalam mengolah limbah, sehingga efluen yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu lingkungan. Berdasarkan hasil uji sampel menunjukkan bahwa lumpur IPAL sebelum proses pengolahan memiliki tingkat kepekatan solid yang tinggi, menjadi salah satu faktor utama peningkatan kandungan lumpur yang dihasilkan. Kepekatan solid yang tinggi ini dapat mempengaruhi efisiensi pengolahan dan perlu dikendalikan agar proses pengolahan limbah berjalan lebih optimal.Selain itu juga kandungan organik yang terkandung dalam air limbah dan minyak lemak pada air limbah merupakan pemicu utama tingkat proses kuantitas lumpur menjadi sangat banyak. Industri bumbu makanan pada PT.X sudah melakukan pengurangan kuantitas lumpur IPAL salah satunya dengan proses *sludge dewatering*. Proses pengeringan lumpur (*dewatering*) dan stabilisasi lumpur dapat secara signifikan mengurangi volume lumpur yang harus dikelola. Metode yang digunakan berupa *Filter Press*: Teknologi ini digunakan untuk menghilangkan kandungan air dari lumpur, sehingga menghasilkan lumpur yang lebih padat dan volume lebih kecil. (Jenkins, D., et al, 2003)

4.3. Evaluasi Toksisitas dan Dampak Pengelolaan Lumpur IPAL

4.3.1 Pengambilan Contoh Uji

Contoh uji berupa lumpur sebelum pengolahan IPAL dan lumpur IPAL setelah pengolahan proses pengeringan melalui alat *filter press*. Dalam pengambilan contoh uji diambil sebanyak 2 (dua) contoh uji . masing-masing contoh uji diambil sampel sebanyak 2 (dua) kg untuk menguji TCLP dan LD50.. Adapun secara deskripsi contoh uji yang diambil pada Gambar 4.2.

Sampel A	Sampel B
	
Pada sampel A warna lumpur berwarna kecoklatan. Lumpur ini berasal dari akumulasi bahan baku sisa pencucian dari area produksi secara visual memiliki kandungan air yang cukup tinggi dengan pH 4,5 secara fisik memiliki bentuk berupa bubuk kasar dan berminyak serta berbau pekat yang khas.	Pada sampel B lumpur berwarna kehitaman dengan Tingkat kadar air yang sangat sedikit sekitar 15%. Sampel B berasal dari proses pengolahan IPAL yang sudah di keringkan menggunakan <i>filter press</i> . Secara fisik memiliki bentuk halus dan berbau tanah.

Gambar 4. 2 Contoh Uji Lumpur IPAL Sebelum Proses Pengolahan dan Sesudah Proses Pengolahan

Selanjutnya contoh uji yang sudah disiapkan dikemas di dalam tempat wadah plastik. Sampel lumpur yang diambil merupakan lumpur sebelum pengolahan IPAL dan Lumpur hasil pengolahan setelah *filter press*. Setelah dilakukan pengemasan , tahap selanjutnya contoh uji dikirim ke laboratorium pengujian untuk di teliti kandungan TCLP, LD50., dan unsur hara.

4.3.2 Hasil Pengujian Toksisitas

Contoh uji yang lumpur IPAL yang sudah diambil kemudian diuji oleh laboratorium terakreditasi KAN dan teregistrasi sebagai Laboratorium KLHK. Pengujian contoh uji meliputi, pengujian Karakteristik Lumpur, *lethal Dose* 50 (LD50), dan *Toxicity Characteristic Leaching Prosedure* (TCLP). Apaun hasil pengujian dari contoh uji diuraikan sebagai berikut.

4.3.2.1 Pengujian Karakteristik

Pengujian karakteristik limbah dari contoh uji lumpur IPAL dari industri bumbu makanan sangat penting dilakukan untuk menentukan Tingkat bahaya dan cara penanganannya. Pengujian karakteristik limbah meliputi beberapa aspek penting seperti pengujian parameter mudah meledak, mudah menyala, reaktif. Data hasil pengujian karakteristik. Pengujian karakteristik mudah menyala, limbah yang memiliki sifat mudah terbakar memerlukan penanganan khusus untuk menghindari kebakaran atau ledakan. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan menentukan titik nyala atau *flash point* dari contoh uji..

Pengujian sifat reaktif dilakukan untuk menilai sejauh mana limbah dapat bereaksi dengan zat lainnya. Limbah yang reaktif dapat berbahaya jika berinteraksi dengan udara, air, atau bahan kimia lain, sehingga berpotensi menimbulkan ledakan atau reaksi kimia berbahaya. Pengujian ini sangat krusial untuk menentukan tindakan pencegahan yang harus diambil dalam penanganan limbah. Adapun hasil pengujian karakteristik tersaji pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Karakteristik Limbah

Parameter Uji*	Hasil Pengujian (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil Pengujian (Lumpur Setelah IPAL)	Metode Pengujian
Mudah Meledak	Tidak Mudah Meledak	Tidak Mudah Meledak	ASTM D93-10
Reaktif	Tidak Reaktif	Tidak Reaktif	<i>Method 1050 EPA</i>
Mudah Menyala	Tidak Mudah Menyala	Tidak Mudah Menyala	<i>Method 1030 EPA</i>

Keterangan ;*) Mengacu PP nomor. 22 Tahun 2021 – Lampiran X

Dari pengujian karakteristik limbah Bahan berbahaya dan beracun mengacu pada peraturan pemerintah nomor 22 tahun 2021 pada lampiran X Parameter Uji

Karakteristik Limbah B3. Dimana uji karakteristik pada parameter mudah meledak reaktif dan mudah menyala dapat disimpulkan sebagai berikut.

Uji Karakteristik mudah meledak (*explosive -E*). adalah limbah B3 yang pada suhu dan tekanan standar yaitu 25⁰C atau 760 mmHg dapat meledak, atau melalaui reaksi kimia dan/atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya. Dengan metode pengujian ASTM D93-10, 2 contoh uji tidak mengalami reaksi apapun sehingga tidak terjadi perubahan apapun.

Pada pengujian karakteristik mudah menyala (*ignitable-I*) adalah jenis limbah yang mengandung sifat berikut. Limbah berupa yang bukan cairan pada temperature dan tekanan standar yaitu 25⁰C atau 760 mmHg mudah menyala melalui gesekan, penyerapan uap air tau perubahan kimia secara spontan dan jika menyala dapat menyebabkan nyala terus menerus. Dengan metode pengujian Method 1030 EPA contoh uji tidak menalami reaksi apapun dan tidak terjadi perubahan terhadap contoh uji.

Pada pengujian karakteristk reaktif (*reactive-R*) adalah limbah yang memiliki sifat berikut, limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.

Secara visual menunjukan adanya antara lain gelembung gas, asap dan perubahan warna. Dengan metode pengujian Method 1050 EPA contoh uji tidak mengalami perubahan dan tidak terjadi perubahan terhadap contoh uji.

Dapat disimpulkan pada pengujian karakteristik limbah pada masing-masing parameter uji yaitu tidak mudah meledak, tidak mudah menyala, dan tidak mudah reaktif pada Lumpur sebelum hasil pengolahan IPAL dan lumpur sesudah hasil pengolahan IPAL dari industri bumbu makanan.

4.3.2.2 Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP)

Pengujian TCLP sendiri untuk menentukan dan mengkalifikasikan B3 atau tidak berbahaya. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk menentukan apakah suatu limbah harus dikelola sebagai limbah B3 berdasarkan kandungan zat-zat beracun yang mungkin akan mencemari lingkungan.jika hasil TCLP menunjukan bahwa konsentrasi kontaminan yang tercuci melebihi ambang batas yang ditetapkan

oleh pertauran, limbah tersebut dikategorikan limbah berbahaya dan harus dikelola secara khusus.

Pengujian TCLP menjadi dasar dalam evaluasi industri pengelolaan limbah. Dengan melakukan pengujian TCLP ini. Industri dapat mengetahui potensi dan resiko yang ditimbulkan oleh limbah yang dihasilkan. Tujuan pengujian TCLP selanjutnya sebagai pemenuhan kepatuhan terhadap regulasi pemerintah. Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) meliputi parameter anorganik, anion, organik, pestisida dan parameter tambahan sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 pada lampiran XI Baku mutu karakteristik Beracun melalui TCLP untuk penetapan kategori limbah B3. Adapun hasil pengujian TCLP tersaji pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Uji Toxicity Characteristic Leaching Prosedure (TCLP)

No	Parameter	Hasil TCLP (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil TCLP (Lumpur Sesudah IPAL)	Baku Mutu	
				A	B
				mg/L	
Anorganic					
1	Antimony, Sb	0,013	<0.001	6	1
2	Arsenic, As	<0.0006	<0.0006	3	0,5
3	Barium, Ba	0,1088	0,4062	210	35
4	Berilium, Be	<0.001	<0.001	4	0,5
5	Boron, B	0,041	0,204	150	25
6	Cadmium, Cd	<0.001	0,005	0,9	0,15
7	Hexavalent Chromium, Cr6+	0,006	0,005	15	2,5
8	Copper, Cu	<0.011	<0.011	60	10
9	Lead, Pb	<0.003	<0.003	3	0,5
10	Mercury, Hg	<0.0017	<0.0017	0,3	0,05
11	Molibdenum, Mo	<0.001	<0.001	21	3,5
12	Nickel, Ni	0,008	0,016	21	3,5
13	Selenium, Se	<0.002	<0.002	3	0,5
14	Silver, Ag	<0.002	<0.002	40	5
15	Tributyltin Oxide **	<0.021	<0.021	0,4	0,05
16	Zinc, Zn	0,6214	3,4637	300	50
Anion					
1	Chloride, Cl ⁻	911,2	295,5	75000	12500
2	Total Cyanide, CN**	<0.006	<0.006	21	4
3	Fluorides, F ⁻	0,59	1,39	450	75
4	Iodide, I ^{**}	<0.05	<0.05	40	5
5	Nitrate, NO3-N	0,024	0,023	15000	2500
6	Nitrite, NO2-N	0,0073	0,0067	900	150

No	Parameter	Hasil TCLP (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil TCLP (Lumpur Sesudah IPAL)	Baku Mutu	
				A	B
				mg/L	
Organic					
1	Benzene	<0.0019	<0.0019	3	0,5
2	Benzo(a)pirena	<0.0005	<0.0005	0,004	0,0005
3	Carbon tetrachloride	<0.0019	<0.0019	1,2	0,2
4	Chlorobenzene	<0.0007	<0.0007	120	15
5	Chloroform**	<0.0006	<0.0006	24	3
6	2 Chlorophenol**	<0.0033	<0.0033	120	5
7	Total Cresol**	<0.0119	<0.0119	800	100
8	Di (2 etilheksil) ftalat**	<0.0019	<0.0019	2,4	0,4
9	1,2-Dichlorobenzene	<0.0003	<0.0003	300	50
10	1,4-Dichlorobenzene	<0.0003	<0.0003	90	15
11	1,2-Dichloroethane	<0.0028	<0.0028	15	2,5
12	1,1-Dichloroethylene	<0.0047	<0.0047	12	3
13	1,2-Dichloroethylene	<0.0028	<0.0028	15	2,5
14	Dichloromethane (methylene chloride)	<0.0012	<0.0012	6	1
15	2,4-Dichlorophenol**	<0.0048	<0.0048	80	10
16	2,4-Dinitrotoluene**	<0.0047	<0.0047	0,52	0,065
17	Ethylbenzene	<0.0021	<0.0021	90	15
18	Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA)**	<0.3	<0.3	180	30
19	Formaldehyde**	<0.3	<0.3	200	25
20	Hexachlorobutadiene	<0.0004	<0.0004	0,18	0,03
21	Methyl ethyl ketone**	<0.0119	<0.0119	800	100
22	Nitrobenzene**	<0.0059	<0.0059	8	1
23	Phenol (total, non-terhalogenasi)**	<0.0129	<0.0129	56	7
24	Styrene	<0.0003	<0.0003	6	1
25	1,1,1,2-Tetrachloroethane	<0.0005	<0.0005	40	4
26	1,1,2,2-Tetrachloroethane	<0.0011	<0.0011	5,2	0,65
27	Tetrachloroethylene (PCE)	<0.002	<0.002	20	2,5
28	Toluene	<0.0018	<0.0018	210	35
29	Trichlorobenzene (total)	<0.0017	<0.0017	12	1,5
30	1,1,1-Trichloroethane	<0.0006	<0.0006	120	15
31	1,1,2-Trichloroethane	<0.0005	<0.0005	4,8	0,6
32	Trichloroethylene (TCE)	<0.0012	<0.0012	2	0,25
33	2,4,5-Trichlorophenol**	<0.0062	<0.0062	1600	200
34	2,4,6-Trichlorophenol**	<0.0034	<0.0034	8	1
35	Vinyl chloride**	<0.0009	<0.0009	0,12	0,015
36	Ksilene (total)	<0.0003	<0.0003	150	25
Pesticide					
1	Aldrin + Dieldrin**	<0.0006	<0.0006	0,009	0,0015

