

TA/TL/2023/1757

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA TEKNOLOGI *ANAEROBIC
BAFFLED REACTOR* (ABR) IPAL KOMUNAL DI
KECAMATAN MLATI KABUPATEN SLEMAN D.I.
YOGYAKARTA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



AINUL ISLAMI

19513156

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

2023

TUGAS AKHIR
EVALUASI KINERJA TEKNOLOGI *ANAEROBIC*
***BAFFLED REACTOR* (ABR) IPAL KOMUNAL DI**
KECAMATAN MLATI KABUPATEN SLEMAN D.I.
YOGYAKARTA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



AINUL ISLAMI
19513156

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T.

NIK. 025100407

Tanggal: 27/12/2023

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

NIK. 155131313

Tanggal: 27/12/2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal: 27 Desember 2023

HALAMAN PENGESAHAN

**EVALUASI KINERJA TEKNOLOGI *ANAEROBIC
BAFFLED REACTOR* (ABR) IPAL KOMUNAL DI
KECAMATAN MLATI KABUPATEN SLEMAN D.I.
YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Rabu

Tanggal: 27 Desember 2023

Disusun Oleh:

AINUL ISLAMI

19513156

Tim Penguji:

Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T.

( 27/12 2023)

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T

( 27/12 2023)

Dr. Joni Aldila Fajri, S.T., M.Eng.

()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 26 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Ainul Islami

NIM: 19513156

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang merupakan syarat akhir akademik untuk mendapatkan gelar Sarjana pada program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Judul penelitian dilaksanakan sejak Juni 2023 berjudul **Evaluasi Kinerja *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* IPAL Komunal Di Kecamatan Mlati Kabupaten Sleman D.I. Yogyakarta.**

Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad Sallallahu'alaihi Wasallam yang atas izin Allah telah membawa umatnya dari zaman jahiliyah menuju ke zaman terang benderang yang penuh dengan ilmu.

Pada proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan do'a, bimbingan, dukungan, dan dorongan serta motivasi dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua penulis, Bapak Alan Sutarjo dan Ibu Fatmawati (Rahimahullah). Kakak Widhy Habsari Kartika, Anis Al 'Ihlas, Anas Ahmad Rahman, Muhammad Aulia Rahman, dan Elly Gunawiarsih. Serta seluruh keponakan tercinta yang selalu mendo'akan, mendukung, memberikan fasilitas, menjaga dan menyayangi serta memotivasi penulis dalam segala hal.
2. Bapak Dr. Andik Yulianto S.T., M.T. dan Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing yang telah sabar memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. Selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
5. Pengelola dan petugas IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera, yang telah memberikan waktu dan bantuannya dalam proses penelitian.
6. Rekan-rekan bimbingan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan do'a, semangat, dan dukungan.
7. Teman-teman terdekat *group* Ivanna dan *group* kontraknan yang selalu memberikan do'a, semangat, dan berusaha selalu ada untuk penulis dalam keadaan apapun dalam proses perkuliahan maupun tugas akhir.
8. Sahabat-sahabat tersayang Desi, Riani, dan Yona yang selalu mendo'akan, memotivasi, selalu bersedia mendengarkan keluh kesah dan memahami penulis.
9. *Group* SMP dan SMA *Chupacups*, Buan Sepupu, *Ehiku*, dan Nayla yang telah memberikan Do'a, dorongan, serta motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan guna menyempurnakan penelitian laporan Tugas Akhir ini. Penulis berharap Tugas Akhir ini tidak hanya bermanfaat bagi penulis, tetapi juga dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 26 Oktober 2023



Ainul Islami

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

Ainul Islami. Evaluasi Kinerja Teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) IPAL Komunal di Kecamatan Mlati Kabupaten Sleman D.I. Yogyakarta. Dibimbing oleh Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T. dan Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Kabupaten Sleman memiliki 144 IPAL Komunal, Pemantauan hanya dilakukan oleh instansi terkait pada awal beroperasinya 41 IPAL Komunal yang terdapat di provinsi D.I. Yogyakarta. Dari total 41 IPAL Komunal yang dipantau, 11 diantaranya berada di kabupaten Sleman. Diduga ada IPAL Komunal terbangun namun tidak berjalan dengan optimal penyebabnya kesalahan pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan, dan lainnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis ketimpangan dari faktor hidrolika mengenai hubungan debit dan waktu tinggal air limbah untuk mengetahui efektivitas kinerja teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) pada IPAL Komunal dikaitkan dengan efisiensi penyisihan COD. Debit rata-rata ($Q_{average}$) pada pengujian langsung sebesar 0,28 L/detik atau sama dengan 24,1 m^3 /hari. Pada perhitungan kriteria desain debit rata-rata sebesar 34,56 m^3 /hari. Perbedaan debit manual dengan kriteria desain disebabkan oleh rendahnya rata-rata debit air limbah yang masuk ke IPAL. Pengujian waktu tinggal air limbah secara langsung selama 35,8 jam, berdasarkan kriteria desain waktu tinggal selama 46,7 jam, sedangkan pada metode *tracer* waktu tinggal selama 34 jam. Perbedaan pada ketiga hasil pengujian juga berkaitan dengan rendahnya debit yang masuk pada IPAL Komunal sehingga pengujian dilapangan tidak sebanding dengan kriteria desain. Hasil pengujian waktu tinggal air limbah menggunakan metode *tracer* efisiensi penyisihan COD pada bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) hanya mencapai 13% tidak sebanding dengan waktu tinggal 34 jam yang mampu mengefisiensi sebesar 66%. Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) tidak berjalan dengan optimal dalam penurunan beban pencemar dilihat dari efisiensi penyisihan COD.

Kata Kunci: ABR, Air limbah, Efisiensi penyisihan COD, IPAL Komunal, *Tracer*.

ABSTRACT

Ainul Islami. Performance Evaluation of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Technology of Communal WWTP in Mlati District, Sleman Regency, Yogyakarta. Supervised by Dr. Andik Yulianto, S.T., M.T. and Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Sleman Regency has 144 IPAL Komunal, Monitoring is only carried out by related agencies at the beginning of the operation of 41 IPAL Komunal in the province of D.I. Yogyakarta. Of the total 41 IPAL Komunal monitored, 11 of them are located in Sleman district. It is suspected that there are IPAL Komunal built but not running optimally due to errors in construction, operation, maintenance, and others. In this study, an inequality analysis of hydraulics factors regarding the relationship between discharge and wastewater residence time was conducted to determine the effectiveness of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) technology performance at IPAL Komunal associated with COD removal efficiency. The average discharge (Q average) in direct testing is 0.28 L / sec or equal to 24.1 m³ / day. In the calculation of design criteria, the average discharge is 34.56 m³ / day. The difference between manual discharge and design criteria is due to the low average wastewater discharge entering the WWTP. Direct testing of wastewater residence time for 35.8 hours, based on design criteria residence time for 46.7 hours, while in the tracer method residence time for 34 hours. The difference in the three test results is also related to the low discharge entering the Communal WWTP so that field testing is not comparable to the design criteria. The results of testing the residence time of wastewater using the tracer method, the efficiency of COD removal in the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) basin only reached 13%, not comparable to the 34-hour residence time which was able to reduce the efficiency by 66%. Based on the data, it can be concluded that the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) basin is not running optimally in reducing the pollutant load as seen from the COD removal efficiency.

Keywords: ABR, Wastewater, COD removal efficiency, Communal WWTP, Tracer.

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	viii
DAFTAR NOTASI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	5
2.1.1 Sistem Terpusat	5
2.2 Air Limbah Domestik.....	6
2.3 Teknologi IPAL Komunal <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR).....	7
2.4 Distribusi Waktu Tinggal.....	7
2.5 Komponen Tracer	8
2.6 Penelitian Terdahulu	9
BAB III	12
METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	12
3.2 Tahapan Penelitian.....	13
3.3 Metode Pengumpulan Data	13
3.3.1 Pengumpulan Data Primer	13

3.3.1.1	Pengukuran Debit Aliran.....	14
3.3.1.2	Pengukuran Distribusi Waktu Tinggal (<i>Tracer</i>).....	15
3.3.1.3	Pengujian COD	16
3.3.2	Pengumpulan Data Sekunder	16
3.4	Prosedur Analisis Data	16
3.4.1	Berdasarkan Debit Aliran.....	17
3.4.2	Berdasarkan Distribusi Waktu Tinggal	17
3.4.2.1	Membuat Kurva Sampel Pelacak C(t) dan E(t).....	17
3.4.2.2	Penentuan Distribusi Waktu Tinggal.....	18
3.4.2.3	Perhitungan <i>Mean Residence Time</i> (TM)	19
3.4.2.4	<i>Variance</i>	20
3.4.3	Efisiensi Removal COD dihubungkan Dengan Waktu Tinggal	21
BAB IV	22
HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1	Profil IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera.....	22
4.2	Pengukuran Debit Rata-Rata Air Limbah.....	23
4.3	Pengukuran Distribusi Waktu Tinggal Air Limbah (RTD).....	25
4.3.1	Kurva Sampel Pelacak C(t).....	26
4.3.2	Kurva Distribusi Waktu Tinggal Air Limbah E(t).....	27
4.3.3	<i>Mean Residence Time</i> (tm) dan <i>Variance</i>	28
4.3.3.1	<i>Mean Residence Time</i> (tm).....	28
4.3.3.2	Momen Distribusi (<i>Variance</i>).....	29
4.4	Perhitungan Bak/Tanki <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)	29
4.4.1	Pengukuran Langsung Bak <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR).....	30
4.4.2	Perhitungan Berdasarkan Kriteria Desain.....	30
4.5	Evaluasi Aspek Teknis IPAL Komunal	31
4.5.1	Berdasarkan Debit Air Limbah	31
4.5.2	Berdasarkan Distribusi Waktu Tinggal Air Limbah (RTD)	32
BAB V	36
KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1	Kesimpulan.....	36

5.2	Saran.....	38
	DAFTAR PUSTAKA.....	40
	LAMPIRAN.....	45
	RIWAYAT HIDUP	61

DAFTAR NOTASI

ABR	: <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
DEWATS	: <i>Decentralized Wastewater Treatment System</i>
DHL	: Daya Hantar Listrik
D.I.Y	: Daerah Istimewa Yogyakarta
HRT	: <i>Hydraulic Retention Time</i>
IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
KCl	: <i>Kalium Chloride</i>
NaCl	: <i>Natrium Chloride</i>
PERDA	: Peraturan Daerah
PERMEN	: Peraturan Menteri
PUPR	: Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
RBC	: <i>Rotating Biological Contractor</i>
RTD	: <i>Residence Time Distribution</i>
SPALD-S	: Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Setempat
SPALD-T	: Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat
WWTP	: <i>Waste Water Treatment Plant</i>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku mutu air limbah domestik	6
Tabel 2. 3 Penelitian terdahulu.....	9
Tabel 4. 1 Perhitungan Total Volume Tanki dan HRT pada IPAL.....	30

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sketsa IPAL Terpusat	6
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian	12
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3. 3 Diagram alir pengujian.....	15
Gambar 3. 4 Injeksi dan deteksi KCl	15
Gambar 3. 5 Contoh grafik fluktuasi debit	17
Gambar 3. 6 Sampel pelacak.....	18
Gambar 3. 7 Distribusi waktu tinggal	19
Gambar 3. 8 Mean residence time	20
Gambar 3. 9 Persamaan variance	21
Gambar 3. 10 Hubungan efisiensi removal COD dengan waktu tinggal.....	21
Gambar 4. 1 IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera.....	23
Gambar 4. 2 Pengukuran debit pada outlet.....	24
Gambar 4. 3 Fluktuasi debit pada outlet IPAL.....	24
Gambar 4. 4 Memasukkan larutan sampel pelacak KCl 25%.....	26
Gambar 4. 5 Uji metode tracer.....	26
Gambar 4. 6 Sampel pelacak.....	27
Gambar 4. 7 Distribusi waktu tinggal	28
Gambar 4. 8 Mean residence time	29
Gambar 4. 9 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	30
Gambar 4. 10 Pengujian debit manual dan berdasarkan kriteria desain	32
Gambar 4. 11 waktu tinggal air limbah dengan 3 cara.....	33
Gambar 4. 12 hasil pengukuran COD pada inlet dan outlet	34

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Memastikan pengukuran dilakukan dari nilai DHL 0.0 menggunakan alat Conductivity Meter.....	45
Lampiran 2 Pengambilan data DHL, nilai diambil merupakan nilai yang stabil..	45
Lampiran 3 Pengambilan sampel COD pada inlet IPAL Komunal.....	46
Lampiran 4 Pengambilan sampel COD pada outlet IPAL Komunal.....	46
Lampiran 5 Pemberian larutan pengawet H ₂ SO ₄ pada larutan sampel inlet dan outlet.....	47
Lampiran 6 Perhitungan debit outlet pada siang hari.....	47
Lampiran 7 Perhitungan debit inlet pada malam hari.....	48
Lampiran 8 Ember yang digunakan untuk menampung debit	48
Lampiran 9 Data pengujian debit manual	52
Lampiran 10 Data konsentrasi tracer	53
Lampiran 11 Data perhitungan RTD menghitung E(t), t _m dan σ	55
Lampiran 12 Hasil uji COD	57
Lampiran 13 Perhitungan excel rata-rata COD pada inlet,otlet, dan efisiensi COD	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini pemerintah Indonesia terus berusaha untuk mencapai akses sanitasi layak dengan meningkatkan kontribusi terhadap pemenuhan akses sanitasi bagi masyarakat. Pada tahun 2023 persentase akses sanitasi layak di Indonesia telah mencapai angka 80% hal ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan persentase akses sanitasi layak jika dilihat dari tahun 2021 yang hanya mencapai 67,26%. Data persentase pelayanan sanitasi tersebut menunjukkan bahwa pencapaian akses sanitasi layak tidak hanya dilakukan oleh pemerintah pusat, kontribusi dari pihak lain seperti pemerintah daerah, sektor swasta, serta kontribusi oleh masyarakat sekitar yang sangat berpengaruh. Dalam rangka menuju sanitasi yang lebih baik, maka diperlukan pengelolaan yang efektif, didukung dengan pengaturan yang jelas, pendanaan, dan bentuk organisasi ditingkat lokal (Kementrian PUPR, 2023).

