TUGAS AKHIR – RE184804

EVALUASI PROSES PENGERINGAN LUMPUR PADA UNIT SLUDGE DEWATERING DENGAN MEDIA FILTER CLOTH DI IPAL KOMUNAL TELAGA ABADI KABUPATEN GRESIK

SULTHAN MUCHAMMAD QUDS

NRP. 03211840000034

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

NIP. 19590811 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2022

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TUGAS AKHIR – RE184804

EVALUASI PROSES PENGERINGAN LUMPUR PADA UNIT SLUDGE DEWATERING DENGAN MEDIA FILTER CLOTH DI IPAL KOMUNAL TELAGA ABADI KABUPATEN GRESIK

SULTHAN MUCHAMMAD QUDS

NRP. 03211840000034

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

NIP. 19590811 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FINAL PROJECT – RE184804

EVALUATION OF SLUDGE DRYING PROCESS AT SLUDGE DEWATERING UNIT WITH FILTER CLOTH MEDIA IN TELAGA ABADI COMMUNAL WWTP IN GRESIK REGENCY

SULTHAN MUCHAMMAD QUDS

NRP. 03211840000034

Advisor

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

NIP. 19590811 198701 1 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI PROSES PENGERINGAN LUMPUR PADA UNIT SLUDGE DEWATERING DENGAN MEDIA FILTER CLOTH DI IPAL KOMUNAL TELAGA ABADI, KABUPATEN GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh Sarjana Teknik pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Sulthan Muchammad Quds**

NRP. 03211840000034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc — Pembimbing
2. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng — Penguji
3. Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D — Penguji
4. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc — Penguji

SURABAYA

Juli, 2022

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Sulthan Muchammad Quds / 03211840000034

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc/ NIP. 19590811 198701 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Evaluasi Proses Pengeringan Lumpur Pada Unit *Sludge Dewatering* dengan Media *Filter Cloth* di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc)
NIP. 19590811 198701 1 001

Mahasiswa

(Sulthan Muchammad Quds)
NRP. 03211840000034

Dipindai dengan CamScanner

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EVALUASI PROSES PENGERINGAN LUMPUR PADA UNIT SLUDGE DEWATERING DENGAN MEDIA FILTER CLOTH DI IPAL KOMUNAL TELAGA ABADI KABUPATEN GRESIK

Nama Mahasiswa / NRP : Sulthan Muchammad Quds / 03211840000034

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

ABSTRAK

Operasi pengolahan air limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Telaga Abadi yang berlokasi di Kelurahan Bedilan, Kabupaten Gresik, menghasilkan residu berupa limbah lumpur. Dalam mengolah limbah lumpur tersebut USAID IUWASH PLUS telah bekerja sama dengan ITS Tekno Sains untuk membangun sebanyak 4 unit *Sludge Dewatering* (SD) yang dilengkapi dengan media *filter cloth*. Namun sampai saat ini belum ada penelitian yang dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu pengeringan yang optimum pada unit SD tersebut untuk menghasilkan lumpur kering dengan karakteristik kadar air <60% sesuai Lampiran II Permen PUPR No 4 Tahun 2017. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis proses pengeringan lumpur pada unit SD dengan melakukan sampling pada lumpur IPAL Komunal yang dikeringkan setiap harinya. Sampel lumpur yang diambil akan dibawa menuju laboratorium untuk diuji karakteristik kadar air lumpur, total solid (TS), volatile solid (VS) dan fixed solid (FS), pengujian dilakukan setiap hari untuk mengetahui kandungan dan perubahan persentase nya selama proses pengeringan lumpur. Lalu, pengujian kadar fosfor (P), karbon (C), nitrogen (N), rasio C/N, pH, serta coliform akan dilakukan pada akhir pengeringan lumpur untuk mengetahui apakah lumpur olahan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan baku kompos organik sesuai standar spesifikasi kompos yang tercantum dalam SNI 19-7030-2004. Setelah rangkaian pengujian laboratorium dilakukan, didapatkan waktu pengeringan optimum lumpur IPAL pada unit SD dengan media *filter cloth* adalah 7 – 23 hari pada periode 1 dan 9 – 21 hari pada periode 2. Selanjutnya, lumpur yang telah dikeringkan dapat dijadikan sebagai bahan baku kompos apabila dicampur dengan kapur dolomit untuk menetralkan derajat keasaman nya.

Kata Kunci: *Filter Cloth*, Kadar Air, Lumpur, *Sludge Dewatering*, Waktu Pengeringan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EVALUATION OF SLUDGE DRYING PROCESS AT SLUDGE DEWATERING UNIT WITH FILTER CLOTH MEDIA IN TELAGA ABADI COMMUNAL WWTP GRESIK REGENCY

Student Name / NRP : Sulthan Muchammad Quds / 03211840000034

Department : Environmental Engineering

Advisor : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

ABSTRACT

Wastewater treatment operations at the Telaga Abadi Communal Wastewater Treatment Plant (IPAL), located in Bedilan Village, Gresik Regency, produces by-products (residues) in the form of sewage sludge. In treating the sludge, USAID IUWASH PLUS has collaborated with ITS Tekno Sains to build 4 units of Sludge Dewatering equipped with filter cloth media. However, until now there has been no research conducted to determine how long the optimum drying time for the SD unit is to produce dry sludge with a moisture content characteristic of <60% according to Lampiran II Permen PUPR No 4 Tahun 2017. This study was conducted to analyze the sludge drying process on the SD unit by sampling the Communal WWTP sludge which is drained every day. Sludge samples taken will be taken to the laboratory to be tested for the characteristics of the sludge moisture content, total solid (TS), volatile solid (VS), and fixed solid (FS), testing is carried out every day to determine the content and percentage changes during the sludge drying process. Then, testing the levels of phosphorus (P), carbon (C), nitrogen (N), C/N ratio, pH, and coliform will be carried out at the end of sludge drying to determine whether the processed sludge produced can be used as raw material for compost according to standards. compost specifications listed in SNI 19-7030-2004. After laboratory testing, the optimum WWTP sludge drying time in the Sludge Dewatering unit with filter cloth media was 7 – 23 days in the first period and 9 – 21 days in the second period. Then, the dried sludge can be used as raw material for compost when mixed with dolomite lime to neutralize the degree of acidity.

Keyword: Drying Time, Filter Cloth, Moisture Content, Sludge, Sludge Dewatering

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah SWT yang memberikan berkah, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Evaluasi Proses Pengeringan Lumpur Pada Unit Sludge Dewatering dengan Media Filter Cloth di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik" ini tepat pada waktunya.

Dalam penyusunan tugas ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Ir. Agus Slamet, MSc. selaku dosen pembimbing yang senantiasa dengan sabar memberikan ilmu, bimbingan serta arahan yang menunjang dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc, Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng, serta Ibu Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pengarah yang senantiasa memberikan saran dan masukan dalam menunjang penyusunan tugas akhir.
3. Pengelola IPAL Komunal Telaga Abadi dan Bapak Ibu Laboran Teknik Lingkungan yang telah memberikan bantuan selama pelaksanaan penelitian.
4. Ayahanda Fatchur Huda, yang selalu memberikan dukungan selama perkuliahan termasuk motivasi dan biaya untuk menunjang penelitian ini.
5. Keluarga yang senantiasa memberikan dukungan berupa doa dan motivasi agar penulis dapat menyelesaikan tugas ini dengan baik.
6. Teman-teman Mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2018 yang selalu membantu menemani dan memberikan dukungan pada penyusunan laporan tugas akhir.

Penyusunan tugas ini telah dilakukan semaksimal mungkin, namun layaknya manusia biasa, penyusun menyadari bahwa dalam tugas ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penyusun harapkan. Akhir kata, semoga penyusunan tugas ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 22 Juli 2022

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Ruang Lingkup 2
1.5 Manfaat 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1 Lumpur IPAL 3
2.1.1 Sumber Lumpur IPAL 3
2.1.2 Karakteristik Lumpur IPAL 3
2.2 Pengolahan Lumpur 4
2.2.1 Pemekatan Lumpur (*Thickening*) 4
2.2.2 Stabilisasi Lumpur (*Digesting*) 5
2.2.3 Pengeringan Lumpur (*Dewatering*) 5
2.2.4 Pembuangan Akhir (*Disposal*) 5
2.3 *Sludge Dewatering (SD)* 6
2.3.1 Mekanisme Pengolahan SD 7
2.3.2 Pemilihan Media SD 7
2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan SD 8
2.3.4 Faktor -Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengeringan Unit SD 8
2.4 Penelitian Terdahulu 11
BAB III METODE PENELITIAN 13
3.1 Kerangka Penelitian 13
3.2. Ide Penelitian 14
3.3 Studi Referensi 14
3.4 Persiapan Alat dan Bahan 15
3.5 Persiapan Penelitian 15

3.6 Pengambilan Sampel Lumpur 16
3.7 Analisis Karakteristik Awal 16
3.8 Metode Analisis Parameter Penelitian 17
3.9 Metode Analisis Data 17
3.9.1 Regresi Linier dan Koefisien Korelasi 17
3.9.2 Sumbangan Efektif (SE) dan Sumbangan Relatif (SR) 18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 19
4.1 Tahap Persiapan 19
4.1.1 Alur Proses IPAL Komunal Penghasil Lumpur 19
4.1.2 Karakteristik Awal Lumpur IPAL 19
4.1.3 Spesifikasi Media *Filter Cloth* 20
4.2 Proses Filtrasi 21
4.3 Penelitian Utama 22
4.3.1 Hasil Analisis Kadar Air, Total Solids, Volatile Solids dan Fixed Solid 23
4.3.2 Pengaruh Waktu Pengeringan terhadap Penurunan Kadar Air pada Lumpur IPAL 28
4.3.3 Hubungan Antara Waktu Pengeringan dengan Kandungan Volatile-Fixed Solids pada Lumpur IPAL 30
4.3.4 Pengaruh Ketebalan Pengisian Lumpur terhadap Penurunan Kadar Air pada Lumpur IPAL 32
4.3.5 Pengaruh Perbedaan Sumber Lumpur terhadap Penurunan Kadar Air pada Lumpur IPAL 32
4.3.6 Hubungan Antara Penurunan Kadar Air dengan Karakteristik Fisik Lumpur IPAL 34
4.4 Pengaruh Kondisi Lingkungan Sekitar terhadap Proses Pengeringan Lumpur IPAL 35
4.5 Pemanfaatan Lumpur Kering Hasil Pengolahan 40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 43
5.1 Kesimpulan 43
5.2 Saran 43
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN 1 PROSEDUR ANALISIS 49
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN 53
LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI 56
BIODATA PENULIS 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Unit Sludge Dewatering di IPAL Telaga Abadi 7
Gambar 2. 2 Filter Cloth 8
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian 14
Gambar 3. 2 Penjemuran Media Filter Cloth yang Telah Dicuci 15
Gambar 3. 3 Proses Pengisian Lumpur Pada SD 15
Gambar 3. 4 Proses Pengambilan Sampel 16
Gambar 4. 1 Alur Proses Pengolahan Limbah dan Lumpur Limbah di IPAL Komunal Telaga Abadi 19
Gambar 4. 2 Kondisi Awal Lumpur IPAL 20
Gambar 4. 3 Aliran Filtrat Pada Proses Filtrasi 21
Gambar 4. 4 Grafik Penurunan Ketebalan Lumpur Selama Proses Filtrasi 22
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Waktu Pengeringan dan Kadar Air (Periode 1) 28
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Waktu Pengeringan dan Kadar Air (Periode 2) 29
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Waktu Pengeringan dengan %FS dan %VS 31
Gambar 4. 8 Kandungan Organik Pada Lumpur IPAL 31
Gambar 4. 9 Grafik Penurunan Kadar Air pada Variasi Ketebalan Lumpur 32
Gambar 4. 10 Grafik Penurunan Kadar Air pada Variasi Sumber Lumpur 33
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Kondisi Lingkungan dan Penurunan Kadar Air 38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Kualitas Kompos 5
Tabel 2. 2 Kondisi Suhu Kabupaten Gresik Tahun 2020 9
Tabel 2. 3 Kelembapan Udara Kabupaten Gresik Tahun 2020 10
Tabel 2. 4 Kecepatan Angin Kabupaten Gresik Tahun 2020 10
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu 11
Tabel 3. 1 Pelabelan Sampel 16
Tabel 3. 2 Metode Analisis Parameter 17
Tabel 3. 3 Derajat Hubungan (Koefisien Korelasi) 18
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Karakteristik Awal Lumpur IPAL 20
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Ketebalan Lumpur IPAL 21
Tabel 4. 3 Variasi Penelitian 23
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Periode 1 24
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Rasio Penurunan Kadar Air Periode 1 25
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Periode 2 26
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Rasio Penurunan Kadar Air Periode 2 27
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Berdasarkan Rumus Regresi Linear 30
Tabel 4. 9 Perubahan Karakteristik Fisik Lumpur IPAL 34
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Kondisi Lingkungan 36
Tabel 4. 11 Hasil Pengolahan Data Program SPSS 25 39
Tabel 4. 12 Nilai Sumbangan Efektif dan Sumbangan Relatif 39
Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Karakteristik Lumpur Kering 40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk mengatasi permasalahan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik, Pemerintah Indonesia berupaya melakukan pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di berbagai wilayah pemukiman melalui konsep pembangunan berbasis masyarakat. Hasil pengolahan air limbah (efluen) dari IPAL Komunal tersebut memang dapat dimanfaatkan kembali, misalnya untuk menyiram tanaman dan mencuci kendaraan (Purwatiningrum, 2018). Namun, dalam operasional IPAL tidak lepas dari permasalahan lain yaitu timbulnya lumpur (*sludge*) sebagai produk samping yang juga perlu diolah agar tidak menimbulkan masalah saat dikembalikan ke lingkungan (Cahyadhi, 2016). Terdapat 2 metode yang dapat dipilih untuk mengatasi permasalahan ini yaitu konsep stasioner dengan pembangunan unit pengolahan lumpur di sekitar lokasi IPAL atau menggunakan konsep mobile dengan membawa lumpur IPAL komunal dengan *truck* pengangkut menuju Instalasi Pengolahan Lumpur (IPL).

Dengan mempertimbangkan lokasi IPAL Telaga Abadi yang memiliki lahan kosong namun akses jalannya sulit diakses oleh *truck* tinja, maka metode pengolahan lumpur dilakukan secara stasioner, yaitu dengan memompa lumpur yang dihasilkan di unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) menuju unit *Sludge Dewatering* dengan pompa submersible. *Sludge Dewatering* (SD) yang dibangun oleh USAID IWASH Plus & ITS Tekno Sains merupakan unit pengeringan lumpur yang dioperasikan dengan bantuan sinar matahari dan udara setempat. Pengolahan dengan sistem dewatering banyak dipilih dikarenakan operasionalnya cukup mudah meskipun dengan volume lumpur yang besar menghasilkan pengurangan kadar air yang tinggi (Ummah & Herumurti, 2018).

Pada prinsipnya pengolahan lumpur dengan proses pengeringan (*dewatering*) dilakukan dengan meletakkan lumpur pada suatu wadah (*bed*) dan dilakukan pengeringan dengan memanfaatkan energi panas dari sinar matahari. Proses ini dapat mengurangi volume lumpur yang dihasilkan karena kadar air berkurang melalui proses penguapan, hingga kadar air tersisa 60% dengan waktu pengeringan 10 – 15 hari (SNI 7510-2011). Selain itu, proses pengeringan ini juga meningkatkan kadar TS dan pengurangan pada komponen *organic volatile* sebesar 51-65% (Hu *et al.*, 2017). Proses dan laju pengeringan unit SD dipengaruhi oleh faktor utama yakni sinar matahari dan beberapa faktor lainnya seperti, suhu, kelembapan reaktif, kadar air lumpur awal, pembentukan kerak, kecepatan angin dan adanya kandungan zat kimia dalam lumpur (Danish *et al.*, 2016). Penelitian ini difokuskan pada kinerja unit SD berdasarkan faktor suhu udara ambien, kelembapan udara dan kecepatan angin daerah setempat.

Selain faktor lingkungan, ketebalan lumpur dan pemilihan media filter pada unit SD juga berpengaruh pada proses pengeringan lumpur. Berdasarkan Lampiran II Permen PUPR No. 04 Tahun 2017, ketebalan lumpur (*cake*) untuk proses pengeringan lumpur SD sebesar 20 – 30 cm dengan menggunakan media pasir dan kerikil. Umumnya lapisan paling atas pada unit SD adalah lumpur (*cake*), dilanjutkan dengan lapisan pasir, kemudian lapisan kerikil, diakhiri dengan lapisan drain untuk menampung air hasil filtrasi (filtrat) (Elbaz *et al.*, 2020). Menurut Qasim & Zhu (2018), untuk memperoleh kadar air lumpur sebesar 60 – 80% dengan media pasir dan kerikil dibutuhkan waktu pengeringan selama 2 hingga 3 minggu. Namun, media filter yang digunakan pada unit SD yang terdapat di IPAL Telaga Abadi memiliki perbedaan dari unit SD kebanyakan, yaitu media *filter cloth*. Filter cloth

merupakan media filter berupa kain saringan yang digunakan dalam proses pemisahan partikel padat dari cairan (termasuk *sludge*) (Zerin & Dutta, 2018).

Berdasarkan kondisi diatas, maka penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan waktu pengeringan (*drying time*) yang tepat agar unit SD dengan media filter cloth pada IPAL Komunal Telaga Abadi mampu mengeringkan lumpur IPAL hingga memiliki kadar air sebesar <60% sesuai Lampiran II Permen PUPR No. 4 Tahun 2017. Penelitian ini juga dilakukan untuk melihat pengaruh kondisi lingkungan wilayah setempat berdasarkan karakteristik suhu udara, kelembapan udara ambien dan kecepatan angin terhadap proses pengeringan lumpur IPAL pada unit SD dengan media filter cloth, sehingga nantinya dapat dijadikan rekomendasi untuk operasional unit SD di IPAL Telaga Abadi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa waktu pengeringan yang diperlukan unit SD yang telah dibangun oleh USAID IUWASH Plus & ITS Tekno Sains untuk proses pengeringan lumpur IPAL Komunal?
2. Bagaimana pengaruh suhu, kelembapan dan kecepatan udara setempat terhadap proses pengeringan lumpur pada unit SD?
3. Bagaimana karakteristik lumpur kering hasil pengeringan apabila dibandingkan dengan standar kualitas kompos?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menentukan waktu pengeringan lumpur IPAL Komunal menggunakan *Sludge Dewatering* dengan media *filter cloth*.
2. Mengkaji pengaruh kondisi lingkungan terhadap penurunan kadar air lumpur pada proses pengeringan lumpur di unit *Sludge Dewatering*.
3. Menganalisis karakteristik lumpur hasil proses *dewatering* dan membandingkan dengan karakteristik kompos sesuai SNI 19-7030-2004.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Parameter yang diukur untuk menentukan waktu pengeringan yang optimum pada penelitian ini adalah kadar air lumpur olahan kurang dari 60% sesuai dengan Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017.
2. Parameter lingkungan yang dipertimbangkan adalah suhu udara ambien, kelembapan udara dan kecepatan angin yang diukur pada lokasi penelitian.
3. Parameter standar kualitas kompos yang diuji adalah kadar air, karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), rasio C/N, pH dan coliform.

1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait proses pengeringan (*dewatering*) lumpur menggunakan unit *Sludge Dewatering* dengan media filter cloth.
2. Memberikan alternatif teknologi pengeringan lumpur IPAL Komunal.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lumpur IPAL

Limbah lumpur dihasilkan dalam proses operasional instalasi pengolahan air limbah (IPAL) sebagai produk sampingan yang terdapat pada berbagai macam proses unit pengolahan yang ada. Produksi lumpur berhubungan langsung dengan besar debit air limbah yang diolah, semakin banyak air limbah yang diolah maka semakin banyak pula limbah lumpur yang dihasilkan (Danish *et al.,* 2016). Limbah lumpur ini merupakan salah satu potensi pencemaran lingkungan yang wajib dikelola oleh pihak IPAL agar tidak mengganggu estetika lingkungan serta menyebabkan pencemaran pada air dan tanah (Bimantara & Hidayah, 2018). Penanganan limbah lumpur yang tepat dapat dilakukan dengan melakukan analisis pendahuluan terhadap kuantitas dan karakteristik dari limbah lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan pada IPAL terkait (Elissa & Saptomo, 2020).

2.1.1 Sumber Lumpur IPAL

IPAL Komunal Telaga Abadi merupakan IPAL yang digunakan untuk mengolah air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik masyarakat wilayah Kelurahan Bedilan Kabupaten Gresik. Menurut Umar (2011), berdasarkan karakteristiknya, air limbah domestik dapat digolongkan menjadi air limbah jenis *gray water* dan *black water*. *Gray water* merupakan air limbah dengan kandungan bahan organik yang mudah terdegradasi, yang dihasilkan dari kegiatan seperti mandi, dapur, dan cuci. Sedangkan *black water*, merupakan air limbah yang terdiri dari tinja (*faeces*) dan air seni (*urine*), sehingga mengandung Nitrogen (N), fosfor, mikroba *pathogen*, serta mikroorganisme lainnya (Tendean *et al.,* 2014). Kedua jenis air limbah tersebut dialirkan secara bersamaan menuju IPAL Telaga Abadi untuk dilakukan pengolahan.