No	Parameter	Hasil TCLP (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil TCLP (Lumpur Sesudah IPAL)	Baku Mutu	
				A	B
				mg/L	
2	DDT + DDD + DDE	<0.0005	<0.0005	0,3	0,05
3	2,4-D (2,4-Dichloro phenoxyacetic acid)**	<0.0034	<0.0034	9	1,5
4	Chlordane**	<0.0005	<0.0005	0,06	0,01
5	Heptachlor **	<0.0007	<0.0007	0,12	0,015
6	Lindane**	<0.0006	<0.0006	0,6	0,1
7	Methoxychlor**	<0.0006	<0.0006	6	1
8	Pentachlorophenol**	<0.0006	<0.0006	2,7	0,45
Additional Parameters					
1	Endrin**	<0.0007	<0.0007	0,12	0,02
2	Hexachlorobenzene	<0.0009	<0.0009	0,8	0,13
3	Hexachloroethane**	<0.0009	<0.0009	18	3
4	Pyridine**	<0.0009	<0.0009	30	5
5	Toxaphene**	<0.0129	<0.0129	3	0,5
6	2,4,5-TP (Silvex)**	<0.0062	<0.0062	6	1

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021 Lampiran X tentang Parameter Uji Karakteristik Limbah B3 diketahui kriteria sebagai berikut;

- 1) Limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 1 (satu) apabila limbah memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLP-A sebagaimana tercantum dalam lampiran XI pada PP nomor 22 tahun 2021
- 2) Limbah diidentifikasikan sebagai limbah B3 kategori 2 (dua) jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan lebih besar dari TCLP-B sebagaimana tercantum dalam lampiran XI

Pada pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) yang telah dilakukan pada contoh uji Lumpur sebelum pengolahan IPAL dan lumpur sesudah pengolahan IPAL industri makanan. Parameter uji berupa Anorganik, anion, organik, pestisida dan parameter tambahan. Terdapat beberapa parameter yang mengalami kenaikan dan penurunan nilai uji. Adapun perbandingan nilai uji pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Perbandingan Selisih nilai Pada Tiap Parameter TCLP

No	Parameter	Hasil TCLP (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil TCLP (Lumpur Sesudah IPAL)	Keterangan
Anorganik				
1	Antimony, Sb	0,013	<0,001	Menurun

No	Parameter	Hasil TCLP (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil TCLP (Lumpur Sesudah IPAL)	Keterangan
2	Barium, Ba	0,1088	0,4062	Meningkat
3	Boron, B	0,041	0,204	Meningkat
4	Cadmium, Cd	<0,001	0,005	Meningkat
5	Hexavalent Chromium, Cr6+	0,006	0,005	Menurun
6	Nickel, Ni	0,008	0,016	Meningkat
7	Zinc, Zn	0,6214	3,4637	Menurun
Anion				
1	Chloride, Cl ⁻	911,2	295,5	Menurun
2	Fluorides, F ⁻	0,59	1,39	Meningkat
3	Nitrate, NO ₃ -N	0,024	0,023	Menurun
4	Nitrite, NO ₂ -N	0,0073	0,0067	Menurun

Dari hasil pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) terlihat pada pengujian anorganik dan anion terdapat beberapa parameter yang mengalami peningkatan dan penurunan nilai uji. Peningkatan nilai uji pada pengujian TCLP ini disebabkan beberapa faktor antara lain;

- **Komposisi Limbah**
Bahan yang terlarut dalam limbah menjadi faktor nilai anorganik dan anion meningkat seperti adanya kandungan logam berat, senyawa terlarut dan kandungan garam yang tinggi menjadi faktor utama dalam meningkatnya nilai anorganik dan anion pada pengujian.
- **Sifat Fisik Kimia Limbah**
Sifat fisik kimia limbah dipengaruhi oleh kandungan pH limbah dimana pH rendah cenderung melarutkan logam berat dan parameter anorganik sedangkan pH tinggi dapat melarutkan anion. Selain itu juga limbah yang mengandung senyawa reaktif akan lebih mudah bereaksi dengan larutan TCLP, melepaskan lebih banyak zat anorganik dan anion
- **Sumber dan jenis limbah**
Limbah yang mengandung detergen (fosfat) garam, dan senyawa lainnya berkontribusi terhadap peningkatan parameter anorganik dan anion.

4.3.2.3 Hasil Uji *lethal Dose 50* (LD50)

LD50 adalah rangkaian protokol analisis yang dilakukan terhadap limbah B3 dengan pengujian menggunakan tikus sebagai hewan percobaan. Pengujian

LD50 diperlukan untuk menentukan kesesuaian suatu bahan dengan Peraturan Pemerintah nomor 22 Tahun 2021 pada Lampiran X dalam hal ini uji LD50 Lumpur IPAL industri bumbu makanan di tampilkan pada Tabel 4.13.

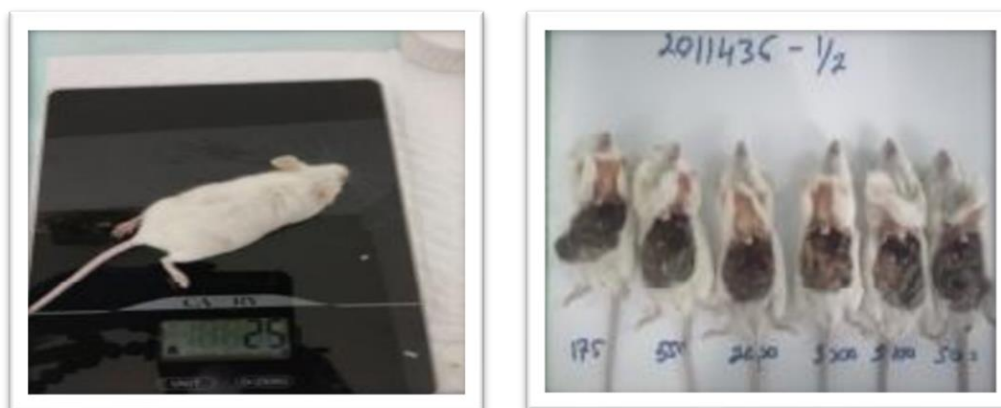
Tabel 4. 13 Hasil Uji LD50

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil (Lumpur Sebelum IPAL)	Hasil (Lumpur Sesudah IPAL)
LD50	mg/kg BB	>15000 ^{a)}	>5000	>5000
		5000-15000 ^{b)}		
		500-5000 ^{c)}		
		50-500 ^{d)}		
		5-50 ^{e)}		
		<5 ^{f)}		

*) a. Tidak berbahaya, b. Praktis tidak toksik, c. sedikit toksik, d. cukup toksik, e. sangat toksik, f. super toksik

Hewan uji yang digunakan adalah mencit. Hewan uji tidak boleh diberi makan selama 3-4 jam sebelum aplikasi LD50 per oral menggunakan tabung perut “sonde lambung” sesuai dosis. Pengamatan dilakukan untuk melihat adanya hewan uji yang mati dalam waktu 24 jam.

Setelah pemberian oral, spesies uji mengalami diare, berat badan meningkat pada hari ke 2 dan peningkatan respirasi, konsumsi pakan dan minum stabil dikarenakan konsumsi pakan yang diberikan sebesar 5 gram per hari, dimakan dan tidak tersisa.. setiap seluruh mukosa seperti mulut hidung dan mata terlihat normal dan tidak ada perubahan (diamati dalam 24 jam sampai hari ke 7 pada setiap dosis). Uji toksiskologi dilakukan terhadap hasil pengolahan limbah minimal sekali pengujian untuk setiap jenis limbah mennetukan LD50 besar dari 5000 mg/kg pengujian berat hewan, Adapun pengujian LD50 tersaji pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Neskropsi Pengamatan Hewan Uji*

Pada umumnya semakin kecil nilai LD50 maka semakin toksis senyawa tersebut, demikian juga sebaliknya semakin besar LD50 semakin rendah toksisitasnya. Potensi ketoksikan akut senyawa pada hewan uji dibagi beberapa kelas pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Penilaian Toksisitas

Tingkat Toksisitas	LD50 per Oral Dosis Tunggal dan berat badan (mg/Kg)
Relatif kurang berbahaya	Diatas 15000
Praktis tidak toksik	5000 – 15000
Sedikit toksik	500 – 5000
Cukup toksik	50 – 500
Sangat toksik	5 – 50
Super toksik	Kurang dari 5

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk parameter LD50 pada lumpur sebelum pengolahan IPAL dan lumpur setelah pengolahan IPAL dengan hasil > 5000 mg/kg BB. Dengan demikian lumpur IPAL dari industri bumbu makanan adalah limbah *Non-Hazardous and Non-toxic material waste*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa lumpur IPAL yang dianalisis praktis tidak beracun yakni lebih dari 5000 mg/kg BB.

Efek toksik umumnya merupakan hasil dari serangkaian proses fisik, biokimia, dan biologis yang kompleks. Proses-proses ini biasanya dikelompokkan ke dalam tiga fase: fase eksposisi, fase toksikokinetik, dan fase toksikodinamik. Fase eksposisi melibatkan kontak organisme dengan racun, di mana efek toksik/farmakologis biasanya terjadi hanya setelah racun diserap, kecuali dalam kasus zat radioaktif (Haryanto et al, 2023).

Fase toksikokinetik adalah fase di mana racun diserap dan didistribusikan oleh aliran darah ke seluruh tubuh, termasuk tempat target zat beracun, sementara beberapa molekul racun diekskresikan melalui sistem ekskresi. Fase toksikodinamik melibatkan interaksi antara toksin dan reseptor (tempat kerja zat toksik) dan proses-proses terkait yang pada akhirnya menghasilkan efek toksik/farmakologis (Wirasuta et al, 2006).