Kabupaten Sleman memiliki 144 IPAL Komunal, yang paling tua dibangun pada tahun 2006 dan yang terbaru dibangun pada tahun 2018 dengan berbagai opsi teknologi, salah satunya yaitu teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) (DLH Kab. Sleman, 2020) . IPAL Komunal merupakan infrastruktur yang telah dibangun melalui program dari pemerintah yang selanjutnya diteruskan pengelolaannya oleh masyarakat, seiring dengan berjalannya waktu banyak ditemui permasalahan terhadap IPAL Komunal yang mungkin luput dari pantauan pemerintah daerah. Pemantauan hanya dilakukan oleh instansi terkait pada awal beroperasinya 41 IPAL Komunal yang terdapat di provinsi D.I. Yogyakarta (Wijyaningrat, 2018). Dari total 41 IPAL Komunal yang dipantau, 11 diantaranya berada di kabupaten Sleman. Dapat diduga bahwa saat ini ada IPAL Komunal yang terbangun namun tidak berjalan dengan optimal karena banyak sebab seperti kesalahan pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan, dan lain-lain. (Bhakti dan Herumurti, 2016).

Pada penelitian IPAL Komunal terdahulu sudah banyak yang membahas mengenai faktor hidrolika diantaranya pada penelitian mengenai mengevaluasi kinerja IPAL Komunal dilihat dari penyisihan beban pencemar BOD, COD, TSS, NO₃, NH₃ dan PO₄ untuk meningkatkan kinerja pada tingkat beban hidrolis dan waktu tinggal (Hendriarianti & Sudiasa, 2015). Pada penelitian lain juga membahas tentang faktor hidrolika yaitu kapasitas terpasang dan beban air limbah antara kondisi terhadap aspek teknis, dan lingkungan dalam pengelolaan IPAL untuk mengetahui efisiensi penurunan beban pencemar dari proses pengolahannya dilihat dari hasil persentase penyisihan BOD, TSS, COD, amonia (Shaleh, 2022). Dari beberapa penelitian yang dilakukan umumnya menggunakan metode dengan membandingkan kinerja unit eksisting dengan kriteria desain, namun masih jarang ditemukan analisis ketimpangan dari faktor hidrolika yang membahas mengenai hubungan debit dan waktu tinggal air limbah dengan metode *tracer* untuk mengetahui efektivitas kinerja teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) pada IPAL Komunal juga dikaitkan dari kemampuan teknologi dalam efisiensi penyisihan COD sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan permasalahan yang ada, penelitian difokuskan untuk meneliti debit dan waktu tinggal air limbah dengan metode *tracer* dihubungkan dengan efisiensi penyisihan beban pencemar COD dengan mengetahui kondisi *influent* dan *effluent* dari parameter kimia pada air limbah IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan uraian diatas maka rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah Identifikasi pengaruh faktor hidrolika IPAL Komunal terhadap efisiensi penyisihan beban pencemar COD dengan mengetahui kondisi *influent* dan *effluent* dari parameter kimia air limbah pada teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi efektivitas bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dilihat dari pengaruh debit dan distribusi waktu

tinggal air limbah dengan metode *tracer* dihubungkan dengan efisiensi penyisihan beban pencemar COD.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efektivitas kinerja teknologi dalam pengolahan limbah pada IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta.
2. Mengetahui efektivitas kinerja berdasarkan debit dan waktu tinggal air limbah pada teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dikaitkan dengan efisiensi penyisihan beban pencemar COD.
3. Hasil dari penelitian dapat dijadikan data acuan ilmiah untuk penelitian selanjutnya khususnya yang berkaitan dengan IPAL Komunal.
4. Sebagai sarana dalam mengembangkan serta mempraktikkan ilmu teknik lingkungan khususnya materi PIPAL.
5. Penelitian ini juga memberikan ilmu pengetahuan serta pengalaman tambahan bagi peneliti dalam menyelesaikan studi.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Objek penelitian dilaksanakan pada IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta
2. Identifikasi masalah dilakukan pada bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan berfokus pada pengaruh debit dan distribusi waktu tinggal air limbah terhadap efisiensi penyisihan beban pencemar COD.
3. Pengambilan data debit setiap 1 jam pada outlet menggunakan metode volumetrik dilakukan selama 48 jam, dan pengambilan data waktu tinggal menggunakan metode *tracer* yaitu injeksi garam (KCl) di bak *inlet Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) sedangkan pada pengambilan data waktu tinggal yang dilakukan setiap 1 jam selama 48 jam pada *outlet Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).

4. Data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh dari hasil sampling pada IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta. Data sekunder diperoleh dari beberapa instansi terkait dan juga beberapa penelitian terdahulu sebagai tambahan dasar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Menurut PERMEN PUPR No. 4 Tahun 2017 tentang penyelenggaraan sistem pengelolaan air limbah domestik meliputi penyelenggara, jenis dan komponen SPALD, perencanaan, konstruksi, pengoperasian, pemeliharaan, dan rehabilitasi, pemanfaatan, kelembagaan, pembiayaan dan pendanaan, retribusi, kompetensi, pembinaan, serta pengawasan. Pada pasal 1 ayat 1 definisi air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha atau kegiatan pemukiman, apartemen, asrama, perniagaan, rumah makan, dan perkantoran.

2.1.1 Sistem Terpusat

Sistem sanitasi terpusat (off-site sanitation) yang terdapat pada lampiran 1 definisi SPALD-T merupakan prasarana dan sarana guna menyalurkan air limbah domestik dari sumber melalui perpipaan ke sub-sistem pengumpulan yang berfungsi untuk mengolah air limbah domestik harus memenuhi standar baku mutu air limbah domestik sebelum dibuang ke badan air (PERMEN PUPR No. 4, 2017). Pada gambar 2.1 merupakan salah satu contoh penerapan sistem penyaluran air buangan sistem jaringan terpusat (off-site).



Gambar 2. 1 Sketsa IPAL Terpusat
(Sumber: Kementerian PUPR)

2.2 Air Limbah Domestik

Berdasarkan PERMEN LHK No. 68 Tahun 2016 air limbah domestik adalah air buangan yang berasal dari aktivitas kehidupan manusia sehari-hari dalam pemakaian air. Air limbah domestik yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga, usaha, atau kegiatan-kegiatan lain yang berpotensi mencemari lingkungan sehingga perlu dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan atau badan air. Baku mutu air limbah domestik sesuai dengan aturan di atas ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Baku mutu air limbah domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 - 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	jumlah/100mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

(Sumber: PERMEN LHK No. 68 Tahun 2016)

2.3 Teknologi IPAL Komunal *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Pada penelitian ini IPAL Komunal yang dipilih yaitu IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera yang berlokasi di Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D. I. Yogyakarta. Teknologi yang digunakan pada IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera yaitu *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).

Teknologi pengolahan limbah *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yaitu tangki septik yang ditransformasi guna meningkatkan efisiensi penyisihan padatan terlarut dan tidak mengendap. *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) didesain berupa tangki septik yang terpasang di dalam aliran air dan di kompartemen bergerak secara naik turun dari satu kompartemen ke kompartemen lain, sehingga dengan cara ini air limbah akan dipertemukan dengan sisa lumpur yang mengandung mikroorganisme yang bertujuan menguraikan polutan dalam kondisi anaerobik, sehingga pengolahan bekerja secara optimal (Foxon et.al, 2004). *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan teknologi yang cocok untuk mengolah limbah cair yang mempunyai beban organik yang tinggi.

Teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat menghasilkan metana yang berfungsi sebagai biogas, produksi biogas pada *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) sekitar 30-40% karbon dioksida dan 60-70% metana dan sisanya berupa gas hidrogen sulfida, hidrogen, uap air, ammonia dll (Droste, 1997). IPAL bersistem *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) juga menghasilkan efisiensi pengolahannya tinggi, biaya konstruksi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) relatif murah, desainnya sederhana, lahan yang dibutuhkan sedikit, lumpur yang dihasilkan rendah serat, mudah dalam pengoperasian dan perawatannya, tidak menggunakan energi listrik dan sebagainya. Sedangkan untuk kekurangan dari *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yaitu penurunan zat patogen yang rendah dan memerlukan sumber air limbah yang konstan (Pamsimas, 2011).

2.4 Distribusi Waktu Tinggal

Distribusi waktu tinggal adalah waktu yang dibutuhkan oleh limbah selama proses pengolahan untuk mendegradasi kandungan organik dan anorganik sebelum dibuang ke lingkungan, ditentukan secara eksperimental dengan tracer (Larutan garam, bahan radioaktif, zat warna, dan sebagainya). Ada beberapa faktor yang

mempengaruhi durasi distribusi waktu tinggal yaitu fluktuasi debit dan ukuran molekul-molekul dari zat terlarut. Waktu tinggal rata-rata elemen tertentu yaitu larutan garam di dalam larutan antara waktu awal masuk dan waktu tersebut akan keluar karena larutan bersifat *steadystate* (tetap). Residence time adalah suatu konsep yang secara luas berguna untuk menunjukkan seberapa cepat sesuatu bergerak, melalui suatu sistem kesetimbangan. Pada reaksi kimia, waktu tinggal dianggap sebagai waktu rata-rata untuk pengolahan pada satu volume reaktor tertentu, diukur pada keadaan tertentu yang dikenal sebagai ruang waktu dengan lambang (t) yang berkaitan dengan volume dan laju aliran. Dari volume dan laju aliran, waktu tinggal (t) dengan Kecepatan tuang (s), merupakan jumlah volume reaktor per satuan waktu (Chitale et al., 2022).

2.5 Komponen Tracer

Tracer merupakan bahan injeksi berwujud larutan yang digunakan untuk mengamati waktu tinggal suatu fluida dengan teknik stimulus response dengan cara menyuntikkan pelacak dari saluran masuk dan memantau pergerakannya yang mempengaruhi kurva RTD pelacak di outlet ketika melewati alat. Pada konsentrasi aliran keluar tiap selang waktu tertentu alat dimonitor dengan cara kalorimetri, konduktimetri, titrasi, dan lain sebagainya. Cara yang digunakan ada dua yaitu alami dan buatan. Pada pengenceran alami air yang telah mengandung zat dianalisis, sedangkan pada buatan bahan kimia, pewarna, ataupun zat diinjeksikan ke dalam air sehingga pengembangan konsentrasi waktu diperlukan untuk melakukan penentuan laju aliran. Pada penelitian sebelumnya garam dan pewarna merupakan pelacak paling umum yang digunakan. NaCl/KCl merupakan bahan yang biasanya digunakan pada larutan injeksi pada aliran kontinyu. Untuk menambahkan tingkat konduktivitas listrik air dengan signifikan garam yang cukup perlu ditambahkan agar konsentrasi bisa diukur dengan akurat. Konsentrasi *tracer* berubah sesuai dengan fungsi yang didapatkan dari pengukuran konsentrasi pelacak pada bak outlet ABR. Komponen tracer KCl memiliki karakteristik fisik yang tidak dapat diubah pada fluida karena pada suhu 25°C massa jenis pelacak larutan KCl akan lebih besar 16% dibandingkan dengan massa jenis air (Chen et al., 2015) sehingga menggunakan komponen *tracer* dapat dijadikan sebagai sampel pelacak.