IPAL Telaga Abadi menggunakan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) sebagai unit pengolahan pendahuluan air limbah. ABR merupakan salah satu reaktor yang terdiri dari tangki septik dan sekat tegak yang terpasang dalam kompartemen dengan mekanisme kerja air limbah akan bergerak naik turun dari satu kompartemen ke kompartemen lain, dengan begitu air akan dipertemukan dengan sisa lumpur (resirkulasi) yang mengandung mikroorganisme yang berfungsi menguraikan polutan dalam kondisi anaerobik (Dengo *et al.,* 2020). Menurut Afifah *et al.* (2020), ABR menggabungkan proses sedimentasi dengan dekomposisi lumpur dalam kompartemen berupa kolam sedimentasi tanpa adanya proses pengadukan maupun penambahan bahan kimia. Umumnya ABR digunakan untuk mengolah limbah dengan kadar COD tinggi. Namun efisiensi penurunan COD pada ABR masih dibawah 85% sehingga cenderung belum memenuhi baku mutu sehingga air limbah masih memerlukan pengolahan lanjutan.

2.1.2 Karakteristik Lumpur IPAL

Limbah lumpur juga memiliki karakteristik yang dapat digolongkan menjadi lumpur primer, sekunder dan tersier (kimiawi). Namun, karakteristik limbah lumpur tidak lepas dari karakteristik air limbah asalnya. Menurut Spinosa *et al.* (2005), berikut karakteristik lumpur limbah:

- Lumpur Primer

Lumpur primer berasal dari endapan pengolahan fisik air limbah. Secara umum, limbah jenis ini kaya akan bahan organik yang mudah terurai, memiliki kandungan yang

tinggi potensi produksi biogas apabila diolah dengan proses anaerob, serta memiliki daya tahan air yang baik. Biasanya memiliki bau yang kuat dengan kandungan organisme yang bersifat patogen.

- Lumpur Sekunder

Lumpur jenis ini masih memiliki kandungan organik yang tinggi, sehingga masih diperlukan adanya pengolahan yang tepat. Pada umumnya, lumpur sekunder memiliki kandungan air sebesar 99%, dimana sebagian air ini terikat dengan cara kimia dan fisik ke area permukaan yang disediakan partikel flok. Lumpur sekunder cenderung memiliki kandungan bakteri patogen yang lebih sedikit dibandingkan dengan lumpur primer.

- Lumpur Tersier

Lumpur tersier atau kimiawi terbentuk selama pembuangan nutrisi kimia atau tersier atau pengolahan lanjutan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas efluen. Umumnya, lumpur jenis ini tidak boleh dikelola bersama dengan jenis lumpur lainnya, dikarenakan memiliki karakteristik yang jauh berbeda. Lumpur jenis ini jarang ditemukan pada pengolahan limbah konvensional, dikarenakan pada pengolahan air limbah dengan langkah terakhir berupa desinfeksi atau radiasi UV tidak akan menghasilkan lumpur apapun.

2.2 Pengolahan Lumpur

Limbah lumpur yang dihasilkan dari pengolahan air limbah biasanya memiliki kandungan polutan yang tinggi sehingga tidak layak dibuang langsung ke lingkungan, sehingga perlu dirancang adanya Instalasi Pengolahan Lumpur (IPL). Pembangunan IPL merupakan salah satu upaya terencana yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pengolahan lumpur dengan mengurangi kadar air dan kadar polutannya sehingga lumpur memiliki kualitas yang layak untuk dibuang ke lingkungan dan tidak membahayakan bagi kesehatan masyarakat (Oktarina & Haki, 2013).

Menurut PUPR (2017), limbah yang dihasilkan dari bak pengendap pertama memiliki konsentrasi polutan dan kandungan kadar air yang sangat tinggi dengan kandungan padatan berkisar antara 0,5 – 4%. Pengolahan lumpur diawali dengan proses pemekatan (*thickening*) sehingga terjadi pemisahan fase padatan dan cairan dalam lumpur. Supernatan hasil proses pemisahan diolah dengan teknologi pengolahan air limbah, sedangkan lumpur yang memiliki kandungan lebih pekat distabilkan dengan unit digester. Selanjutnya, lumpur yang telah stabil akan teruskan ke unit pengeringan (*dewatering*) untuk mengurangi kelembapan lumpur sehingga lumpur dapat dengan aman dibuang ke unit *disposal* kemudian diteruskan ke lingkungan atau dimanfaatkan.

2.2.1 Pemekatan Lumpur (*Thickening*)

Menurut Selintung *et al.* (2016), proses pemekatan lumpur memiliki tujuan untuk menaikkan kekentalan atau kandungan padatan dalam lumpur dengan cara memisahkan lumpur dengan supernatan sehingga siap untuk diolah di unit selanjutnya (*digester*). Pada umumnya lumpur IPAL yang akan diolah masih encer dengan kandungan padatan 0,5 – 1,0%, sehingga dengan adanya unit *thickener* diharapkan kandungan padatan pada lumpur naik menjadi 2 – 3%. Sedangkan menurut PUPR (2017), unit pemekatan (*thickening*) dapat digunakan untuk mengolah campuran lumpur yang dihasilkan dari bak pengendap pertama (lumpur fisik) dan bak pengendap kedua (lumpur biologis) yang memiliki konsentrasi solid gabungan sebesar 2%, kemudian setelah pemekatan konsentrasi padatan dalam lumpur akan bertambah menjadi 5%, sehingga terjadi pengurangan volume lumpur sebesar 60%.

2.2.2 Stabilisasi Lumpur (*Digesting*)

PUPR (2017) menyatakan bahwa stabilisasi lumpur merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi jumlah bakteri *pathogen*, mendegradasi *volatile* pada lumpur yang menyebabkan bau, serta mengendalikan pembusukan zat organik yang ada di dalam lumpur. Proses stabilisasi lumpur dengan unit dapat dilakukan secara aerobik dan anaerobik.

Menurut Sunarti *et al.* (2014), stabilisasi lumpur dengan proses aerobik melalui proses oksidasi biomassa (nitrifikasi) yang dilakukan secara kontinyu yang kemudian akan menghasilkan karbon dioksida (CO_2), H_2O dan hasil dari transformasi nitrogen berupa ion amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Sedangkan stabilisasi lumpur secara anaerobik menurut Soetopo *et al.* (2012), adalah proses yang dilakukan tanpa adanya oksigen bebas untuk menguraikan bahan organik kompleks oleh aktivasi bakteri anaerobik menjadi metan (60 – 70%), CO_2 (30 – 40%), sejumlah kecil H_2S, ammonia dan senyawa lainnya.

2.2.3 Pengeringan Lumpur (*Dewatering*)

Elbaz *et al.* (2020) menyatakan bahwa *dewatering* merupakan unit fisik yang dioperasikan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air pada lumpur, pengurangan air dilakukan secara efektif sampai tingkat residu lumpur memiliki kandungan padatan minimal antara 16 – 30%. Pengurangan kadar air pada lumpur dapat menurunkan kelembapan lumpur dan memudahkan pembuangan lumpur menuju unit *disposal*. Umumnya, metode *dewatering* dibagi menjadi dua yaitu *dewatering* mekanik dan *dewatering* alami. Pemilihan metode disesuaikan dengan karakteristik lumpur yang akan dikeringkan, ketersediaan lahan, persyaratan pemerintah setempat dan kemampuan dari industri penghasil lumpur. Berdasarkan PUPR (2017), beberapa pilihan unit *dewatering* yang dapat digunakan adalah *Vacuum Filter, Filter Press, Belt Filter Press* dan *Sludge Drying Bed* (SDB).

2.2.4 Pembuangan Akhir (*Disposal*)

Bresters *et al.* (1997) menyatakan bahwa lumpur yang telah diolah lebih baik dibawa menuju unit pembuangan (*disposal*) dari pada langsung dibuang ke lingkungan. Hal tersebut dikarenakan hasil olahan lumpur yang belum sesuai dapat mencemari media lain seperti tanah, air tanah dan udara. Pada unit *disposal*, lumpur hasil olahan akan dianalisis karakteristiknya terlebih dahulu sebelum dibuang maupun dimanfaatkan untuk kegunaan yang lain, misalnya sebagai bahan baku kompos.

Tabel 2. 1 Standar Kualitas Kompos

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	^oC		suhu air tanah
3	Warna			kehitaman
4	Bau			berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
	Unsur makro			
9	Bahan organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Phosfor (P_2O_5)	%	0.10	-

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K_2O)	%	0,20	*
	Unsur mikro			
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
	Unsur lain			
25	Kalsium	%	*	25.50
26	Magnesium (Mg)	%	*	0.60
27	Besi (Fe)	%	*	2.00
28	Aluminium (Al)	%	*	2.20
29	Mangan (Mn)	%	*	0.10
	Bakteri			
30	Fecal Coli	MPN/g		1000
31	Salmonella sp.	MPN/4 g		3
Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum				

Sumber: SNI 19-7030-2004

Menurut Cahyadhi (2016), lumpur hasil pengolahan IPAL dapat digunakan sebagai bahan baku kompos apabila memenuhi standar kualitas kompos, sesuai dengan SNI 19-7030-2004. Lumpur dengan karakteristik yang sesuai akan dicampurkan dengan kotoran hewan dan serbuk gergaji, hingga memiliki komposisi yang sesuai sebagai bahan baku kompos. Selain itu, lumpur hasil olahan IPAL juga dapat diaplikasikan di berbagai bidang lainnya seperti pada lahan pertanian, lahan perhutanan, lahan yang rusak dan wilayah yang dikhususkan untuk pembuangan lumpur.

2.3 *Sludge Dewatering (SD)*

Unit *Sludge Dewatering* yang terdapat di IPAL Telaga Abadi memiliki konsep pengolahan yang serupa dengan SDB. *Sludge Drying Bed* (SDB) adalah unit pada pengolahan lumpur yang berfungsi untuk proses pengeringan lumpur yang dihasilkan dari unit-unit di IPAL dengan penguapan alamiah oleh sinar matahari dan angin (Dian & Herumurti, 2016). Unit SDB pada umumnya memiliki dimensi persegi panjang yang terdiri dari pasir, kerikil dan pipa drain yang berfungsi untuk mengalirkan filtrat yang turun melewati media filter pada proses pengeringan (Metcalf & Eddy, 2014). Selain itu, menurut Hamonangan *et al.* (2017), SDB juga dapat dilengkapi dengan media *filter cloth* dan lapisan pasir sehingga pada proses pengeringan lumpur, kandungan air pada lumpur akan meresap melewati filter dan pasir. Sedangkan padatan pada lumpur akan tertahan pada permukaan media filter.

Gambar 2. 1 Unit Sludge Dewatering di IPAL Telaga Abadi

Terdapat 4 unit *Sludge Dewatering* yang ada di IPAL Telaga Abadi. Masing-masing unit memiliki dimensi yang sama sebesar 150 x 100 x 65 cm dengan kapasitas pengolahan lumpur 0,9 m^3/bak. Unit SD ini digunakan untuk mengolah lumpur yang mengendap pada kompartemen unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) pada IPAL Telaga Abadi yang dipompa menggunakan *submersible pump*.

2.3.1 Mekanisme Pengolahan SD

Proses pengeringan lumpur dimulai dengan membawa lumpur yang mengendap pada kompartemen unit ABR dengan pompa submersible menuju unit SD. Lumpur basah tersebut akan diletakkan diatas media filter sehingga filtrat (cairan) akan turun melalui celah pada media filter menuju saluran drainase yang berada dibawah bak pengeringan untuk ditampung dan kemudian dapat di resirkulasi menuju ke unit pengolahan biologis sebagai bahan pengencer (Ummah & Herumurti, 2018). Kemudian Pileggi *et al.* (2012) menyatakan padatan pada lumpur akan terhambat (tidak dapat melewati media filter) dan akan mengalami pengeringan denga bantuan sinar matahari dan angin. Adapun prinsip dari pengoperasian unit SD dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Tahap I: Proses filtrasi pada tekanan rendah mengakibatkan terjadinya penurunan kadar air dalam lumpur. Di tahap ini kadar air dalam lumpur diperkirakan mencapai 80%.
b. Tahap II: Proses penguapan dari sisa kandungan air dalam lumpur yang tertahan diatas media filter. Di tahap ini kembali tejadi penurunan kadar air hingga mencapai 65%.

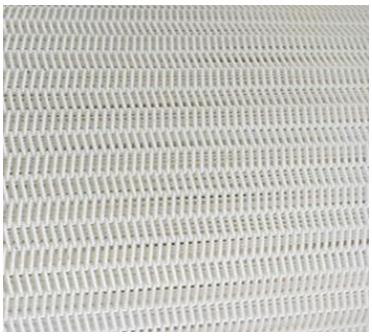
Qasim & Zhu (2018) menyatakan bahwa proses pengeringan pada unit SD dapat memakan waktu pengeringan selama 2 – 3 minggu. Pada waktu tersebut diharapkan tercipta kondisi kering pada lumpur dengan kandungan air optimal mencapai 60 – 80% dengan konsentrasi BOD_5 filtrat 100 – 500 mg/L dan konsentrasi TSS filtrat 200 – 1000 mg/L, sehingga lumpur (*cake*) menjadi lebih mudah diangkut.

2.3.2 Pemilihan Media SD

Salah satu faktor penting yang menentukan proses pengeringan pada unit SD adalah media filter yang digunakan. Umumnya media filter yang digunakan untuk proses dewatering adalah media filter pasir dan kerikil. Media tersebut dipilih karena mudah secara operasional, mudah diperoleh dan memiliki harga yang terjangkau. Namun, penggunaan media filter pasir dan kerikil menimbulkan masalah baru pada operasional SD yaitu dapat mengakibatkan penyumbatan karena media terbawa oleh effluent air atau filtrat. Selain itu,

pada proses pengurasan unit SD, media filter pasir yang dibersihkan dengan metode *scrapping* akan menyebabkan lapisan pasir terkeruk 1 – 2 cm sehingga penyisihan pada SD semakin tidak efektif (Khansa & Herumurti, 2020). Berdasarkan permasalahan tersebut, IPAL Telaga Abadi memilih menggunakan media filter cloth pada unit SD dengan harapan dapat mencegah lumpur dan pasir ikut terbawa pada proses penyaringan dan menyebabkan penyumbatan (*clogging*).

Kain filter (*filter cloth*) merupakan media filter berupa kain saringan yang digunakan dalam proses pemisahan partikel padat dari cairan. Dalam proses penyaringan dengan kain filter dibutuhkan bantuan gaya gravitasi atau vakum tertentu agar dapat menahan partikel yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori pada kain tergantung dari jenis kain filter yang digunakan. Jenis polimer dari kain filter bermacam-macam mulai dari polyamide, poliester, polypropylene hingga PTFE (polytetra fluoroethylene) yang memiliki keunggulan dibanding yang lain karena ketahanannya terdapat bahan kimia dan bersifat biostabil, biokompatibel serta hidrofobik di alam. Selain itu jenis kain filter yang digunakan dapat mempengaruhi porositas dan permeabilitas udara yang berperan pada proses filtrasi (Zerin & Dutta, 2018).



Gambar 2. 2 Filter Cloth

Sumber: plybelt.com

2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan SD

Menurut Selintung *et al.* (2016), proses dewatering dengan bak memiliki keuntungan utama yaitu biaya modal yang rendah. Keuntungan lain pada saat SD telah dibangun adalah proses pengoperasian yang cukup mudah sehingga tidak diperlukan operator dengan keahlian khusus, konsumsi energi dan bahan kimia yang rendah, serta memiliki hasil pemadatan yang cenderung lebih tinggi dibanding dengan metode *dewatering* lainnya.

Sedangkan kekurangan unit SD menurut Elbaz *et al.* (2020), adalah membutuhkan lahan yang lebih luas dibanding unit lainnya, membutuhkan lumpur yang telah stabil, hasil pengeringan tergantung pada iklim dan cuaca serta memiliki potensi terjadinya *clogging* (penyumbatan akibat pasir).

2.3.4 Faktor -Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengeringan Unit SD

Danish *et al.* (2016) menyatakan proses dan laju pengeringan unit SD dipengaruhi oleh faktor utama yakni sinar matahari serta beberapa faktor lainnya seperti, suhu, kelembapan reaktif, kadar air lumpur awal, pembentukan kerak, kecepatan angin dan adanya kandungan zat kimia dalam lumpur. Adapun 3 faktor yang akan menjadi fokus pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Suhu Udara

Saat kondisi musim kemarau suhu udara cenderung lebih tinggi sehingga suhu pada lumpur juga akan lebih tinggi dibanding pada saat musim hujan. Dengan didukung oleh kelembapan yang rendah dan kecepatan angin yang tinggi maka proses penguapan (evaporasi) pada musim kemarau cenderung akan meningkat dibanding dengan musim hujan (Bassan *et al.,* 2014). Penguapan bebas yang terjadi pada permukaan lumpur di SD juga dipengaruhi oleh suhu udara ambien, semakin tinggi suhu udara, maka proses penguapan lumpur akan menjadi lebih tinggi (Strande *et al.,* 2014).

Tabel 2. 2 Kondisi Suhu Kabupaten Gresik Tahun 2020

Bulan	Suhu/Temperatur (°C)		
	Minimum	Rata-Rata	Maksimum
Januari	22,40	27,96	33,40
Februari	23,90	27,88	32,40
Maret	24,00	28,24	33,60
April	24,70	28,33	33,30
Mei	23,50	28,72	32,80
Juni	24,00	28,72	31,40
Juli	24,70	28,19	31,10
Agustus	24,20	28,28	31,40
September	25,10	28,97	32,80
Oktober	23,80	28,75	32,70
November	23,50	28,40	33,20
Desember	22,90	27,44	32,50

Sumber: Kabupaten Gresik Dalam Angka 2021

Berdasarkan **Tabel 2.2** dapat dilihat bahwa kondisi suhu wilayah penelitian yaitu IPAL Telaga Abadi yang berlokasi di Kabupaten Gresik, memiliki angka yang cukup stabil di sepanjang tahun dimana suhu rata-rata tertinggi terjadi di bulan September yang mencapai 28,97 ℃ dan suhu rata-rata terendah terjadi pada bulan Desember dengan angka 27,44 ℃.

- Kelembapan Udara

Badza *et al.* (2020) menyatakan bahwa kelembapan udara bergantung pada kondisi musim, pada musim dingin (*winter*) kelembapan udara akan semakin tinggi sehingga menyebabkan proses pengeringan lumpur memiliki efisiensi yang rendah. Sedangkan pada musim panas (*spring*) yang memiliki kelembapan udara lebih rendah akan terjadi proses pengeringan dengan efisiensi yang lebih baik.

Tabel 2. 3 Kelembapan Udara Kabupaten Gresik Tahun 2020

Bulan	Kelembapan (%)		
	Minimum	Rata-Rata	Maksimum
Januari	64,00	84,93	98,00
Februari	68,00	86,06	98,00
Maret	62,00	84,21	99,00
April	66,00	83,95	98,00
Mei	69,00	83,32	98,00
Juni	64,00	77,60	96,00
Juli	62,00	76,84	92,00
Agustus	63,00	77,69	97,00
September	62,00	76,64	93,00
Oktober	60,00	79,19	95,00
November	65,00	83,16	98,00
Desember	66,00	85,95	98,00

Sumber: Kabupaten Gresik Dalam Angka 2021

Dari **Tabel 2.3** diatas dapat dilihat bahwa penurunan signifikan terjadi pada bulan Mei – Juni dimana terjadi penurunan kelembapan udara sebesar 5,72%. Hal ini sejalan dengan prakiraan oleh BMKG yang menyatakan akhir musim penghujan di Indonesia terjadi di bulan April – Mei 2022 (dalam kompas.com edisi November 2021).

- Kecepatan Angin

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kana *et al.* (2016), didapatkan hasil bahwa kecepatan aliran angin memiliki peranan penting pada proses pengeringan, dimana kecepatan angin yang lebih besar akan menyebabkan proses pengeringan menjadi lebih efisien, sehingga penurunan kadar air akan lebih tinggi pula, begitupun sebaliknya. Kecepatan angin pada musim kemarau cenderung lebih tinggi dikarenakan tekanan udara yang rendah.

Tabel 2. 4 Kecepatan Angin Kabupaten Gresik Tahun 2020

Bulan	Kecepatan Angin (m/det)		
	Minimum	Rata-Rata	Maksimum
Januari	0,00	1,73	8,75
Februari	0,00	1,60	12,35
Maret	0,00	1,14	5,66

Bulan	Kecepatan Angin (m/det)		
	Minimum	Rata-Rata	Maksimum
April	0,00	1,33	6,17
Mei	0,00	2,15	7,20
Juni	0,00	3,33	8,75
Juli	1,03	3,56	8,23
Agustus	0,00	3,85	8,75
September	0,00	3,19	9,26
Oktober	0,00	2,52	7,72
November	0,00	1,67	6,69
Desember	0,00	2,22	9,77

Sumber: Kabupaten Gresik Dalam Angka 2021

Tabel 2.4 menunjukkan hasil yang sejalan dengan data kelembapan udara, dimana kenaikan signifikan terjadi pada bulan Mei ke Juni. Perbedaan kecepatan rata-rata udara pada bulan Mei-Juni mencapai angka 1,18 m/detik.