4.3.3 Dampak Timbulan Lumpur IPAL

Timbulan lumpur IPAL yang dihasilkan setelah pengolahan limbah memiliki berbagai dampak terhadap lingkungan, ekonomi, dan kesehatan masyarakat jika tidak dikelola dengan benar. Jumlah timbulan lumpur IPAL yang dihasilkan dari industri bumbu makanan PT. X selama 6 (enam) bulan terakhir pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15. Data Timbulan Lumpur IPAL PT. X

Bulan	Jumlah (Kg)
Januari	9.850
Febuari	10.450
Maret	10.660
April	8.400
Mei	8.090
Juni	10.710
Total	58.160
Rata-rata	9.693.3

Sumber : olah data peneliti tahun 2024

Pengelolaan selama 6 (enam) bulan tahun 2024

Dari data timbunan enam bulan di tahun 2024 lumpur IPAL yang dihasilkan dari proses *sludge dewatering* sebanyak 58,16 ton. Jumlah lumpur ini akan terus bertambah setiap bulannya dan diperlukan pengolahan lanjutan.

Lumpur IPAL mengandung zat organik dan anorganik, termasuk bahan kimia berbahaya seperti logam berat, residu minyak, Beberapa logam berat utama yang mempengaruhi air dan tanah berupa merkuri(Hg), Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Arsenik (As), Kromium (Cr), Nikel (Ni), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn). Adapun hasil pengujian TCLP lumpur IPAL untuk parameter logam berat tersaji pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Analisa Logam Berat Lumpur IPAL PT.X

Parameter	Hasil Pengujian (Lumpur Sesudah IPAL)	Nilai Baku Mutu A	Nilai Baku Mutu B	Keterangan
Merkury (Hg)	<0,0017	0,3	0,05	Dibawah nilai
Timbal (Pb)	<0,003	3	0,5	Dibawah nilai
Kadmium (Cd)	0,005	0,9	0,15	Dibawah nilai
Arsenik (As)	<0,0006	3	0,5	Dibawah nilai
Kromium (Cr)	0,005	15	2,5	Dibawah nilai
Nikel (Ni)	0,016	21	3,5	Dibawah nilai
Tembaga (Cu)	<0,011	60	10	Dibawah nilai
Seng (Zn)	3,46	300	50	Dibawah nilai

Sumber : data primer

Berdasarkan hasil pengujian, kadar logam berat dalam lumpur IPAL industri bumbu makanan PT. X masih berada di bawah nilai baku mutu Limbah B3 kategori 1 (nilai baku mutu A) dan limbah B3 kategori 2 (nilai baku mutu B). Hal ini menunjukkan bahwa timbunan lumpur tersebut secara umum tidak memberikan dampak negatif terhadap ekologi lingkungan air dan tanah jika disebar di area PT. X. Namun, meskipun lumpur IPAL tidak mencemari lingkungan, keberadaannya tetap menimbulkan permasalahan estetika akibat penumpukan di beberapa lokasi. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan lanjutan untuk mengelola lumpur tersebut guna menjaga kebersihan dan kerapian area industri. Namun,

langkah ini tentu memerlukan biaya tambahan yang perlu dipertimbangkan dalam pengelolaan limbah secara keseluruhan.

4.4 Analisis Kelayakan Lumpur IPAL Menjadi Bahan Baku Pupuk Organik

Berdasarkan jenis dan unsur penyusunnya, limbah lumpur hasil pengolahan IPAL berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik. Menurut Kepmentan RI nomor 261/KPTS/SR.301/M/4/2019. pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (handayani, 2021).

Pada hasil penelitian laboratorium terhadap lumpur hasil pengolahan IPAL diketahui tidak memiliki kandungan yang berbahaya, sehingga lumpur IPAL ini dapat digunakan sebagai bahan baku pupuk dan bahan baku lainnya. Adapun potensi dan manfaat lumpur IPAL sebagai berikut.

- Peningkatan kualitas tanah
Lumpur IPAL dapat meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan retensi air, yang sangat penting untuk berkelanjutan pertanian terutama lahan kering.
- Pemanfaatan limbah
Penggunaan lumpur IPAL sebagai pupuk mendukung konsep ekonomi sirkular dengan memanfaatkan Kembali limbah yang seharusnya menjadi polutan untuk tujuan yang bermanfaat.
- Mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.
Penggunaan lumpur IPAL dapat mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia, sehingga menurunkan biaya input pertanian dan dampak negative pupuk kimia terhadap lingkungan.

- Biaya lebih rendah
 Karena lumpur IPAL merupakan hasil samping dari pengolahan limbah, biaya produksinya relatif rendah dibandingkan dengan pupuk komersil. Hal ini membuat lumpur IPAL menjadi pilihan yang lebih ekonomis bagi petani.
- Pengurangan Limbah dan Efisiensi Pengelolaan Limbah
 Mengolah Lumpur IPAL menjadi pupuk akan mengurangi volume limbah yang harus diolah atau dibuang. Hal ini dapat mengurangi biaya pembuangan lumpur IPAL. Selain itu juga dapat membantu mengurangi dampak lingkungan negatif yang biasanya terkait dengan pembuangan lumpur IPAL.
- Lingkungan berkelanjutan (*sustainability Environment*)
 Lumpur IPAL menjadi bahan baku pupuk dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari metode pembuangan lainnya, seperti pembakaran atau penimbunan. Proses pembuatan pupuk organik yang benar dapat mengurangi produksi metana, gas rumah kaca yang kuat ini berkontribusi pada upaya perubahan iklim dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

Unsur hara adalah senyawa organik dan anorganik yang ada di dalam tanah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur hara makro merupakan hara yang dibutuhkan dalam jumlah besar unsur hara makro meliputi nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K). Dari hasil pengujian laboratorium pada contoh uji lumpur IPAL, kandungan unsur hara yang terkandung pada lumpur IPAL pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Lumpur IPAL

No	Parameter Uji	Satuan	Baku mutu	Hasil Uji
Unsur hara				
1	Fosfor	%	0,1-1,5	0,02
2	Nitrogen	%	0,5-2,5	2,01
3	Kalium	%	0,3-3	0,25
Logam berat				
4	Kadmium (Cd)	Mg/kg	Maks 2	0,005
5	Timbal (Pb)	Mg/kg	Maks 50	0,003
6	Merkuri (Hg)	Mg/kg	Maks 1	0,0017

Pada Kepmentan RI nomor 261/KPTS/SR.301/M/4/2019 tentang Pupuk organik, Pupuk Hayati dan Pembenahan Tanah, kandungan unsur hara berupa nitrogen pada lumpur hasil pengolahan IPAL sebesar 2,01 %, Kalium sebesar 0,25% dan Posfor sebesar 0,02 %. Hasil tersebut hanya kandungan posfor yang di bawah nilai baku mutu. Posfor merupakan salah satu unsur hara makro yang sangat penting dalam pertumbuhan tanaman dalam proses fotosintesis dan pembentukan akar. Posfor yang terlalu rendah dalam lumpur IPAL dapat mempengaruhi produktivitas tanaman. Tanpa jumlah posfor yang memadai tanaman akan mengalami hambatan dalam pembentukan akar dan pertumbuhan tunas, yang pada akhirnya akan mengurangi hasil panen.

Dalam sudut pandang ekologi, lumpur IPAL yang kekurangan posfor tidak memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dibandingkan dengan lumpur yang memiliki kandungan posfor berlebih. Kandungan posfor yang berlebih dapat berpotensi menyebabkan eutrofikasi, yaitu ledakan pertumbuhan alga di perairan yang dapat merusak ekosistem air.

Dari hasil analisis unsur hara pada lumpur hasil pengolahan IPAL bumbu makanan. Lumpur IPAL perlu dilakukan pencampuran agar dapat digunakan menjadi pupuk yang baik. Limbah lumpur IPAL sebagai bahan baku dicampur dengan kotoran kambing, serbuk gergaji. Kompos diproses secara aerobik komposter sederhana selama 28 hari dengan menambahkan aktivator EM4 (Cahyadi, 2016).

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Dicky Cahyadi (2016), penelitian yang dilakukan dengan 12 variasi dengan perbedaan variasi perbandingan dan variasi waktu pengomposan. Perbandingan pencampuran bahan baku lumpur IPAL : kotoran kambing : serbuk gergaji yang efektif menjadi pupuk kompos dengan perbandingan komposisi 2:1:1 dengan hasil kompos matang menunjukkan unsur makro, mikro dan unsur lain baku mutu SNI 19-703-2004. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi lumpur IPAL sebagai bahan baku pupuk dapat meningkatkan kesuburan tanah.

4.4.1 Perbandingan Biaya Pengelolaan Limbah B3 Vs Limbah Non-B3

Pengelolaan lumpur IPAL jika dikategorikan sebagai limbah B3 maka perlu dilakukan pengelolaan lebih lanjut oleh pihak ketiga yang memiliki izin pengelolaan lanjut yang sesuai dengan ketentuan. Berdasarkan penelusuran vendor pengangkut dan pengolah lanjut limbah B3. Diketahui biaya pengangkutan sebesar Rp. 40.000.000 per trip dengan 20 ton kapasitas angkut, atau sama dengan Rp 20.000/kg. sedangkan biaya pengolahan limbah B3 pada lumpur IPAL sebesar Rp 1.000.000 /ton atau Rp 1.000/ kg. Estimasi pengangkutan limbah setiap 2 (dua) bulan sekali. Berdasarkan data jumlah timbulan limbah *eksisting* di lokasi kajian, dapat diuraikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18. Rincian Biaya Pengelolaan Lumpur Limbah B3

Bulan	Jumlah Timbulan (Kg)	Biaya Pengangkutan (Trip)	Biaya Pengolahan Limbah B3 (Kg)
Januari	9.850	40.000.000	9.850.000
Febuari	10.450		10.450.000
Maret	10.660	40.000.000	10.660.000
April	8.400		8.400.000
Mei	8.090	40.000.000	8.090.000
Juni	10.710		10.710.000
Jumlah	58.160	120.000.000	58.160.000
Rata-rata	9.693.3	40.000.000	9.693.300

Sumber : olah data peneliti tahun 2024

Pengelolaan selama 6 (enam) bulan tahun 2024

Dari tabel 4.18 jumlah limbah lumpur IPAL selama 6 bulan sebanyak 58.160 Kg dimana biaya pengangkutan lumpur sebesar Rp 120.000.000 per 6 bulan. Sedangkan biaya pengolahan lanjut dari lumpur IPAL dalam 6 bulan sebesar Rp. 58.160.000 per 6 bulan. Dengan demikian total pengolahan lanjut dari limbah lumpur IPAL setiap 6 bulan sebesar Rp. 178.160.000 (*Seratus tujuh puluh delapan juta seratus enam puluh ribu rupiah*)

Selanjutnya pengelolaan lumpur IPAL jika limbah bukan masuk kategori non B3 pada Industri bumbu di PT.X. lumpur IPAL yang dihasilkan setelah proses pengolahan akan dikumpulkan dan dibuang ke pihak ke tiga setiap 1 (satu) kali dalam seminggu. Biaya pengangkutan dari sumber ke pihak ketiga sebesar Rp. 450.000/trip. Selain itu ada biaya penanganan lumpur sebesar Rp. 250.000/trip. Jumlah timbulan limbah *eksisting* di lokasi kajian, dapat diuraikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19. Rincian Biaya Pengangkutan Limbah Non B3

Bulan	Jumlah Timbulan (Kg)	Biaya Pengangkutan (bulan)	Biaya Penanganan (bulan)
Januari	9.850	1.800.000	1.000.000
Febuari	10.450	1.800.000	1.000.000
Maret	10.660	1.800.000	1.000.000
April	8.400	1.800.000	1.000.000
Mei	8.090	1.800.000	1.000.000
Juni	10.710	1.800.000	1.000.000
Jumlah	58.160	10.800.000	6.000.000
Rata-rata	9.693.3		

Sumber : olah data peneliti tahun 2024

Pengelolaan selama 6 (enam) bulan tahun 2024

Dari tabel 4.19. jumlah limbah lumpur IPAL selama 6 bulan biaya pengangkutan lumpur sebesar Rp 10.800.000 per 6 bulan. Sedangkan biaya penanganan dari lumpur IPAL dalam 6 bulan sebesar Rp. 6.000.000. Dengan demikian total pengangkutan dan penanganan dari limbah lumpur IPAL non B3 setiap 6 bulan sebesar Rp. 16.800.000 (*Enam Belas Juta Delapan Ratus ribu rupiah*)

4.4.2 Efisiensi Pemanfaatan Limbah Lumpur setelah Pengolahan IPAL Sebagai Pupuk Organik.

Diketahui analisis biaya mekanisasi produksi pupuk organik (kompos) yang dilakukan penelitian oleh (Wahyono & Sahwan, 2010) dengan sistem windrow di RPH salah satu tempat (Cakung Jakarta Timur) sebesar Rp 807/kg pupuk. Harga yang dianalisis oleh dalam penelitian tersebut sudah memperhatikan dari tenaga kerja, Listrik, bahan bakar, pemeliharaan pengepakan dan bunga bank. Dengan memperhatikan kenaikan harga saat ini, diasumsikan biaya pengelolaan pupuk sebesar Rp 1800/kg pupuk.