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah penelitian yang sudah dilakukan:

Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu

Nama	Hasil
S.Singh, <i>et al.</i> (2008)	IPAL Komunal dengan teknologi ABR dan <i>hybrid constructed wetland</i> digunakan untuk mengolah limbah domestik dengan konsentrasi tinggi. Efisiensi penyisihan parameter untuk IPAL Komunal adalah sebesar 96% untuk TSS, 90% BOD5, 90% COD, 70% NH4-N, 26% TP, dan 98% FC. Penggunaan teknologi sangat efektif apabila digunakan sebagai <i>primary treatment</i> . ABR sangat efektif untuk menyisihkan parameter organik yaitu mencapai 91% untuk TSS, 78% untuk BOD, dan 77% untuk COD
Ghorpade, <i>et al.</i> (2015)	Evaluasi kinerja IPAL Komunal biasanya dilihat dari beberapa parameter seperti COD, BOD, TSS, TKN dan TP. Karakteristik air limbah yang masuk menjadi faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi <i>removalnya</i> . Selain itu, semakin lama waktu tinggalnya maka akan semakin efisien.
Minister E, <i>et al.</i> (2017)	Pada waktu tinggal rata-rata treacer sensitif terhadap jarak pada titik injeksi awal. RTD tidak hanya digunakan untuk solusi masalah reaktor tetapi juga dapat digunakan untuk memperkirakan sifat pada limbah dari reaktor yang ada dan membuat reaktor terbaru dengan kinerja yang lebih optimal.
Wijayaningrat. (2018)	Penelitian dilakukan pada influen dan efluen IPAL Komunal di Kecamatan Banguntapan dan Bantul. Pengujian dilakukan terhadap parameter BOD, COD, TSS, amoniak, minyak lemak dan pH dengan metode pada SNI 6989. Analisis dilakukan pada karakteristik dan kualitas air limbah domestik, serta efektivitas IPAL Komunal dalam penyisihan parameter fisik kimia. Berdasarkan analisis efektivitas IPAL Komunal diketahui bahwa IPAL Komunal di Kecamatan Banguntapan bekerja secara efektif, sedangkan IPAL Komunal di Kecamatan Bantul bekerja secara kurang efektif. Perlu adanya pembuatan SOP serta peningkatan partisipasi dan peran masyarakat, pengelola serta pemerintah dalam perawatan IPAL Komunal sehingga dapat bekerja secara optimal.
Luthfi. (2020)	Pengelolaan IPAL Komunal yang berlokasi di Kabupaten Sleman sudah cukup baik dikarenakan kepengurusan IPAL Komunal masih aktif dan pengelola IPAL Komunal memiliki pemahaman terkait pengoperasian IPAL Komunal. Berdasarkan scoring yang dilakukan, IPAL Komunal dengan teknologi ABR lebih unggul pada biaya berlangganan perbulan yang lebih murah, tidak rawan mengalami kerusakan unit, dan tidak menghadapi banyak masalah operasional.

Nama	Hasil
	Sedangkan IPAL dengan Teknologi RBC lebih unggul pada kualitas fisik effluent IPAL.
Brontowiyono, <i>et al.</i> (2022)	Dalam analisis air limbah domestik parameter COD sangat penting karena menunjukkan besar jumlah oksigen yang dibutuhkan guna mendegradasi bahan organik terkandung dalam air limbah domestik secara kimia. Konsentrasi COD tertinggi (Gambar2e) berada pada CWWTP5 (830 mg/L), dan terendah pada CWWTP2 (345 mg/L). Konsentrasi COD di outlet berkisar antara 101 hingga 156 mg/L, yang menunjukkan bahwa pengolahan air limbah domestik di CWWTP tidak efektif.
Ananta. (2023)	Perhitungan rata – rata debit manual waktu tinggal 39 jam, berdasarkan kriteria desain waktu tinggal 47 jam sedangkan pada metode tracer waktu tinggal air limbah 40 jam. Dari ketida metode didapatkan hasil yang berbeda, faktor yang mempengaruhi yaitu perbandingan debit yang masuk, pada perhitungan debit manual yang yaitu rdigunakan rata - rata debit puncak sehingga debit masuk ke ipal lebih besar dari kriteria desain didapatkan waktu tinggal pengujian lebih cepat.
Putra. (2023)	Pada hasil metode tracer, kriteria desain dan juga perhitungan manual berbeda, penyebab perbedaan pada ketiga metode tersebut yaitu pada perbandingan debit masuk, debit yang memasuki IPAL lebih kecil dari kriteria desain. Berdasarkan efisiensi pengurangan COD dilihat dari waktu tinggal air limbah pada jam ke 5 menunjukkan nilai sebanding dengan efisiensi COD sebesar 17, 55% maka dapat disimpulkan bahwa pada unit RBC penyisihan parameter COD berjalan dengan optimal.

Penelitian diatas membahas tentang debit, waktu tinggal, *tracer*, dan juga parameter-parameter pencemar salah satunya COD yang juga dijadikan acuan dalam penelitian ini, untuk mengevaluasi bak ABR pada IPAL Komunal dari faktor hidrolika.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 48 jam dimulai pada tanggal 6 - 8 Oktober 2023 di IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I.Yogyakarta. Untuk mengevaluasi efektivitas kinerja IPAL Komunal ada beberapa kriteria tempat penelitian yaitu:

- a) Akses pengambilan sampel yang memungkinkan.
- b) Faktor keamanan dan keselamatan.

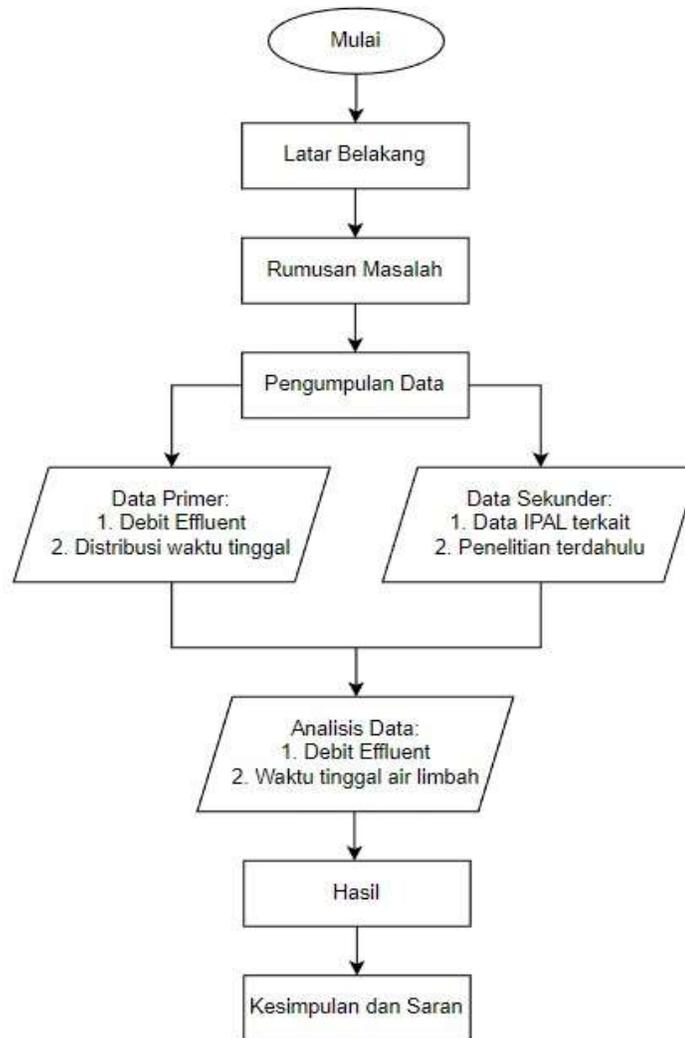
Penentuan titik pengambilan sampel ditentukan berdasarkan keperluan pemantauan yaitu pada bak outlet *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), titik koordinat lokasi Latitude (garis horizontal) $-7,761624$ dan Longitude (garis lintang) $110,351835$ dengan GPS.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian

3.3 Metode Pengumpulan Data

3.3.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh langsung dari kegiatan lapangan saat melakukan observasi kondisi eksisting, melakukan pengukuran, serta pengamatan pendukung lainnya. Pada penelitian ini data yang diambil yaitu

debit air limbah pada outlet, dan distribusi waktu tinggal air limbah untuk mengetahui efisiensi kinerja dari IPAL Komunal dalam menurunkan beban pencemar. Metode pengukuran debit air limbah yaitu volumetrik dan perhitungan distribusi waktu tinggal menggunakan metode treacer injeksi larutan garam KCl. Serta pengambilan sampel di *inlet* dan *outlet* untuk keperluan pengujian COD.

3.3.1.1 Pengukuran Debit Aliran

Pada pengukuran debit aliran metode yang digunakan yaitu volumetrik, pengukuran dengan metode ini dilakukan dengan cara menampung aliran air menggunakan alat penampung air dengan volume yang lebih besar untuk menghitung debit secara langsung, perhitungan dengan metode ini bertujuan untuk mengukur lama pengisian tampungan dalam waktu tertentu. Persamaan penentuan debit aliran:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Debit (m^3/s)

V = Volume (m^3)

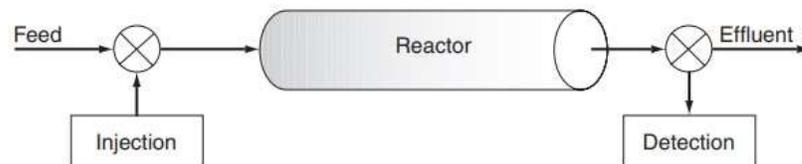
t = Waktu (s)

3.3.1.2 Pengukuran Distribusi Waktu Tinggal (*Tracer*)



Gambar 3. 3 Diagram alir pengujian

Injeksi dan deteksi KCl dilakukan seperti pada gambah dibawah ini yang mengacu pada penelitian terdahulu.



Gambar 3. 4 Injeksi dan deteksi KCl

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

3.3.1.3 Pengujian COD

Pada pengujian COD mengacu pada SNI 6989.2:2019 Cara uji kebutuhan Oksigen Kimiawi (chemical Oxygen Demand/COD) dengan *refluks* tertutup secara spektrofotometri. Menggunakan oksidator Cr2O7 dengan panjang gelombang 420 nm.

3.3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari berbagai sumber seperti Instansi terkait yaitu PERMEN PUPR mengenai Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, PERMEN LHK mengenai baku mutu Badan Standarisasi Nasional SNI 6989.2-2019 Air dan air limbah-Bagian 2: Cara uji kebutuhan COD dengan *refluks* tertutup secara spektrofotometri. DLH Kab. Sleman mengenai opsi teknologi yang digunakan dan jumlah IPAL Komunal yang ada di Kab. Sleman. Pengelola IPAL Komunal mengenai data pengguna dan sejarah IPAL. Jurnal dan paper data penelitian terdahulu yang membahas tentang debit, waktu tinggal, metode *tracer*, hasil pengujian COD salah satunya pada IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera, kriteria desain dari unit ABR, dan data lokasi penelitian yang merupakan data pendukung pada penelitian ini.

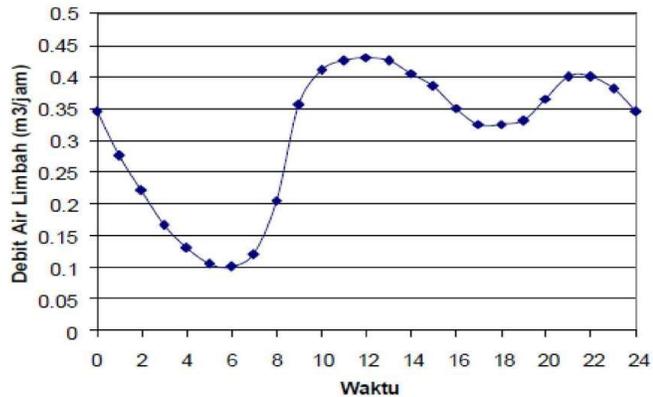
Pada prosedur analisis data, data yang telah diambil kemudian diolah menggunakan perhitungan rumus dan menampilkan hasil berupa grafik terdapat pada 3.4 prosedur analisis data yang dapat menjelaskan data dengan detail. Analisis data digunakan untuk mengetahui fluktuasi dari debit air limbah serta waktu optimal penyisihan beban pencemar pada ABR.

