TUGAS AKHIR

POTENSI BAKTERI *STAPHYLOCOCCUS* SP. SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT ZINK (ZN) PADA AIR LINDI TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA

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

Nida Kamalia
20513257

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

TUGAS AKHIR

POTENSI BAKTERI *STAPHYLOCOCCUS* SP. SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT ZINK (ZN) PADA AIR LINDI TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA

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

Disusun oleh:
Nida Kamalia
20513257

Disetujui

Pembimbing 1:	**Pembimbing 2:**
Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.	**Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech, M.Agr, Ph.D.**
Tanggal:	**Tanggal:**

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

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

HALAMAN PENGESAHAN

POTENSI BAKTERI *STAPHYLOCOCCUS* SP. SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI LOGAM BERAT ZINK (ZN) PADA AIR LINDI TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari :

Tanggal :

Disusun Oleh:

NIDA KAMALIA

20513257

Tim Penguji:

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D ( )

Annisa Nur lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. ( )

21. 10. 2024

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. ( )

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan:

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 adalah 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 tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab 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 sesuaidengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Yogyakarta, 27 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Nida Kamalia

NIM: 20513257

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ Potensi Bakteri *Staphylococcus* sp. Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat *Zink* (Zn) Pada Air Lindi Tpa Piyungan Yogyakarta”** ini dapat terselesaikan.

Penyusunan laporan ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Sebagai penulis, tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu kami selama kerja praktik dan penyusunan laporan, antara lain kepada :

1. Allah SWT atas segala karunia dan kemudahan yang telah diberikan sehingga kami dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini.
2. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan dan doa serta semangat.
3. Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII Yogyakarta.
4. Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII .
5. Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan memberikan arahan serta masukan kepada terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai.
6. Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech, M.Agr, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan memberikan arahan serta masukan kepada terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai.
7. Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

8. Saudara saya Ahmadi, Alfiyah dan Wartijan yang sudah memberikan banyak dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Keponakan saya Rovi Ade Retnani, Rizky Andrianto, Vian Adi Pratama, Rafli, Vito, Sultoni dan Fresty Puspa Wardhani yang sudah memberikan banyak dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Keluarga besar saya yang sudah memberikan banyak dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Mba Indah Fatika yang membantu saya dalam mengerjakan penelitian ini.
12. Teman-teman saya yang memberikan banyak dukungan Intan Nuraeni, Rahmatia Due, Puja Puteri Chantika, Laila Anis Tajkia, Yolan Cici Sapiah, Anjeli Putri, Adfira Restiyana Putri, Febrianti Kartika Chandra, Verda Putri Cantika, Fachra Syifa'aa R, Isna, Intan Dewi, Elly, dan Farah beserta teman saya lainnya yang tidak dapat saya sebutkan namanya.

Penulis masih menyadari Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis untuk menyempurnakan laporan ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini juga dapat bermanfaat untuk kedepannya.

Yogyakarta, 27 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

NIDA KAMALIA. Potensi Bakteri *Staphylococcus* Sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat *Zink* (Zn) Pada Air Lindi TPA Piyungan Yogyakarta Dibimbing Oleh Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D dan Annisa Nur Lathifah S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

Masalah pencemaran lingkungan akibat logam berat telah menjadi perhatian global dalam beberapa dekade terakhir. Salah satu logam berat yang sering mencemari lingkungan adalah *zinc* (Zn), yang umumnya ditemukan dalam limbah industri dan lindi dari tempat pembuangan akhir (TPA). Lindi yang mengandung konsentrasi tinggi logam berat seperti Zn dapat berdampak negatif pada kualitas air tanah dan permukaan, serta mengancam kesehatan manusia dan ekosistem. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari potensi bakteri *Staphylococcus* sp sebagai agen bioremediasi logam berat *zink* (Zn) pada air lindi Tpa Piyungan Yogyakarta. Pengujian bakteri ini dilakukan dengan menginokulasikan bakteri ke dalam reaktor air limbah 5 % (v/v) dari total air limbah. Pada penelitian ini dilakukan pengujian TPC untuk mengetahui tumbuhnya koloni bakteri dalam air lindi dalam rentang selama waktu pengujian. Dari hasil pengujian ini, didapatkan bahwa bakteri *Staphylococcus* sp dapat digunakan untuk bioremediasi logam berat Zn dengan nilai akhir removal pada logam berat Zn menggunakan isolat 1 (R15) bakteri *Staphylococcus* sp. adalah 64% dan isolat 2 (R16) didapatkan nilai akhir removal 75%. Dari hasil pengujian juga didapatkan bahwa isolat 2 (R16) memiliki nilai yang paling efektif dari isolat 1 (R15) dengan nilai akhir removal logam berat Zn isolat 2 (R16) adalah 75%. Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa bakteri *Staphylococcus* sp. dapat digunakan untuk bioremediasi logam berat zink (Zn).