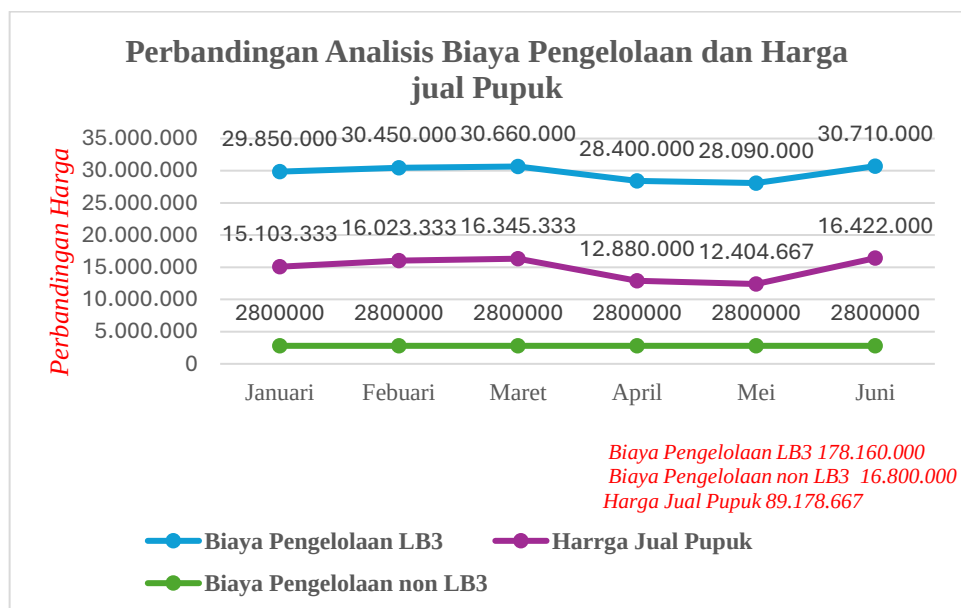
Menurut F.E.D Panjaitan,S.N Lubis.et.al. (2014) untuk menganalisis efisiensi ekonomis, dilakukan regresi faktor -faktor yang mempengaruhi hasil produksi untuk mendapatkan nilai elastisitas atau produk marginal variabel bebas dengan harga input jual pupuk sebesar Rp. 10.000 dengan kemasan ukuran 3 (tiga) kg,maka total pendapatan pada penjualan pupuk tersaji pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20. Harga Jual Pupuk Organik Dengan Kemasan

Bulan	Jumlah Pupuk (Kg)	Pendapatan Penjualan Pupuk	Biaya Pengelolaan Pupuk	Total Keuntungan
Januari	9.850	32.833.333	17.730.000	15.103.333
Febuari	10.450	34.833.333	18.810.000	16.023.333
Maret	10.660	35.533.333	19.188.000	16.345.333
April	8.400	28.000.000	15.120.000	12.880.000
Mei	8.090	26.966.667	14.562.000	12.404.667
Juni	10.710	35.700.000	19.278.000	16.422.000
Jumlah	58.160	193.866.666	104.688.000	89.178.667

Sumber : Observasi harga di market place

Pada Tabel 4.20. Jika penjualan pupuk dibuat hanya kemasan 3 (tiga) kg maka total keuntungan dari penjualan pupuk adalah sebesar Rp 89.178.667, maka analisis efisiensi biaya pemanfaatan limbah lumpur IPAL dapat ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Analisis Biaya Pengelolaan Lumpur IPAL dan Harga Jual Pupuk

Diketahui jika pengelolaan lumpur IPAL sebagai limbah B3, maka jumlah pengangkutan dan pengolahan yang perlu dikeluarkan sebesar Rp. 178.160.000 per 6 bulan (dengan pemilihan asumsi harga pengangkutan menggunakan harga Rp. 1.000/kg pengolahan lumpur) dimana harga nilai jual pupuk dari lumpur IPAL sebesar Rp. 89.178.667

$$Efisiensi = \frac{(\text{Biaya pengelolaan Lumpur sebagai LB3} - \text{Biaya Pengomposan}) \times 100}{\text{Biaya pengelolaan Lumpur sebagai LB3}}$$

$$Efisiensi = \frac{(178.160.000 - 89.178.667) \times 100}{178.160.000}$$

Efisiensi = 50 %

Selanjutnya jika pengelolaan lumpur IPAL sebagai limbah non B3, maka jumlah pengangkutan dan pengolahan yang perlu dikeluarkan sebesar Rp. 16.800.000 per 6 bulan. dimana harga nilai jual pupuk dari lumpur IPAL sebesar Rp. 89.178.667 per 6 bulan.

$$Efisiensi = \frac{(\text{Biaya pengomposan} - \text{Biaya Pengelolaan limbah non B3}) \times 100}{\text{Biaya pengomposan}}$$

$$Efisiensi = \frac{(89.178.667 - 16.800.000) \times 100}{89.178.667}$$

Efisiensi = 81.16%

Berdasarkan analisis biaya yang telah dilakukan, pemanfaatan lumpur IPAL dari industri bumbu sebagai bahan baku pupuk organik memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi biaya pengelolaan limbah hingga 50%, apabila lumpur tersebut dikategorikan sebagai limbah B3. Selain mengurangi biaya pengelolaan limbah, perusahaan juga berpeluang memperoleh manfaat ekonomi tambahan melalui penjualan pupuk organik yang dihasilkan. Dengan produksi lumpur IPAL yang mencapai lebih dari 9 ton/bulan serta harga jual pupuk organik yang kompetitif di pasaran, pemanfaatan ini berpotensi memberikan keuntungan finansial yang signifikan yaitu sebesar Rp. 89.178.667 rupiah.

Jika lumpur IPAL dikategorikan sebagai limbah non-B3, nilai keuntungan dalam penjualan pupuk meningkat secara lebih signifikan, yakni mencapai 81,16%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai jual dari pupuk kompos jauh lebih menguntungkan dibandingkan dengan biaya yang diperlukan untuk mengelola

lumpur IPAL sebagai limbah. Dengan kata lain, konversi lumpur IPAL menjadi kompos menawarkan peluang ekonomi dari segi penjualan produk akhir yang cukup tinggi, Pendekatan ini masih memiliki tantangan terkait biaya produksi dan regulasi. Oleh karena itu, keputusan untuk memanfaatkan lumpur IPAL sebagai bahan kompos atau mengelolanya sebagai limbah non-B3 perlu mempertimbangkan faktor teknis lainnya..

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Penelitian ini berfokus pada pengelolaan lumpur hasil Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dari industri bumbu makanan di PT. X menjadi pupuk organik. Dari hasil uji karakteristik lumpur menunjukkan bahwa lumpur IPAL tidak mudah meledak, tidak reaktif, dan tidak mudah menyala, sesuai dengan pengujian yang dilakukan. Hasil ini menunjukkan lumpur IPAL tidak termasuk kategori limbah B3 berdasarkan karakteristik fisiknya. Ini memberikan dasar kuat untuk evaluasi lanjutan.

Pengujian TCLP menganalisis konsentrasi bahan beracun dalam lumpur, seperti logam berat dan senyawa organik. Semua parameter, termasuk kadmium, kromium, nikel, dan zink, berada di bawah ambang batas yang ditetapkan dalam PP nomor 22 Tahun 2021. Ini menandakan bahwa lumpur dapat dikategorikan sebagai limbah non-B3. Nilai LD50 lumpur IPAL melebihi 5000 mg/kg berat badan mencit, mengkategorikannya sebagai bahan yang "tidak berbahaya" atau "praktis tidak toksik". Penelitian ini memperkuat keamanan lumpur IPAL untuk diaplikasikan sebagai pupuk, asalkan melalui pengolahan lanjutan.

- Proses pengolahan IPAL pada bumbu makanan tingkat kepekatan solid yang tinggi merupakan salah satu penyebab kandungan lumpur yang dihasilkan tinggi. Selain itu juga kandungan organik yang terkandung dalam air limbah dan minyak lemak pada air limbah merupakan pemicu utama tingkat proses kuantitas lumpur menjadi sangat banyak. Industri bumbu makanan pada PT.X sudah melakukan pengurangan kuantitas lumpur IPAL salah satunya dengan proses *sludge dewatering*. Proses pengeringan lumpur (*dewatering*) dan stabilisasi lumpur dapat secara signifikan mengurangi volume lumpur yang harus dikelola. Metode yang digunakan berupa *Filter Press*

Lumpur IPAL juga diuji kandungan unsur haranya, seperti nitrogen, posfor, dan kalium yang penting untuk kesuburan tanah. Hasil pengujian menunjukkan potensi lumpur ini sebagai bahan baku pupuk organik, mendukung pertanian berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah industri.

- Pengolahan lumpur melalui proses *sludge dewatering* menurunkan kadar air, sehingga memudahkan transportasi dan aplikasi lapangan. Metode ini menunjukkan efisiensi tinggi dalam pengelolaan limbah. Berdasarkan analisis yang dilakukan, pemanfaatan lumpur IPAL dari industri bumbu sebagai bahan baku kompos organik memang berpotensi mengurangi biaya pengelolaan limbah dan memberikan nilai tambah ekonomi melalui penjualan kompos. Jika dibandingkan dengan pengelolaan lumpur sebagai limbah non-B3, nilai jual lumpur sebagai pupuk jauh lebih menguntungkan, yakni mencapai 81,16%. Hal ini menunjukkan bahwa secara finansial, besaran nilai penjualan pupuk kompos cukup menguntungkan dibandingkan lumpur IPAL menjadi limbah.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan komprehensif tentang kelayakan lumpur IPAL sebagai pupuk organik. Meski hasilnya menjanjikan, penulis merekomendasikan pengawasan berkelanjutan terhadap kandungan toksik dan uji lapangan lebih lanjut untuk memastikan keamanan dan efektivitas penggunaan lumpur pada skala besar.