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu disajikan untuk dijadikan sebagai acuan pada penelitian selanjutnya. Penelitian mengenai unit *Sludge Dewatering* dengan media *filter cloth* masih jarang dilakukan terutama di Indonesia. Namun, penelitian mengenai proses dewatering dengan SDB, maupun unit dewatering lainnya sudah sering dilakukan di berbagai wilayah. Hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

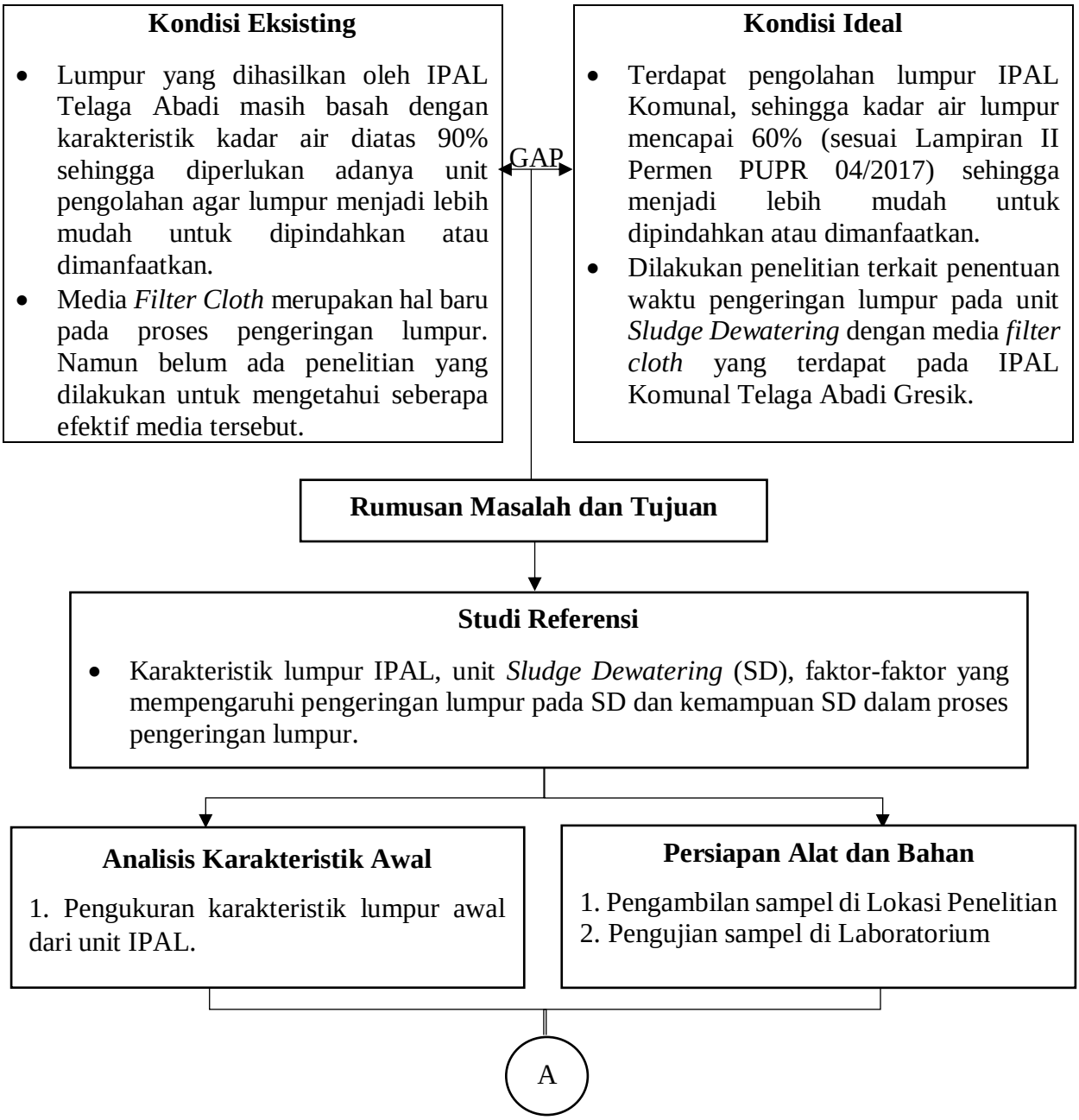
No.	Sumber Literatur	Unit	Hasil Penelitian
1.	Dian & Herumurti (2016)	SDB	Dengan waktu pengeringan 10 hari pada ketebalan *cake* 45 cm dihasilkan lumpur kering dengan kadar air 36,86% dan kadar solid 63,14%.
2.	Ummah & Herumurti (2018)	SDB	Dilakukan variasi ketebalan lumpur dalam proses pengeringan, lumpur dengan ketebalan 20 cm dikeringkan dalam waktu 4 – 5 hari memiliki kadar air akhir 45,7%. Ketebalan lumpur 30 cm dilakukan selama 7-9 hari, kadar air akhir 51,75%. Ketebalan lumpur 40 cm (9 – 11 hari), kadar air akhir 60,4%.

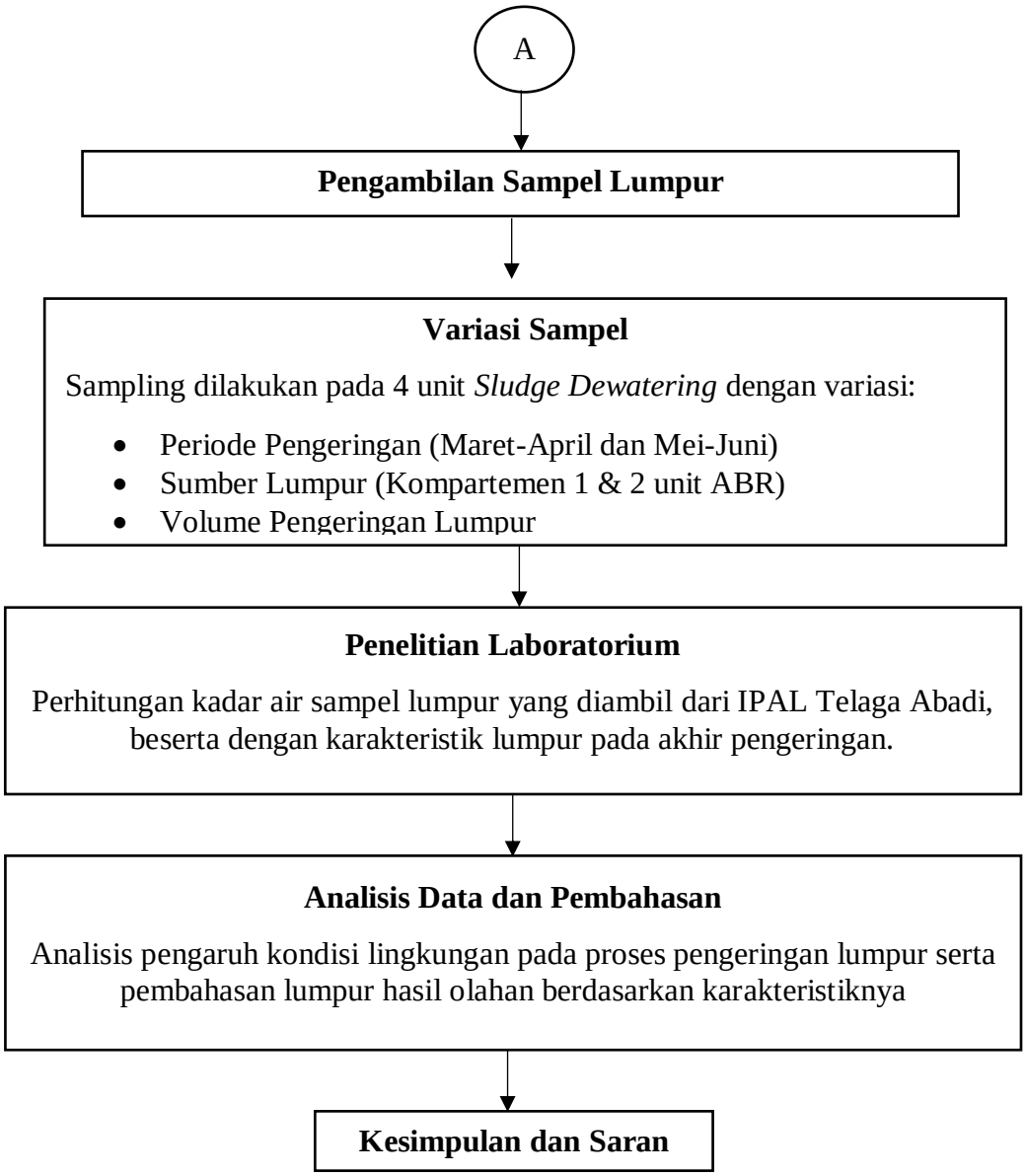
No.	Sumber Literatur	Unit	Hasil Penelitian
3.	Septien *et al.* (2020)	*Drying Chamber*	Dilakukan pengeringan lumpur tinja dengan memvariasikan suhu pengeringan. Pada suhu pengeringan 40°C didapatkan kadar air lumpur 10±2% dengan karakteristik (C: 337, N: 26, P: 71, K: 8,3) g/kg *dry solid*. Pada suhu 60°C didapatkan kadar air lumpur 5±2%, dengan karakteristik (C: 301, N: 25, P: 77, K: 8,9) g/kg *dry solid*. Pada suhu 80°C didapatkan kadar air lumpur 5±2% dengan karakteristik (C: 342, N: 25, P: 81, K: 8,6) g/kg *dry solid.*

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian digunakan sebagai gambaran awal mengenai alur penelitian beserta metode yang digunakan selama penelitian berlangsung. Kerangka yang disusun secara terarah dan sistematis akan membantu mempermudah pelaksanaan dan dapat menjadi acuan untuk mempermudah proses penelitian. Kerangka penelitian ini terdiri dari "GAP" antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting di lapangan yang digunakan sebagai dasar penentuan rumusan masalah dan tujuan penelitian. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2. Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari kondisi eksisting IPAL Telaga Abadi yang menggunakan media *filter cloth* pada unit *Sludge Dewatering* (SD) dalam proses pengeringan lumpur IPAL. Penelitian terkait penggunaan media *filter cloth* pada SD masih jarang dilakukan di Indonesia, sehingga dirasa perlu dilakukan perhitungan mengenai waktu pengeringan yang sesuai berdasarkan parameter kadar air pada lumpur olahan. Indonesia yang merupakan negara tropis memiliki 2 musim yang berbeda yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Maka dari itu, penelitian ini perlu dilakukan pada kedua musim dikarenakan faktor kondisi lingkungan juga memiliki pengaruh pada proses pengeringan lumpur pada unit SD.

3.3 Studi Referensi

Studi referensi dilakukan agar landasan teori yang digunakan pada penelitian menunjukan dasaran yang kuat dan akurat serta berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber referensi yang digunakan meliputi teks book, jurnal/artikel ilmiah, peraturan pemerintah, *website* resmi pemerintah dan non-pemerintah, serta wawancara dengan pihak IPAL dan diskusi bersama Dosen Pembimbing. Dasar teori yang dibutuhkan antara lain

terkait karakteristik limbah lumpur, pengolahan lumpur, unit *Sludge Dewatering* (SD), serta faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja SD.

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk persiapan penelitian adalah 1 set pompa submersible dan selang PVC Φ1 ½ inch sepanjang 10 meter. Sedangkan alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah pipa sampling dengan wadah plastik, cawan porselen, oven, desikator, furnace, neraca analitik dan sejumlah *glassware* laboratorium. Adapun bahan yang perlu disiapkan adalah lumpur influen dan lumpur hasil olahan dari unit SD.

Selain itu, dibutuhkan pula alat untuk pengukuran kondisi lingkungan yang berpengaruh pada proses pengeringan lumpur di unit SD yaitu suhu udara, kelembapan udara ambien dan kecepatan angin. Suhu udara diukur menggunakan *thermometer,* kelembapan udara diukur dengan *hygrometer*, sedangkan kecepatan angin diukur dengan Anemometer.

3.5 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian dimulai dengan melakukan pembersihan pada unit SD dan media *fliter cloth* yang digunakan. Kain filter yang akan digunakan dicuci terlebih dahulu agar dapat digunakan kembali setelah sebelumnya telah digunakan untuk mengeringkan lumpur pada periode sebelumnya. Setelah dicuci, kain filter dijemur dibawah sinar matahari hingga kering sehingga dapat digunakan di hari berikutnya.

Gambar 3. 2 Penjemuran Media Filter Cloth yang Telah Dicuci

Setelah kering, kain filter dipasang kembali pada bak SD. Kemudian disiapkan peralatan (pompa & selang) yang akan digunakan untuk memindahkan lumpur dari unit ABR menuju unit SD.

Gambar 3. 3 Proses Pengisian Lumpur Pada SD

Pengisian lumpur dilakukan secara variatif, yaitu sumber lumpur berasal dari kompartemen 1 dan 2 unit ABR, yang masing-masing diisi lumpur setinggi 20 cm dan 30 cm, pada unit SD yang berbeda.

3.6 Pengambilan Sampel Lumpur

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan modifikasi teknik sampling tanah utuh (*Undisturbed Soil Sampling*) sesuai yang tercantum dalam *balittanah.litbang.pertanian.go.id*. Alat utama yang digunakan adalah pipa berukuran 20 – 30 cm (sesuai ketebalan pengeringan lumpur), pipa tersebut akan ditancapkan dari permukaan hingga dasar lumpur yang sedang dikeringkan, dikeluarkan pada saat lumpur telah masuk ke dalam pipa, kemudian ditutup rapat, diberi label dan dilapisi dengan wadah plastik.

Tabel 3. 1 Pelabelan Sampel

No	Label	Keterangan
1	20-1	Lumpur setinggi **20 cm** bersumber dari unit ABR **Kompartemen 1**
2	30-1	Lumpur setinggi **30 cm** bersumber dari unit ABR **Kompartemen 1**
3	20-2	Lumpur setinggi **20 cm** bersumber dari unit ABR **Kompartemen 2**
4	30-2	Lumpur setinggi **30 cm** bersumber dari unit ABR **Kompartemen 2**

Gambar 3. 4 Proses Pengambilan Sampel

Proses sampling dilakukan setiap hari selama penelitian berlangsung. Pipa berisi sampel yang telah diambil, dimasukkan ke dalam wadah plastik kemudian disimpan di dalam lemari es, sebelum dibawa menuju laboratorium menggunakan *cooler box*. Hal tersebut dilakukan untuk agar tidak terjadi proses evaporasi selama pengangkutan sampel

3.7 Analisis Karakteristik Awal

Tahap ini dimulai dengan melakukan sampling pada lumpur dari unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) Kompartemen 1 dan 2 di IPAL Telaga Abadi. Lumpur yang akan menjadi influen pada unit SD tersebut akan diuji laboratorium terkait parameter kadar air, TS, VS dan FS. Pengujian tersebut dilakukan agar dapat diketahui perbandingan karakteristik lumpur sebelum dan sesudah diolah pada unit SD.

Uji karakteristik awal lumpur dilakukan dengan metode gravimetri. Metode gravimetri adalah proses isolasi dan pengukuran berat suatu unsur atau senyawa tertentu. Proses pemisahan unsur-unsur dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti pengendapan

atau penguapan. Metode ini memakan waktu yang cukup lama. Selain itu, adanya pengotor pada sampel yang diuji dapat mempengaruhi hasil percobaan (Rahmelia *et al.*, 2015). Pada penelitian ini, penguapan kadar air pada sampel dilakukan dengan oven pada suhu 105°C selama 24 jam, dilanjutkan dengan penguapan zat organik untuk menentukan kandungan VS dan FS menggunakan furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, sesuai dengan standar yang berlaku.

3.8 Metode Analisis Parameter Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan analisis laboratorium karakteristik awal lumpur IPAL. Selanjutnya akan dilakukan penelitian dengan memvariasikan volume lumpur dan waktu pengeringan pada 2 periode yaitu pada bulan Maret-April dan Mei-Juni. Pengujian terhadap lumpur olahan yang dihasilkan pada unit SD dilakukan setiap hari sekali berdasarkan parameter kadar air lumpur, *total solids, volatile solids dan fixed solids* (Abu). Hasil analisis berdasarkan parameter terkait akan dijadikan landasan untuk menentukan waktu pengeringan yang optimum pada unit SD dengan media *filter cloth.*

Sebagai penelitian lanjutan, pada akhir penelitian akan dilakukan analisis unsur P, rasio C/N, pH, serta coliform pada lumpur kering hasil olahan unit SD. Hal ini dilakukan untuk menganalisis apakah lumpur tersebut dapat dijadikan sebagai bahan baku kompos organik sesuai dengan SNI 19-7030-2004. Metode analisis pada setiap parameter dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 2 Metode Analisis Parameter

Analisis	Metode	Sumber
Total Solids (TS) dan Kadar Air	Gravimetri	SNI 06-6989.26-2005
Volatile Solids dan Fixed Solids	Gravimetri	SNI 06-6989.26-2005
Kadar Karbon (C)	Gravimetri	SNI 06-6989.26-2005
Kadar Nitrogen (N)	Kjeldahl	SNI 02-2803-2010
Kadar Fosfor (P)	Spektrofotometri	SNI 02-2803-2010
Coliform	MPN	SNI 01-2332.1-2006
pH	pH meter	SNI 6989.11-2019

3.9 Metode Analisis Data

3.9.1 Regresi Linier dan Koefisien Korelasi

Tahap awal analisis data dilakukan dengan memasukkan data hasil laboratorium ke dalam *Microsoft Excel*, kemudian hubungan antar dua variabel data yang ada dibentuk menjadi grafik sehingga didapatkan rumus regresi linier dan koefisien korelasinya.

Menurut Zuhri (2020), regresi linier adalah suatu metode statistika untuk mencari tahu hubungan antara variabel terikat atau (Y) dengan satu atau lebih variabel bebas (X). Uji regresi linier akan menghasilkan rumus Y = a + bX + c, dimana nilai a dan b merupakan konstanta, nilai e merupakan nilai kesalahan (*standard error*), sedangkan nilai Y dan X adalah variabel. Berdasarkan rumus tersebut, nilai variabel tak bebas Y bergantung kepada variabel bebas X. Sebagai contoh, pada penelitian ini kadar air (%) berperan sebagai variabel tak bebas Y, sedangkan waktu pengeringan (hari) berperan sebagai variabel bebas X. Hubungan linier antara y dan x yang ditunjukkan adalah, nilai konstanta a menunjukkan keadaan awal kadar air (variabel y dengan X = 0). Nilai kadar air berubah seiring berjalannya waktu pengeringan (X=1, X=2, dst), bergantung pada nilai konstanta b, apabila menunjukkan minus (-) maka nilai kadar air menunjukkan penurunan, sedangkan plus (+) menunjukkan nilai kadar air mengalami kenaikan.

Selain regresi linier, pada grafik juga menampilkan rumus koefisien korelasi yang ditunjukkan dengan (R^2). Koefisien korelasi adalah nilai yang menunjukkan kekuatan dan arah hubungan linier antara dua variabel. Nilai ini berada diantara 0 s/d 1 dengan keterangan yang dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Derajat Hubungan (Koefisien Korelasi)

Nilai Koefisien Korelasi	Tingkat Hubunan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Sumber: Bertan et al. (2016)

Nilai koefisien korelasi menunjukkan hubungan seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Semakin nilai R mendekati 1,00 maka terdapat hubungan linier sempurna antar dua variabel. Sebaliknya, apabila nilai R mendekati 0,00 maka tidak terdapat hubungan antara kedua variabel.

3.9.2 Sumbangan Efektif (SE) dan Sumbangan Relatif (SR)

Untuk melihat pengaruh kondisi lingkungan terhadap penurunan kadar air pada proses pengeringan lumpur IPAL, dilakukan uji sumbangan efektif dan sumbangan relatif. Kondisi lingkungan (suhu udara, kelembapan udara dan kecepatan angin) akan berperan sebagai variabel independen (X) dan penurunan kadar air lumpur rata-rata akan berperan sebagai variabel dependen (Y).

Menurut Yulianto *et al.* (2020), sumbangan efektif (SE) adalah ukuran sumbangan suatu variabel X terhadap variabel Y dalam analisis regresi. Penjumlahan dari semua SE variabel X (dalam persen) adalah sama dengan nilai R square (R^2). Rumus perhitungan SE dapat dilihat sebagai berikut:

$$SE(X)\% = Beta_x \times Korelasi\ Pearson \times 100\%$$

Untuk mendapatkan nilai $Beta_x$ dan Koefisien Korelasi, data pengukuran kondisi lingkungan dan penurunan kadar air di *input* kan pada program *SPSS 25*.

Selanjutnya, sumbangan relatif (SR) juga dihitung untuk menunjukkan besarnya sumbangan masing-masing variabel X terhadap jumlah kuadrat regresinya. Jumlah SR dari semua variabel adalah 1. Rumus perhitungan SR dapat dilihat sebagai berikut:

$$SR(X)\% = \frac{SE(X)\%}{R^2}$$

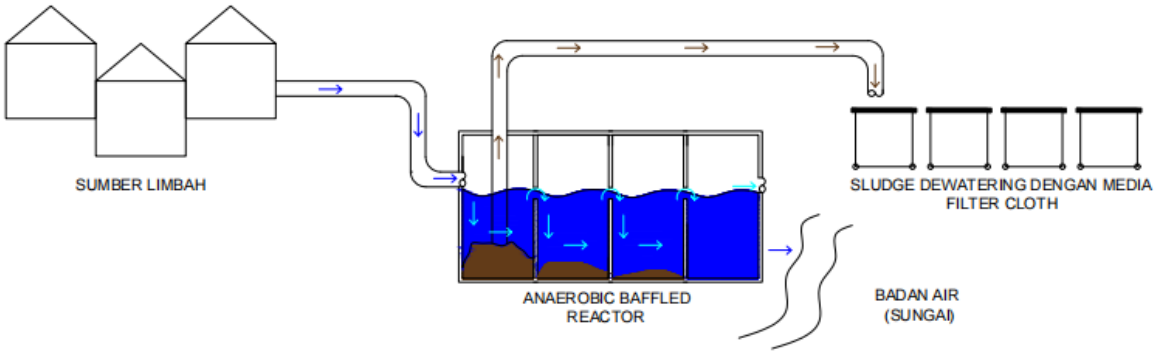
Dari perhitungan SR ini dapat dilihat, variabel (kondisi lingkungan) mana yang memberikan pengaruh lebih besar atau lebih kecil terdapat penurunan kadar air.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Persiapan

4.1.1 Alur Proses IPAL Komunal Penghasil Lumpur

Pada **Gambar 4.1** ditunjukkan bahwa sumber air limbah yang diolah di IPAL Komunal Telaga Abadi berupa air limbah jenis *gray water* dan *black water* yang berasal dari kegiatan domestik penduduk sekitar. Air limbah diolah dengan unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), dan mengalir secara hidrolis melewati 4 kompartemen, sebelum akhirnya efluen akan dibuang ke badan air. Sedangkan lumpur yang mengendap pada dasar ABR akan dipompakan ke atas untuk diolah menuju unit *Sludge Dewatering* (SD) dengan media *filter cloth*. Setelah kering, lumpur pada unit SD akan dipindahkan, agar unit SD dapat digunakan kembali untuk mengolah lumpur selanjutnya.