Kata Kunci: Air lindi , Logam berat Zn, Staphylococcus sp, Pencemaran, TPC

ABSTRACT

NIDA KAMALIA. The Potential of Staphylococcus Bacteria as a Bioremediation Agent for Heavy Metal Zinc (Zn) in Leachate from the Piyungan Landfill, Yogyakarta. Supervised by Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. and Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

The issue of environmental pollution caused by heavy metals has become a global concern in recent decades. One of the heavy metals that frequently contaminates the environment is zinc (Zn), which is commonly found in industrial waste and leachate from landfills. Leachate containing high concentrations of heavy metals like Zn can negatively impact groundwater and surface water quality, posing threats to human health and ecosystems. The aim of this study is to investigate the potential of Staphylococcus sp. bacteria as a bioremediation agent for zinc (Zn) heavy metal in leachate from the Piyungan Landfill in Yogyakarta. The bacterial test was conducted by inoculating the bacteria into a 5% (v/v) wastewater reactor from the total leachate. In this study, a TPC (Total Plate Count) test was performed to observe bacterial colony growth in the leachate over the testing period. From the results of this test, it was found that Staphylococcus sp. bacteria could be used for the bioremediation of Zn heavy metal, with the final removal rate for Zn heavy metal using isolate 1 (R15) of Staphylococcus sp. reaching 64%, and isolate 2 (R16) achieving a removal rate of 75%. The test results also showed that isolate 2 (R16) was more effective than isolate 1 (R15), with isolate 2's final removal rate being 75%. From this research, it can be concluded that Staphylococcus sp bacteria can be used for the bioremediation of zinc (Zn) heavy metals.

Keywords: Leachate, Zn Heavy Metal, Staphylococcus sp, TPC, Pollution

DAFTAR ISI

ABSTRAK v
ABSTRACT v
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.6 Ruang Lingkup 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Sampah 6
2.1.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA) 7
2.2 Lindi 8
2.2.1 Definisi Lindi 8
2.2.2 Kandungan Air Lindi 8
2.2.3 Dampak Negatif Air Lindi 9
2.2.4 IPL TPA Piyungan 9
2.3 Logam Berat 10
2.3.1 Definisi Logam Berat 10
2.3.2 Proses Terjadinya Logam Berat Pada Lindi 11

2.3.3 Logam Berat Zn 12
2.3.4 Sumber Logam Berat Zn 12
2.3.5 Dampak Logam Berat Zn 13
2.4 Bioremediasi Logam Berat 13
2.4.1 Bakteri Staphylococcus sp 14
2.5 Mekanisme Pengolahan Logam Oleh Bakteri 15
2.6 Penelitian Terdahulu 17
2.7 *Research Gap* 18
BAB III METODE PENELITIAN 20
3.1 Waktu dan Lokasi 20
3.2 Alat dan Bahan 21
3.3 Prosedur Analisis Data 21
3.3.1 Studi Literatur 22
3.3.2 Metode Sampling 22
3.3.3 Pembuatan Media 23
3.3.4 Sterilisasi Alat dan Media 23
3.3.5 Pembuatan Inokulum Bakteri 24
3.3.6 Inokulasi Bakteri dan Lindi 26
3.3.7 Parameter Pengujian 28
3.3.8 Uji Logam Berat Zn 28
3.3.9 Analisis Data 29
3.3.10 Kesimpulan 31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 32
4.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri 32
4.1.1 Uji TPC 32

4.2 Data Suhu dan PH 33
4.3 Uji Removal Logam Berat Zn 35
4.4 Perbandingan Efektivitas Removal Logam Berat Zn 37
4.4.1 Perbandingan Jumlah Pertumbuhan Bakteri 37
4.4.2 Perbandingan Removal Logam Berat Zn 38
BAB V KESIMPULAN 42
5.1 Kesimpulan 42
5.2 Saran 42
DAFTAR PUSTAKA 44
LAMPIRAN 48