5.2. Saran

Saran-saran yang perlu dikembangkan dalam penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

- Industri perlu memastikan bahwa setiap langkah pengelolaan limbah sesuai dengan peraturan yang berlaku, terutama PP nomor 22 Tahun 2021. Untuk mendukung ini, diperlukan pelatihan berkelanjutan bagi tenaga kerja agar memahami standar pengelolaan limbah, khususnya dalam pengendalian toksisitas lumpur IPAL. Langkah ini tidak hanya membantu menghindari sanksi, tetapi juga meningkatkan reputasi perusahaan sebagai entitas yang bertanggung jawab secara lingkungan. Perlu dilakukan pengembangan dan kerjasama antar sektor agar lumpur IPAL dapat lebih optimal dalam penggunaannya seperti bekerjasama dengan petani

- Dalam pengembangan penelitian ini Industri diharapkan menjalin kerja sama dengan akademisi dan lembaga pemerintah untuk mengembangkan metodologi yang lebih efisien dalam pengolahan lumpur IPAL. Kolaborasi ini dapat mencakup penelitian lebih lanjut tentang pengaruh penggunaan lumpur IPAL sebagai pupuk terhadap tanah dan hasil pertanian, serta pengembangan kebijakan yang mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan.
- Perlu dilakukan kampanye edukasi kepada masyarakat, khususnya petani, tentang manfaat dan cara aman menggunakan pupuk organik berbasis lumpur IPAL. Edukasi ini penting untuk meningkatkan penerimaan terhadap produk pupuk dari limbah industri sekaligus mengurangi stigma negatif terkait penggunaannya. Pelibatan masyarakat dalam proses ini juga dapat meningkatkan kepercayaan dan transparansi.
- Diperlukan penelitian jangka panjang untuk memantau dampak lingkungan dan efektivitas lumpur IPAL sebagai pupuk organik. Aspek seperti bioakumulasi logam berat, perubahan sifat tanah, dan dampak terhadap produktivitas tanaman perlu dievaluasi lebih lanjut.
- Industri bumbu makanan disarankan untuk terus mengembangkan dan mengadopsi teknologi pengolahan limbah yang lebih maju, seperti penggunaan *anaerobic digestion* dan *composting*. Metode ini tidak hanya mengurangi volume lumpur IPAL, tetapi juga meningkatkan kualitasnya sebagai pupuk organik. Implementasi teknologi yang ramah lingkungan dapat membantu industri memenuhi standar lingkungan sekaligus mengoptimalkan nilai ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara Sipayung, B. (2021). Pengelolaan Limbah Padat Non-B3 di PT. Wahana Graha Makmur
- Agustina, I.K,Y., Arthagama,I.D.M., Trigunasih, N. M., Narka, I. W., & Sumarniasih, M. S. (2024). Potensi Penambahan *Sludge* Minuman Ringan Berkarbonasi untuk Meningkatkan Mutu Kompos.
- Dicky, Cahyadi. (2016). Pemanfatan Limbah Lumpur (*Sludge*) *Wastewater Treatment Plant* PT.X Sebagai bahan Baku Kompos.
- Friska E D, SN Lubis, Hashim (2014). Analisis Efisiensi Produksi dan Pendapatan Usaha Jagung.
- Haryanto,H,Yusuf,M., Rahayu, M., Rahmiah,S., Muzayyidah,, Salampe., & Ardiansyah,R,T. (2023). Toksikologi Dasar.
- Ikbal, 2016, Peningkatan Kinerja IPAL Lumpur Aktif dengan Penambahan Unit Biofilter (Studi Kasus IPAL Pasaraya Blok M, Kapasitas 420 m3/hari)
- Jenkins, D., & Richard, M. G. (2003). *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems*.
- Lintang Zulqaida Fitrahani*, Nastiti Siswi Indrasti, dan Suprihatin, 2012, Karakterisasi Kondisi operasi dan Optimasi Proses Pengolahan Air Limbah Industri Pangan.
- Maulina, D (2020). "Pemanfaatan Lumpur IPAL Industri Makanan sebagai Bahan Baku Alternatif." *Jurnal Pengolahan Limbah Industri*, Vol. 5, No. 3, pp. 123-135.
- Metcalf & Eddy (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill.
- Mohamad.Rusdi.H ., Agus.Sri.,M .(2021) Pemanfaatan Limbah Lumpur Aktif dari Industri *Crumb Rubber* untuk Memperbaiki Kualitas lahan Persawahan.
- Novarina, Irnaning., H. (2021) Potensi Limbah *Sludge* Aktif Industri Makanan Minuman Sebagai Bahan Baku Pupuk Organik dengan Bantuan Larva *Black Soldier Fly*.
- Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

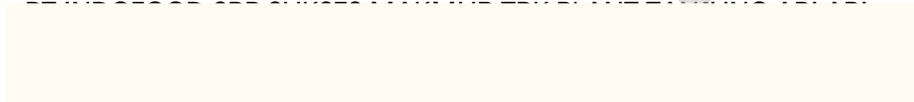
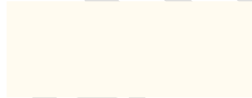
- Spellman, F. R. (2017). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. CRC Press.
- Tian, Y., Sun, X., Li, S., Wang, H. (2020). *Effects of aerobic and anaerobic composting on the transformation of organic matter in sewage sludge*. Bioresource Technology, 312, 123456.
- Wu, H., Chen, Y., Liu, S., et al. (2021). *Development of slow-release fertilizers using sewage sludge-derived biochar*. Environmental Science & Technology, 55 (14), 9784-9793.
- Wirasuta, I.M.A.G., & Niruri, R. (2006). *Toksikologi Umum*. Universitas Udayana, Bali.

LAMPIRAN

ANALYTICAL REPORT

JOB NUMBER : 2011436

Prepared For :



Signature
Name : Armelco Uyun
Title : Technical Manager

PT SYSLAB

Plaza Amsterdam Blok D-2 Sentul City Bogor
Phone : 62-21-879-62155, Fax : 62-21-879-60212, E-mail : syslab@syslab.co.id
Website : <http://www.syslab.co.id>

The analyses, opinions, or interpretations contained in this report are based upon observations and material supplied by the client for whose exclusive and confidential use this report has been made. The interpretations or opinions expressed represent the best judgement of PT. SysLab. PT. SysLab assumes no responsibility and makes no warranty or representations, express or implied, as to the productivity, proper operations, or profitability, however, of any oil, gas, coal, or other mineral property, well, or sand in connection with which such report is used or relied upon for any reason whatsoever. This report shall not be reproduced except in whole and upon the written approval of PT. SysLab.

SAMPLE INFORMATION	
Job Number	: 2011436
Customer	: XXXXXXXXXX
Attention	: SHEL
Sampled by	: Customer

Laboratory Sample ID	Customer Sample ID	Sample Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis	Position	
								Latitude	Longitude
2011436-1/2 2011436-2/2	Lumpur Sumpit Lumpur pengolahan WWTP	Sludge Sludge	- -	- -	<div><div></div></div>	14:52 14:52		- -	- -

LABORATORY TEST RESULTS

Job Number : 2011436							
Customer :		Attention : SHE			Position:		
Lab. Sample	Customer Sample ID	Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis
2011436-1/2	Lumpur Sumpit	Sludge	-	-		14:52	08/06 to 23/06
NO.	TEST DESCRIPTION	RESULT	REGULATORY LIMIT*		UNIT	METHOD	
			A	B			
	Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP):					US EPA 1311-1992	
	Anorganic						
1	Antimony, Sb	0.013	6	1	mg/L	APHA 3120B 2017	
2	Arsenic, As	<0.0006	3	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
3	Barium, Ba	0.1088	210	35	mg/L	APHA 3120B 2017	
4	Berilium, Be	<0.001	4	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
5	Boron, B	0.041	150	25	mg/L	APHA 3120B 2017	
6	Cadmium, Cd	<0.001	0.9	0.15	mg/L	APHA 3120B 2017	
7	Hexavalent Chromium, Cr ⁶⁺	0.006	15	2.5	mg/L	SNI 6989.71-2009	
8	Copper, Cu	<0.011	60	10	mg/L	APHA 3120B 2017	
9	Lead, Pb	<0.003	3	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
10	Mercury, Hg	<0.0017	0.3	0.05	mg/L	IKM-109 (ICP OES)	
11	Molibdendum, Mo	<0.001	21	3.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
12	Nickel, Ni	0.008	21	3.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
13	Selenium, Se	<0.002	3	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
14	Silver, Ag	<0.002	40	5	mg/L	APHA 3120B 2017	
15	Tributyltin Oxide **	<0.021	0.4	0.05	mg/L	EPA 6710	
16	Zinc, Zn	0.6214	300	50	mg/L	APHA 3120B 2017	
	Anion						
1	Chloride, Cl ⁻	911.2	75000	12500	mg/L	SNI 6989.19-2009	
2	Total Cyanide, CN**	<0.006	21	4	mg/L	US EPA 335.2-1980	
3	Fluorides, F ⁻	0.59	450	75	mg/L	SNI 06-6989.29-2005	
4	Iodide, I ^{***}	<0.05	40	5	mg/L	APHA 4500-I-B	
5	Nitrate, NO ₃ -N	0.024	15000	2500	mg/L	SNI 6989.79-2011	
6	Nitrite, NO ₂ -N	0.0073	900	150	mg/L	SNI 06-6989.9-2004	
	Organic						
1	Benzene	<0.0019	3	0.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
2	Benzo(a)pirena	<0.0005	0.004	0.0005	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
3	Carbon tetrachloride	<0.0019	1.2	0.2	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
4	Chlorobenzene	<0.0007	120	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
5	Chloroform**	<0.0006	24	3	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
6	2 Chlorophenol**	<0.0033	120	5	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
7	Total Cresol**	<0.0119	800	100	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
8	Di (2 etilheksil) ftalat**	<0.0019	2.4	0.4	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
9	1,2-Dichlorobenzene	<0.0003	300	50	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
10	1,4-Dichlorobenzene	<0.0003	90	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
11	1,2-Dichloroethane	<0.0028	15	2.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
12	1,1-Dichloroethylene	<0.0047	12	3	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
13	1,2-Dichloroethylene	<0.0028	15	2.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
14	Dichloromethane (methylene chloride)	<0.0012	6	1	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
15	2,4-Dichlorophenol**	<0.0048	80	10	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
16	2,4-Dinitrotoluene**	<0.0047	0.52	0.065	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	

LABORATORY TEST RESULTS

Job Number : 2011436							
Customer :		Attention : SHE			Position:		
Lab. Sample	Customer Sample ID	Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis
2011436-1/2	Lumpur Sumpit	Sludge	-	-			
NO.	TEST DESCRIPTION	RESULT	REGULATORY LIMIT*		UNIT	METHOD	
			A	B			
17	Ethylbenzene	<0.0021	90	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
18	Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA)**	<0.3	180	30	mg/L	US EPA 130.2-1983	
19	Formaldehyde**	<0.3	200	25	mg/L	Nash Reagent (Spectrofotometer UV)	
20	Hexachlorobutadiene	<0.0004	0.18	0.03	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
21	Methyl ethyl ketone**	<0.0119	800	100	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
22	Nitrobenzene**	<0.0059	8	1	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
23	Phenol (total, non-terhalogenasi)**	<0.0129	56	7	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
24	Styrene	<0.0003	6	1	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
25	1,1,1,2-Tetrachloroethane	<0.0005	40	4	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
26	1,1,2,2-Tetrachloroethane	<0.0011	5.2	0.65	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
27	Tetrachloroethylene (PCE)	<0.002	20	2.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
28	Toluene	<0.0018	210	35	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
29	Trichlorobenzene (total)	<0.0017	12	1.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
30	1,1,1-Trichloroethane	<0.0006	120	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
31	1,1,2-Trichloroethane	<0.0005	4.8	0.6	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
32	Trichloroethylene (TCE)	<0.0012	2	0.25	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
33	2,4,5-Trichlorophenol**	<0.0062	1600	200	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
34	2,4,6-Trichlorophenol**	<0.0034	8	1	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
35	Vinyl chloride**	<0.0009	0.12	0.015	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
36	Xsilene (total)	<0.0003	150	25	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
	Pesticide						
1	Aldrin + Dieldrin**	<0.0006	0.009	0.0015	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
2	DDT + DDD + DDE	<0.0005	0.3	0.05	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
3	2,4-D (2,4-Dichloro phenoxyacetic acid)**	<0.0034	9	1.5	mg/L	US EPA Method 8150B-1994	
4	Chlordane**	<0.0005	0.06	0.01	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
5	Heptachlor **	<0.0007	0.12	0.015	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
6	Lindane**	<0.0006	0.6	0.1	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
7	Methoxychlor**	<0.0006	6	1	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
8	Pentachlorophenol**	<0.0006	2.7	0.45	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
	Additional Parameters						
1	Endrin**	<0.0007	0.12	0.02	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
2	Hexachlorobenzene	<0.0009	0.80	0.13	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
3	Hexachloroethane**	<0.0009	18	3	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
4	Pyridine**	<0.0009	30	5	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
5	Toxaphene**	<0.0129	3	0.5	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
6	2,4,5-TP (Silvex)**	<0.0062	6	1	mg/L	US EPA Method 8150B-1994	