Gambar 4. 1 Alur Proses Pengolahan Limbah dan Lumpur Limbah di IPAL Komunal Telaga Abadi

Pengaliran air limbah dari sumber menuju IPAL dilakukan tanpa adanya penyaringan (*screening*), air limbah langsung masuk ke unit ABR kompartemen 1, hal ini menyebabkan kotoran/partikel besar seperti sampah yang dibuang melalui saluran pembuangan air, juga ikut mengendap dan menambah kuantitas lumpur pada dasar bak. Kemudian, adanya sampah ini menyebabkan masalah yaitu kemacetan pada pompa pada saat pemindahan lumpur.

4.1.2 Karakteristik Awal Lumpur IPAL

Sebelum penelitian utama berlangsung, dilakukan analisis karakteristik awal mengenai objek penelitian. Objek pada penelitian ini adalah lumpur hasil pengolahan air limbah pada kompartemen 1 dan 2 unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), yang terdapat pada IPAL Komunal Telaga Abadi. Analisis karakteristik awal ini dilakukan untuk memberikan gambaran terkait kondisi fisik lumpur IPAL. Hasil uji karakteristik awal lumpur dari kompartemen 1 dan 2 unit ABR dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Karakteristik Awal Lumpur IPAL

Sumber Lumpur	Kadar Air (%)	TS(%)	VS(%)	FS(%)
Periode 1				
Kompartemen 1	**5,41**	**94,59**	**37,35**	**62,65**
Kompartemen 2	**0,29**	**99,71**	**13,85**	**86,15**
Periode 2				
Kompartemen 1	**5,36**	**94,64**	**38,61**	**61,39**
Kompartemen 2	**1,82**	**98,18**	**26,86**	**73,14**

Berdasarkan **Tabel 4.1** diatas, lumpur IPAL memiliki karakteristik yang cukup encer dengan kadar air diatas 90%. Selain itu, keadaan fisik lainnya dapat dilihat sebagai berikut:

- Memiliki warna hitam pekat.
- Berbau tidak sedap, hal ini dikarenakan lumpur dihasilkan dari pengolahan air limbah yang bersumber pada *grey water* dan *black water*.
- Memiliki suhu sekitar 31°C atau ±3°C dari suhu udara ambien saat pengambilan sampel, yang juga memiliki suhu 31°C (Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002).
- Terdapat banyak alga yang ikut terpompa dan menempel pada lumpur.
- Terdapat berbagai pengotor lain seperti dedaunan, ranting pohon serta berbagai sampah domestik (karet, sisa rambut, baterai, sampah domestik).

Gambar 4. 2 Kondisi Awal Lumpur IPAL

4.1.3 Spesifikasi Media *Filter Cloth*

Media *Filter Cloth* merupakan hal baru dalam pengolahan lumpur. Umumnya pengolahan lumpur secara *Dewatering* dilakukan dengan unit *Sludge Drying Bed* dengan media berupa pasir dan kerikil. Namun, prinsip pengolahan yang digunakan tetap sama dimana pada media kain filter juga memiliki pori-pori kecil yang digunakan untuk menahan lumpur selama proses pengeringan dan menyaring kandungan air pada lumpur pada saat proses filtrasi berlangsung.

Kain filter memiliki berbagai jenis di pasaran, namun pada penelitian ini media kain filter berperan sebagai variabel kontrol, sehingga digunakan kain dengan spesifikasi yang sama untuk semua variasi pengolahan. Spesifikasi kain filter yang digunakan sebagai berikut:

- Material : *Woven Polypropylene* 740
- *Gram per square meter* (GSM) : 315
- Permeabilitas udara : 217 N/A^2
- Ukuran : disesuaikan dengan ukuran bak SD.

Proses pengeringan lumpur dengan spesifikasi kain filter yang berbeda mungkin akan memiliki keefektifan yang berbeda, sehingga perlu dilakukan pengecekan spesifikasi terhadap bahan dan/atau alat sebelum melakukan penelitian. Kain filter telah dipasarkan di berbagai *platform* belanja *online*.

4.2 Proses Filtrasi

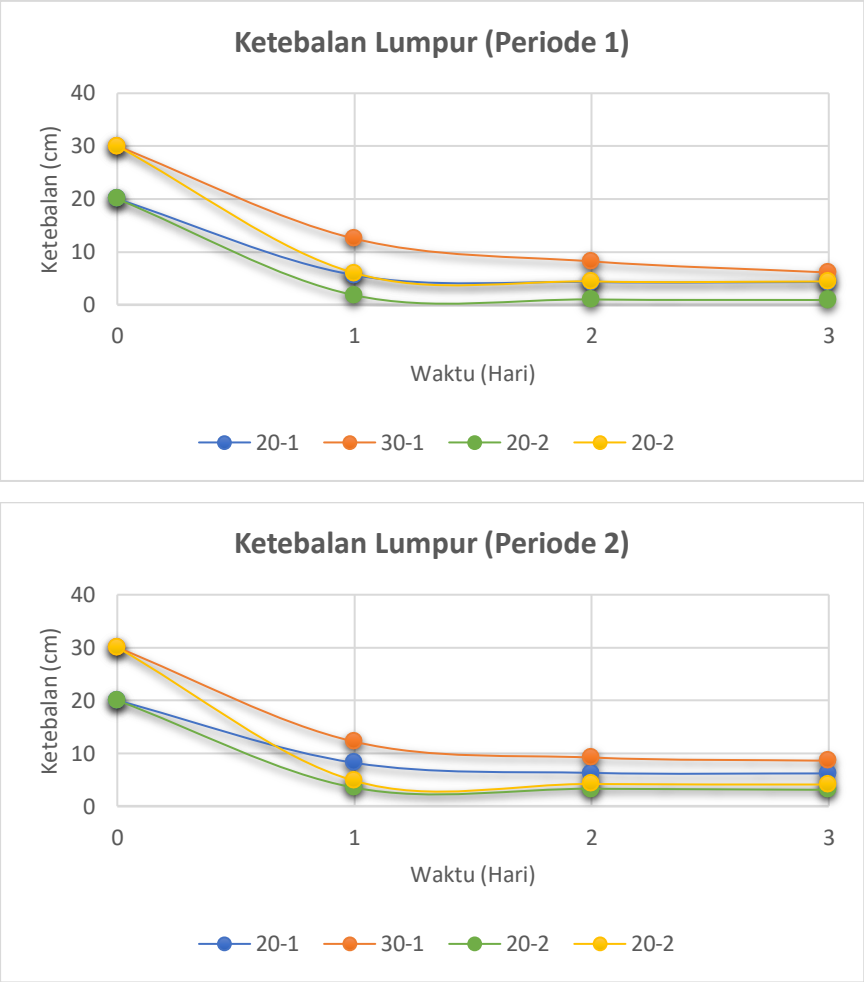
Pengolahan pertama yang terjadi setelah lumpur IPAL dipindahkan dari unit ABR menuju unit SD adalah proses filtrasi. Proses filtrasi merupakan proses penyaringan lumpur melalui media kain filter, selama proses berlangsung, terjadi adanya pemisahan partikel tersuspensi dan koloid (Sitasari & Khoironi, 2021). Menurut Pileggi *et al.* (2012), pada tahap ini akan terjadi penurunan kadar air pada lumpur hingga mencapai kadar air 80%. Saat proses filtrasi, air buangan (filtrat) yang melewati media filter dialirkan kembali menuju unit ABR melalui pipa outlet.

Gambar 4. 3 Aliran Filtrat Pada Proses Filtrasi

Penurunan ketebalan lumpur IPAL dalam bak SD pada saat proses filtrasi berlangsung dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Ketebalan Lumpur IPAL

No	Unit	Ketebalan Lumpur (cm)			
		Hari 0	Hari 1	Hari 2	Hari 3
Periode 1					
1	20-1	20	5,6	4,3	4,3
2	30-1	30	12,5	8,2	6,1
3	20-2	20	1,8	1	0,9
4	30-2	30	6	4,4	4,4
Periode 2					
1	20-1	20	8,2	6,3	6,2
2	30-1	30	12,2	9,2	8,6
3	20-2	20	3,5	3,3	3,1
4	30-2	30	4,8	4,2	4,1



Gambar 4. 4 Grafik Penurunan Ketebalan Lumpur Selama Proses Filtrasi

Tabel 4.1 dan **Gambar 4.4** diatas menunjukkan ketebalan lumpur pada unit SD mengalami penurunan setiap harinya, dikarenakan adanya filtrat yang keluar dari unit SD melalui media filter dan pipa outlet. Pengukuran ketebalan lumpur hanya dilakukan selama 3 hari, dikarenakan pada hari ke 4 dan seterusnya, penurunan ketebalan lumpur pada unit SD tidak signifikan, yakni kurang dari 0,1 cm, sehingga sulit untuk menentukan angka ketebalan lumpur yang sebenarnya.

Menurut Oktarina & Haki (2013), perbedaan ketebalan lumpur mempengaruhi lamanya waktu yang diperlukan untuk mengeringkan lumpur IPAL hingga kadar ainya mencapai dibawah 60%. Hal ini didukung oleh Ummah & Herumurti (2018) yang menyatakan bahwa lumpur dengan ketebalan yang lebih kecil akan memudahkan cahaya dan udara masuk ke dalam lumpur dibandingkan dengan lumpur yang memiliki nilai ketebalan lebih tinggi.

Berdasarkan teori tersebut, maka dapat diperkirakan pada penelitian ini, sampel lumpur pada unit 30-1 akan memiliki waktu pengeringan yang paling lama. Sedangkan sampel lumpur pada unit 20-2 akan memiliki waktu pengeringan yang paling cepat.

4.3 Penelitian Utama

Penelitian utama berfokus pada unit *Sludge Dewatering* (SD) yang dilengkapi dengan media *filter cloth*, yang berlokasi di Desa Bedilan, Kabupaten Gresik. Terdapat 4

bak SD dengan dimensi yang sama, sebesar 160 cm x 100 cm x 65 cm. Keempat bak SD tersebut dengan 3 macam variasi, yaitu variasi sumber lumpur, variasi ketebalan pengisian lumpur dan variasi periode pengeringan. Lamanya periode penelitian bergantung pada jenis variasi yang ditetapkan, yang mana penelitian akan dilakukan apabila keempat sampel pada bak SD telah mencapai kadar air lumpur kurang dari 60%.

Tabel 4. 3 Variasi Penelitian

Ketebalan Lumpur (cm)	Sumber Lumpur (Kompartemen ABR)		Variasi Lain	
	1	2	Periode Penelitian	Waktu (hari)
20	(20-1)	(20-2)	1 (Maret-April)	23
30	(30-1)	(30-2)	2 (Mei-Juni)	19

4.3.1 Hasil Analisis Kadar Air, Total Solids, Volatile Solids dan Fixed Solid

Analisis utama penelitian ini adalah kadar air dan Total Solids (TS), yang merupakan parameter penting untuk menentukan waktu pengeringan yang optimum pada unit *Sludge Dewatering*. Analisis kadar air dan TS dilakukan setiap hari dengan tujuan agar didapatkan hasil penurunan konsentrasi padatan yang tersuspensi maupun terlarut, setelah dilakukan pengolahan dengan media kain filter pada unit SD (Ummah & Herumurti, 2018). Analisis kadar air dan TS dilakukan setiap hari hingga persentase kadar air lumpur olahan kurang dari 60% sesuai dengan Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017.

Total Solids (TS) merupakan parameter yang dapat menunjukkan kandungan padatan organik dan anorganik dalam lumpur, yang mana Volatile Solids (VS) merepresentasikan kandungan padatan organik dan Fixed Solids (FS) merupakan representasi kandungan padatan anorganik atau abu, (Nisrina & Andarani, 2018). Analisis VS dan FS dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya penurunan kandungan organik selama proses pengolahan lumpur berlangsung.

Dengan menggunakan metode penelitian dan perhitungan yang tercantum pada **Lampiran 1 dan 2** hasil perhitungan lengkap analisis kadar solid, TS, VS dan FS dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Periode 1

Hari ke-	20-1				30-1				20-2				30-2			
	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)
0	5,41	94,59	37,35	62,65	5,41	94,59	37,35	62,65	0,29	99,71	13,85	86,15	0,29	99,71	13,85	86,15
1	29,40	70,60	63,46	36,54	14,36	85,64	34,74	65,26	28,22	71,78	67,51	32,49	19,75	80,25	49,73	50,27
2	23,52	76,48	47,29	52,71	18,97	81,03	39,29	60,71	26,36	73,64	50,74	49,26	23,88	76,12	41,85	58,15
3	23,34	76,66	41,48	58,52	16,20	83,80	38,68	61,32	24,39	75,61	43,89	56,11	24,39	75,61	46,66	53,34
4	21,82	78,18	40,11	59,89	16,13	83,87	31,85	68,15	55,68	44,32	83,22	16,78	26,81	73,19	37,74	62,26
5	23,87	76,13	35,75	64,25	24,42	75,58	39,26	60,74	26,69	73,31	38,36	61,64	23,24	76,76	34,01	65,99
6	22,05	77,95	34,07	65,93	20,08	79,92	37,34	62,66	35,66	64,34	66,01	33,99	25,70	74,30	47,29	52,71
7	22,05	77,95	41,32	58,68	22,07	77,93	44,51	55,49	28,97	71,03	41,60	58,40	33,88	66,12	56,36	43,64
8	23,14	76,86	39,82	60,18	22,14	77,86	41,83	58,17	30,14	69,86	40,61	59,39	27,23	72,77	54,01	45,99
9	22,93	77,07	39,74	60,26	23,06	76,94	42,65	57,35	52,82	47,18	71,66	28,34	21,64	78,36	38,74	61,26
10	32,61	67,39	53,92	46,08	25,76	74,24	46,50	53,50	30,10	69,90	43,10	56,90	38,10	61,90	70,99	29,01
11	31,43	68,57	56,58	43,42	26,57	73,43	48,41	51,59	38,76	61,24	42,97	57,03	27,55	72,45	52,38	47,62
12	32,65	67,35	50,79	49,21	27,45	72,55	51,01	48,99	48,63	51,37	47,50	52,50	29,13	70,87	50,70	49,30
13	35,45	64,55	49,95	50,05	25,36	74,64	45,16	54,84	86,63	13,37	83,14	16,86	28,69	71,31	51,78	48,22
14	37,03	62,97	52,29	47,71	26,35	73,65	44,96	55,04	69,20	30,80	53,95	46,05	35,35	64,65	58,61	41,39
15	33,97	66,03	46,23	53,77	27,19	72,81	47,01	52,99	90,88	9,12	69,38	30,62	44,36	55,64	55,19	44,81
16	33,52	66,48	47,25	52,75	30,41	69,59	48,42	51,58	69,48	30,52	53,75	46,25	29,33	70,67	42,57	57,43
17	42,84	57,16	57,69	42,31	32,40	67,60	48,23	51,77	84,39	15,61	75,72	24,28	43,86	56,14	53,39	46,61
18	46,88	53,13	54,18	45,82	32,69	67,31	54,32	45,68	94,73	5,27	78,51	21,49	50,32	49,68	56,71	43,29
19	50,69	49,31	66,39	33,61	35,26	64,74	52,27	47,73	94,60	5,40	75,85	24,15	46,77	53,23	57,13	42,87
20	50,63	49,37	60,34	39,66	39,76	60,24	63,69	36,31	94,49	5,51	78,76	21,24	59,61	40,39	69,87	30,13
21	55,87	44,13	61,43	38,57	44,08	55,92	56,22	43,78	99,35	0,65	88,92	11,08	56,37	43,63	61,16	38,84
22	62,18	37,82	62,55	37,45	41,79	58,21	50,65	49,35	97,88	2,12	79,70	20,30	52,96	47,04	56,82	43,18
23	**62,22**	**37,78**	**63,59**	**36,41**	**40,10**	**59,90**	**46,72**	**53,28**	**94,13**	**5,87**	**76,62**	**23,38**	**56,14**	**43,86**	**54,95**	**45,05**

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Rasio Penurunan Kadar Air Periode 1

No	20-1		30-1		20-2		30-2		Rata-Rata	
	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan
0	94,59	23,99	94,59	8,95	99,71	27,93	99,71	19,46	97,15	20,08
1	70,60	-5,88	85,64	4,61	71,78	-1,86	80,25	4,13	77,07	0,25
2	76,48	-0,18	81,03	-2,77	73,64	-1,97	76,12	0,51	76,82	-1,10
3	76,66	-1,52	83,80	-0,07	75,61	31,29	75,61	2,43	77,92	8,03
4	78,18	2,05	83,87	8,28	44,32	-28,99	73,19	-3,58	69,89	-5,56
5	76,13	-1,82	75,58	-4,34	73,31	8,97	76,76	2,47	75,45	1,32
6	77,95	0,00	79,92	1,99	64,34	-6,69	74,30	8,18	74,13	0,87
7	77,95	1,09	77,93	0,08	71,03	1,18	66,12	-6,65	73,26	-1,08
8	76,86	-0,21	77,86	0,91	69,86	22,68	72,77	-5,59	74,34	4,45
9	77,07	9,68	76,94	2,70	47,18	-22,72	78,36	16,46	69,89	1,53
10	67,39	-1,18	74,24	0,81	69,90	8,66	61,90	-10,55	68,36	-0,56
11	68,57	1,22	73,43	0,88	61,24	9,87	72,45	1,58	68,92	3,39
12	67,35	2,80	72,55	-2,09	51,37	38,00	70,87	-0,44	65,53	9,57
13	64,55	1,58	74,64	0,98	13,37	-17,43	71,31	6,66	55,97	-2,05
14	62,97	-3,06	73,65	0,84	30,80	21,68	64,65	9,01	58,02	7,12
15	66,03	-0,45	72,81	3,22	9,12	-21,40	55,64	-15,02	50,90	-8,41
16	66,48	9,33	69,59	1,99	30,52	14,90	70,67	14,53	59,31	10,19
17	57,16	4,03	67,60	0,29	15,61	10,34	56,14	6,46	49,13	5,28
18	53,13	3,81	67,31	2,57	5,27	-0,13	49,68	-3,55	43,85	0,68
19	49,31	-0,06	64,74	4,50	5,40	-0,11	53,23	12,83	43,17	4,29
20	49,37	5,24	60,24	4,33	5,51	4,86	40,39	-3,24	38,88	2,80
21	44,13	6,32	55,92	-2,29	0,65	-1,47	43,63	-3,41	36,08	-0,21
22	37,82	0,03	58,21	-1,69	2,12	-3,74	47,04	3,18	36,30	-0,55
23	37,78		59,90		5,87		43,86		36,85	
Jumlah		**56,80**		**34,69**		**93,84**		**55,85**		**60,30**
Rata-Rata		**2,47**		**1,51**		**4,08**		**2,43**		**2,62**
Stand.Dev		**5,96**		**3,25**		**17,32**		**8,60**		**5,86**

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Periode 2

Hari ke-	20-1				30-1				20-2				30-2			
	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)	TS (%)	Kadar Air (%)	VS (%)	FS (%)
0	7,44	92,56	32,65	67,35	5,36	94,64	38,61	61,39	0,46	99,54	28,82	71,18	1,82	98,18	26,86	73,14
1	18,69	81,31	41,34	58,66	18,54	81,46	39,96	60,04	16,10	83,90	37,61	62,39	24,14	75,86	29,30	70,70
2	21,17	78,83	43,42	56,58	18,43	81,57	40,18	59,82	26,23	73,77	48,58	51,42	22,32	77,68	39,23	60,77
3	21,28	78,72	43,26	56,74	19,68	80,32	37,89	62,11	22,49	77,51	41,20	58,80	24,81	75,19	42,44	57,56
4	27,05	72,95	43,18	56,82	21,14	78,86	43,34	56,66	24,98	75,02	45,17	54,83	23,24	76,76	42,49	57,51
5	20,92	79,08	45,89	54,11	24,37	75,63	48,98	51,02	28,81	71,19	47,88	52,12	32,38	67,62	55,40	44,60
6	25,81	74,19	47,19	52,81	23,32	76,68	44,03	55,97	28,38	71,62	44,59	55,41	26,10	73,90	43,83	56,17
7	21,95	78,05	42,01	57,99	23,50	76,50	44,21	55,79	28,41	71,59	44,03	55,97	32,33	67,67	54,51	45,49
8	25,59	74,41	44,17	55,83	25,53	74,47	44,98	55,02	34,96	65,04	46,17	53,83	30,59	69,41	42,96	57,04
9	26,15	73,85	42,43	57,57	26,23	73,77	46,08	53,92	33,70	66,30	38,71	61,29	38,89	61,11	45,35	54,65
10	31,01	68,99	41,55	58,45	31,01	68,99	43,56	56,44	42,24	57,76	47,36	52,64	36,33	63,67	38,60	61,40
11	27,83	72,17	42,08	57,92	27,99	72,01	46,15	53,85	43,05	56,95	44,37	55,63	38,33	61,67	39,08	60,92
12	30,66	69,34	46,58	53,42	26,59	73,41	44,19	55,81	53,49	46,51	48,57	51,43	39,24	60,76	40,83	59,17
13	30,59	69,41	43,88	56,12	28,82	71,18	46,84	53,16	52,40	47,60	49,74	50,26	46,94	53,06	44,18	55,82
14	36,09	63,91	44,89	55,11	29,90	70,10	48,90	51,10	55,61	44,39	51,23	48,77	49,73	50,27	49,84	50,16
15	36,80	63,20	44,32	55,68	30,66	69,34	49,74	50,26	61,30	38,70	51,81	48,19	53,05	46,95	44,50	55,50
16	35,63	64,37	41,61	58,39	34,24	65,76	50,82	49,18	64,98	35,02	48,46	51,54	50,86	49,14	47,71	52,29
17	44,23	55,77	47,18	52,82	34,89	65,11	48,51	51,49	76,10	23,90	42,71	57,29	61,22	38,78	41,55	58,45
18	45,72	54,28	48,73	51,27	38,92	61,08	47,69	52,31	76,81	23,19	50,52	49,48	59,87	40,13	47,97	52,03
19	**43,88**	**56,12**	**48,67**	**51,33**	**41,75**	**58,25**	**46,52**	**53,48**	**74,64**	**25,36**	**52,45**	**47,55**	**57,27**	**42,73**	**44,10**	**55,90**