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel Perlakuan Penelitian..... 28

Tabel 3. 2 Uji Parameter Penelitian 28

Tabel 4. 1 Hasil Uji TPC Isolat 1 dan 2 Bakteri *Staphyllococcus* sp 32

Tabel 4. 2 Data Suhu dan pH Isolat 1dan 2 Bakteri *Staphyllococcus* sp 33

Tabel 4. 3 Hasil Uji Removal Logam Zn Bakteri *Staphyllococcus* sp..... 35

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Uji TPC Bakteri *Staphylococcus* sp..... 37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Terbentuknya Logam Berat 12

Gambar 3. 1 Peta Lokasi TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia 20

Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian 22

Gambar 3. 3 Diagram Alir Sterilisasi Alat dan media 24

Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan Inokulum Bakteri 26

Gambar 3. 5 Diagram Alir Inokulasi Air Lindi dan Bakteri 27

Gambar 3. 6 Inokulasi Air Lindi dan Bakteri *Staphylococcus* sp. 27

Gambar 3. 7 Diagram Alir Uji Logam Zn..... 29

Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Hasil Uji Removal Logam Berat Zn 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pembacaan AAS Logam Berat Zn 48
Lampiran 2 Perhitungan Konsentrasi Bakteri *Staphylococcus* sp..... 50
Lampiran 3 Perhitungan Konsentrasi dan Removal Logam Berat 51
Lampiran 4 Perhitungan Konsentrasi dan Removal Logam Berat 53
Lampiran 5 Isolat 1 dan 2 Bakteri *Staphylococcus* sp 54
Lampiran 6 Penuangan Air Lindi Untuk Inokulasi Bakteri dan Air Lindi 55
Lampiran 7 Penuangan Bakteri Untuk Inokulasi Bakteri dan Air Lindi 55
Lampiran 8 Pengukuran PH dan Suhu Menggunakan PH Meter 56
Lampiran 9 Pengukuran PH dan Suhu Menggunakan PH Meter 56
Lampiran 10 Inokulasi Bakteri dan Air Lindi Minggu Ke-0 57
Lampiran 11 Inokulasi Bakteri dan Air Lindi Minggu Ke-1 57
Lampiran 12 Inokulasi Bakteri dan Air Lindi Minggu Ke-2 57
Lampiran 13 Hasil Panen Air Lindi Minggu Ke-1 57
Lampiran 14 Hasil Panen Air Lindi Minggu Ke-2 58
Lampiran 15 Sterilisasi Alat dan Media..... 58
Lampiran 16 Pengenceran Untuk Uji TPC 58
Lampiran 17 Penuangan Media Untuk Uji TPC..... 59
Lampiran 18 Perhitungan Bakteri Menggunakan Colony Counter..... 59
Lampiran 19 Uji TPC Lindi Minggu Ke-0 60
Lampiran 20 Uji TPC R15 Minggu Ke-0 60
Lampiran 21 Uji TPC R16 Minggu Ke-0 61
Lampiran 22 Uji TPC R15 Minggu Ke-1 61
Lampiran 23 Uji TPC R16 Minggu Ke-1 62

Lampiran 24 Uji TPC R15 Minggu Ke-2 62
Lampiran 25 Uji TPC R16 Minggu Ke-2 63
Lampiran 26 Sampel Uji Logam Zn Yang Sudah Di Ukur 63
Lampiran 27 Larutan HNO3 64
Lampiran 28 Penambahan HNO3 Pada Saat Destruksi Logam Di Lemari Asam 64
Lampiran 29 Sampel Destruksi Logam Yang Sudah Bisa Disaring 65
Lampiran 30 Penyaringan Sampel Yang Sudah Didestruksi Logam 65
Lampiran 31 Penambahan Aquades Sampai Batas Tera Di Labu Ukur 50 ml 66
Lampiran 32 Penghomogenan Sampel Yang Sudah Didestruksi 66
Lampiran 33 Sampel Yang Sudah Didestruksi 67
Lampiran 34 Sampel Yang Sudah Diencerkan dan Siap Pembacaan AAS 67
Lampiran 35 Sampel Yang sudah Siap Pembacaan AAS 67
Lampiran 36 Pembacaan AAS Logam Berat Zn 68