3.4 Prosedur Analisis Data

Pada prosedur analisis data, data yang telah diambil kemudian diolah menggunakan perhitungan rumus dan menampilkan hasil berupa grafik yang dapat menjelaskan data dengan detail. Analisis data digunakan untuk mengetahui fluktuasi dari debit air limbah serta waktu optimal penyisihan beban pencemar pada ABR.

3.4.1 Berdasarkan Debit Aliran

Pada perhitungan debit aliran rata-rata (Q average) dengan debit puncak (Q peak) berlangsung pada pukul 06.00, 12.00, dan 18.00. Dengan grafik fluktuasi debit pada gambar 3.4.



Gambar 3. 5 Contoh grafik fluktuasi debit

(Sumber: Ismoyo (2018). Evaluasi (IPAL) Universitas Sebelas Maret Surakarta)

Perhitungan debit aliran bertujuan untuk mengetahui waktu kapan terjadinya debit puncak penggunaan air dan juga untuk mengetahui debit rata-rata pada IPAL Komunal.

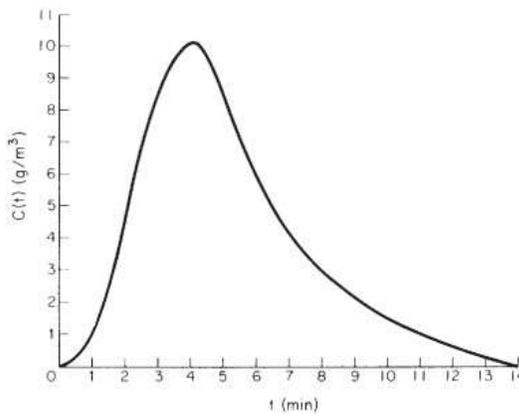
3.4.2 Berdasarkan Distribusi Waktu Tinggal

Perhitungan distribusi waktu tinggal berdasarkan penggunaan sampel pelacak KCl $C(t)$ dan cara menentukan distribusi waktu tinggal $E(t)$ pada pengambilan sampel perjam sebagai berikut.

3.4.2.1 Membuat Kurva Sampel Pelacak $C(t)$ dan $E(t)$

Memasukkan sampel pelacak KCl ke reaktor, dan fungsi waktu $E(t)$ di dapatkan dari pengukuran konsentrasi $C(t)$ effluent.

Contoh Grafik Sampel Pelacak KCl yang menunjukkan fungsi waktu yang didapatkan dari konsentrasi KCl pada *outlet*.



Gambar 3. 6 Sampel pelacak

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

3.4.2.2 Penentuan Distribusi Waktu Tinggal

Dari konsentrasi pelacak *output* pada bak reaktor (C) dapat diketahui informasi Distribusi waktu tinggal (E), sehingga nilai (C) merupakan konsentrasi pelacak pada *output* yang diambil untuk menentukan distribusi waktu tinggal (E) oleh karena itu pada persamaan dibawah ini nilai (C = E), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \int_0^{\infty} c \, dt = \sum c \, dt \quad (2)$$

$$A = \int_0^{\infty} c \, dt = \sum c \, dt = \frac{\Delta t}{2} (Ca_0 + 2Ca_1 + 2Ca_2 + \dots + Ca_i) \quad (3)$$

$$\int_0^{\infty} c \, dt = \int_0^{\infty} \frac{Ca}{A} \, dt \quad (4)$$

$$C = E$$

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

Keterangan:

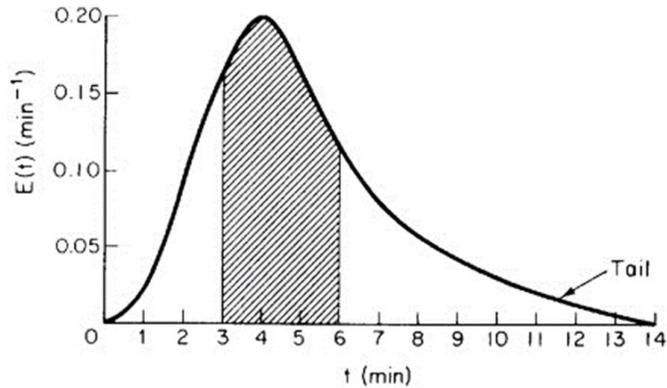
C = Konsentrasi pelacak *output* bak reaktor (g/L)

E = Distribusi Waktu Tinggal (1/det)

Ca = Konsentrasi (g/mL)

A = Luas Area di Bawah Kurva Konsentrasi Versus Waktu

Contoh Grafik Distribusi Waktu Tinggal yang menunjukkan lama waktu tinggal dengan metode *tracer*:



Gambar 3. 7 Distribusi waktu tinggal

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

3.4.2.3 Perhitungan *Mean Residence Time* (TM)

Perhitungan *Mean Residence Time* bertujuan untuk mengetahui nilai rata-rata waktu tinggal suatu *tracer*. Penentuan persamaan *mean residence time*:

$$tm = \frac{\int_0^{\infty} t c dt}{\int_0^{\infty} c dt} = \frac{\sum ti ci \Delta t}{\sum ci \Delta t} \quad (5)$$

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

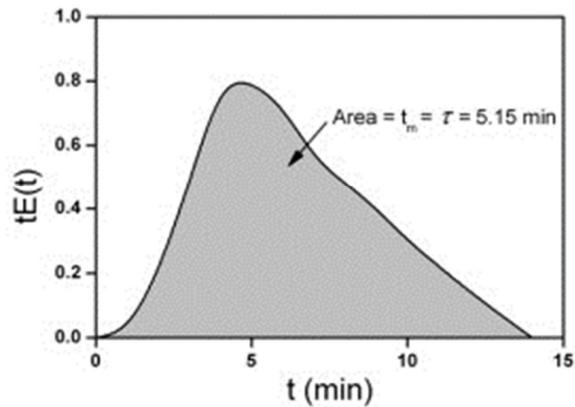
Keterangan:

tm = *Mean Residence Time* (detik)

t = Waktu

C = Konsentrasi larutan *output* bak reaktor (g/L)

Contoh Grafik *Mean Residence Time* (TM) yang menunjukkan rata-rata waktu tinggal *tracer*:



Gambar 3. 8 Mean residence time

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

3.4.2.4 Variance

Analisis *Variance* merupakan metode analisis statistika berfungsi untuk membedakan rata-rata lebih dari dua kelompok data dengan membandingkan variasinya. Pada persamaan ini *Variance* = standar deviasi kuadrat (σ^2). Penentuan persamaan *Variance*:

$$\sigma^2 = \frac{\sum t_i C_i \Delta t}{\sum C_i \Delta t} - t_m^2 \quad (6)$$

(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

Keterangan:

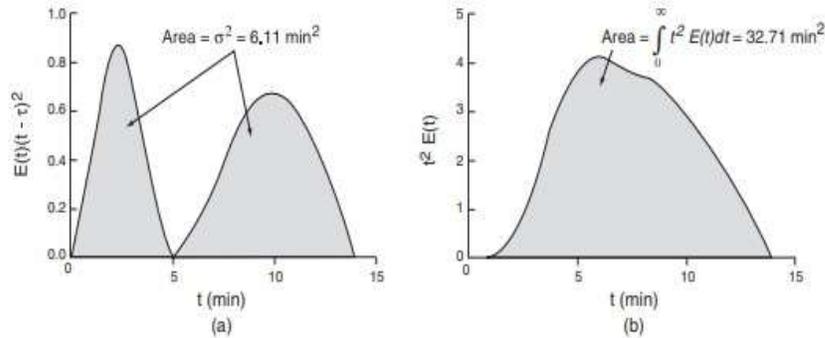
σ = *Variance* (detik)

t_m = Mean (detik)

t_i = Waktu tinggal Sampel Dalam Waktu Tertentu (detik)

C_i = Konsentrasi Larutan Yang di Ambil Tiap Waktu (g/L)

Contoh Grafik Persamaan yang menunjukkan persamaan standar deviasi/*Variance*



Gambar 3. 9 Persamaan variance

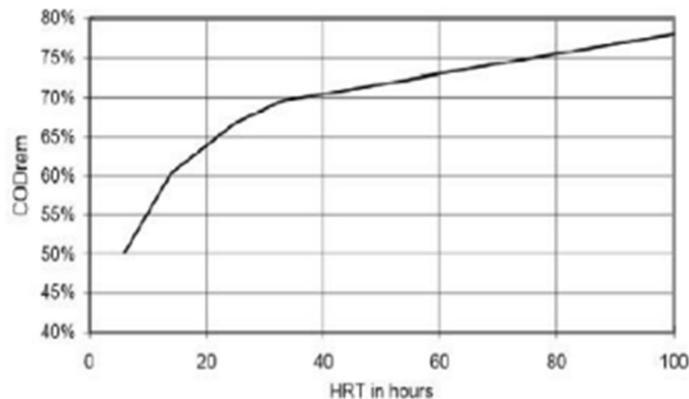
(Sumber: FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*)

3.4.3 Efisiensi Removal COD dihubungkan Dengan Waktu Tinggal

Penentuan Efisiensi *Removal* COD:

$$\% \text{ Removal Effluent} = \left(\frac{\text{Konsentrasi Influent} - \text{Konsentrasi Sampel}}{\text{Konsentrasi Influent}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Setelah perhitungan, data akan disajikan dalam bentuk grafik agar memudahkan saat melakukan pengamatan. Perhitungan dan grafik bersumber dari sumber yang sama, Grafik pada gambar dibawah ini menunjukkan idealnya waktu tinggal dalam penyisihan beban pencemar COD dssitunjukkan dalam persentase.



Gambar 3. 10 Hubungan efisiensi *removal* COD dengan waktu tinggal

(Sumber: Sasse, Ludwig. 1998. *Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries (DEWATS)*)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera

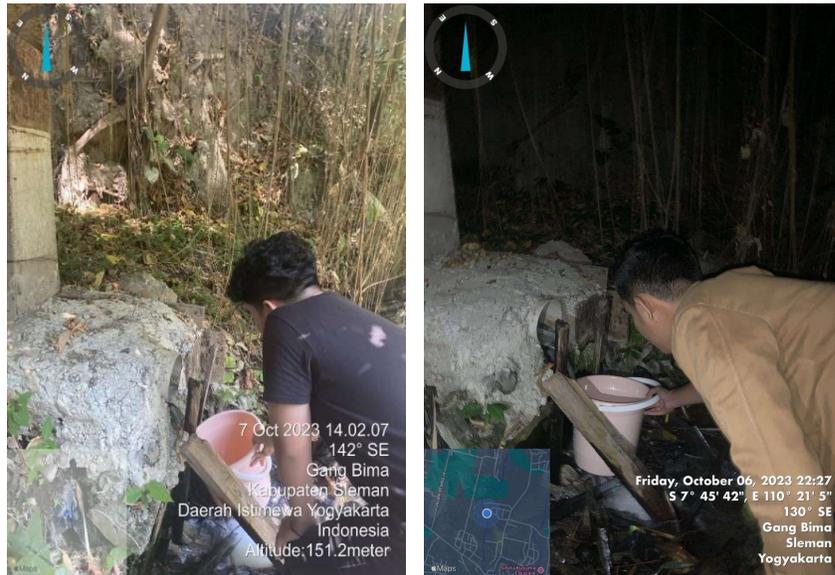
Lokasi IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera berada di Gg. Arjuna, RT.02/RW.06, Gedongan, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. IPAL Komunal dibangun pada tahun 2012. IPAL ini dikelola oleh swadaya masyarakat dengan menggunakan teknologi pengolahan secara *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yang memiliki 9 bak/tanki sekat. Pengguna IPAL Komunal sampai saat ini hanya 90 KK dengan jumlah orang terlayani sebanyak 360 orang. Kondisi eksisting pada IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera merupakan salah satu IPAL yang baik dari segi perawatannya, besar Iuran per KK tergolong sangat terjangkau yaitu hanya Rp.6000/bulan. Informasi lain dari pengelola IPAL bahwa pembersihan IPAL dilakukan dengan cara dikuras setiap 2 bulan sekali secara berkala untuk mengeluarkan limbah padat seperti benda keras, tanah, pasir dan kotoran padat lainnya, perawatan pada IPAL Komunal juga meliputi pengecatan IPAL dan perawatan besi penutup bak IPAL. Hal ini menandakan bahwa pengelola IPAL sangat menjaga kondisi IPAL dari segi perawatan, hanya saja pengelolaan pada IPAL kurang dipantau oleh instansi terkait sehingga kurang adanya kontrol pada *effluent* yang dibuang ke lingkungan berkaitan dengan standar baku mutu.