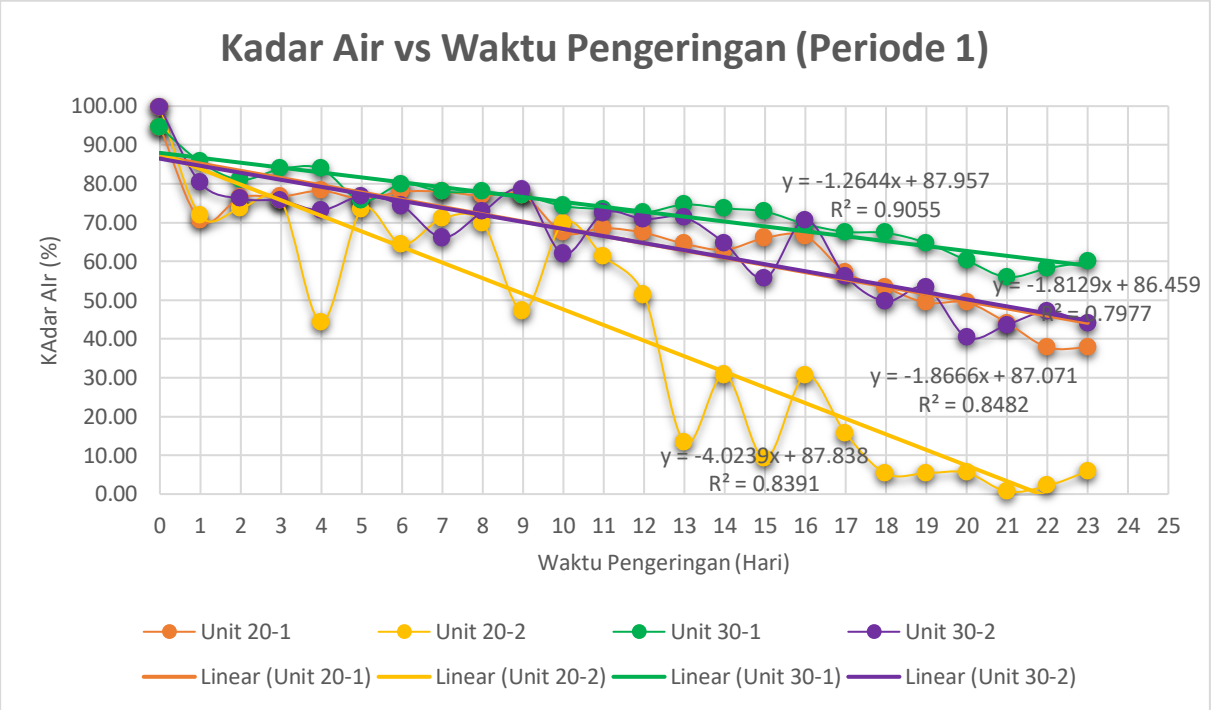
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Rasio Penurunan Kadar Air Periode 2

No	20-1		30-1		20-2		30-2		Rata-Rata	
	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan	Kadar Air	Rasio Penurunan
0	92,56	11,25	94,64	13,18	99,54	15,64	98,18	22,32	96,23	15,60
1	81,31	2,48	81,46	-0,11	83,90	10,13	75,86	-1,82	80,63	2,67
2	78,83	0,11	81,57	1,26	73,77	-3,74	77,68	2,49	77,97	0,03
3	78,72	5,78	80,32	1,45	77,51	2,49	75,19	-1,57	77,94	2,04
4	72,95	-6,13	78,86	3,23	75,02	3,82	76,76	9,14	75,90	2,52
5	79,08	4,89	75,63	-1,05	71,19	-0,43	67,62	-6,28	73,38	-0,72
6	74,19	-3,86	76,68	0,18	71,62	0,03	73,90	6,23	74,10	0,65
7	78,05	3,64	76,50	2,03	71,59	6,55	67,67	-1,74	73,45	2,62
8	74,41	0,57	74,47	0,69	65,04	-1,26	69,41	8,31	70,83	2,08
9	73,85	4,85	73,77	4,78	66,30	8,54	61,11	-2,57	68,76	3,90
10	68,99	-3,17	68,99	-3,02	57,76	0,80	63,67	2,00	64,85	-0,85
11	72,17	2,82	72,01	-1,40	56,95	10,45	61,67	0,91	65,70	3,20
12	69,34	-0,07	73,41	2,23	46,51	-1,09	60,76	7,70	62,50	2,19
13	69,41	5,50	71,18	1,08	47,60	3,21	53,06	2,79	60,31	3,14
14	63,91	0,71	70,10	0,76	44,39	5,70	50,27	3,32	57,17	2,62
15	63,20	-1,17	69,34	3,59	38,70	3,68	46,95	-2,18	54,55	0,98
16	64,37	8,60	65,76	0,65	35,02	11,12	49,14	10,36	53,57	7,68
17	55,77	1,48	65,11	4,03	23,90	0,71	38,78	-1,35	45,89	1,22
18	54,28	-1,84	61,08	2,83	23,19	-2,17	40,13	-2,60	44,67	-0,94
19	56,12		58,25		25,36		42,73		45,61	
Jumlah		**36,43**		**36,39**		**74,18**		**55,45**		**50,61**
Rata-Rata		**1,92**		**1,92**		**3,90**		**2,92**		**2,66**
Stand.Dev		**4,34**		**3,35**		**5,30**		**6,64**		**3,71**

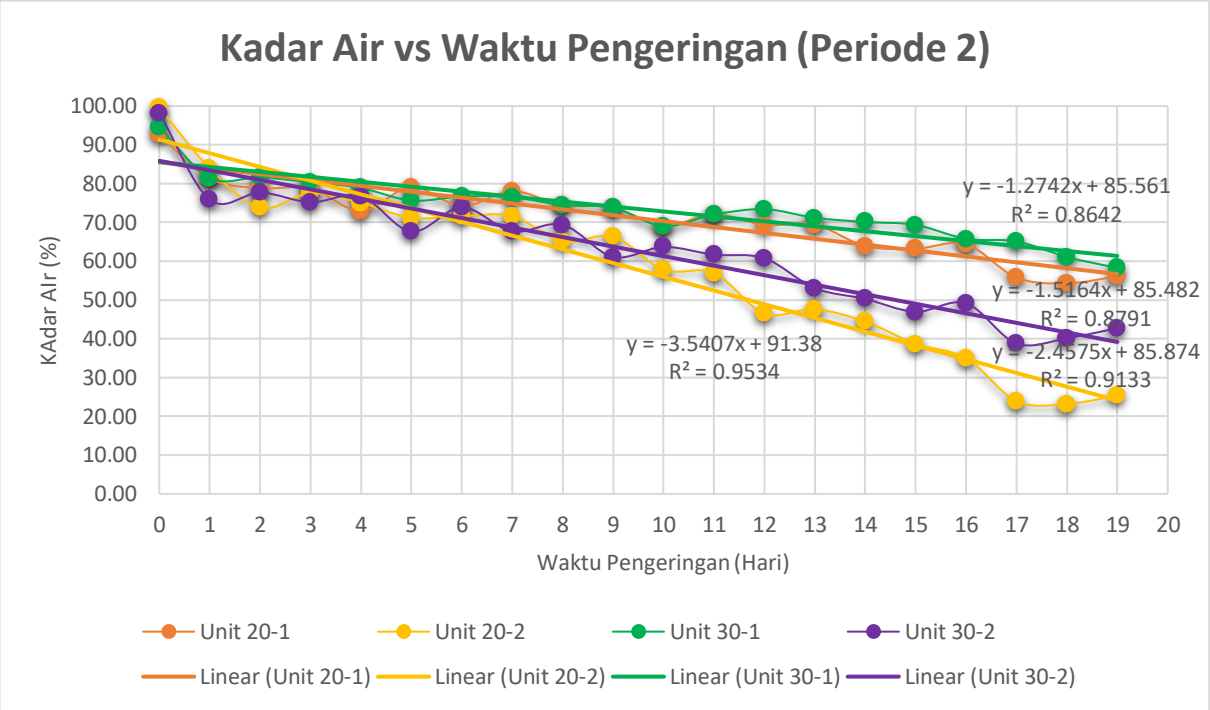
4.3.2 Pengaruh Waktu Pengeringan terhadap Penurunan Kadar Air pada Lumpur IPAL

Penentuan waktu optimum pada proses pengeringan lumpur di unit SD berfungsi untuk mengetahui saat paling tepat untuk memindahkan lumpur dari unit SD, sehingga lumpur dapat segera dimanfaatkan dan unit SD dapat digunakan kembali untuk proses pengeringan selanjutnya.

Semakin lama waktu pengeringan, maka semakin kecil kadar air yang terkandung dalam lumpur. Hal ini dibuktikan pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6**, dapat dilihat bahwa lumpur pada keempat unit SD memiliki kecenderungan kadar air yang menurun pada setiap harinya, meskipun di beberapa titik mengalami kenaikan. Hal tersebut diperkirakan terjadi karena adanya faktor error seperti perbedaan titik pengambilan sampel dan adanya pengotor seperti algae yang ikut terambil pada saat pengambilan dan pengujian sampel, sehingga dapat mempengaruhi hasil penelitian.



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Waktu Pengeringan dan Kadar Air (Periode 1)



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Waktu Pengeringan dan Kadar Air (Periode 2)

Waktu pengeringan optimum ditentukan apabila hasil penelitian secara stabil menunjukkan angka kadar air lumpur dibawah 60% (Sesuai Lampiran II Permen PUPR 04/2017). Pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** dapat dilihat bahwa keempat sampel lumpur secara berturut mencapai kadar air <60% mulai pada hari ke-21 dan hari ke-19. Kemudian, apabila ditentukan berdasarkan rumus regresi linear maka penentuan waktu pengeringan dapat dilihat sesuai contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui (Unit 20-1 Periode 1):

1. Rumus Regresi Linear : y = -1,8666x + 87,071
2. Koef. y menunjukkan : persentase kadar air
3. Koef. x menunjukkan : waktu pengeringan (hari)

Kriteria kadar air >60% (y=60),

Maka waktu pengeringan yang dibutuhkan:

1. 60 = -1,8666x + 87,071
   -1,8666x = 60 – 87,071
   x = $-27{,}071 / -1{,}8666$
   = 14,502
2. Waktu Pengeringan = **15 hari**

Berdasarkan perhitungan yang sama, untuk unit yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Berdasarkan Rumus Regresi Linear

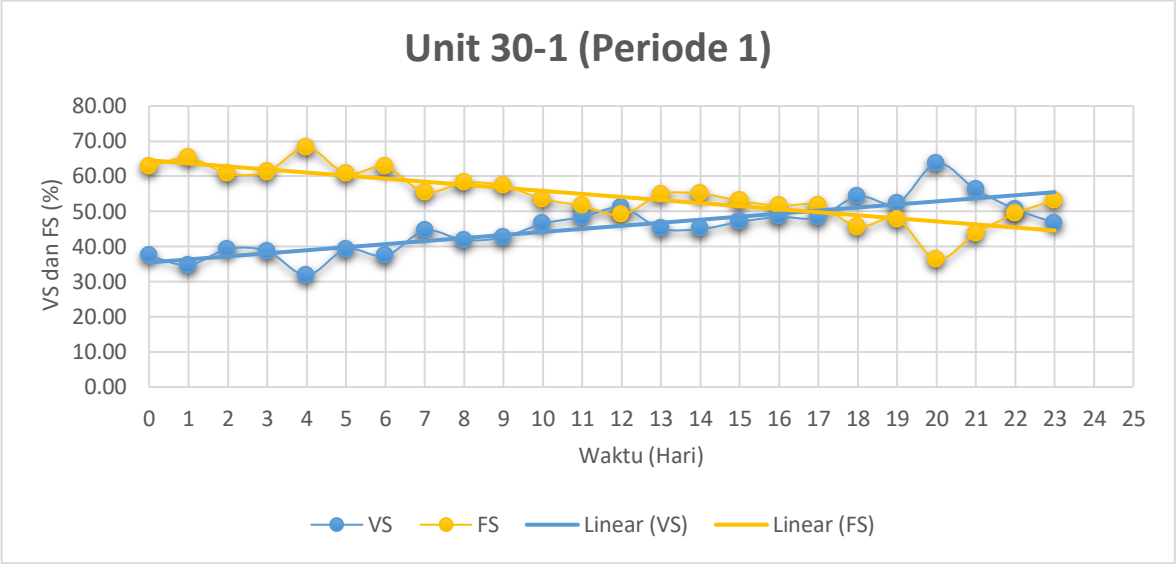
Periode	Unit	Rumus	x (y=60)	Waktu Pengeringan Lumpur (hari)
1	**20-1**	y = -1,8666x + 87,071	14,5028	15
	30-1	y = -1,2644x + 87,957	22,1109	23
	20-2	y = -4,0239x + 87,838	6,9208	7
	30-2	y = -1,8129x + 86,459	14,1525	15
2	**20-1**	y = -1,5164x + 85,482	16,8043	17
	30-1	y = -1,2742x + 85,561	20,0604	21
	20-2	y = -3,541x+ 91,38	8,8627	9
	30-2	y = -2,458x +85,874	10,529	11

Dari **Tabel 4.8** diatas dapat dilihat bahwa hasil perhitungan waktu pengeringan lumpur dengan rumus regresi linear menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian secara langsung. Pada waktu pengeringan tersebut, lumpur IPAL yang sudah kering (kadar air <60%) dan memenuhi persyaratan sesuai Lampiran II Permen PUPR No. 4 Tahun 2017, dapat dipindahkan secara manual dengan peralatan seperti cangkul dan/atau sekrop.

4.3.3 Hubungan Antara Waktu Pengeringan dengan Kandungan Volatile-Fixed Solids pada Lumpur IPAL

Total Solids (TS) terdiri dari Volatile Solids (VS) dan Fixed Solid (FS). Dimana VS menunjukkan unsur organik, sedangkan FS menunjukkan unsur anorganik yang terkandung dalam lumpur. Penentuan kadar VS dan FS merupakan penelitian lanjutan dari penentuan kadar air pada lumpur. Sampel lumpur yang telah ditentukan kadar airnya, selanjutnya akan dibakar pada suhu 550°C dengan menggunakan alat *furnace*. Kandungan organik (VS) pada lumpur akan menguap pada saat pembakaran berlangsung, sehingga massa yang tersisa akan dianggap sebagai abu atau FS. Perhitungan nilai %VS dan %FS secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 4.4** (Periode 1) dan **Tabel 4.6** (Periode 2).

Seluruh sampel yang diuji pada penelitian ini cenderung memiliki %FS yang lebih tinggi diawal pengeringan, selanjutnya nilai %FS menurun terus-menerus, sebaliknya %VS pada sampel lumpur cenderung mengalami kenaikan. Sebagai contoh, dapat dilihat **Gambar 4.7** yang menunjukkan perbandingan waktu pengeringan dengan %VS dan %FS pada sampel lumpur unit 30-1 Periode 1.



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Waktu Pengeringan dengan %FS dan %VS

Menurut Elissa & Saptomo (2020), lumpur residu yang dihasilkan pada proses pengolahan IPAL memiliki bagian anorganik yang lebih banyak, ditunjukkan dari %*fixed solid* yang lebih tinggi dari %*volatile solid*. Hal tersebut sejalan dengan perhitungan persentase VS dan FS pada sampel awal lumpur yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.6**. Namun, dapat dilihat pada **Gambar 4.7** kandungan sampel menunjukkan penurunan pada %FS dan kenaikan pada %VS. Hal tersebut dapat disebabkan karena kandungan organik pada lumpur meningkat seiring berjalannya waktu pengeringan lumpur.

Sebagai contoh, dapat dilihat pada **Gambar 4.8** terjadi pertumbuhan algae, jamur putih serta tanaman liar pada bagian permukaan dan dalam lumpur IPAL. Pertumbuhan ini disebabkan karena lumpur IPAL memiliki kandungan nutrisi (nitrogen & fosfor) yang cukup sebagaimana yang tercantum dalam **Tabel 4.12**, serta adanya sinar matahari yang membantu dalam proses fotosintesis pada tumbuhan.

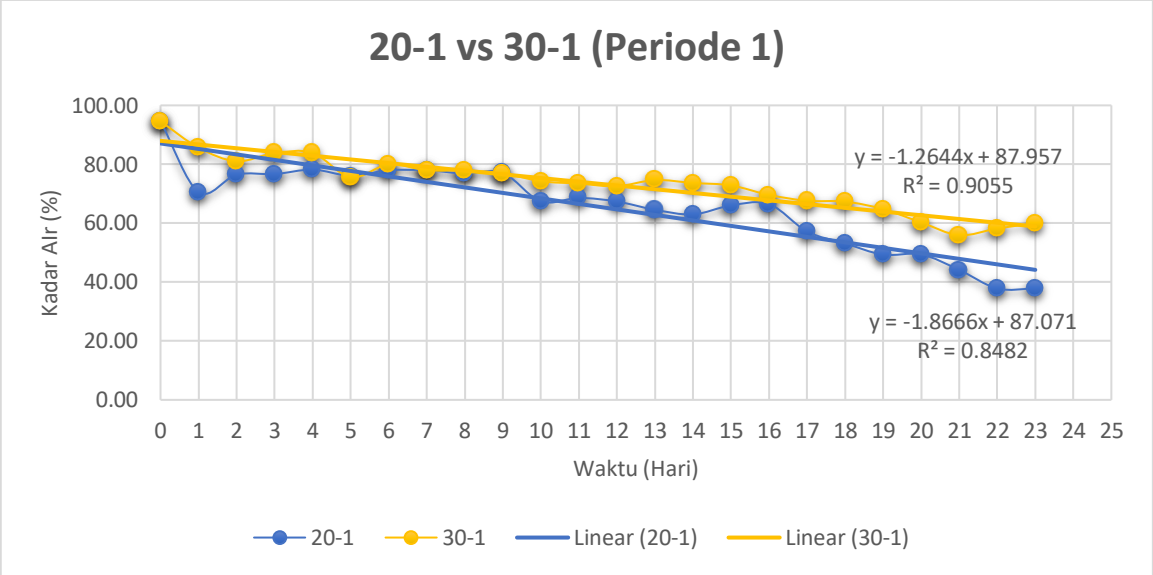
Saat dilakukan pengambilan sampel, kandungan organik (algae, jamur putih, akar tanaman liar) menempel pada kandungan solid lumpur, sehingga sulit untuk dipisahkan. Saat pengujian laboratorium berlangsung, kandungan organik tidak terbakar di oven dengan suhu 105˚C, namun dapat terbakar pada furnace dengan suhu 550˚C. Karena perhitungan % FS dan %VS didasarkan dari berat kering (*dry basis*) lumpur, sehingga kenaikan %VS yang terjadi menyebabkan penurunan pada %FS.

Gambar 4. 8 Kandungan Organik Pada Lumpur IPAL

4.3.4 Pengaruh Ketebalan Pengisian Lumpur terhadap Penurunan Kadar Air pada Lumpur IPAL

Pengisian lumpur yang dilakukan pada unit SD divariasikan menjadi 2 ketebalan yang berbeda, yaitu 20 cm dan 30 cm. Penentuan ketebalan lumpur ini didasarkan dari Lampiran II Permen PUPR No 04/2017 yang menyatakan lapisan lumpur pada 1 unit SD memiliki ketebalan 20 – 30 cm.

Pengisian lumpur IPAL dilakukan pada unit SD yang memiliki dimensi sama besar, sehingga volume lumpur setinggi 20 cm akan lebih sedikit daripada volume lumpur setinggi 30 cm, hal ini berbanding lurus dengan beban pengeringan pada masing-masing unit. Maka dari itu, pada variasi ini diperkirakan proses pengeringan lumpur pada ketebalan yang lebih rendah akan membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan lumpur yang memiliki ketebalan lebih tinggi.