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tempat untuk membuang sampah yang sudah menacapai tahap akhir. Peningkatan jumlah populasi manusia menyebabkan berbagai aktifitasnya meningkat dan bertambahnya jumlah dan variasi sampah yang ada di TPA dan berpotensi menimbulkan masalah kesehatan dan lingkungan. Beberapa jenis sampah padat yang umumnya dihasilkan di TPA adalah sisa-sisa makanan, sayuran dan buah busuk, sampah kering, abu, plastik, kertas, dan kaleng-kaleng serta sampah lainnya (Rahmawati, 2018). TPA selain menghasilkan berbagai sampah padat ternyata juga menghasilkan lindi, gas berbahaya, debu, partikulat, air liat dan limbah cair dari proses pengolahan air lindi.

Lindi merupakan cairan (limbah cair) yang sangat berbahaya yang dihasilkan dari masuknya air eksternal ke dalam tumpukan limbah atau sampah dan melarutkan materi yang ada pada timbunan tersebut (Said dan Hartaja, 2015). Lindi sangat berbahaya apabila tercemar dilingkungan karena bersifat toksik bagi lingkungan, organisme dan manusia. Air lindi dari TPA mengandung berbagai senyawa organik dan anorganik yang dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia dan mencemari lingkungan. Selain itu air lindi mengandung berbagai zat berbahaya, beberapa diantaranya adalah logam berat, senyawa nitrogen, amonia, garam, mikroplastik dan lain sebagainya.

Masalah pencemaran lingkungan akibat logam berat telah menjadi perhatian global dalam beberapa dekade terakhir. Logam berat yang masuk ke lingkungan dapat menimbulkan risiko serius bagi lingkungan akuatik karena toksisitas, akumulasi serta pertumbuhannya sebagian besar dari logam seng, tembaga, nikel, kromium, timbal, kadmium, merkuri digolongkan sebagai zat berbahaya di banyak negara karena sifat toksisitas, persistensi dan bioakumulasinya (Herbila et al., 2022). Salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan adalah *zinc* (Zn), yang umumnya ditemukan dalam limbah industri dan lindi dari tempat pembuangan

akhir (TPA). Lindi yang mengandung konsentrasi tinggi logam berat seperti Zn dapat berdampak negatif pada kualitas air tanah dan permukaan, serta mengancam kesehatan manusia dan ekosistem.

Seng (Zn) merupakan logam berat beracun yang dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah tertentu dan dapat bersifat racun jika dikonsumsi secara berlebihan (Asria dan Alhamid, 2021). Logam berat Zn pada pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) biasanya berasal dari berbagai sumber, terutama dari limbah yang mengandung produk-produk konsumen dan industri yang mengandung seng. Biasanya beberapa produk konsumen yang mengandung zn adalah baterai , produk kosmetik , pipa dan atap yang dilapisi dengan seng (galvanisasi) untuk mencegah korosi , obat-obatan dan suplemen. Logam berat Zn pada konsentrasi tinggi memiliki potensi berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. Air lindi yang masuk ke air permukaan, perairan dan tanah dapat mencemari lingkungan. Air yang terkontaminasi logam berat Zn apabila terakumulasi atau dikonsumsi oleh manusia atau organisme dapat menimbulkan gangguan fungsional terutama kesehatan. Kosentrasi tinggi logam Zn pada manusia dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan, anemia, dan gangguan reproduksi (Arianti, 2024).

Konsentrasi logam berat Zn pada outlet IPL air lindi TPA Bakung adalah 2,48 mg/L dan 2,80 mg/L (Riana *et al.*, 2024). Berdasarkan penelitian Rina Rikningsih (2018) 3 sampel air sumur disekitar TPA Piyungan Yogyakarta mengandung Zink sebesar 0,0072 mg/L (Sumur A); 0,0300 mg/L(Sumur B); 0,0143 mg/L(Sumur C). Dari penelitian tersebut mengindikasikan bahwa terdapat logam Zn pada lindi di TPA Piyungan. Baku mutu logam berat Zn pada perairan untuk klasifikasi kelas IV menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 adalah 2 mg/L. Penanganan limbah yang mengandung logam berat seperti Zn menjadi tantangan besar, mengingat sifatnya yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan dalam jangka waktu yang lama. Metode konvensional untuk mengurangi kadar logam berat dalam limbah, seperti pengendapan kimia dan pertukaran ion, sering kali memiliki kelemahan seperti biaya yang tinggi dan potensi menghasilkan limbah sekunder yang berbahaya.