Gambar 4. 1 IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera

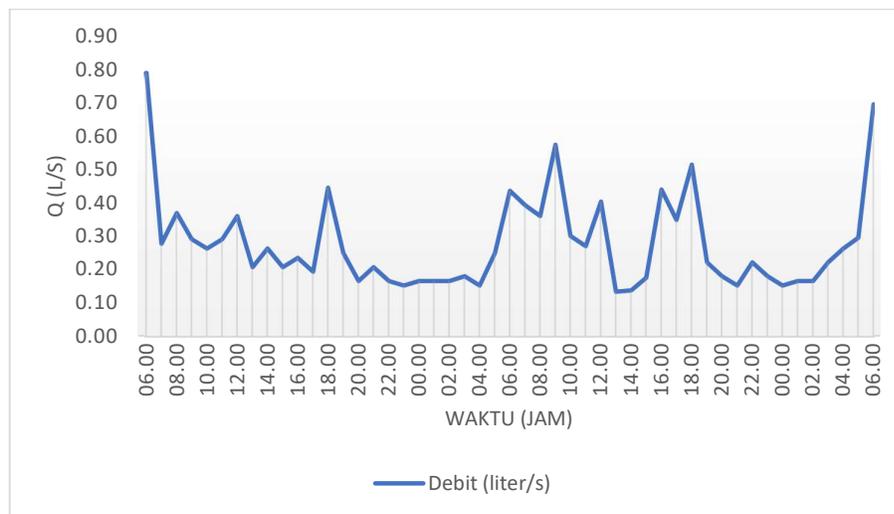
4.2 Pengukuran Debit Rata-Rata Air Limbah

Pengukuran debit dilakukan secara manual menggunakan metode volumetrik, pengukuran dilakukan dengan menggunakan wadah sebagai alat tampung yang telah ditetapkan volumenya kemudian dibagi dengan lama waktu tampung air limbah terisi memenuhi wadah. Data pengukuran debit dilakukan selama 48 jam dengan perhitungan debit perjam sehingga mendapatkan 48 data, Pada pengukuran outlet menggunakan wadah dengan ember yang memiliki daya tampung 12 L seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Pengukuran debit pada *outlet*

Berdasarkan Gambar 4.2 saat pengukuran terjadi fluktuasi debit air limbah sehingga pada diagram 4.3 menunjukkan hasil debit rata-rata dan debit puncak pada waktu tertentu.



Gambar 4. 3 Fluktuasi debit pada *outlet* IPAL

Pada hasil perhitungan debit rata-rata (Q average) sebesar 0,28 L/detik atau sama dengan 24,1 m³/hari. Dapat dilihat pada grafik debit rata-rata menunjukkan nilai yang hampir sebanding dengan debit air limbah pada jam 07.00 pagi. Dari perhitungan debit rata-rata dapat diketahui bahwa rata-rata penggunaan air

Sedangkan debit puncak (Q peak) sebesar nilai 0,79 L/detik atau sama dengan 68,3 m³/hari pada pukul 06.00 pagi. Perhitungan debit rata-rata dan debit puncak bertujuan untuk mengetahui pemakaian total penggunaan air bersih oleh pengguna IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera. Jam puncak merupakan waktu yang dimana terjadinya penggunaan air tertinggi dalam kurun waktu 24 jam oleh pengguna IPAL Komunal, Perbedaan debit puncak tentunya dipengaruhi oleh aktivitas pengguna IPAL Komunal yang berbeda pada saat hari kerja dan hari libur. Pada jam 06.00, 12.00, dan jam 18.00 dihari kerja yang merupakan waktu tingginya aktivitas penggunaan air seperti persiapan sekolah, bekerja, dan beribadah. Sedangkan pada hari libur debit puncak berada pada jam 09.00, 12.00, dan 06.00 yang menunjukkan bahwa waktu-waktu tersebut baru terjadi tingginya aktivitas penggunaan air seperti mandi pagi, beribadah, dan kegiatan rumah tangga lainnya yang dilakukan oleh pengguna IPAL.

4.3 Pengukuran Distribusi Waktu Tinggal Air Limbah (RTD)

Pengukuran dilakukan dengan injeksi sampel pelacak *tracer* menggunakan larutan KCl 25%, sebanyak 50 gr padatan KCl dilarutkan ke dalam 200 mL air. Selanjutnya larutan KCl 25% tersebut diinjeksikan ke dalam bak inlet ABR. Kemudian uji konsentrasi KCl pada outlet bak ABR setiap 1 jam selama 48 jam hal ini dilakukan untuk mendapatkan 48 data. Setelah pengukuran didapatkan konsentrasi (C) sebagai fungsi waktu (t) pada aliran air limbah. Gambar 4.4 menunjukkan saat memasukkan sampel pelacak KCl ke dalam inlet dan Gambar 4.5 pengujian metode *tracer* menggunakan alat *conductivity meter*.



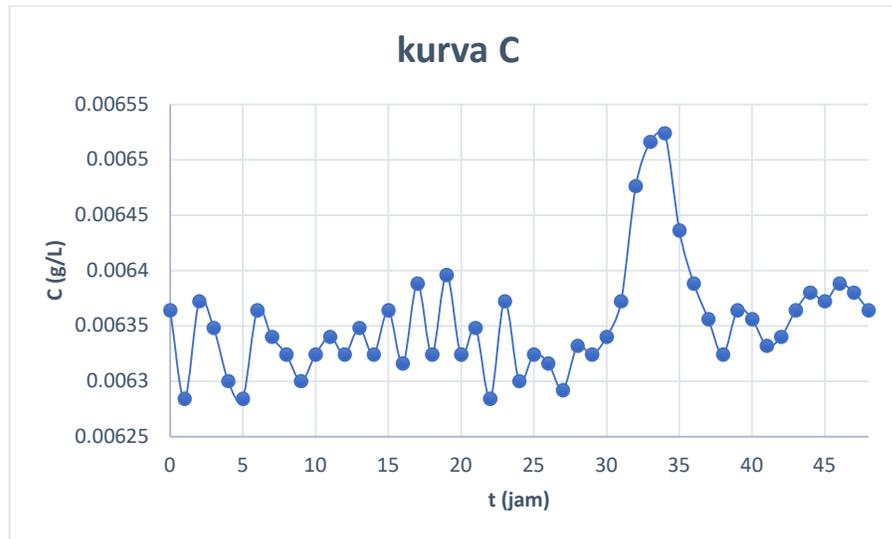
Gambar 4. 4 Memasukkan larutan sampel pelacak KCl 25%



Gambar 4. 5 Uji metode *tracer*

4.3.1 Kurva Sampel Pelacak C(t)

Pada gambar 4.6 merupakan data hasil konsentrasi sampel pelacak KCl pada outlet bak ABR.

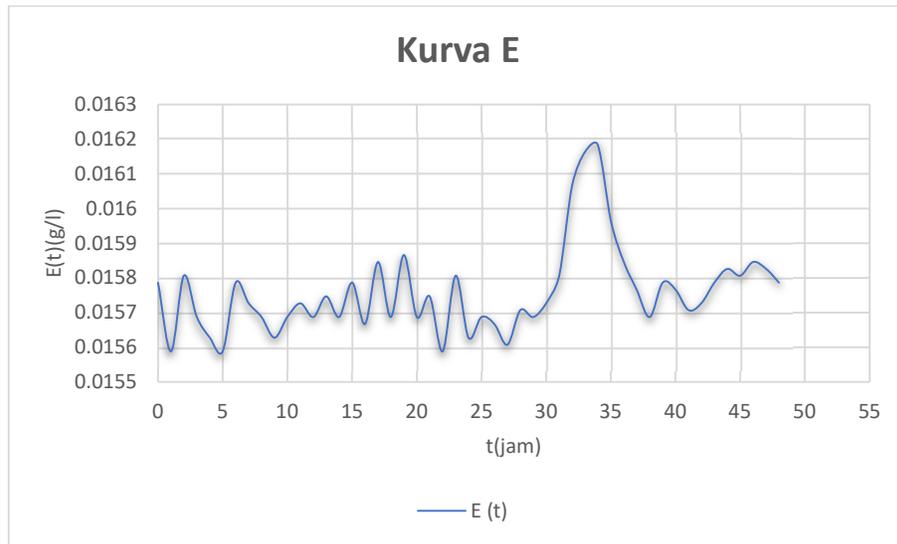


Gambar 4. 6 Sampel pelacak

Hasil perhitungan perjam konsentrasi KCl pada *outlet* bak ABR nilai konsentrasi tertinggi mencapai angka 0,006524 g/L pada jam ke 34/48 jam yaitu pada jam 16.00 sore. Perhitungan ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi tertinggi *tracer* pada *outlet* bak ABR selama 48 jam. Dari data tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa konsentrasi *tracer* pada jam ke 34 merupakan konsentrasi tertinggi yang berarti KCl berada pada bak *outlet* ABR pada jam ke 34 dalam rentang waktu 48 jam.

4.3.2 Kurva Distribusi Waktu Tinggal Air Limbah E(t)

Pada gambar 4.7 menunjukkan kurva E(t) yang merupakan data hasil dari kurva C(t) dengan membagi C(t) dengan integral luas area bawah kurva C. Hasil kurva pada perhitungan sebesar 0,40313 g.Jam/m³.



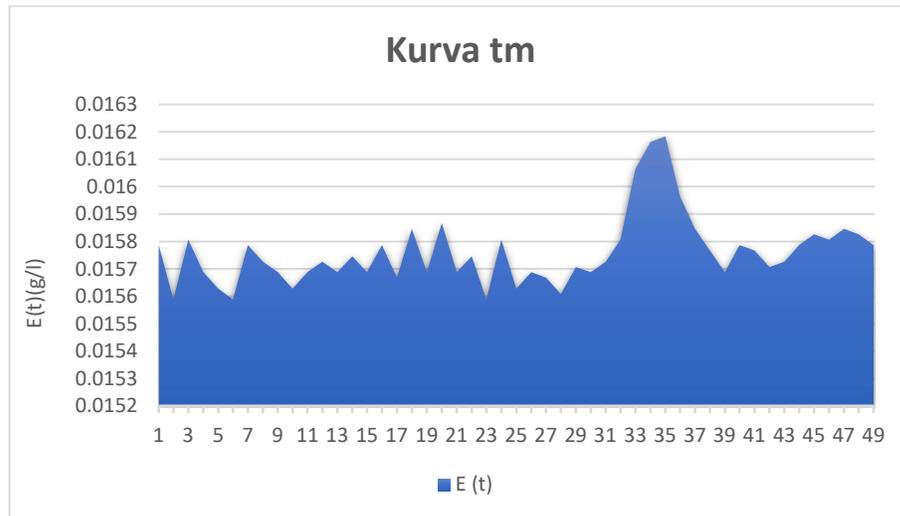
Gambar 4. 7 Distribusi waktu tinggal

Kurva diatas menunjukkan konsentrasi KCl tertinggi yaitu pada jam ke 34/48 jam yang menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode injeksi KCl *tracer* air limbah mulai inlet hingga ke outlet pada bak ABR memerlukan waktu selama 34 jam dalam kurun waktu 48 jam. Maka didapatkan waktu tinggal air limbah dengan metode *tracer* yaitu 34 jam.

4.3.3 Mean Residence Time (tm) dan Variance

4.3.3.1 Mean Residence Time (tm)

Menentukan nilai rata-rata waktu tinggal yaitu dengan cara menghitung luas kurva fungsi dari data distribusi waktu tinggal t $E(t)$. Fungsi distribusi nilai dari rata-rata merupakan momen pertama fungsi RTD. Perhitungan *mean residence time* bertujuan untuk mengetahui nilai waktu tinggal rata-rata. Berdasarkan perhitungan mean residence time (tm) pada 28 jam. Waktu tinggal rata-rata dapat dilihat pada gambar 4.8.