Gambar 4. 9 Grafik Penurunan Kadar Air pada Variasi Ketebalan Lumpur

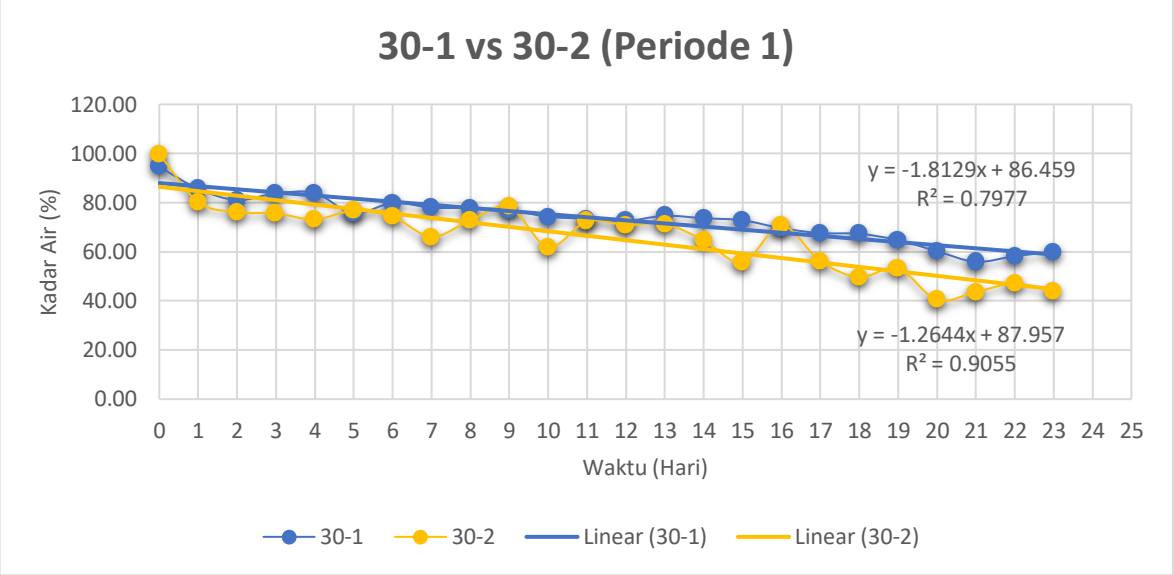
Sebagai contoh, diambil data perbandingan penurunan kadar air pada ketebalan 20 cm dan 30 cm pada sumber lumpur kompartemen 1 periode 1 yang dapat dilihat pada **Gambar 4.**9. Apabila dilihat secara langsung dari grafik diatas, sampel 20-1 pertama kali menunjukkan angka kadar air dibawah 60% pada hari ke-17, sedangkan sampel 20-1 pada hari ke-21.

Selanjutnya, dengan rumus regresi linier, berdasarkan **Tabel 4.8** sampel 20-1 dan 30-1 secara berurut menunjukkan waktu pengeringan optimum pada hari ke-15 dan hari ke-23. Pada **Tabel 4.8** dapat dilihat pula, sampel lumpur pada berbagai variasi periode pengeringan dan sumber lumpur menunjukkan proses pengeringan lumpur pada ketebalan 20 cm memiliki waktu pengeringan optimum yang lebih cepat dibandingkan lumpur pada ketebalan 30 cm. Hal ini sesuai dengan Oktarina & Haki (2013) yang menyatakan perbedaan ketebalan lumpur berpengaruh pada penentuan waktu pengeringan optimum yang diperlukan.

4.3.5 Pengaruh Perbedaan Sumber Lumpur terhadap Penurunan Kadar Air pada Lumpur IPAL

Sumber lumpur yang diambil dalam penelitian ini berasal dari unit *Anaerobic Baffled Reactor* kompartemen 1 dan 2. Menurut Dengo *et al.* (2020), mekanisme pada unit ABR dimulai dari air limbah yang berasal dari pemukiman warga akan masuk ke dalam ABR

kompartemen ke-1, kemudian aliran air akan bergerak naik turun menuju kompartemen 2, 3 dan 4, sebelum akhirnya efluen air limbah akan dibuang menuju badan air. Dengan cara ini air limbah berkontak dengan sisa lumpur yang mengendap di dasar kompartemen. Lumpur ini mengandung mikroorganisme yang membantu dalam menguraikan polutan pada kondisi anaerobik.



Gambar 4. 10 Grafik Penurunan Kadar Air pada Variasi Sumber Lumpur

Sebagai contoh, pada **Gambar 4.10** dibandingkan grafik penurunan kadar air pada proses pengeringan lumpur pada ketinggian yang sama (30 cm), dengan sumber lumpur dari kompartemen 1 ABR (unit 30-1) dan kompartemen 2 ABR (30-2) pada periode 1. Apabila dilihat secara langsung, sampel 30-1 menunjukkan angka kadar air <60% secara stabil mulai dari hari ke-21. Sedangkan pada sampel 30-2, angka kadar air <60% secara stabil baru ditunjukkan setelah hari pengeringan ke-17. Dilihat dari **Tabel 4.5**, berdasarkan rumus regresi linier waktu pengeringan optimum yang dibutuhkan adalah 23 hari untuk sampel 30-1 dan 15 hari untuk sampel 30-2.

Hasil pengujian karakteristik awal sampel lumpur menunjukkan bahwa lumpur yang bersumber dari kompartemen 1 ABR memiliki kadar air awal 92-95% (Periode 1 & 2), sedangkan lumpur dari kompartemen 2 ABR memiliki kadar air awal 98-99% (Periode 1&2). Hal ini mengisyaratkan bahwa pada sampel lumpur kompartemen 2 ABR memiliki pelepasan kadar air lebih tinggi saat proses filtrasi berlangsung, sehingga pengurangan beban pengeringan pada unit SD juga lebih tinggi.

Selanjutnya, karakteristik awal lumpur pada **Tabel 4.1** menunjukkan bahwa lumpur dari kompartemen 1 memiliki kandungan VS yang lebih tinggi dibanding lumpur dari kompartemen 2. Kandungan organik (VS) pada lumpur cenderung sulit dikeringkan dengan suhu rendah, sehingga cenderung akan tetap tertahan diatas permukaan kain filter selama proses pengeringan dan menambah beban pengeringan.

Dari berbagai sebab diatas dapat disimpulkan bahwa lumpur yang bersumber dari kompartemen 1 ABR membutuhkan waktu pengeringan yang lebih lambat dibandingkan lumpur yang bersumber dari kompartemen 2 ABR.

4.3.6 Hubungan Antara Penurunan Kadar Air dengan Karakteristik Fisik Lumpur IPAL

Sepanjang penelitian berlangsung, setiap harinya terjadi penurunan nilai persentase kadar air. Penurunan nilai kadar air pada lumpur ini juga mempengaruhi karakteristik fisik pada lumpur IPAL. Secara garis besar, perubahan fisik pada lumpur IPAL dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4. 9 Perubahan Karakteristik Fisik Lumpur IPAL

Gambar	Kadar Air	Keterangan
	>90%	• Kondisi awal sampel sesaat setelah pemompaan (hari ke 0). • Berwarna hitam pekat. • Bertekstur encer. • Berbau tidak sedap menyengat. • Tidak dapat diangkut secara manual.
	80 – 85%	• Terjadi setelah proses filtrasi (1 – 2 hari setelah pemompaan). • Berwarna hitam. • Berbau tidak sedap. • Tekstur tidak encer namun masih basah. • Belum dapat diangkut secara manual.
	70 – 75%	• Terjadi 5 – 7 hari sebelum proses pengeringan berakhir. • Retakan mulai terlihat di permukaan. • Sedikit berbau. • Berwarna abu-abu pada permukaan, coklat pada bagian dalam. • Tumbuh alga, jamur putih, lumut serta tanaman liar yang dapat dilihat dari permukaan. • Tekstur sedikit basah. • Sudah dapat diangkut secara manual.

Gambar	Kadar Air	Keterangan
	<60%	• Terjadi saat proses pengeringan berakhir. • Retakan dapat dilihat pada seluruh bagian permukaan. • Alga dapat terlihat dengan jelas menyebar di seluruh bagian permukaan. • Tekstur kering. • Bau hanya dapat dihirup pada jarak yang dekat. • Berwarna abu-abu muda pada permukaan dan lapisan atas, coklat pada lapisan dalam. • Dapat diangkut dengan mudah secara manual.

4.4 Pengaruh Kondisi Lingkungan Sekitar terhadap Proses Pengeringan Lumpur IPAL

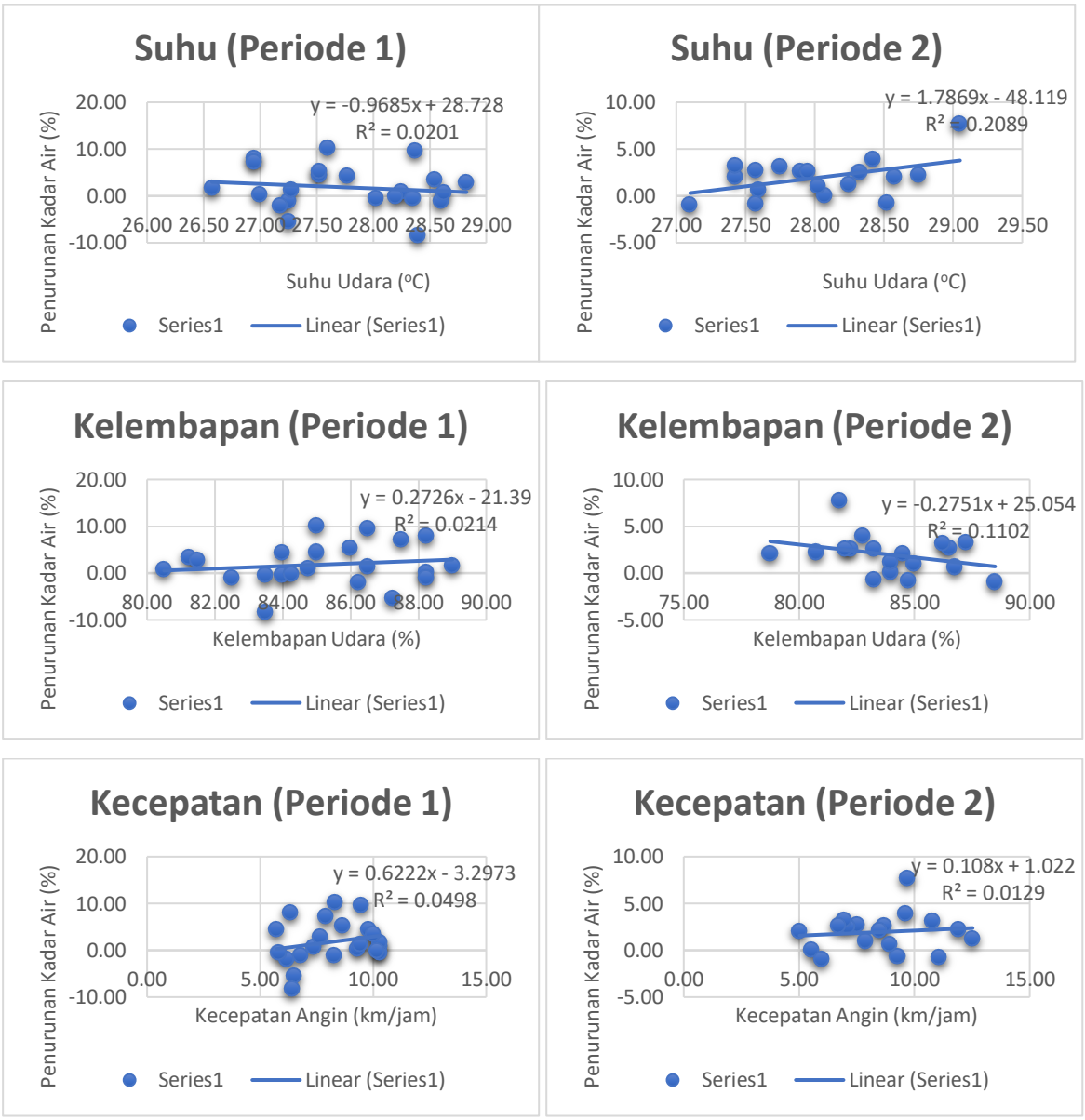
Kondisi lingkungan seperti sinar matahari, suhu udara, kelembapan udara ambien serta kecepatan angin merupakan faktor penting dalam proses dan laju pengeringan lumpur pada unit SD (Danish *et al.*, 2016). Pengukuran kondisi lingkungan dilakukan secara langsung di sekitar lokasi. Suhu udara diukur menggunakan alat *termometer*, kelembapan udara diukur menggunakan alat *hygrometer*, kecepatan angin diukur menggunakan alat *anemometer*.

Pengukuran kondisi lingkungan tidak hanya dilakukan 1x, hal ini dikarenakan perubahan angka pengukuran terjadi setiap detik. Maka dari itu, untuk merepresentasikan kondisi lingkungan, dilakukan 4x pengukuran dalam satu hari (pagi, siang, sore dan malam). Hasil pengukuran kondisi lingkungan dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Kondisi Lingkungan

Hari	Tanggal	Suhu Udara (°C)					Kelembapan Udara (%)					Kecepatan Angin (km/jam)				
		10.00 – 12.00	15.00 – 17.00	20.00 – 22.00	05.00 – 07.00	Rata-Rata	10.00 – 12.00	15.00 – 17.00	20.00 - 22.00	05.00 - 07.00	Rata-Rata	10.00 - 12.00	15.00 - 17.00	20.00 - 22.00	05.00 - 07.00	Rata-Rata
Periode 1 (Maret - April)																
0	3/18/2022	0	0	0	0	**0,00**	0	0	0	0	**0,00**	0	0	0	0	**0,00**
1	3/19/2022	31,40	26,30	25,50	24,80	**27,00**	72,00	90,00	95,00	96,00	**88,25**	13,40	7,00	9,40	7,40	**9,30**
2	3/20/2022	30,70	27,00	26,00	25,30	**27,25**	74,00	86,00	96,00	97,00	**88,25**	10,00	10,50	2,70	4,00	**6,80**
3	3/21/2022	29,80	27,50	26,00	24,50	**26,95**	77,00	85,00	94,00	97,00	**88,25**	9,30	10,50	2,00	3,60	**6,35**
4	3/22/2022	29,00	28,00	26,00	26,00	**27,25**	79,00	81,00	94,00	95,00	**87,25**	5,80	15,00	2,50	2,80	**6,53**
5	3/23/2022	30,50	28,00	26,00	24,60	**27,28**	73,00	83,00	93,00	97,00	**86,50**	10,00	18,30	4,50	5,00	**9,45**
6	3/24/2022	30,00	31,00	27,00	25,00	**28,25**	74,00	72,00	94,00	99,00	**84,75**	10,50	16,80	10,00	4,00	**10,33**
7	3/25/2022	31,00	30,70	27,70	25,00	**28,60**	70,00	74,00	88,00	98,00	**82,50**	10,00	11,50	7,60	4,00	**8,28**
8	3/26/2022	30,00	30,50	25,60	24,00	**27,53**	76,00	72,00	94,00	98,00	**85,00**	10,00	11,70	11,50	6,00	**9,80**
9	3/27/2022	31,00	26,00	25,00	24,30	**26,58**	72,00	90,00	96,00	98,00	**89,00**	13,00	18,80	2,40	7,00	**10,30**
10	3/28/2022	30,90	30,20	26,00	25,00	**28,03**	73,00	75,00	90,00	98,00	**84,00**	14,30	15,20	7,80	4,00	**10,33**
11	3/29/2022	31,00	31,00	26,70	25,50	**28,55**	69,00	68,00	92,00	96,00	**81,25**	9,20	15,00	12,60	3,30	**10,03**
12	3/30/2022	31,00	30,00	27,00	25,50	**28,38**	74,00	83,00	93,00	96,00	**86,50**	7,20	16,00	9,80	5,00	**9,50**
13	3/31/2022	30,00	27,50	26,00	25,20	**27,18**	75,00	82,00	92,00	96,00	**86,25**	8,00	10,90	1,50	4,30	**6,18**
14	4/1/2022	30,00	27,50	26,00	24,30	**26,95**	75,00	86,00	94,00	95,00	**87,50**	12,00	12,50	6,40	0,80	**7,93**
15	4/2/2022	31,00	30,50	26,40	25,70	**28,40**	73,00	76,00	90,00	95,00	**83,50**	0,20	13,20	7,50	4,80	**6,43**
16	4/3/2022	31,00	29,40	25,80	24,20	**27,60**	70,00	77,00	95,00	98,00	**85,00**	10,20	13,30	8,10	1,70	**8,33**
17	4/4/2022	31,00	28,00	26,30	24,80	**27,53**	73,00	82,00	92,00	97,00	**86,00**	11,00	12,60	8,00	3,00	**8,65**
18	4/5/2022	31,00	31,00	26,50	26,00	**28,63**	70,00	68,00	88,00	96,00	**80,50**	10,20	12,00	4,20	3,00	**7,35**
19	4/6/2022	30,80	29,20	26,00	25,10	**27,78**	70,00	79,00	91,00	96,00	**84,00**	7,10	8,80	5,00	2,00	**5,73**
20	4/7/2022	31,00	31,50	26,80	26,00	**28,83**	70,00	72,00	91,00	93,00	**81,50**	9,80	14,50	6,20	0,20	**7,68**
21	4/8/2022	31,80	29,10	26,90	25,00	**28,20**	72,00	77,00	92,00	96,00	**84,25**	15,00	11,70	9,00	5,00	**10,18**
22	4/9/2022	30,50	31,00	26,60	25,30	**28,35**	74,00	72,00	93,00	95,00	**83,50**	12,50	5,90	4,50	0,40	**5,83**
Rata-Rata		30,65	29,13	26,26	25,05	**27,78**	72,95	78,64	92,59	96,45	**85,16**	9,94	12,80	6,51	3,70	**8,24**

Hari	Tanggal	Suhu Udara (°C)					Kelembapan Udara (%)					Kecepatan Angin (km/jam)				
		10.00 – 12.00	15.00 – 17.00	20.00 – 22.00	05.00 – 07.00	Rata-Rata	10.00 – 12.00	15.00 – 17.00	20.00 - 22.00	05.00 - 07.00	Rata-Rata	10.00 - 12.00	15.00 - 17.00	20.00 - 22.00	05.00 - 07.00	Rata-Rata
Periode 2 (Mei - Juni)																
0	5/26/2022	0	0	0	0	**0,00**	0	0	0	0	**0,00**	0	0	0	0	**0,00**
1	5/27/2022	31,00	29,50	25,10	24,70	**27,58**	73,00	80,00	96,00	97,00	**86,50**	8,20	10,60	6,50	4,80	**7,53**
2	5/28/2022	31,20	29,80	27,00	24,30	**28,08**	73,00	76,00	90,00	97,00	**84,00**	8,10	6,70	4,50	3,00	**5,58**
3	5/29/2022	30,30	29,00	26,20	24,20	**27,43**	73,00	76,00	91,00	98,00	**84,50**	8,30	8,00	2,70	1,10	**5,03**
4	5/30/2022	31,50	30,60	26,50	24,70	**28,33**	73,00	70,00	88,00	98,00	**82,25**	5,00	13,40	6,10	4,00	**7,13**
5	5/31/2022	31,70	31,00	26,60	24,80	**28,53**	72,00	72,00	92,00	97,00	**83,25**	10,50	14,30	7,20	5,10	**9,28**
6	6/1/2022	31,00	28,90	26,00	24,50	**27,60**	74,00	82,00	94,00	97,00	**86,75**	8,00	19,70	3,10	5,00	**8,95**
7	6/2/2022	30,80	30,50	26,00	24,30	**27,90**	71,00	70,00	90,00	97,00	**82,00**	10,50	11,20	8,10	5,00	**8,70**
8	6/3/2022	31,00	31,00	27,50	24,80	**28,58**	68,00	64,00	88,00	95,00	**78,75**	8,30	10,70	8,70	6,30	**8,50**
9	6/4/2022	31,60	30,20	26,90	25,00	**28,43**	69,00	75,00	93,00	94,00	**82,75**	10,20	18,10	5,30	5,00	**9,65**
10	6/5/2022	30,00	28,70	27,00	24,60	**27,58**	74,00	80,00	88,00	97,00	**84,75**	11,00	17,20	10,20	6,00	**11,10**
11	6/6/2022	30,50	28,20	26,00	25,00	**27,43**	76,00	82,00	93,00	98,00	**87,25**	10,20	11,50	3,10	3,00	**6,95**
12	6/7/2022	31,50	30,40	27,00	26,10	**28,75**	70,00	72,00	87,00	94,00	**80,75**	12,30	18,00	13,10	4,30	**11,93**
13	6/8/2022	30,70	28,10	27,20	25,00	**27,75**	75,00	83,00	91,00	96,00	**86,25**	17,20	9,20	12,40	4,40	**10,80**
14	6/9/2022	31,60	29,00	26,20	25,00	**27,95**	69,00	77,00	92,00	95,00	**83,25**	10,20	11,00	1,70	4,00	**6,73**
15	6/10/2022	30,70	28,60	27,00	25,80	**28,03**	73,00	80,00	93,00	94,00	**85,00**	11,70	10,20	2,50	7,20	**7,90**
16	6/11/2022	32,10	29,80	27,30	27,00	**29,05**	69,00	79,00	90,00	89,00	**81,75**	16,50	12,30	10,00	0,00	**9,70**
17	6/12/2022	31,00	29,80	27,00	25,20	**28,25**	73,00	77,00	90,00	96,00	**84,00**	10,00	15,60	7,30	17,20	**12,53**
18	6/13/2022	29,00	27,80	26,50	25,10	**27,10**	80,00	84,00	93,00	97,00	**88,50**	8,50	5,30	7,10	3,00	**5,98**
Rata-Rata		30,96	29,49	26,61	25,01	**28,02**	72,50	76,61	91,06	95,89	**84,01**	10,26	12,39	6,64	4,91	**8,55**



Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Kondisi Lingkungan dan Penurunan Kadar Air

Gambar 4.11 merupakan grafik dari *Microsoft Excel* berdasarkan perbandingan data pengukuran masing-masing kondisi lingkungan dan angka penurunan kadar air lumpur IPAL yang tertera pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.7**. Namun, hasil yang didapatkan menunjukkan nilai *R Square* yang kecil (paling besar 20%) yang menyatakan bahwa kondisi lingkungan memiliki hubungan linier yang rendah hingga sangat rendah terhadap penurunan kadar air.