LABORATORY TEST RESULTS

Job Number : 2011436			Date :				
Customer :			Attention : SHE			Position:	
Lab. Sample	Customer Sample ID	Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis
2011436-2/2	Lumpur pengolahan WWTP	Sludge	-	-			
NO.	TEST DESCRIPTION	RESULT	REGULATORY LIMIT*		UNIT	METHOD	
			A	B			
	Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP):					US EPA 1311-1992	
	Anorganic						
1	Antimony, Sb	<0.001	6	1	mg/L	APHA 3120B 2017	
2	Arsenic, As	<0.0006	3	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
3	Barium, Ba	0.4062	210	35	mg/L	APHA 3120B 2017	
4	Berilium, Be	<0.001	4	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
5	Boron, B	0.204	150	25	mg/L	APHA 3120B 2017	
6	Cadmium, Cd	0.005	0.9	0.15	mg/L	APHA 3120B 2017	
7	Hexavalent Chromium, Cr ⁶⁺	0.005	15	2.5	mg/L	SNI 6989.71-2009	
8	Copper, Cu	<0.011	60	10	mg/L	APHA 3120B 2017	
9	Lead, Pb	<0.003	3	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
10	Mercury, Hg	<0.0017	0.3	0.05	mg/L	IKM-109 (ICP OES)	
11	Molibdenum, Mo	<0.001	21	3.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
12	Nickel, Ni	0.016	21	3.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
13	Selenium, Se	<0.002	3	0.5	mg/L	APHA 3120B 2017	
14	Silver, Ag	<0.002	40	5	mg/L	APHA 3120B 2017	
15	Tributyltin Oxide **	<0.021	0.4	0.05	mg/L	EPA 6710	
16	Zinc, Zn	3.4637	300	50	mg/L	APHA 3120B 2017	
	Anion						
1	Chloride, Cl ⁻	295.5	75000	12500	mg/L	SNI 6989.19-2009	
2	Total Cyanide, CN**	<0.006	21	4	mg/L	US EPA 335.2-1980	
3	Fluorides, F ⁻	1.39	450	75	mg/L	SNI 06-6989.29-2005	
4	Iodide, I ^{***}	<0.05	40	5	mg/L	APHA 4500-I-B	
5	Nitrate, NO ₃ -N	0.023	15000	2500	mg/L	SNI 6989.79-2011	
6	Nitrite, NO ₂ -N	0.0067	900	150	mg/L	SNI 06-6989.9-2004	
	Organic						
1	Benzene	<0.0019	3	0.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
2	Benzo(a)pirena	<0.0005	0.004	0.0005	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
3	Carbon tetrachloride	<0.0019	1.2	0.2	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
4	Chlorobenzene	<0.0007	120	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
5	Chloroform**	<0.0006	24	3	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
6	2 Chlorophenol**	<0.0033	120	5	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
7	Total Cresol**	<0.0119	800	100	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
8	Di (2 etilheksil) ftalat**	<0.0019	2.4	0.4	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
9	1,2-Dichlorobenzene	<0.0003	300	50	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
10	1,4-Dichlorobenzene	<0.0003	90	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
11	1,2-Dichloroethane	<0.0028	15	2.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
12	1,1-Dichloroethylene	<0.0047	12	3	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
13	1,2-Dichloroethylene	<0.0028	15	2.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
14	Dichloromethane (methylene chloride)	<0.0012	6	1	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
15	2,4-Dichlorophenol**	<0.0048	80	10	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
16	2,4-Dinitrotoluene**	<0.0047	0.52	0.065	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	

LABORATORY TEST RESULTS							
Job Number : 2011436				Date :			
Customer :							
Lab. Sample	Customer Sample ID	Matrix	Date Sampled	Time Sampled	Date Received	Time Received	Interval Analysis
2011436-2/2	Lumpur pengolahan WWTP	Sludge	-	-			
NO.	TEST DESCRIPTION	RESULT	REGULATORY LIMIT*		UNIT	METHOD	
			A	B			
17	Ethylbenzene	<0.0021	90	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
18	Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA)**	<0.3	180	30	mg/L	US EPA 130.2-1983	
19	Formaldehyde**	<0.3	200	25	mg/L	Nash Reagent (Spectrofotometer UV)	
20	Hexachlorobutadiene	<0.0004	0.18	0.03	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
21	Methyl ethyl ketone**	<0.0119	800	100	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
22	Nitrobenzene**	<0.0059	8	1	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
23	Phenol (total, non-terhalogenasi)**	<0.0129	56	7	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
24	Styrene	<0.0003	6	1	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
25	1,1,1,2-Tetrachloroethane	<0.0005	40	4	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
26	1,1,2,2-Tetrachloroethane	<0.0011	5.2	0.65	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
27	Tetrachloroethylene (PCE)	<0.002	20	2.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
28	Toluene	<0.0018	210	35	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
29	Trichlorobenzene (total)	<0.0017	12	1.5	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
30	1,1,1-Trichloroethane	<0.0006	120	15	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
31	1,1,2-Trichloroethane	<0.0005	4.8	0.6	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
32	Trichloroethylene (TCE)	<0.0012	2	0.25	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
33	2,4,5-Trichlorophenol**	<0.0062	1600	200	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
34	2,4,6-Trichlorophenol**	<0.0034	8	1	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
35	Vinyl chloride**	<0.0009	0.12	0.015	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
36	Xsilene (total)	<0.0003	150	25	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
	Pesticide						
1	Aldrin + Dieldrin**	<0.0006	0.009	0.0015	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
2	DDT + DDD + DDE	<0.0005	0.3	0.05	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
3	2,4-D (2,4-Dichloro phenoxyacetic acid)**	<0.0034	9	1.5	mg/L	US EPA Method 8150B-1994	
4	Chlordane**	<0.0005	0.06	0.01	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
5	Heptachlor **	<0.0007	0.12	0.015	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
6	Lindane**	<0.0006	0.6	0.1	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
7	Methoxychlor**	<0.0006	6	1	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
8	Pentachlorophenol**	<0.0006	2.7	0.45	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
	Additional Parameters						
1	Endrin**	<0.0007	0.12	0.02	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
2	Hexachlorobenzene	<0.0009	0.80	0.13	mg/L	US EPA Method 8240B-1994	
3	Hexachloroethane**	<0.0009	18	3	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
4	Pyridine**	<0.0009	30	5	mg/L	US EPA Method 8270D-1998	
5	Toxaphene**	<0.0129	3	0.5	mg/L	US EPA Method 8080A-1994	
6	2,4,5-TP (Silvex)**	<0.0062	6	1	mg/L	US EPA Method 8150B-1994	

LETHAL DOSE - 50 (ACUTE TOXICITY TEST)

S-LD50-012-2011436-1/2 & S-LD50-012-2011436-2/2

SLUDGE

Initiator:

Consultant:

PT SYSLAB

Jl. M. H. Thamrin

Plaza Amsterdam Block D2-D6 Sentul City,

BOGOR 16811

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR	3
DAFTAR LAMPIRAN	3
ACUTE TOXICITY TEST (LD 50).....	4
I. PENDAHULUAN.....	4
1.1 Ringkasan.....	4
1.2 Bahan dan Metode Uji.....	4
II. PENGUJIAN DAN PENGAMATAN.....	5
2.1 Preparasi Sampel	5
2.2 Pemeriksaan Kesehatan dan Aklimatisasi Hewan Uji	5
2.3 Penentuan Rentang Dosis Kasar	5
2.4 Pemantauan Kondisi Lingkungan	5
2.5 Uji Toksisitas Akut	6
III. DATA UJI LD50.....	6
Identifikasi sampel	6
IV. PENGOLAHAN DATA	7
4. 1 Basic Computer Program – LD 50 AOT 425 Statpgm OECD 425.....	7
V. PEMBAHASAN.....	10
5.1 Analisis Level Toksisitas Akut (Basic Computer Program prangkat lunak AOT 425 Statpgm).....	10
VI KESIMPULAN	11
6.1 Kesimpulan	11
LAMPIRAN.....	12

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sampel Nomor S-LD50-012-2011436-1/2.....	7
Gambar 2 Sampel Nomor S-LD50-012-2011436-2/2.....	8
Gambar 3 Sampel disiapkan dengan penambahan air distilasi (W / V) - 25 gr/110 ml, kemudian diaduk menjadi larutan dan di buat kosentrasi Dosis sebelum diberikan secara oral.	12
Gambar 4 Pilihan Tikus yang Dapat Diterima untuk Tes	12
Gambar 5 Periksa Berat (20-25 g) untuk Test & Have Fasting (18-20 jam).....	13
Gambar 6 Aplikasi Oral untuk Peningkatan Dosis dasar program komputer.....	13
Gambar 7 Pemeliharaan Setelah Aplikasi Oral untuk Dosis Kasar.	13
Gambar 8 Nekropsi Pengamatan	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Appendix - Step Test	12
Lampiran 2 Lembar Kerja Analys LD50	14
Lampiran 3 Langkah Pengamatan.....	17

ACUTE TOXICITY TEST (LD 50)

I. PENDAHULUAN

1.1 Ringkasan

Toksisitas akut suatu zat dapat ditentukan dengan reaksi hewan uji terhadap uji LD50 yang dilakukan. LD50 adalah rangkaian protokol analisis yang dilakukan terhadap limbah berbahaya (B3) dengan menggunakan tikus sebagai hewan percobaan. Uji LD50 diperlukan untuk menentukan kesesuaian suatu bahan dengan peraturan pemerintah No. 55 tahun 2016 (lampiran 1) sehubungan dengan LD50 yang menyangkut pada metoda uji OECD 425 terhadap limbah B3 yang berhubungan dengan pembuangan limbah.

1.2 Bahan dan Metode Uji

Bahan uji berupa larutan sampel No.S-LD50-012-2011436-1/2 & No.S-LD50-012-2011436-2/2 Sludge diaplikasikan secara oral dengan menggunakan prosedur AOT 425 StatPgm (OECD 425) Toksisitas Akut (LD50). Teknik yang digunakan dalam metode uji ini adalah alternatif uji LD50 baru dari SNI 7184.5.2017 dan berlaku untuk cairan dan padatan.