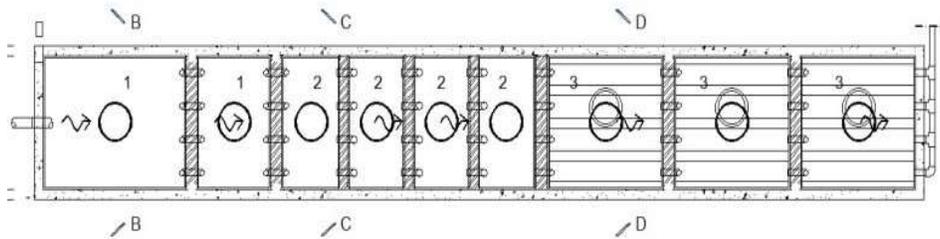
Gambar 4. 8 Mean residence time

4.3.3.2 Momen Distribusi (*Variance*)

Momen Distribusi/*Variance* merupakan barometer untuk mengetahui seberapa jauh data tersebar dari rata-rata (mean) pada distribusi *Variance* dihitung menggunakan selisih kuadrat dari setiap titik data mean, dijumlahkan, lalu dibagi dengan jumlah total titik sesuai data. Perhitungan dengan cara ini merupakan ukuran yang umum digunakan dalam pengukuran dispersi ataupun variasi, menghitung luas pada dibawah kurva $t (tm)^2 E(t)$ merupakan fungsi t . Hasil perhitungan *Variance* dari data penelitian adalah 201,25 jam dan nilai standar deviasi 14,186 jam.

4.4 Perhitungan Bak/Tanki *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Pada pengukuran bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) didapatkan beberapa data yaitu luas bak, rata-rata debit yaitu 20,61 m³/hari dan waktu tinggal air limbah di setiap bak. *Layout* IPAL Komunal dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

4.4.1 Pengukuran Langsung Bak Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Pengukuran panjang, lebar, dan tinggi secara manual disetiap bak pada IPAL Komunal untuk mengetahui volume bak keseluruhan dan HRT. Pengukuran HRT pada bak *inlet* hingga *outlet* pada IPAL Komunal berdasarkan pengukuran langsung secara manual. Pengukuran HRT secara manual bertujuan untuk membandingkan perhitungan manual dengan metode kriteria desain, dan *tracer* untuk mengetahui berapa lama waktu tinggal yang optimal dalam efisiensi penyisihan beban pencemar COD. seperti pada tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4. 1 Perhitungan Total Volume Tanki dan HRT pada IPAL

Keterangan	Bak 1	Bak 2	Bak 3	Bak 4	Bak 5	Bak 6	Bak 7	Bak 8	Bak 9	Total
Panjang (m)	2,5	1,5	1	1	1	1	2	2	2	-
Lebar (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-
Tinggi (m)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	-
Volume (m ³)	15,8	9,38	6,2	6,1	5,93	5,88	11,70	11,65	11,25	83,9
HRT (jam)	15,68	9,34	6,17	6,10	5,90	5,85	11,65	11,60	11,20	

Berdasarkan hasil pengukuran langsung total volume tanki di IPAL Komunal sebesar = 83,9 m³. Sedangkan perhitungan HRT total waktu tinggal dari bak *inlet* hingga *outlet* yaitu = 83,5 jam.

4.4.2 Perhitungan Berdasarkan Kriteria Desain

Metode kriteria desain ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian kondisi IPAL Komunal dengan melihat perbandingan antara perhitungan menggunakan kriteria desani, manual, dan metode *tracer*. Berdasarkan

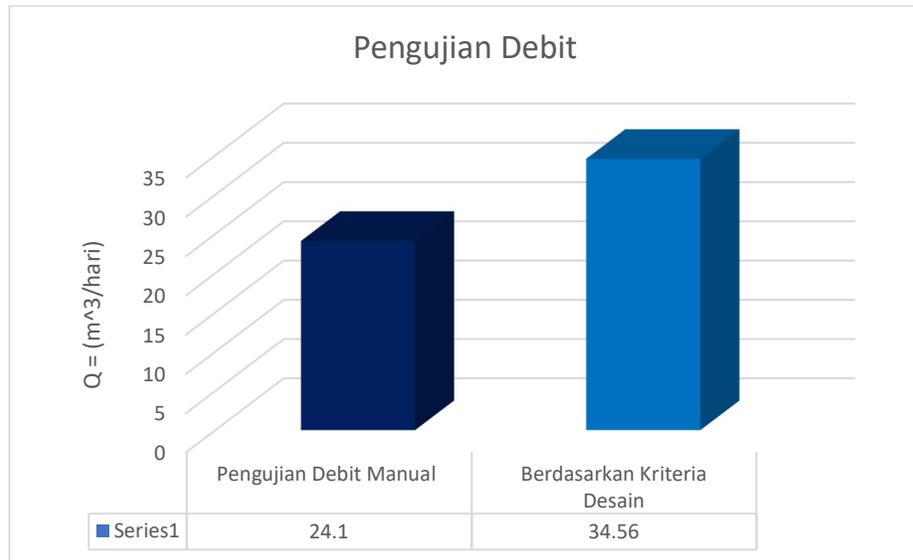
kriteria desain IPAL Komunal jumlah sambungan rumah ke IPAL Komunal sebanyak 90 KK dengan total terlayani sebanyak 360 orang berdasarkan asumsi total orang terlayani maka pemakaian air sebanyak 43.200 L/orang/hari dengan debit air limbah sebesar 34,56 m³/hari yang dimana volume tanki 67,2 m³. Maka perhitungan berdasarkan kriteria desain, Waktu tinggal air limbah adalah 46,7 jam.

4.5 Evaluasi Kinerja Bak ABR Pada IPAL Komunal

Evaluasi kinerja teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian kondisi yang ada dilapangan dengan kriteria desain. Evaluasi efektivitas IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera dalam efisiensi beban pencemar COD.

4.5.1 Berdasarkan Debit Air Limbah

Data debit air limbah didapatkan dari rata-rata debit/hari. Debit air limbah pada IPAL Komunal merupakan hasil dari sambungan rumah yang terlayani, IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera telah melayani 90 rumah. Air limbah yang dikelola oleh IPAL Komunal diantaranya gray water dan black water. Pada penelitian ini menggunakan dua cara untuk menghitung debit air limbah yang pertama dengan cara turun langsung ke lapangan dengan melakukan perhitungan dan pengukuran manual, dan cara kedua yaitu dengan melakukan perhitungan dengan kriteria desain. Kedua perhitungan dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara kondisi IPAL Komunal yang ada lapangan dengan kriteria desain.

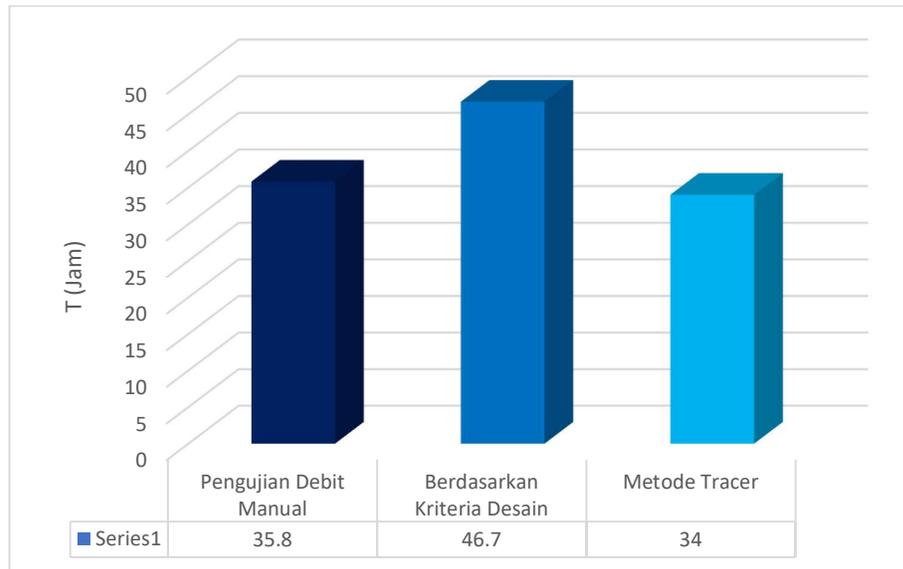


Gambar 4. 10 Pengujian debit manual dan berdasarkan kriteria desain

Berdasarkan data diatas pada pengujian debit manual menunjukkan bahwa nilai debit rata-rata pengguna yang masuk ke IPAL Komunal sebesar 24,1 m³/hari, sedangkan berdasarkan kriteria desain nilai debit rata-rata masuk yaitu 34,56 m³/hari. Adanya perbedaan pada data pengujian debit manual dan berdasarkan kriteria desain, pada pengujian debit manual nilai debit rata-rata lebih rendah dibandingkan perhitungan berdasarkan kriteria desain. Hal ini dikarenakan rendahnya debit air limbah yang digunakan oleh pengguna IPAL Komunal jika dirata-ratakan, sehingga tidak sebanding dengan debit rata-rata kriteria desain.

4.5.2 Berdasarkan Distribusi Waktu Tinggal Air Limbah (RTD)

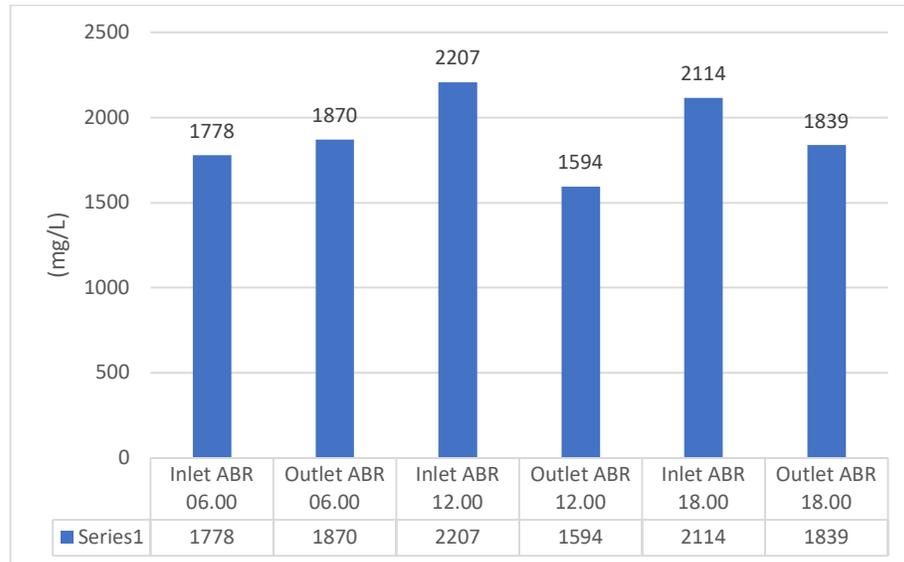
IPAL Komunal dapat dikategorikan pengolahannya baik dapat dilihat dari waktu tinggal air limbah yang dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya yaitu faktor fluktuasi pada debit. Ada tiga cara penentuan distribusi waktu tinggal air limbah yaitu dengan perhitungan debit secara manual, berdasarkan kriteria desain, dan metode injeksi KCl atau *tracer*. Gambar 4.11 menunjukkan perhitungan menggunakan ketiga cara tersebut.



Gambar 4. 11 waktu tinggal air limbah dengan 3 cara

Berdasarkan data pada pengujian debit manual waktu tinggal air limbah 35,8 jam, sedangkan berdasarkan kriteria desain waktu tinggal air limbah 46,7 jam, dan pada pengujian menggunakan metode *tracer* waktu tinggal air limbah adalah 34 jam, hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi KCl berada pada bak ABR selama 34 jam. Dikaitkan dengan teori pada penelitian sebelumnya bahwa konsentrasi KCl akan melewati bak ABR selama 24 – 48 jam konsentrasi *tracer* akan didapatkan melalui *outlet* ABR maka hasil pengukuran berdasarkan kriteria desain dan metode *tracer* masuk kedalam kategori optimal (Sasse, 1998). Ketiga metode menunjukkan hasil yang berbeda, pada pengujian manual dan metode *tracer* hampir sama dan waktu tinggalnya lebih cepat dibandingkan kriteria desain hal ini disebabkan oleh perbedaan debit air limbah yang masuk ke IPAL. Jika dilihat dari waktu tinggal hasil efisiensi penyisihan COD pada bak ABR hanya mencapai 13% dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah yang tidak sebanding dengan lama waktu tinggal *tracer* yaitu 34 jam yang seharusnya mampu mengefisiensi sebesar 66%. Berdasarkan data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) tidak berjalan

dengan optimal dalam penurunan beban pencemar dilihat dari efisiensi penyisihan COD.