Analisis pengaruh kondisi lingkungan selanjutnya dilakukan menggunakan program *SPSS 25*. Hasil pengukuran kondisi lingkungan berdasarkan **Tabel 4.10** selanjutnya akan dibandingkan dengan angka penurunan kadar air lumpur IPAL. Setelah data di *input* dalam program, dilakukan uji sumbangan efektif (SE) dan sumbangan relatif (SR).

Tabel 4. 11 Hasil Pengolahan Data Program SPSS 25

Periode 1				
Variabel	**Standar Coefficient (Beta)**	**Korelasi Pearson**	**R Square (%)**	**Sig.F Change**
Suhu Udara (X1)	0,705	-0,084	25,6	0,377
Kelembapan Udara (X2)	0,908	0,214		
Kecepatan Angin (X3)	-0,419	-0,288		
Periode 2				
Variabel	**Standar Coefficient (Beta)**	**Korelasi Pearson**	**R Square (%)**	**Sig,F Change**
Suhu Udara (X1)	0,857	0,444	25,8	0,330
Kelembapan Udara (X2)	0,436	-0,221		
Kecepatan Angin (X3)	-0,131	0,197		

Tabel 4.11 menampilkan angka *Significant F* Change pada kedua periode menunjukkan hasil lebih dari 0,05 (>0,05). Maka artinya suhu udara (X1), kelembapan udara (X2) dan kecepatan angin (X3) secara simultan tidak berpengaruh terhadap penurunan kadar air (Y). Namun, dari data yang lain dapat dilakukan perhitungan SE dan SR sebagai berikut:

Diketahui Suhu Udara (X1) Periode 1:

1. $Beta_x$ = 0,705
2. Korelasi Pearson = -0,084
3. R Square (R^2) = 25,8

Perhitungan:

1. SE(X)% = $Beta_x$ x Korelasi Pearson x 100
   = 0,705 x (-0,084) x 100
   = **-5,922**
2. SR(X)% = SE(X)% / R^2
   = -5,922 / 25,6
   = **-0, 2315**

Dengan perhitungan yang sama, nilai SE dan SR secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4. 12 Nilai Sumbangan Efektif dan Sumbangan Relatif

Variabel	Periode 1	Periode 2	Rata-Rata
SE(X)%			
X1	-5,922	38,050	16,064
X2	19,431	-9,635	4,897
X3	12,067	-2,580	4,743
R^2	25,576	25,834	25,705
SR(X)%			
X1	-0,231	1,472	0,624
X2	0,759	-0,372	0,190
X3	0,471	-0,099	0,184
Total	1	1	1

Dari **Tabel 4.12** dapat dilihat bahwa nilai *R Square* pada kedua periode berada pada kisaran R^2 = 0,25. Berdasarkan **Tabel 3.3**, ini menunjukkan derajat hubungan kondisi lingkungan (suhu lingkungan, kelembapan udara dan kecepatan angin) terhadap penurunan kadar air lumpur, berada pada tingkatan rendah.

Kemudian nilai rata-rata sumbangan efektif yang ditunjukkan pada kedua periode menunjukkan hasil dimana secara berurutan variabel lingkungan yang paling berpengaruh pada penurunan kadar air selama proses pengeringan lumpur adalah suhu udara (16,1%), kelembapan udara (4,9%) dan kecepatan angin (4,7%).

4.5 Pemanfaatan Lumpur Kering Hasil Pengolahan

Lumpur IPAL yang telah kering dapat dipindahkan secara manual dari unit SD. Lumpur tersebut dapat dimasukkan ke dalam wadah kemudian dibawa menuju tempat pembuangan sampah. Namun, lumpur IPAL yang telah dikeringkan juga dapat diolah dan dimanfaatkan menjadi bahan baku kompos dengan syarat telah diuji karakteristiknya dan disesuaikan dengan standar yang ada.

Pengujian terhadap karakteristik lumpur kering dilakukan berdasarkan standar spesifikasi kompos sesuai SNI 19-7030-2004. Beberapa parameter yang akan diujikan adalah kadar air, kadar karbon (C), kadar nitrogen (N), rasio C/N, kadar fosfor (P), pH dan Coliform. Perbandingan hasil uji dengan SNI 19-7030-2004 dan standar eropa (Brinton, 2000) dapat dilihat pada **Tabel 4.13**.

Tabel 4. 13 Hasil Pengukuran Karakteristik Lumpur Kering

Sumber Lumpur	**Parameter**							
	Kadar Air (%)	C (%)	N (%)	Rasio C/N	P	pH		Coliform (MPN/g)
						pH meter	soil analyzer	
Kompartemen 1 ABR	59,90	27,10	1,3	20,85	0,93%	6,13	6,50	<3
Kompartemen 2 ABR	43,86	31,87	1,25	25,50	0,45%	6,01	6,50	<3
SNI 19-7030-2004	<50	9,8 - 32	>0,4	10,0 - 20,0	>0,1%	6,8 - 7,49		<1000
Europe Standard	<75	-	<2	<25	<800 mg/l	5,5 – 7,0		<1000
Keterangan	Kurang memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Kurang Memenuhi	Memenuhi	Kurang memenuhi		Memenuhi

Berdasarkan **Tabel 4.13**, dapat dilihat bahwa pada beberapa parameter tidak memenuhi standar spesifikasi kompos, sehingga diperlukan adanya solusi agar lumpur kering dapat dimanfaatkan sebagai kompos:

- Kadar air pada lumpur dari kompartemen 1 ABR masih belum memenuhi baku mutu. Maka dari itu, untuk mencapai angka kadar air <50% dapat dicapai dengan menambah waktu pengeringan lumpur.

- Rasio C/N pada kedua sampel lumpur menunjukkan angka sedikit diatas standar. Hal tersebut tidak menjadi masalah dikarenakan kebutuhan C dan N telah memenuhi standar. Selain itu, saat proses pengomposan berlangsung aktivitas mikroba dekomposer akan membebaskan CO_2, menyebabkan unsur C menurun sementara N tetap, sehingga rasio C/N akan mengalami penurunan mencapai 10 – 20 (saat matang) (Wulandari *et al*., 2020).
- Nilai pH pada kedua sampel menunjukkan angka dibawah dari standar spesifikasi kompos. pH tanah dapat dinetralkan kadar keasamannya dengan menambah bahan yang mengandung kapur (Ca), misalnya kapur dolomit yaitu kapur tunggal berkadar magnesium (Mg) tinggi yang dihasilkan dari proses penambangan (Koesrini *et al.*, 2015).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan pembahasan mengenai data yang diperoleh, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Lamanya waktu pengeringan yang dibutuhkan unit *Sludge Dewatering* dengan media *filter cloth* untuk menurunkan kadar air pada lumpur IPAL hingga <60% adalah 7 – 23 hari (Periode 1) dan 9 - 21 hari (Periode 2). Dari perbandingan variasi, disimpulkan bahwa lumpur dengan ketebalan pengisian yang lebih rendah dan bersumber dari kompartemen 2 ABR memiliki waktu pengeringan optimum yang lebih cepat dibandingkan dengan lumpur dengan ketebalan pengisian yang lebih tinggi dan lumpur dari sumber dari kompartemen 1 ABR.
2. Pengaruh kondisi lingkungan terhadap penurunan kadar air pada proses pengeringan lumpur tergolong rendah dengan total R *Square* 25%, dengan sumbangan efektif (SE) masing-masing variabel yaitu, suhu udara (16,1%), kelembapan udara (4,9%) dan kecepatan angin (4,7%).
3. Karakteristik lumpur IPAL yang dikeringkan telah memenuhi spesifikasi standar kompos berdasarkan parameter kadar karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P) dan *coliform*. Namun, berdasarkan parameter kadar air, pH dan rasio C/N masih kurang memenuhi. Maka dari itu, apabila lumpur kering akan dimanfaatkan menjadi kompos maka perlu ditambahkan kapur dolomit.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan, beserta dengan berbagai kekurangan yang ada pada penelitian ini, maka beberapa saran perbaikan diberikan agar penelitian selanjutnya dapat mencapai hasil yang lebih baik:

1. Dapat dibangun adanya unit *screen* sebagai pengolahan pendahuluan pada IPAL Komunal Telaga Abadi. Hal ini bertujuan untuk mengurangi beban pengolahan pada unit *Anaerobic Baffled Reactor*. Unit *screen* dan sumur pengumpul sebesar 2 m x 1 m dapat dibangun pada lahan kosong yang berada di depan unit ABR.
2. Perlu disediakan peralatan yang memadahi pada IPAL Komunal Telaga Abadi, seperti pompa lumpur beserta dengan aksesorisnya. Hal tersebut akan dapat mempermudah dalam pemindahan lumpur dari unit ABR dan SD. Peralatan yang tersedia merupakan salah satu faktor penting agar pengolahan dapat berjalan secara kontinyu.
3. Waktu pemompaan lumpur dapat dilakukan 3 bulan sekali. Lumpur dari 2 unit ABR (kompartemen 1 dan 2) dapat dipompakan setebal 30 cm pada masing-masing unit SD di waktu yang bersamaan sesuai perhitungan pada **Lampiran 2**.
4. Perlu adanya penelitian mengenai pengaruh kondisi lingkungan terhadap proses pengeringan lumpur IPAL dengan parameter yang berbeda, diantaranya intensitas cahaya dan curah hujan.
5. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan lumpur kering. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengujian untuk 7 parameter dari 31 parameter spesifikasi standar kompos yang tercantum dalam SNI 19-7030-2004.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Afifah, A.S. Apritama, M. R. Adicita, Y. Suryawan, I.W.K. 2020. Enhanced Effluent Quality of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) with Ozone and Aerobic Activated Sludge for Livestock Wastewater Treatment. *EPI International Journal of Engineering*. Vol 3(2), pp: 108 - 112.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dalam *nasional.kompas.com* edisi 26 November 2021. Jakarta.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Gresik. 2021. Kabupaten Gresik Dalam Angka 2021.

Badza, T. Tesfamariam, E.H. Cogger, C. 2020. Sludge Stabilization Process, Drying Depth and Polymeric Material Addition: Implication on Nitrogen Content, Selected Chemical Properties and Land Requirement in Sand Drying Beds. *Energies Journal*. 13(6753), pp: 1-16.

Bassan, M., Dodane, P.H., Strande, L. 2014. Fecal Sludge Management. London: *IWA Publishing*.

Bimantara, S.E. Hidayah, E.N. 2019. Pemanfaatan Limbah Lumpur IPAL Kawasan Industri dan Serbuk Gergaji Kayu Menjadi Briket. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan.* Vol 5(1), pp: 21-27.

Bresters, A.R. Coulomb, I. Deak, B. Matter, B. Saabye, A. Spinosa, L. Utvik, A. 1997. Sludge Treatment and Disposal: Management Approaches and Experiences. *European Environment Agency*. Denmark, pp: 7-8.

Brinton, W. 2000. Compost Quality Standard & Guidelines. *Woods End Research Laboratory*.

Cahyadhi, D. 2016. Pemanfaatan Limbah Lumpur (*Sludge*) Wastewater Treatment Plant PT. X Sebagai Bahan Baku Kompos. *JTM*. Vol 5(1), pp: 31-36.

Danish, M. Jing, H. Pin, Z. Ziyang, L. Pansheng, Q. 2016. A New Drying Kinetic Model for Sewage Sludge Drying in Presence of CaO and NaClO. *Applied Thermal Engineering*. 106 (Supplement C), pp: 141-152.

Dengo, V.A. Mangangka, I. Legrans, R. 2020. Perencanaan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) Sebagai Unit Pengolahan Air Limbah Peternakan Babi di Desa Rambunan Kecamatan Somber Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*. Vol 8(4), pp: 601-606.

Dian, G., Herumurti, W. 2016. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 5(1), ISSN: 2337-3539.

Dohdoh, A. M. 2019. Effect of Sludge Recirculation on Sewage Sludge Anaerobic Digester Performance. *International Journal off Current Engineering and Technology*. Vol 9(5), pp: 661-668.

Elbaz, A.A. Aboulfotoh, A.M. Elgohary, E.H. Reham, M.T. 2020. Review Classification of Sludge Drying Beds SDB (Conventional and drying beds CSD, Wedge-wire, Solar, and Vacuum Assisted and Paved Drying Beds PDB). *Journal of Materials and Environmental Sciences*. Vol 11(4), pp: 593-608.

Elissa, A. Saptomo, S.K. 2020. Analisis Timbulan Lumpur dan Kualitas Lumpur Hasil Proses Pengolahan Air Bersih di WTP Kampus IPB Dramaga Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol 5(1), pp:31-40.

Hamonangan, S.P., Handayani, N.U., Bakhtiar, A. 2017. Evaluasi Dampak Proses Produksi Dan Pengolahan Limbah Minuman Isotonik Mizone Terhadap Lingkungan Dengan Metode Life Cycle Assessment. Teknik Industri, Universitas Diponegoro, Semarang

Hebei Reking Wire Mesh Co. LTD., https://www.plybelt.com/polyester-sludge-dewatering-belt/polyester-sludge-dehydration-fabrics.html.

Hu, S. She, X. Wei, X. Hu, B. Hu, C. Qian, Y. Chen, Z. 2017. Surplus Sludge Treatment in Two Sludge Treatment Beds Under Subtropical Condition in China. *Environmental Biotechnologies for Sustainable Development (EBSuD)*. 119 (Supplement C), 377-386.

Hutagaol, D. Herumurti, W. 2020. Perencanaan Pengurasan dan Pengeringan Lumpur Skala Kecil IPALD-T Kabupaten Gresik. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 9(2), pp: D224 – D230.

Kana, M.R. Jafri, M. Tarigan, B.V. Maliwemu, E.U.K. 2016. Pengaruh Kecepatan Angin Blower dan Jumlah Pipa Pemanas Terhadap Laju Pengeringan Pada Alat Pengering Padi Tipe *Bed Dryer* Berbahan Bakar Sekam Padi. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*. Vol 3(2), pp: 31-36.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja: Edisi Pertama 2017. Jakarta.

Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907 Tahun 2022 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum.

Khansa, H.A. Herumurti, W. 2020. Perencanaan Tipikal Unit Pengolahan Skala Kecil Lumpur IPAL Domestik Kabupaten Gresik. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 9(2), pp: D216-D223.

Koesrini. Anwar, K. Berlian, E. 2015. Penggunaan Kapur dan Varietas Adaptif untuk Menginkatkan Hasil Kedelai di Lahan Sulfat Masam Aktual. *Berita Biologi*. Vol 14(2), pp: 155 - 161.

Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.

Metcalf & Eddy. 2014. Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery: Fifth Edition. *Mc Graw Hill Education*. New York, pp: 57-60.

Oktarina, D. Haki, H. 2013. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus: IPLT Sukawiatan). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol 1(1), pp: 74-79.

Pileggi, V. Budziakowski, J. Manoharan, M. Naguleswaran, S. Shen, Y. 2012. Design Guidelines for Sewerage Works. *Ministry of the Environment*. ISBN 978-1-4249-8438-1 PIBS 6879.

Pranoto, K. Pahilda, W.R. Abfertiawan, M.S. Elistyandari, A. Sutikno, A. 2019. Teknologi Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan dan

Perkantoran PT Kaltim Prima Coal. *Indonesian Mining Professionals Journal*. Vol 1(1): 61-66.

Purwatiningrum, O. 2018. Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal di Kelurahan Simokerto Kecamatan Simokerto Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Vol 10(2), pp: 243-253.

Qasim, S.R. Zhu, G. 2018. Wastewater Treatment and Reuse: Theory and Design Examples Volume 2 (Post-Treatment, Reuse and Disposal). *CRC Press Taylor & Francis Group*. Dallas, pp: 13-15.

Rahmelia, D. Diah, A. Said, I. 2015. Analisis Kadar Kalium (K) dan Kalsium (Ca) Dalam Kulit dan Daging Buah Terung Kopek Ungu (*Solanum melongena*) Asal Desa Nupa Bomba Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala. *Jurrnal Akademika Kimia*. Vol 4(3), pp: 143-148.

Selintung, M. Lopa, R.T. Zubair, A. Bakri, B. Ibrahim, R. 2016. Pengolahan Lumpur: Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum. Teknik Lingkungan, Universitas Hasanudin, Makassar.

Septien, S. Mirara, S.W. Makunuika, B.S.N. Sigh, A. Pocock, J. Velkushanova, K.Buckley, C.A. 2020. Effect of Drying on The Physical and Chemical Properties of Faecal Sludge for Its Reuse. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol 8, pp: 1-8.

Sitasari, A. Khoironi, A. 2021. Evaluasi Efektivitas Metode dan Media Filtrasi pada Pengolahan Air Limbah Tahu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol 19(3), pp: 565-575.

Soetopo, R.S. Purwati, S. Setiawan, S. Wardhana, K.A. 2012. Pengembangan proses Digestasi Anaerobik Lumpur Biologi IPAL Industri Kertas Untuk Meningkatkan Nilai Ekonomi Pemanfaatan Limbah. *Jurnal Riset Industri*. Vol VI(2), pp: 77-86.

Spinosa, Ludovico. 2001. Sludge from Wastewater Treatment Plants. Politecnico Milano, Milano: Italy

Sulaeman, Suparto, Eviati. 2005. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Bogor: Balai Penilitian Tanah dan Pengembangan Penelitian, Departemen Pertanian, pp: 102- 109.

Standar Nasional Indonesia 01-2332.1-2006 tentang Cara Uji Mikrobiologi Bagian 1: Penentuan Coliform dan E.coli pada Produk Perikanan.

Standar Nasional Indonesia 06-6989.26-2005 tentang Cara Uji Kadar Padatan Total Secara Gravimetri.

Standar Nasional Indonesia 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik.

Standar Nasional Indonesia 2803:2010 tentang Pupuk NPK Padat.

Standar Nasional Indonesia 6989.11-2019 tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter.

Standar Nasional Indonesia 7510-2011 tentang Tata Cara Perencanaan Pengolahan Lumpur Pada Instalasi Pengolahan Air Minum dengan Bak Pengering Lumpur (*Sludge Drying Bed*).

Strande, L., Ronteltap, M., Brdjanovic, D. 2014. Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation. *IWA Publishing* in London, UK

Suganda, Husein. Rachman, Achmad. Sutono. Petunjuk Pengambilan Contoh Tanah, dalam *balittanah.litbang.pertanian.go.id.*

Sunarti, T.C., Suprihatin, Lauda, R.D. 2014. Stabilisasi Sludge Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Menggunakan Starter Bakteri Indigenous Pada Aerobic Sludge Digester. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia* Vol. 3(1), pp: 200 – 213.

Tendean, C. Tilaar, S. Karongkong, H. H. 2014. Pengelolaan Air Limbah Domestik di Pemukiman Kumuh di Kelurahan Calaca dan Istiqlal Kecamatan Wenang. *Sabua*. Vol 6(3), pp: 293-306.

Umar, M. A. 2011. Peran Masyarakat dan Pemerintah dalam Pengelolaan Air Limbah Domestik di Wilayah Ternate Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*. Vol 25(1), pp: 42 – 54.

Ummah, M.F. Herumurti, W. 2018. Pengeringan Lumpur IPAL Biologis Pada Unit *Sludge Drying Bed* (SDB). *Jurnal Purifikasi*. Vol 18(1), pp: 39 - 48.

Wulandari, N. Madrini, I. Wijaya, I. 2020. Efek Penambahan Limbah Makanan terhadap C/N Ratio pada Pengomposan Limbah Kertas. *Jurnal Beta (Biosistem dan Teknik Pertanian*). Vol 8(1), pp: 103 – 112.

Yulianto, A. R. Subariyanti, H. Wardhana, A.K. 2020. Analisis Pengaruh Kualitas Produk dan Kualitas Pelayanan terhadap Kepuasan Pelanggan. *Jurnal Ekonomi*. Vol 22(3), pp: 165 – 178.

Zerin, I. Dutta, E. 2018. A Review Article on Applications of Filter Cloth. *International Journal of Clothing Science*. Vol 5(1), pp: 1 - 6.

Zuhri. 2020. Analisis Regresi Linier dan Korelasi Menggunakan Pemrograman Visual Basic. *Jurnal Ilmu Manajemen*. Vol 8(2), pp: 42 – 50.