Hewan uji yang digunakan adalah mencit dengan jenis ddy. Hewan uji tidak boleh diberi makan selama 3-4 jam sebelum aplikasi uji LD 50 per oral menggunakan tabung perut “sonde lambung” sesuai dosis yang dibutuhkan. Pengamatan dilakukan untuk melihat adanya hewan uji yang mati dalam waktu 24 jam. Hewan uji diamati pada tanda kematian dan farmakologis secara berkala. Bobot dari semua hewan uji ditimbang pada hari ke-7 dan dilakukan nekropsi kotor pada hari yang sama. Kegiatan nekropsi harus disertai pemeriksaan makroskopis pada semua organ visceral.

II. PENGUJIAN DAN PENGAMATAN

Protokol analisis pretreatment harus dilakukan sebelum penerapan tes LD50. Berikut merupakan protokol analisis pretreatment pada tes LD50:

2.1 Preparasi Sampel

Contoh No.S-LD50-012-2011436-1/2 & No.S-LD50-012-2011436-2/2 disiapkan dengan penambahan air distilasi (W / V) 25 gram/100 ml (Sukardjo, 1997), diaduk menjadi larutan sebelum diberikan secara oral. Bahan harus dalam bentuk cair, yaitu cairan, larutan, suspensi atau emulsi, sesuai untuk administrasi oleh gavage (secara oral). Bahan sampel disiapkan dengan dimasukkan ke dalam tabung karet sesuai dosis yang dibutuhkan.

2.2 Pemeriksaan Kesehatan dan Aklimatisasi Hewan Uji

Pemeriksaan kesehatan dilakukan untuk mendapatkan spesimen terpilih yang memiliki kondisi kesehatan rata-rata dan representatif. Aklimatisasi dilakukan untuk menormalkan spesimen kondisi psikologis dari habitat lama mereka ke habitat baru di laboratorium. Proses ini dilakukan setidaknya satu minggu sebelum pengujian.

2.3 Penentuan Rentang Dosis Kasar

Pemilihan dosis sering didasarkan pada studi percontohan. Temuan kisaran dosis kasar. Hewan diberi dosis satu kali untuk memulai hewan pertama dengan perkiraan terbaik dari LD50. Jika hewan ini bertahan maka hewan berikutnya akan mendapat dosis yang lebih tinggi tetapi jika hewan pertama meninggal, hewan berikutnya akan mendapat dosis yang lebih rendah. Kadar dosis ditingkatkan dengan faktor perkalian atau pembagian nilai konstan (1.6) dari nilai LD50 yang diasumsikan. Kisaran dosis yang dipilih untuk penentuan LD50 digambarkan oleh dosis tertinggi yang tidak menyebabkan kematian dan dosis terendah yang menyebabkan kematian pada setiap hewan.

2.4 Pemantauan Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan yang harus diperhatikan ketika tes berlangsung, yaitu:

2.5 Uji Toksisitas Akut

Setelah rentang dosis kasar diperoleh, uji dilakukan dengan 5-6 kelompok tikus yang diberi dosis secara bertahap sesuai jumlah kelompok tikus. Pengamatan dilakukan minimal selama 24 jam. Hewan diamati selama 7 hari untuk menentukan dosis kematian dari masing-masing hewan uji. Hewan yang masih hidup ditimbang dan dilakukan nekropsi kotor pada hari ke-7.

III. DATA UJI LD50

Identifikasi sampel

Perusahaan :
No. Sampel :
ID. Sampel : **Sludge**
Volume/berat : 0.5Kg
Tanggal Perlakuan :

Parameter Lingkungan

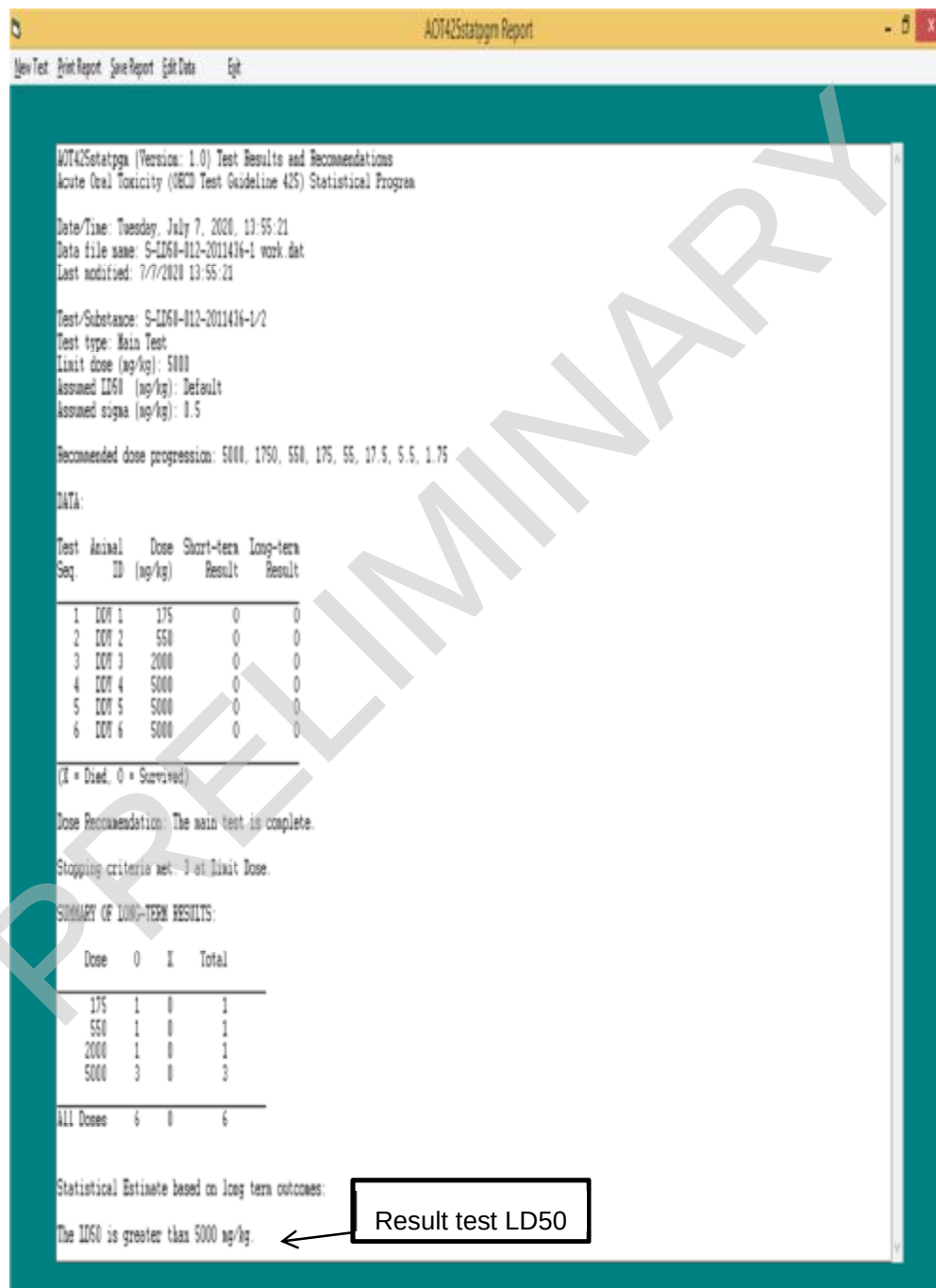
Suhu (°C) : 23 – 26
Kelembaban : 50.5% – 80.5%
Kebisingan : 40 – 52 dB(A)
Lux meter : 591 – 680

Informasi Spesies

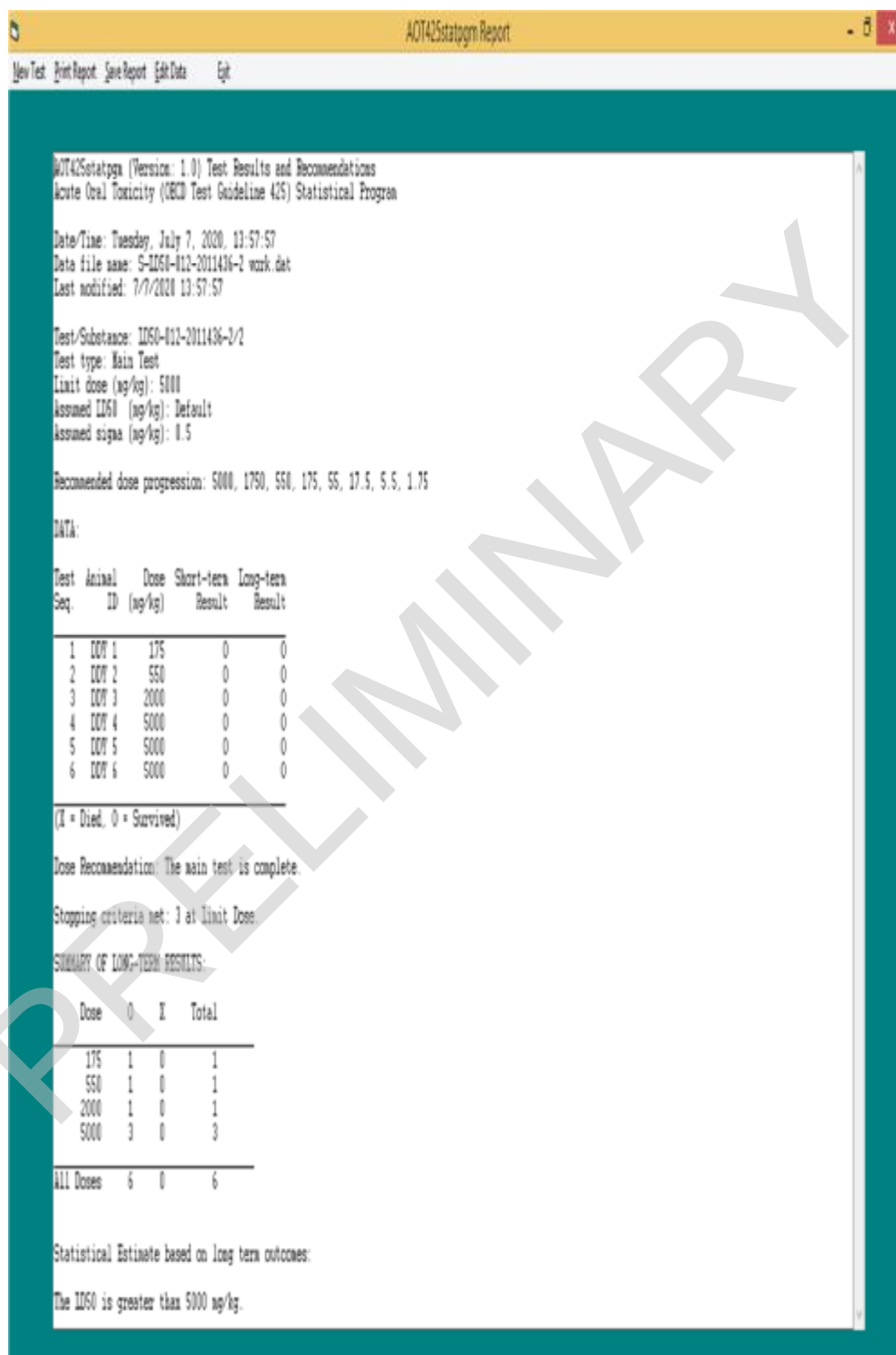
Species : *Mus musculus*
Sumber : LD50 SYSLAB
Tgl Pengumpulan :
Umur :
Berat (g) : 20–25
Jenis kelamin : betina

IV. PENGOLAHAN DATA

4. 1 Basic Computer Program – LD 50 AOT 425 Statpgm OECD 425



Gambar 1 Sampel Nomor S-LD50-012-2011436-1/2



Gambar 2 Sampel Nomor S-LD50-012-2011436-2/2

Tanda Farmakologis (Setelah Pemberian Dosis secara Oral)

Setelah pemberian oral, spesies uji mengalami diare, berat badan meningkat pada hari ke 2% dan peningkatan respirasi, konsumsi pakan dan minum stabil dikarenakan konsumsi pakan yang diberikan sebesar 5 gram per hari, di makan dan tidak tersisa. mencit melakukan grooming setiap hari, menandakan mencit melakukan aktifitas normal untuk perilaku harian. Setiap seluruh mukosa seperti mulut hidung dan mata terlihat normal dan tidak ada perubahan (diamati dalam 24 jam sampai hari ke 7 pada setiap dosis).