Gambar 4. 12 hasil pengukuran COD pada *inlet* dan *outlet*

Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai COD pada *inlet* dan *outlet* ABR tidak menunjukkan penurunan yang signifikan. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai COD pada IPAL Komunal tersebut sebesar 345 mg/L. Konsentrasi COD pada outlet berkisar 101 hingga 156 mg/L, yang menunjukkan bahwa pengolahan air limbah domestik di CWWTP2 yang merupakan titik IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera tidak berjalan dengan optimal (Brontowiyono, et al. 2022). Konsentrasi COD pada IPAL Komunal saat ini sangat berbanding jauh jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, berdasarkan hasil observasi didapatkan adanya *home industry* tempe di beberapa rumah yang tersambung ke IPAL Komunal, diduga penyebab tingginya nilai COD pada IPAL Komunal dikarenakan adanya *home industry* tempe yang dilakukan oleh pengguna IPAL Komunal sehingga menyebabkan tidak optimalnya proses pengolahan pada IPAL Komunal karena beban pencemar organik padat dan cair yang tinggi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perumusan masalah dan pembahasan dari hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan.

1. Debit rata-rata pada pengujian secara manual yaitu 24,1 m³/hari. Nilai debit sesuai kriteria desain yang diketahui dari jumlah sambungan rumah yaitu 34,56 m³/hari. Berdasarkan data yang didapatkan dari pengujian langsung dilapangan secara manual menunjukkan bahwa nilainya lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan kriteria desain hal ini dikarenakan rendahnya debit air limbah yang masuk ke saluran IPAL Komunal.
2. Berdasarkan pengujian debit manual waktu tinggal air limbah yaitu 35,8 jam, sedangkan berdasarkan kriteria desain lama waktu tinggal air limbah 46,7 jam, dan pada pengujian menggunakan metode *tracer* waktu tinggal air limbah selama 34 jam. Ketiga metode menunjukkan hasil yang berbeda, hal ini disebabkan hal ini disebabkan oleh fluktuasi debit air limbah yang masuk. Metode pengujian manual dan metode *tracer* hampir sama dan waktu tinggalnya lebih cepat dibandingkan kriteria desain. Sedangkan waktu tinggal tercepat dari ketiga metode tersebut yaitu metode *Tracer*.
3. Pada bak *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) efisiensi beban pencemar COD tidak berjalan dengan optimal, hal ini dikarenakan besarnya beban pencemar yang diduga bersumber dari kegiatan *Home Industry* tempe oleh pengguna IPAL Komunal yang mengakibatkan nilai COD melebihi standar baku mutu yaitu efisiensi COD hanya sebesar 13% angka ini tidak sebanding dengan waktu tinggal air limbah selama 34 jam pada metode *tracer* yang seharusnya dapat mengefisiensi sebanyak 66% dari hasil penelitian ini dapat

disimpulkan bahwa tidak optimalnya kinerja dari bak ABR dalam efisiensi penyisihan beban pencemar COD.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan peneliti, maka dapat menyarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Penggunaan metode *Tracer* pada penelitian selanjutnya dengan opsi teknologi lainnya, untuk mengetahui distribusi waktu tinggal yang efektif dikaitkan dengan efisiensi beban pencemar lainnya.
2. Melakukan identifikasi terkait teknologi yang digunakan dalam penyisihan beban pencemar COD pada IPAL Komunal.
3. Peneliti selanjutnya dapat lebih dahulu melakukan identifikasi mengenai kegiatan-kegiatan pengguna IPAL Komunal untuk mengetahui secara pasti faktor apa saja yang mempengaruhi tingginya nilai COD.
4. Perlu dilakukan tinjauan Kembali mengenai SNI 8455 Tahun 2017 mengenai *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Al Rasyid, G. T. R. (2020). *Evaluasi Kondisi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Ananta, Muhamad Abel (2023). *Evaluasi kinerja unit Anaerobic Baffled Reactor (ABR) ditinjau dari debit dan distribusi waktu tinggal air limbah di IPAL Bakti Warga, Sleman*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional SNI. 06-6989.2-2019 Air dan air limbah-Bagian 2 : *Cara uji kebutuhan Oksigen Kimiawi (chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional SNI. 8455-2017 : *Perencanaan pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem reaktor anaerobik bersekat (SRAB)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Bhakti, A. H., & Herumurti, W. (2016). *Evaluasi Kinerja Ipal–Ipal Komunal Program Sanitasi Perkotaan Berbasis Masyarakat–Urban Sanitation Rural Infrastructure (Spbm-usri) Tahun Pembangunan 2012–2014 Di Surabaya*. Jurnal Teknik ITS, 5(2), D204-D208.
- Brontowiyono, W.; Boving, T.; Asmara, AA; Rahmawati, S.; Yulianto, A.; Wantoputri, NI; Lathifah, AN; Andriansyah, Y. Efektivitas, Pengelolaan, dan Kualitas Air Tanah dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal: Studi Kasus di Indonesia. *Air* 2022,14, 3047. <https://doi.org/10.3390/w14193047>.
- Chen, C., Jonsson, L. T. I., Tilliander, A., Cheng, G., & Jönsson, P. G. (2015). *A mathematical modeling study of the influence of small amounts of KCl solution tracers on mixing in water and residence time distribution of tracers in a continuous flow reactor-metallurgical tundish*. *Chemical Engineering Science*, 137, 914-937.

- Chitale, S. K., Jadhav, P. N., Dhoble, S. S., Dhokpande, M. S., & Ingole, P. (2022). *Study of Residence Time Distribution in Chemical Industry A Review*. Chemical Engineering Department, Datta Meghe College of Engineering, Navi Mumbai, Maharashtra, India.
- Dinas Lingkungan Hidup Tahun (2020). *Sebaran IPAL Komunal Kabupaten Sleman*. D.I. Yogyakarta.
- Droste, R. L., & Gehr, R. L. (2018). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. John Wiley & Sons.
- Feng, H., Hu, L., Mahmood, Q., Qiu, C., Fang, C., & Shen, D. (2008). *Anaerobic domestic wastewater treatment with bamboo carrier anaerobic baffled reactor*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62(3), 232-238.
- FOGLER, H. S., 2008. *Element Of Chemical Reaction Engineering*. 5th ed. United States of America: Pearson Education, Inc.
- Foxon, K. M., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F., & Buckley, C. A. (2004). *The anaerobic baffled reactor (ABR): an appropriate technology for on-site sanitation*. *water sa*, 30(5), 44-50.
- Ghorpade, V. S., & Sonawane, P. G. (2015). *Study of Performance Evaluations of Decentralized Wastewater Treatment Systems to treat domestic wastewater: A review*. *IJETR*, 3, 47-49.
- Harjito, H. (2014). *Metode Tracer Test untuk Mencari Hubungan Antar Sistem Sungai Bawah Tanah Di Akuifer Karst*. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 6(1), 01-13.
- Hendriarianti, E., & Karnaningroem, N. (2016). *Evaluation of communal wastewater treatment plant operating anaerobic baffled reactor and biofilter*. *Waste Technology*, 4(1).

- Hendriarianti, E., & Sudiasa, I. N. (2015). *Evaluasi Kinerja Ipal Komunal Mergosono Kota Malang*.
- Ismoyo, Ayu S. (2018). *Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Universitas Sebelas Maret Surakarta*. Teknik Sipil, e-Jurnal Matriks, Surakarta.
- Kerstens, S. M., Legowo, H. B., & Hendra Gupta, I. B. (2012). *Evaluation of DEWATS in Java, Indonesia*. *J Water Sanit Hyg Dev* 2: 254–265.
- Luthfi, Z.H. (2020). *Evaluasi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman Provinsi DI Yogyakarta Ditinjau dari Teknologi IPAL Komunal*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- Martin, A. D. (2000). *Interpretation of residence time distribution data*. *Chemical engineering science*, 55(23), 5907-5917.
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. McGraw Hill Companies, Inc. Republic of China.
- Pamsimas. (2011). *Petunjuk Teknis Perencanaan Kegiatan Pamsimas Tingkat Masyarakat*. Jakarta.
- Parasmita, Bernadette N et al, (2020), *Studi Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Penyisihan Parameter BOD5, COD dan TSS Lindi menggunakan Biofilter Secara Anaerob - Aerob*, Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- PERMEN PUPR No. 04 Tahun (2017). *Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*.
- PERMEN LHK No. 68 Tahun (2016). *Baku Mutu Air Limbah Domestik*.
- Putra, T M Haikal (2023). *Evaluasi kinerja Unit Rotating Biological Contactor (RBC) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal Bakti Warga berdasarkan debit dan waktu tinggal air limbah*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.
- RAGAWIDYA, P. S. (2023). *Penilaian Tingkat Keberlanjutan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Domestik Komunal Tegalsari*

Semarang, Ipal Komunal Pedalangan Semarang, Dan Ipal Komunal Podorejo Semarang.

- Saputri, D., Marendra, F., Yuliansyah, A. T., & Prasetya, I. A. A. P. (2021). *Evaluasi Aspek Teknis dan Lingkungan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Kabupaten Sleman Yogyakarta*. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(1), 71-83.
- Sasse, Ludwig. (1998). *Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries (DEWATS)*. Borda, Jerman. 125 – 145.
- Shaleh, Walad. (2022). *EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) KOMUNAL GAMPONG SURIEN KOTA BANDA ACEH*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Singh, S., Haberl, R., Moog, O., Shrestha, R. R., Shrestha, P., & Shrestha, R. (2009). *Performance of an anaerobic baffled reactor and hybrid constructed wetland treating high-strength wastewater in Nepal—A model for DEWATS*. *ecological engineering*, 35(5), 654-660.
- Wijyaningrat, A. T. (2018). *Evaluasi Kinerja IPAL Komunal di Kecamatan Banguntapan dan Bantul, Kabupaten Bantul, D.I Yogyakarta Ditinjau dari Parameter Fisik dan Kimia*. Tugas Akhir. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Utami, s. (2008). *Evaluasi Sistem Pengelolaan Air Buangan Terdesentralisasi (IPAL Komunal) di Kota Yogyakarta*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Memastikan pengukuran dilakukan dari nilai DHL 0.0 menggunakan alat *Conductivity Meter*



Lampiran 2 Pengambilan data DHL, nilai diambil merupakan nilai yang stabil



Lampiran 3 Pengambilan sampel COD pada *inlet* IPAL Komunal



Lampiran 4 Pengambilan sampel COD pada *outlet* IPAL Komunal



Lampiran 5 Pemberian larutan pengawet H₂SO₄ pada larutan sampel inlet dan outlet



Lampiran 6 Perhitungan debit outlet pada siang hari



Lampiran 7 Perhitungan debit *intlet* pada malam hari



Lampiran 8 Ember yang digunakan untuk menampung debit



Perhitungan Bak Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

- Bak (1)

$$P = 2,5 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$T = 2,52 \text{ m}$$

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,52 \text{ m} = 15,8 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu Tinggal} = \text{Volume} : \text{Debit}$$

$$= (15,8 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 15,68 \text{ jam}$$

- Bak (2)

$$P = 1,5 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$T = 2,5 \text{ m}$$

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 1,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 9,38 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu Tinggal} = \text{Volume} : \text{Debit}$$

$$= (9,38 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 9,34 \text{ jam}$$

- Bak (3)

$$P = 1 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$T = 2,5 \text{ m}$$

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 6,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tinggal} &= \text{Volume} : \text{Debit} \\ &= (6,2 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam} \\ &= 6,17 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Bak (4)

$$\begin{aligned} P &= 1 \text{ m} \\ L &= 2,5 \text{ m} \\ T &= 2,45 \text{ m} \\ V &= P \times L \times T \\ V &= 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,45 \text{ m} = 6,1 \text{ m}^3 \\ \text{Debit} &= 24,1 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tinggal} &= \text{Volume} : \text{Debit} \\ &= (6,1 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam} \\ &= 6,1 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Bak (5)

$$\begin{aligned} P &= 1 \text{ m} \\ L &= 2,5 \text{ m} \\ T &= 2,37 \text{ m} \\ V &= P \times L \times T \\ V &= 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,37 \text{ m} = 5,93 \text{ m}^3 \\ \text{Debit} &= 24,1 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tinggal} &= \text{Volume} : \text{Debit} \\ &= (5,93 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam} \\ &= 5,9 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Bak (6)

$$\begin{aligned} P &= 1 \text{ m} \\ L &= 2,5 \text{ m} \\ T &= 2,35 \text{ m} \\ V &= P \times L \times T \end{aligned}$$

$$V = 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,35 \text{ m} = 5,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu Tingga} = \text{Volume} : \text{Debit}$$

$$= (5,88 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 5,85 \text{ jam}$$