LAMPIRAN 1
PROSEDUR ANALISIS

A. Analisis TS (*Total Solids*) dan Kadar Air

Metode analisis TS dan kadar air pada penelitian dilakukan secara gravimetri berdasarkan modifikasi dari cara uji kadar padatan total pada SNI 06-6989.26 (2005) seperti berikut:

- Disiapkan cawan porselen yang akan digunakan, dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan pada oven dengan suhu 105°C selama 15 menit, selanjutnya dimasukkan dalam desikator selama 15 menit.
- Ditimbang cawan porselen menggunakan neraca analitik sebagai a (g).
- Dimasukkan sampel lumpur ke dalam cawan porselen sebanyak 2 – 5 g dan dicatat massanya sebagai c (g), kemudian dipanaskan pada oven pada suhu 105°C selama 24 jam.
- Dimasukkan sampel dalam desikator 15 menit, kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik, dicatat beratnya sebagai b (g).
- Dilakukan perhitungan persentase zat padat (TS) dalam sampel dengan rumus:

$$TS\ (\%) = \frac{(b-a)}{c}\ x\ 100$$

- Perhitungan persentase kadar air dalam sampel dengan rumus:

$$Kadar\ AIr\ (\%) = \frac{(c-(b-a))}{c}\ x\ 100$$

B. Analisis VS (*Volatile Solids*), FS (*Fixed Solid*) dan Karbon (C).

Metode analisis VS, FS dan C pada penelitian dilakukan secara gravimetri berdasarkan modifikasi dari cara uji kadar padatan total yang menguap dan terikat pada SNI 06-6989.26 (2005) seperti berikut:

- Dilanjutkan sampel dari analisis TS dan kadar air.
- Dimasukkan sampel pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan pada oven dengan suhu 105°C selama 15 menit, selanjutnya dimasukkan dalam desikator selama 15 menit.
- Ditimbang sampel menggunakan neraca analitik dan dicatat massanya sebagai d (g).
- Dilakukan perhitungan persentase *volatile solids* (VS) dalam sampel dengan rumus:

$$VS\ (\%) = \frac{((b-a)-(b-d))}{(b-a)}\ x\ 100$$

- Perhitungan persentase *fixed solids* (FS) dalam sampel dengan rumus:

$$FS\ (\%) = \frac{(b-d)}{(b-a)}\ x\ 100$$

- Perhitungan persentase karbon (C) dalam sampel dengan rumus:

$$C\ (\%) = \%VS\ x\ 0{,}58$$

C. Analisis Kadar Nitrogen (N)

Analisis N pada penelitian dilakukan dengan metode Kjeldahl berdasarkan modifikasi dari cara uji nitrogen total pada SNI 2803 (2010) seperti berikut:

- Ditimbang sampel sebanyak 0,5 g dengan neraca analitik. dimasukkan ke dalam labu kjeldahl.
- Ditambahkan 25 mL larutan asam sulfat-salisilat, kemudian dihomogenkan. Sampel didiamkan selama 24 jam.
- Ditambahkan 4 g $Na_2S_2O_2.5H_2O$, kemudian dipanaskan dengan kompor listrik pada suhu rendah hingga gelembung habis. Dinaikkan suhu secara bertahap hingga mencapai 300°C (maksimal 2 jam), kemudian kompor dimatikan dan sampel dibiarkan hingga dingin.
- Diencerkan dengan akuades, dipindahkan ke dalam labu takar 500 mL.
- Ditambahkan akuades hingga garis meniskus, dikocok hingga homogen.
- Diambil sebanyak 25 mL sampel dengan pipet ukur, dimasukkan ke dalam labu suling, kemudian ditambahkan 150 mL akuades dan batu didih.
- Disuling setelah penambahan 10 mL larutan NaOH 40% dengan penampung hasil sulingan 20 mL larutan asam borat 1%, yang ditambahkan 3 tetes indikator conway.
- Dihentikan penyulingan saat hasil sulingan mencapai 100 mL.
- Dilakukan titrasi dengan larutan H_2SO_4 0,05 N sampai titik akhir titrasi tercapai (larutan warna hijau menjadi merah jambu).
- Dilakukan pengerjaan larutan blanko
- Perhitungan persentase nitrogen total (N) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{nitrogen total (\%)} = \frac{(V1 - V2)\ x\ N\ x\ 14{,}008\ x\ P\ x\ 100}{W}\ x\ \frac{100}{100 - KA}$$

dengan:

V1 : Larutan H_2SO_4 yang diperlukan untuk titrasi sampel (mL)
V2 : Larutan H_2SO_4 yang diperlukan untuk titrasi blanko (mL)
N : Normalitas larutan H_2SO_4
14,008 : Berat atom nitrogen
P : Faktor pengenceran
W : Berat contoh (mg)
KA : Kadar air (%)

D. Analisis Kadar Fosfor (P)

Analisis P pada penelitian dilakukan dengan metode Spektrofotometri berdasarkan modifikasi dari cara uji fosfor sebagai P_2O_5 pada SNI 2803 (2010) seperti berikut:

- Ditimbang sampel sebanyak 1 g dengan neraca analitik, dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL, ditambahkan 20 mL HNO_3.
- Dipanaskan hingga mendidih dengan kompor listrik selama 30 menit, ditambahkan 10 mL $HClO_4$ 72%.
- Dipanaskan perlahan-lahan hingga larutan menjadi bening dan timbul asap putih, dibiarkan hingga dingin.
- Ditambahkan 50 mL akuades dan dipanaskan hingga mendidih selama 5 menit.
- Dipindahkan ke labu ukur 500 mL, ditambahkan akuades hingga garis meniskus, dikocok hingga homogen.
- Disaring dengan kertas saring Whatman No. 41, ditampung ke dalam erlenmeyer.
- Diambil dengan pipet ukur sebanyak 5 mL, kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL.
- Ditambahkan 45 mL akuades, dibiarkan selama 5 menit.

- Ditambahkan 20 mL pereaksi molibdovanadat, diencerkan dengan akuades hingga garis meniskus, dikocok hingga homogen, dibiarkan hingga 10 menit untuk membentuk warna.
- Dilakukan pengerjaan untuk larutan blanko.
- Disiapkan spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm.
- Dimasukkan sampel pada spektrofotometer, dicatat hasil pembacaan absorbansinya.
- Dibuat kurva standar
- Perhitungan total fosfor sebagai P_2O_5 dalam sampel dengan rumus:

$$\text{fosor total (\%)} = \frac{C\ x\ P}{W}\ x\ 100\ x\ \frac{100}{100 - KA}$$

dengan:

C : P_2O_5 dari pembacaan kurva standar (mg)
P : Faktor pengenceran
W : Berat contoh (mg)
KA : Kadar air (%)

E. Analisis Coliform

Analisis kandungan coliform pada penelitian ini dilakukan dengan metode *Most Probable Number* (MPN) berdasarkan modifikasi dari cara uji coliform pada SNI 01-2332.1 (2006) seperti berikut:

- Ditimbang sampel sebanyak 25 g dengan neraca analitik, dimasukkan ke dalam wadah steril dan ditambahkan 225 mL larutan *Butterfield's Phosphate Buffered* (BPB), dihomogenkan (dicatat sebagai larutan dengan pengenceran 10^1.
- Dibuat larutan pengenceran 10^2 dengan melarutkan 1 mL larutan 10^1 ke dalam 9 mL larutan BPB, dikocok hingga homogen. Dibuat pula larutan dengan pengenceran selanjutnya dengan cara yang sama.
- Dipindahkan sebanyak 1 mL dengan pipet steril pada masing-masing pengenceran ke dalam 5 seri tabung *lauryl tryptose broth* (LTB) yang berisi tabung durham.
- Dilakukan inkubasi pada tabung LTB selama 48 jam pada suhu 35°C.
- Dilihat tabung yang menghasilkan gas selama 24 jam. Jika negatif, inkubasi kembali sampai 48 jam. Tabung positif ditandai dengan kekeruhan dan gas dalam tabung durham.
- Dilakukan inokulasi pada tabung LTB yang positif ke tabung BGLBB yang berisi tabung durham dengan jarum ose, dilanjutkan dengan inkubasi selama 48 jam pada suhu 35°C.
- Diperiksa tabung BGLB yang positif. Dilakukan inokulasi pada tabung LTB yang positif ke tabung-tabung ECBroth yang berisi tabung durham dengan jarum ose. Inkubasi dilakukan dalam waterbath sirkulasi selama 48 jam pada suhu 35°C.
- Dilihat tabung yang menghasilkan gas selama 24 jam. Jika negatif, inkubasi kembali sampai 48 jam. Tabung positif ditandai dengan kekeruhan dan gas dalam tabung durham.
- Diperiksa tabung yang menghasilkan gas selama 24 jam. Jika negatif dilakukan inokulasi kembali sampai 48 jam. Diperhatikan tabung yang positif.
- Ditentukan nilai angka paling memungkinkan (APM / MPN) berdasarkan jumlah tabung-tabung EC yang positif. Nyatakan nilainya sebagai APM/g coliform.

F. Analisis pH

Analisis pH pada penelitian ini dilakukan dengan 1 set peralatan pH meter berdasarkan modifikasi dari cara uji derajat keasaman pada SNI 6989.11 (2019) seperti berikut:

- Ditimbang sampel sebanyak 10,0 g dengan neraca analitik.
- Dimasukkan dalam gelas beaker 100 mL, ditambahkan akuades hingga garis meniskus, kemudian diaduk hingga homogen dengan pengaduk magnetik.
- Disiapkan peralatan pH meter dan akuades murni yang dimasukkan dalam gelas beaker.
- Dibilas elektroda dengan akuades, dikeringkan dengan tisu.
- Dicelupkan elektroda ke dalam larutan sampel, dicatat hasil pembacaan pH.
- Dibersihkan elektroda dengan akuades, dikeringkan dengan tisu.
- Dilanjutkan pengujian untuk sampel selanjutnya.

Analisis pH juga dapat dilakukan dengan alat *soil analyzer* dengan cara seperti berikut:

- Disiapkan alat soil analyzer dan diatur ke mode pembacaan pH.
- Ditancapkan alat pada sampel (tanpa pengenceran), hingga probe menancap sepenuhnya.
- Ditunggu beberapa detik, kemudian dicatat hasil pembacaan pH.

LAMPIRAN 2
PERHITUNGAN

A. Perhitungan Kadar Air, TS, VS dan FS

Objek utama pada penelitian ini adalah lumpur IPAL yang menjadi sampel yang akan diujikan di laboratorium. Selain sampel lumpur, alat laboratorium seperti cawan porselen juga perlu ditimbang karena memiliki pengaruh dalam menentukan massa sampel yang diletakkan di dalamnya. Berikut merupakan contoh perhitungan sampel lumpur dari kompartemen 1 periode 1 hari ke-0, untuk menentukan kadar air, TS, FS dan VS:

Diketahui:

1. Massa Cawan Kosong (Wo) = 42,5273 g
2. Massa Sampel (Ws) = **25,9542 g**
3. Massa Cawan + Sampel Setelah di Oven (W1) = 43,9319 g
4. Massa Setelah di Furnace (W2) = 43,0519 g

Perhitungan:

1. Massa Sampel Setelah di Oven (W3) = W1 - Wo
   = 43,9319 g – 42,5237
   = **1,4046 g**
2. Massa Sampel Setelah di Furnace (W4) = W2 – W1
   = 43,0519 g – 43,9319 g
   = **0,8800 g**
3. Total Solid (%) = $W3/Ws \times 100$
   = $1{,}4046/25{,}9542 \times 100$
   = **5,41%**
4. Kadar Air (%) = $(Ws - W3)/Ws \times 100$
   = $(25{,}9542 - 1{,}4046)/25{,}9542 \times 100$
   = **94,59%**
5. Volatile Solids (%) = $(W3 - W4)/W3 \times 100$
   = $(1{,}4046 - 0{,}88)/1{,}4046 \times 100$
   = **37,35%**
6. Fixed Solids (%) = $W4/W3 \times 100$
   = $0{,}88/1{,}4046 \times 100$
   = **62,65%**

Hasil perhitungan lengkap untuk sampel lumpur yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.4 dan Tabel 4.6**.

B. Pengaruh Kondisi Lingkungan Berdasarkan Regresi Linier

Lampiran ini menunjukkan hasil perhitungan hubungan kondisi lingkungan dengan penurunan kadar air lumpur, berdasarkan perhitungan regresi linier dan koefisien korelasi berdasarkan grafik yang dibuat pada *Microsoft Excel* (**Gambar 4.11**).

Contoh perhitungan:

Diketahui (Suhu Periode 1):

1. Rumus Regresi Linear : y = -0,9685x + 28,728
2. Koef. y menunjukkan : penurunan kadar air (%)
3. Koef. x menunjukkan : suhu udara (°C)

Pada suhu rata-rata 27,78°C (x=27,78),

Maka terjadi penurunan kadar air sebanyak:

1. y = -0,985 x (27,78) + 28,728
   y = 1,8230% per Hari
   ≈ **1,9% per hari**

Hasil perhitungan:

Periode	Kondisi Lingkungan	Rumus	Kondisi rata-rata($\bar{x}$)	Penurunan Kadar Air (% per hari)
1	**Suhu Udara**	y = -0,9685x + 28,78	27,78°C	1,8230
	Kelembapan Udara	y = -1,7617x + 85,657	85,16%	1,8246
	Kecepatan Angin	y = -4,0224x + 87,838	8,24 km/jam	1,8296
2	**Suhu Udara**	y = 1,7869x – 48,119	28,02°C	1,9499
	Kelembapan Udara	y = -0,2751x + 25,054	84,01%	1,9428
	Kecepatan Angin	y = 0,108x + 1,022	8,55 km/jam	1,9454

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan, penurunan kadar air pada periode 2 menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan periode 1.

C. Saran Waktu Operasional (Pemompaan Lumpur)

Untuk menentukan waktu pengurasan/pemompaan lumpur IPAL, diambil data sekunder berupa data timbulan lumpur pada unit ABR IPAL Komunal Telaga Abadi yang telah ditelili oleh Hutagaol & Herumurti (2020). Dari data tersebut, kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

1. Jumlah ABR = 2 unit
2. Debit Lumpur Kompartemen 1 = 2,787 m^3/tahun.unit
   = 0,232 m^3/bulan.unit
   Lumpur Total Kompartemen 1 = 0,464 m^3/bulan
2. Debit Lumpur Kompartemen 2 = 3,440 m^3/tahun.unit
   = 0,286 m^3/bulan.unit
   Lumpur Total Kompartemen 2 = 0,573 m^3/bulan
3. Total Lumpur per Bulan = **1,038 m^3**

Perhitungan:

1. Jumlah Bak SD = 4 unit
2. Kapasitas = 0,9 m^3/bak

Kapasitas Total = 0,9 m^3/bak x 4 bak

= **3,6 m^3**

3. Waktu Pengurasan = Kapasitas Total / Total Lumpur

$$= \frac{3{,}6\ \text{m3}}{1{,}038\ \text{m3/bulan}}$$

= 3,49 bulan

≈ **3 bulan sekali**

Dari perhitungan diatas maka dapat disarankan untuk pengurasan lumpur yang mengendap pada unit ABR, dapat dilakukan setiap 3 bulan sekali. Lumpur 2 unit ABR (Kompartemen 1 dan 2) dapat dikuras pada waktu yang bersamaan karena memiliki angka timbulan yang tidak jauh berbeda tiap bulannya. Lumpur dari masing-masing unit dan kompartemen dapat dipindahkan dan dikeringkan pada 1 unit SD (total 4 unit).

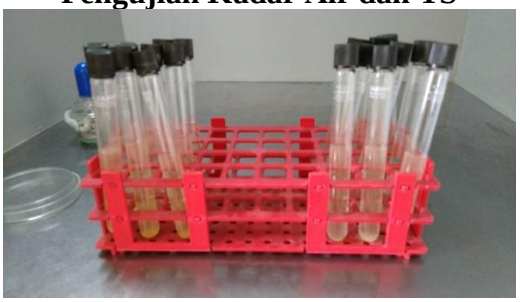
LAMPIRAN 3
DOKUMENTASI

Pengukuran Suhu dan Kelembapan Udara

Pengukuran Kecepatan Angin

Pengujian Kadar Air dan TS

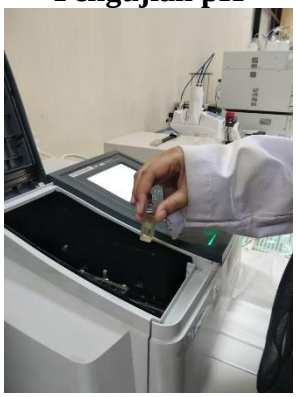
Pengujian VS, FS dan Total C



Pengujian Coliform

Pengujian pH

Pengujian Total N



Pengujian Total P

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Gresik, 30 Oktober 2000, merupakan anak kedua dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 01 Bintuni, SMPN 4 Gresik dan SMAN 1 Manyar. Setelah tamat SMA, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Lingkungan pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 03211840000034.

Selama berkuliah di Departemen Teknik Lingkungan, penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seperti Kepemanduan ITS serta menjadi bagian dari Divisi Kajian Strategis dan Divisi Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) selama 2 tahun kepengurusan di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS. Selain itu, penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum pada mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan, Kimia Lingkungan dan Teknik Analisis Pencemar Lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email sulthan.quds@gmail.com.

PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 **TUGAS AKHIR** **Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)**
Periode: Genap 2021/2022 **No. Revisi: 01**

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022 **Nilai TOEFL** : 477
Pukul : 08.00 - 09.15 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Evaluasi Proses Peneringan Lumpur Pada Unit *Sludge Dewatering* dengan Media *Filter Cloth* di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik

Nama : Sulthan Muchammad Quds
NRP. : 03211840000034
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1).	Ruang lingkup disempurnakan penulisan.
2.	masih banyak salah ketik, perhatikan tata cara penulisan.
3.	Penulisan tabel disempurnakan.
4.	Perhatikan kaidah penulisan satuan. dari paragraf sampai
5.	Perhatikan kaidah sebelum ngeprint jangan terputus. Gambar dan judul gambar
6.	Saran ditambahkan ke arah operasional pengelolaan IPAL Komunal.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc

Dipindai dengan CamScanner

PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 **TUGAS AKHIR** **Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)**
Periode: Genap 2021/2022 **No. Revisi: 01**

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
Pukul : 08.00 - 09.15 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Evaluasi,Proses Peneringan Lumpur Pada Unit Sludge Dewatering dengan Media Filter Cloth di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik

Nama : Sulthan Muchammad Quds
NRP. : 03211840000034
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Hub. ketebalan vs kadar air bagaimana ?
2.	Gambar 4.9 & 4.10 bedanya apa
3.	pengaruh anjir, temp.
4.	Buat kurva hub. vs. kadar air
5.	SPSS → significant. & R.
6.	Kesimpulan : - dijelaskan % apa. ? - kesimp 3 sebutin angkanya.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, MEng

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Slamet, MSc

Dipindai dengan CamScanner

PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal	: Rabu, 6 Juli 2022
Pukul	: 08.00 - 09.15 WIB
Lokasi	: TL-101
Judul	: Evaluasi Proses Peneringan Lumpur Pada Unit Sludge Dewatering dengan Media Filter Cloth di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik
Nama	: Sulthan Muchammad Quds
NRP.	: 03211840000034
Topik	: Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	penulisan harap dicek lagi
2	Spek filter Cloth: Permeabilitas udara ?
3	Saran pengoperasian di lapangan bagaimana ? lumpur 1 → ketebalan berapa, berapa hari ? lumpur 2 → ketebalan berapa, berapa hari ?
4	hal 33 - 34 → ditulis lebih jelas. maksudnya. hubungan dengan karakter
5	hal 41 - saran lumpur. saran no 1 ?

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D ( )

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Slamet, MSc

Dipindai dengan CamScanner

PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 **TUGAS AKHIR**
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal	: Rabu, 6 Juli 2022
Pukul	: 08.00 - 09.15 WIB
Lokasi	: TL-101
Judul	: Evaluasi Proses Peneringan Lumpur Pada Unit Sludge Dewatering dengan Media Filter Cloth di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik
Nama	: Sulthan Muchammad Quds
NRP.	: 03211840000034
Topik	: Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Salah ketik diperbaiki
2.	Cara menulis et al. diperbaiki.
3.	Check penggunaan koma (,) pada sub ygd.
4.	Tabel yang terpotong oleh halaman agar diberi judul kolom.
5.	Perbaiki abstrak dan abstract.
6.	"Hasil perhitungan" cantumkan pada judul tabel. Tidak sebagai sumber!
7.	hal 3p: jelaskan mengapa % FS awal tinggi di awal pengeringan, lalu menurun terus. FS itu apa? Mengapa bisa turun? VS mengapa naik (gb. 4.7)
	Pertanyaan:
a)	hal 39: apa dasarnya lumpur IPAL dpt dijadikan bata, paving blok?
b)	Nilai fecal coli < 3 itu berapa? Dlm proses dilakukan pengeringan, mengapa hasilnya < 3?
c)	Apa yg. dimaksud dgn. fecal coli? yg anda ukur coliform atau fecal coli?

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

d) Menurunkan C/N dgn. menambah limbah makanan/sayur pd. kompos → benarkah?
e) Apa yg. diketahui ttg dolomit?

Dosen Penguji: Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Agus Slamet, MSc

Dipindai dengan CamScanner

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Sulthan Muchammad Quds
NRP : 03211840000034
Judul : *"Evaluasi Proses Pengeringan Lumpur pada Unit Sludge Dewatering dengan Media Filter Cloth di IPAL Komunal Telaga Abadi Kabupaten Gresik"*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	3/01/2022	Diskusi awal mengenai judul dan topik TA yang akan diajukan oleh mahasiswa. Kemudian mahasiswa melanjutkan penyusunan proposal tugas akhir.	
2	15/03/2022	Mahasiswa meminta saran kepada dosen pembimbing terkait evaluasi seminar proposal. Diantaranya mengenai metode sampling dan pengambilan data kondisi lingkungan.	
3	30/03/2022	Mahasiswa menyampaikan progress pelaksanaan uji laboratorium hari ke-12 (periode 1).	
4	12/04/2022	Pembahasan mengenai penelitian lanjutan (kompos) yang akan dilakukan, diantaranya terkait parameter apa saja yang perlu diujikan agar dapat mewakili karakteristik kompos.	
5	26/04/2022	Diskusi mengenai hasil sementara dari penelitian (periode 1). Mahasiswa menyampaikan beberapa permasalahan seperti cara menyusun pembahasan dari hasil pengujian dan yang lainnya. Kemudian dosen pembimbing memberikan saran agar pelaksanaan menjadi lebih mudah.	
6	24/05/2022	Perbaikan judul penelitian sesuai dengan saran pada seminar kemajuan, serta melakukan pembahasan mengenai kegiatan lanjutan yang akan dilakukan.	
7	8/06/2022	Diskusi terkait hasil seminar kemajuan. Diantaranya perbaikan terkait kaidah penulisan, pemberian simbol pada contoh perhitungan dan penambahan informasi (berupa diskusi) pada bab 4.	
8	21/06/2022	Diskusi mengenai hasil revisi laporan tugas akhir yang akan diajukan untuk menjadi bahan pada ujian lisan. Diantaranya diskusi mengenai hasil pengujian praktikum dan penyempurnaan metode analisis data yang digunakan.	

Surabaya, 23 Juni 2022
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, Msc.