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, bioremediasi mulai mendapat perhatian sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Bioremediasi untuk menurunkan kadar logam Zn penting dilakukan sebagai salah satu cara yang tepat, efektif dan hampir tidak ada pengaruh sampingnya pada lingkungan karena tidak menghasilkan racun atau blooming. Penggunaan bakteri untuk mengurangi logam berat Zn perlu diuji sebagai alternatif untuk pemulihan tanah ataupun air tercemar. Menurut Varghese dkk. (2013), *Bacillus* sp. dapat menurunkan kadar logam Zn pada sedimen hingga 50% pada pH 9 dari konsentrasi logam 81,06 mg/l hingga 829,54 mg/l. Salah satu bakteri yang berpotensi dalam proses bioremediasi logam berat adalah genus *Staphylococcus*. Bakteri ini terbukti dapat menyerap logam berat melalui dinding selnya dan kemampuan untuk bertahan hidup dalam lingkungan yang terkontaminasi logam berat. Pada penelitian sebelumnya bakteri *Bacillus* sp., *Pseudomona*s sp., dan *Staphylococcus* sp. dapat meremediasi logam berat (Kumar *et al*., 2010). Selain itu , *Staphylococcus arlettae* ternyata juga dapat meruduksi logam strain Cr11 dalam kondisi aerobik dan halotoleran terhadap logam berat (Sadhana *et al*., 2012).

Pada penelitian ini akan dipelajari proses degradasi logam berat Zn pada sampel lindi di TPA Piyungan oleh bakteri *Staphylococcus*. Penelitian ini perlu dilakukan sebagai inovasi dan upaya untuk menangani pencemaran logam berat Zn di lingkungan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi baru yang inovatif untuk lingkungan dari dampak logam berat dengan investasi rendah dan tidak membahayakan lingkungan. Selain itu , diharapkan dari penelitian ini dapat membantu memberi informasi dalam proses penanganan logam berat dengan memanfaatkan mikroorganisme di TPA Piyungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Bagaimana efektivitas isolat 1 dan isolat 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp. dalam mengurangi kandungan logam berat Zn pada lindi di TPA Piyungan?

2) Dari kemampuan isolat 1 dan isolat 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp. manakah yang paling efektif dalam mengurangi kandungan logam berat Zn pada air lindi di TPA Piyungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Menganalisis efektivitas isolat 1 dan isolat 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp dalam mengurangi kandungan logam berat Zn pada lindi di TPA Piyungan.
2) Menganalisis kemampuan isolat 1 dan isolat 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp yang lebih efektif dalam meremediasi kandungan logam berat Zn pada air lindi di TPA Piyungan .

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Hasil penelitian dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kemampuan alami mikroorganisme untuk mendegradasi limbah di TPA.
2) Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi pembelajaran, khususnya pengetahuan mengenai isolat 1 dan isolat 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp. yang dimanfaatkan sebagai pendegradasi terhadap mikroplastik di TPA Piyungan.
3) Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pengembangan teknologi bioremediasi yang lebih efektif untuk mengatasi masalah limbah di TPA Piyungan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang mikroorganisme yang terlibat dalam proses degradasi limbah, teknologi bioremediasi dapat disesuaikan untuk meningkatkan efisiensi dan keberhasilannya.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Sampel diambil dari lindi yang ada di pengolahan lindi di TPA Piyungan.
2) Sampel berasal dari inlet pengolahan lindi di TPA Piyungan.