- Bak (7)

$$P = 2 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$T = 2,34 \text{ m}$$

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,34 \text{ m} = 11,7 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu Tingga} = \text{Volume} : \text{Debit}$$

$$= (11,7 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 11,65 \text{ jam}$$

- Bak (8)

$$P = 2 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$T = 2,33 \text{ m}$$

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,33 \text{ m} = 11,65 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu Tingga} = \text{Volume} : \text{Debit}$$

$$= (11,65 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 11,6 \text{ jam}$$

- Bak (9)

$$P = 2 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$T = 2,25 \text{ m}$$

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 1 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} = 11,25 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit} = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu Tinggal} = \text{Volume} : \text{Debit}$$

$$= (11,25 \text{ m}^3 : 24,1 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 11,20 \text{ jam}$$

$$\text{Volume total} = 15,8 \text{ m} + 9,38 \text{ m} + 6,2 \text{ m} + 6,1 \text{ m} + 5,93 \text{ m} + 5,88 \text{ m} + 11,7 \text{ m} + 11,65 + 11,25 \text{ m}$$

$$= 83,9 \text{ m}$$

$$\text{Waktu Tinggal Total} = 15,68 \text{ jam} + 9,34 \text{ jam} + 6,17 \text{ jam} + 6,1 \text{ jam} + 5,9 \text{ jam} + 5,85 \text{ jam} + 11,65 \text{ jam} + 11,6 \text{ jam} + 11,2 \text{ jam}$$

$$= 83,5 \text{ jam}$$

Lampiran 9 Data pengujian debit manual

Time	Jam	Debit (s)	Debit (liter/s)	Debit (m3/day)
0	06.00	12,65	0,79	68,3
1	07.00	36,00	0,28	24,0
2	08.00	27,05	0,37	31,9
3	09.00	34,29	0,29	25,2
4	10.00	37,89	0,26	22,8
5	11.00	34,29	0,29	25,2
6	12.00	27,69	0,36	31,2
7	13.00	48,00	0,21	18,0
8	14.00	37,89	0,26	22,8
9	15.00	48,00	0,21	18,0
10	16.00	42,35	0,24	20,4
11	17.00	51,43	0,19	16,8
12	18.00	22,45	0,45	38,5
13	19.00	40,00	0,25	21,6
14	20.00	60,00	0,17	14,4
15	21.00	48,00	0,21	18,0
16	22.00	60,00	0,17	14,4
17	23.00	65,45	0,15	13,2
18	00.00	60,00	0,17	14,4

19	01.00	60,00	0,17	14,4
20	02.00	60,00	0,17	14,4
21	03.00	55,38	0,18	15,6
22	04.00	65,45	0,15	13,2
23	05.00	40,00	0,25	21,6
24	06.00	22,90	0,44	37,7
25	07.00	25,44	0,39	34,0
26	08.00	27,69	0,36	31,2
27	09.00	17,43	0,57	49,6
28	10.00	33,18	0,30	26,0
29	11.00	36,92	0,27	23,4
30	12.00	24,75	0,40	34,9
31	13.00	74,23	0,13	11,6
32	14.00	72,00	0,14	12,0
33	15.00	56,69	0,18	15,2
34	16.00	22,71	0,44	38,0
35	17.00	28,69	0,35	30,1
36	18.00	19,45	0,51	44,4
37	19.00	45,00	0,22	19,2
38	20.00	55,38	0,18	15,6
39	21.00	65,45	0,15	13,2
40	22.00	45,00	0,22	19,2
41	23.00	55,38	0,18	15,6
42	00.00	65,45	0,15	13,2
43	01.00	60,00	0,17	14,4
44	02.00	60,00	0,17	14,4
45	03.00	45,00	0,22	19,2
46	04.00	37,89	0,26	22,8
47	05.00	33,80	0,30	25,6
48	06.00	14,40	0,69	60,0

Rata-rata	24,1	m ³ /day	0,28	l/s
-----------	------	---------------------	------	-----

Lampiran 10 Data konsentrasi tracer

No	Time (Jam)	Tracer Contration (μ s/m)	Konsentrasi (g/L)
0	06.00	883	0,006364
1	07.00	873	0,006284
2	08.00	884	0,006372
3	09.00	881	0,006348

4	10.00	875	0,0063
5	11.00	873	0,006284
6	12.00	883	0,006364
7	13.00	880	0,00634
8	14.00	878	0,006324
9	15.00	875	0,0063
10	16.00	878	0,006324
11	17.00	880	0,00634
12	18.00	878	0,006324
13	19.00	881	0,006348
14	20.00	878	0,006324
15	21.00	883	0,006364
16	22.00	877	0,006316
17	23.00	886	0,006388
18	00.00	878	0,006324
19	01.00	887	0,006396
20	02.00	878	0,006324
21	03.00	881	0,006348
22	04.00	873	0,006284
23	05.00	884	0,006372
24	06.00	875	0,0063
25	07.00	878	0,006324
26	08.00	877	0,006316
27	09.00	874	0,006292
28	10.00	879	0,006332
29	11.00	878	0,006324
30	12.00	880	0,00634
31	13.00	884	0,006372
32	14.00	897	0,006476
33	15.00	902	0,006516
34	16.00	903	0,006524
35	17.00	892	0,006436
36	18.00	886	0,006388
37	19.00	882	0,006356
38	20.00	878	0,006324
39	21.00	883	0,006364
40	22.00	882	0,006356
41	23.00	879	0,006332
42	00.00	880	0,00634
43	01.00	883	0,006364
44	02.00	885	0,00638
45	03.00	884	0,006372

46	04.00	886	0,006388
47	05.00	885	0,00638
48	06.00	883	0,006364

Lampiran II Data perhitungan RTD menghitung $E(t)$, tm dan σ

t	C	E (t)	t E(t)	(t-tm) ² E(t)	T ² E(t)
0	0,006364	0,015785	0	0	0
1	0,006284	0,015587	0,015587	11,33208825	0,015587
2	0,006372	0,015805	0,03161	21,30853699	0,06322
3	0,006348	0,015745	0,047236	29,43680608	0,141709
4	0,0063	0,015626	0,062505	35,89407651	0,250022
5	0,006284	0,015587	0,077933	41,09644794	0,389667
6	0,006364	0,015785	0,094711	45,6884763	0,568264
7	0,00634	0,015726	0,110079	48,37681537	0,770553
8	0,006324	0,015686	0,125487	50,01241975	1,003897
9	0,0063	0,015626	0,140637	50,57582645	1,265735
10	0,006324	0,015686	0,156859	50,61707365	1,568589
11	0,00634	0,015726	0,172981	49,77788966	1,902794
12	0,006324	0,015686	0,188231	47,9681923	2,258768
13	0,006348	0,015745	0,20469	45,83224301	2,660975
14	0,006324	0,015686	0,219602	42,81869826	3,074434
15	0,006364	0,015785	0,236777	39,79161422	3,551648
16	0,006316	0,015666	0,250657	35,8760726	4,010507
17	0,006388	0,015845	0,269359	32,37720683	4,579098
18	0,006324	0,015686	0,282346	28,02956243	5,082227
19	0,006396	0,015864	0,301425	24,21846519	5,727075
20	0,006324	0,015686	0,313718	19,89576579	6,274355
21	0,006348	0,015745	0,330654	16,03408427	6,943728
22	0,006284	0,015587	0,342907	12,19541838	7,543949
23	0,006372	0,015805	0,363514	8,95609554	8,360816
24	0,0063	0,015626	0,375033	5,89188266	9,000782
25	0,006324	0,015686	0,392147	3,444256887	9,803679
26	0,006316	0,015666	0,407317	1,570542573	10,59025
27	0,006292	0,015607	0,421376	0,391278198	11,37715
28	0,006332	0,015706	0,43976	0,000581871	12,31329
29	0,006324	0,015686	0,454891	0,488586082	13,19183
30	0,00634	0,015726	0,471767	1,956335453	14,15302
31	0,006372	0,015805	0,489953	4,517160776	15,18855
32	0,006476	0,016063	0,514013	8,374465426	16,44841
33	0,006516	0,016162	0,53335	13,52846078	17,60055
34	0,006524	0,016182	0,550187	20,047607	18,70635

35	0,006436	0,015964	0,558729	27,66300001	19,55552
36	0,006388	0,015845	0,570407	36,83876282	20,53464
37	0,006356	0,015765	0,583315	47,6311801	21,58264
38	0,006324	0,015686	0,596064	60,04079779	22,65042
39	0,006364	0,015785	0,615619	74,9833623	24,00914
40	0,006356	0,015765	0,63061	91,35925168	25,22441
41	0,006332	0,015706	0,643935	109,4348596	26,40133
42	0,00634	0,015726	0,660474	130,1264869	27,73991
43	0,006364	0,015785	0,678759	153,4624595	29,18665
44	0,00638	0,015825	0,696291	179,0618192	30,63679
45	0,006372	0,015805	0,711223	206,4238591	32,00501
46	0,006388	0,015845	0,728853	237,1037818	33,52724
47	0,00638	0,015825	0,743765	269,5282357	34,95696
48	0,006364	0,015785	0,757685	304,1773973	36,36887

rumus C(t)	0,403165	
tm	28	jam
Variance	983,2475	
	201,2832	
standar devisiasi	14,18743	



AL.159.478.10.23

HASIL PENGUJIAN

No.	Parameter	Kode Sampel	Keterangan Lokasi	Satuan	HASIL UJI	Metode Uji
1	COD	AL.407	Inlet 06.00 WIB	mg/L	1778 ± 22,2	SNI 6989.2:2019
2	COD	AL.408	Outlet 06.00 WIB	mg/L	1870 ± 23,3	SNI 6989.2:2019
3	COD	AL.409	Inlet 12.00 WIB	mg/L	2207 ± 27,5	SNI 6989.2:2019
4	COD	AL.410	Outlet 12.00 WIB	mg/L	1594 ± 19,9	SNI 6989.2:2019
5	COD	AL.411	Inlet 18.00 WIB	mg/L	2114 ± 26,4	SNI 6989.2:2019
6	COD	AL.412	Outlet 18.00 WIB	mg/L	1839 ± 22,9	SNI 6989.2:2019



Yogyakarta, 27 Oktober 2023

Kepala Laboratorium

(Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.)

Hal. 2 dari 2

VALUES | INNOVATION | PERFECTION



www.environment.uin-suka.ac.id



Email: env-rehab@uisu.ac.id



Telp: (0274) 8964408 ext. 5225, HP: 0812 2274 2254

Lampiran 13 Perhitungan excel rata-rata COD pada inlet, outlet, dan efisiensi COD

Pengamatan (jam)	Konsentrasi Inlet (mg/L)	Konsentrasi Outlet (mg/L)
06.00	1778	1870
12.00	2207	1594
18.00	2114	1839

Rata-rata Inlet	2033 mg/L
Rata-rata Outlet	1767,67 mg/L
Efisiensi COD	13,05 mg/L

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT HIDUP

Ainul Islami yang biasa dipanggil Ismi merupakan anak terakhir dari Bapak Alan Sutarjo dan Ibu Fatmawati (Rahimahullah). Lahir di Jone, 08 November 2001. Penulis telah menempuh pendidikan selama 12 tahun di Kalimantan Timur yaitu di SDN 002 Tanah Grogot, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 2 Tanah Grogot, dan SMAN 1 Tanah Grogot, pada tahun 2019 penulis memilih untuk melanjutkan pendidikan S-1 di Universitas Islam Indonesia D.I. Yogyakarta pada program studi Teknik Lingkungan, penulis diterima melalui jalur *Computer Based Test* (CBT). Selama masa perkuliahan penulis mengikuti beberapa kegiatan non akademik yang ada dikampus seperti kepanitiaan angkatan, organisasi lembaga dakwah fakultas (LDF) FTSP, dan lainnya. Penulis telah melaksanakan Kerja Praktik di Dinas Lingkungan Hidup Kota Mataram pada tahun 2022 selama kurang lebih 1 bulan. Penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir pada Juni - Oktober 2023, penelitian dilakukan di IPAL Komunal Ngaglik Sejahtera, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta. Tugas Akhir ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.