Anatomi Patologi (Post Mortem):

Setelah 7 hari pengamatan selanjutnya dilakukan dengan nekropsi bertujuan untuk melihat kondisi makroskopis terhadap struktur organ khususnya pada hati dan ginjal.

A. S-LD50-012-2011436-1/2

Pada pengamatan hewan uji 2011436-1/2 hati dan ginjal kondisi baik dan hati berwarna merah tua dan tidak ada bercak atau bintik putih, pada ginjal tidak terdapat spot yang mengacu pada kelainan dalam artian hati dan ginjal tidak ada kelainan (Normal),

A. S-LD50-012-2011436-2/2

Pada pengamatan hewan uji 2011436-2/2 hati dan ginjal kondisi baik dan hati berwarna merah tua dan tidak ada bercak atau bintik putih, pada ginjal tidak terdapat spot yang mengacu pada kelainan dalam artian hati dan ginjal tidak ada kelainan (Normal),

V. PEMBAHASAN

5.1 Analisis Level Toksisitas Akut (Basic Computer Program prangkat lunak AOT 425 Statpgm)

Nilai LD50 diperoleh dengan perhitungan program komputer dasar: Sampel S-LD50-012-2011436-1/2 & S-LD50-012-2011436-1/2 Sladge >5000 mg/kg BB. Tingkat toksisitas dapat dibandingkan dengan toksisitas oral akut pada manusia. Uji toksikologi dilakukan terhadap hasil pengolahan limbah minimal sekali pengujian untuk setiap jenis limbah untuk menentukan nilai LD50. Karakteristik toksikologi bahan uji memiliki nilai uji toksikologis LD50 besar dari 5000 mg/Kg Pengujian Berat Badan Hewan, (Peraturan Pemerintah No. 91, 1999; No. 74, 2008; No 111, 2018 dan No. 55, 2018) maka bahan Uji **Praktis Tidak Beracun**.

Tabel 1 Tingkat Toksisitas Oral pada Manusia

Tingkat Toksisitas	LD50 per Oral Dosis Tunggal dan Berat Badan (mg/kg)
1. Relative kurang berbahaya	>15000
2. Praktis tidak toksik	5000 – 15000
3. Sedikit toksik	500 – 5000
4. Cukup toksik	50 – 500
5. Sangat toksik	5 – 50
6. Super toksik	< 5

Gosselin, Smith, Hodge, 1984 and Cassaret, L. J. Doull, 1990.

VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan Tabel Tingkat Toksisitas Oral pada Manusia di atas, dapat disimpulkan bahwa Sampel S-LD50-012-2011436-1/2 & S-LD50-012-2011436-1/2 > 5000 mg/kg BB. (**Praktis Tidak Beracun**).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Appendix - Step Test



Gambar 3 Sampel disiapkan dengan tambahan air distilasi (W / V) - 25 gr/110 ml, kemudian diaduk menjadi larutan dan di buat konsentrasi Dosis sebelum diberikan secara oral.



Gambar 4 Pilihan Tikus yang Dapat Diterima untuk Tes



Gambar 5 Periksa Berat (20-25 g) untuk Test & Have Fasting (18-20 jam)
Sebelum Aplikasi oral



Gambar 6 Aplikasi Oral untuk Peningkatan Dosis dasar program komputer



Gambar 7 Pemeliharaan Setelah Aplikasi Oral untuk Dosis Kasar.

Lampiran 2 Lembar Kerja Analys LD50

		LEMBAR KERJA ANALISIS PENGUJIAN LD 50		
Parameter	: LD 50	Spesies / Galur hewan uji	: DDY	
Kode contoh uji	: LD50-012-2011436-1/2	Jenis kelamin hewan uji	: Betina	
Jenis contoh uji	: Sludge	Umur hewan uji	: 8 Minggu	
Tanggal penerimaan sampel	:	Berat hewan uji	: 25.50	
Metode	:	Pemberian makanan	: Adlibitum	
Rule pemberian	:	Pemberian minuman	: Adlibitum	
Tanggal aklimatisasi	:	Isolasi per-hewan	: Aquales	
Tanggal mulai analisis	:	Keterangan	:	
Tanggal selesai analisis	:			
1. hasil contoh uji LD50 contoh uji				
menit	Tanggal analisis	dosis	hasil pengamatan	
			48 jam	7 hari
DDY NO 1	: 30-06-2020	175	0	0
DDY NO 2	: 30-06-2020	550	0	0
DDY NO 3	: 30-06-2020	2000	0	0
DDY NO 4	: 30-06-2020	5000	0	0
DDY NO 5	: 30-06-2020	5000	0	0
DDY NO 6	: 30-06-2020	5000	0	0
Keterangan	X = mati 0 = hidup			
Hasil LD 50 berdasarkan AOT4251alpgm:	>5000	mg/kg		

 LEMBAR KERJA ANALISIS PENGUJIAN LD 50			
Parameter	: LD 50	Spesies / Galur hewan uji	: DDY
Kode contoh uji	: LD50-012-2011436-2/2	Jenis kelamin hewan uji	: Betina
Jenis contoh uji	: Sludge	Umur hewan uji	: 8 Minggu
Tanggal penerimaan sampel	: 1	Berat hewan uji	: 25.50
Metode	: 1	Pemberian makanan	: Adlibitum
Rute pemberian	: 1	Pemberian minuman	: Adlibitum
Tanggal aklimatisasi	: 1	Isolasi per-hewan	: Aquadul
Tanggal mulai analisis	: 1	Keterangan	:
Tanggal selesai analisis	: 1		
1. hasil contoh uji LD50 contoh uji			
menit	Tanggal analisis	dosis	hasil pengamatan
			48 jam 7 hari
DDY NO 1	: 30-06-2020	175	☐ ☐
DDY NO 2	: 30-06-2020	550	☐ ☐
DDY NO 3	: 30-06-2020	2000	☐ ☐
DDY NO 4	: 30-06-2020	5000	☐ ☐
DDY NO 5	: 30-06-2020	5000	☐ ☐
DDY NO 6	: 30-06-2020	5000	☐ ☐
Keterangan	X = mati O = hidup		
Hasil LD 50 berdasarkan AOT4255 (alpgm):		>5000 mg/kg	

 LEMBAR KERJA DATA KUNIS PENGUJIAN HEWAN																						
SAMPUL NO	: LD50-012-2011436-LD	DOSE :	175 5000																			
SARANG III	: Sludge	WAKTU SEMULAN :																				
METODE	: OECD																					
TANGGAL MULAI	: 30-06-2020																					
TANGGAL SELESAI	: 07-07-2020																					
PENGAMATAN	PENGAMATAN MENIT KE										PENGAMATAN JAM KE				PENGAMATAN HARI KE							
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	360	480	1	2	3	4	5	6	7		
Patologi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
aktivitas motorik	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
temper	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
semah	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
postural	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
letarg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
ciara	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
grooming	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
salivasi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
ptosis	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
refleksi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
reflekso-mea	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
reflekspinea	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
meningitisme	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
reflekso-mea	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		
berat badan (g)														25.8	25.81	25.81	25.81	25.81	25.8	25.81		
pemberian pakan (g)														5	5	5	5	5	5	5		
waktu gelap terang (jam)														12	12	12	12	12	12	12		



LEMBAR KERJA DATA KLINIS PENGUJIAN HEWAN

SAMPLE NO : LD50-012-2011436-2/2 DOSIS : 175-5000
 BAHAN UJI : Sludge
 METODE : OECD WAKTU KEMATIAN :
 TANGGAL MULAI : 30-06-2020
 TANGGAL SELESAI : 07-07-2020

PARAMETER	PARAMETER KLINIS										PARAMETER KLINIS							PARAMETER KLINIS						
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7				
Perilaku	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
aktivitas motorik	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
respons	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
pernafasan	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
kelelahan	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
diare	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
gastroenteritis	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
salivasi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
ptosis	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
ileksi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
refleks cahaya	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
refleks pinset	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
pengaliran	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
retensi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
berat badan (g)														25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86	25.86
perubahan pakan (g)														2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
waktu gelap terang (jam)														12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Lampiran 3 Langkah Pengamatan

[Periksa Kondisi Kinerja, Anatomi Patologis, dan Berat Badan].
(Amati setiap hewan minimal 24 jam sampai 7 hari)



Gambar 8 Nekropsi Pengamatan

Kepada : Bagas Pandu Mursanto
To Perumahan Citra Lestari Blok A10, RT 01 RW 01 Kel/Desa Sukajaya,
Kec. Sukarami

LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Nomor /Number : 004657/LHU/B021601/24/IX

Nomor Tanda Terima Contoh /
Received Order Number : OB02160101010324032397

Nomor Seri / Serial Number : 004657

Halaman / Page(s) : 1 dari 2

Tanggal Penerbitan /Date of issued : 04 September 2024

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan, bahwa hasil pengujian dari :

The undersigned here by states that the testing of :

Contoh /Sample (s) : Sludge

Kode / Code : SB021601001006003648

Status Penerimaan Contoh : Diantar pemilik contoh

Status Sample Admission

Keterangan Contoh : Dikemas Dalam Wadah Plastik

Description of Sample

Lokasi / Location :

Tanggal di terima : 14 Agustus 2024

Date of Acceptance

Tanggal pengujian : 19 Agustus 2024

Date of testing

Dengan hasil sebagai berikut :

The result to as follows

Nomor Seri : 004657
Serial Number

Nomor / : 004657/LHU/B021601/24/IX
Number

Nomor Tanda Terima : OB02160101010324032397

Contoh /

Received Order Number

Halaman/Page (s) : 2 dari 2

NO	PARAMETER UJI	SATUAN	PERSYARATAN/ BAKU MUTU	HASIL UJI	METODE UJI
1	Merkuri (Hg) ^{a)}	mg/kg	-	0,21	MU 8.23.(2).60
2	Nitrogen ^{a)}	%	-	2,01	MU.8.23.(2).57
3	K ₂ O ^{a)}	%	-	0,25	MU 8.23.(2).58
4	Kadmium (Cd) ^{a)}	mg/Kg	-	3,37	MU 8.23.(2).59
5	Timbal (Pb) ^{a)}	mg/Kg	-	10,32	MU 8.23.(2).59
6	P ₂ O ₅ total ^{a)}	%	-	0,02	MU 8.23.(2).58

Keterangan :

SB021601001006003648 : Sludge

Semua parameter dihitung atas dasar berat kering (adbk)

a) Tidak Terakreditasi, ^{c)} Tersubkon

Acuan : -

ASLI

Original

Kepala BSPJI

Head Of BSPJI

Palembang



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIC INDONESIA



Syamdian

Tembusan :

Ketua Tim Kerja Pengembangan Jasa Industri

Ketua Tim Kerja Pengujian Kalibrasi Inspeksi dan Verifikasi