3) Sampel yang diteliti yaitu logam berat Zn.
4) Jenis bakteri adalah genus *Staphylococcus* sp. yang terdiri dari isolat 1 dan isolat 2.
5) Penelitian uji degradasi oleh bakteri *Staphylococcus* sp. terhadap logam berat Zn dilakukan dalam skala laboratorium.
6) Penelitian ini meneliti mengenai efektivitas kemampuan bakteri *Staphylococcus* sp. dalam menurunkan logam berat Zn yang ada di TPA Piyungan.
7) Penelitian ini menggunakan analisis *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi logam berat Zn.
8) Penelitian ini juga akan membandingkan efektivitas hasil sampel logam berat Zn sebelum terdegradasi bakteri *Staphylococcus* sp.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Menurut Undang – undang Nomor 18 Tahun 2008, sampah adalah sisa dari kegiatan manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah merupakan suatu barang yang sudah tidak digunakan lagi dan dibuang oleh pengguna sebelumnya. Berdasarkan kedua defisi tersebut dapat disimpulkan bahwa sampah merupakan barang yang sudah tidak memiliki nilai guna dan tidak digunakan dari kegiatan manusia sehari – hari. Menurut Djohan, jenis – jenis sampah berdasarkan bentuknya dibagi menjadi dua :

a. Sampah Padat

   Jenis sampah padat meliputi logam, plastik, kaca, limbah dapur, limbah taman, dll.

   Sampah padat terbagi lagi menjadi mudah tidaknya terurai di alam, sampah tersebut diklasifikasikan sebagai berikut:

   1) Biodegradable, yaitu limbah yang mudah terurai melalui proses biologi aerobik maupun anaerobik.
   2) Non-biodegradable, yaitu sampah yang tidak dapat diuraikan oleh proses biologis.

b. Sampah Cair

   Sampah cair atau sering disebut limbah merupakan cairan yang sudah digunakan dan tidak dapat digunakan kembali. Sampah cair dibagi menjadi dua jenis yaitu :

   1) Limbah hitam, merupakan limbah cair yang dihasilkan dari toilet dan mengandung bakteri patogen yang berbahaya.
   2) Limbah rumah tangga, merupakan sampah cair yang berasal dari dapur, dan kegiatan mencuci lainnya.

Menurut Nugroho jenis sampah juga digolongkan lagi berdasarkan sifatnya sebagai berikut (Nugroho, 2013):

a. Sampah Organik

Sampah organik adalah sampah yang mudah terurai dan mengalami pembusukan. Sampah jenis ini mudah untuk dilakukan pengolahan karena memiliki senyawa organik yang tinggi. Pengolahan yang paling mudah dilakukan adalah dijadikan pupuk kompos yang dapat menyuburkan tanah. Contoh sampah organik diantaranya sisa makanan, daun kering, sayuran dan lain – lain.

b. Sampah Anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang tidak mudah terurai dan mengalami pembusukan. Pengolahan sampah jenis ini adalah dengan cara mengolah kembali menjadi barang yang berbeda dan dapat diperjualbelikan. Contoh jenis ini, yaitu plastik, kertas, kaleng, kayu dan sebagainya. Beberapa contoh sampah plastik yang dapat diolah kembali dan dijual adalah botol plastik, kaleng, kaca, dan kertas.

2.1.1 Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Menurut UU No. 18 Tahun 2008, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat pengolahan sampah dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya dimulai dari timbulan di sumber, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. Lokasi tempat pengolahan sampah harus terisolir secara baik sehingga tidak menyebabkan pencemaran dan pengaruh negatif pada lingkungan sekitar TPA. Menurut simanjuntak metode pembuangan sampah, tempat pembuangan sampah dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu, *open dumping*, *control landfill*, dan *sanitary landfill* (Simanjuntak et al., 2014 ; Michelle, 2019).

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Indonesia sebagian besar merupakan tempat penimbunan sampah terbuka (*open dumping*) sehingga banyak menimbulkan masalah pencemaran pada lingkungan. TPA selain menghasilkan berbagai sampah padat ternyata juga menghasilkan lindi, gas berbahaya, debu, partikulat, air liat dan limbah cair dari proses pengolahan air lindi. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan merupakan TPA yang ada di Provinsi Yogyakarta. TPA Piyungan terletak di Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul dan sudah beroperasi selama 28 tahun. TPA Piyungan dapat

menampung 600 ton sampah per hari dan sudah mengalami *overcapacity* sejak 2012 (Mulasari et al., 2016). TPA Piyungan menggunakan pengelolaan sampah secara *open dumping* dengan pengolahan air lindi yang nantinya akan dibuang ke sungai Opak (Kartikasari et al., 2020). Dampak negatif dari sistem TPA *open dumping* adalah emisi lindi yang dapat mencemari tanah, air, dan udara sehingga akan berdampak pada lingkungan dan kesehatan masyarakat.

2.2 Lindi

2.2.1 Definisi Lindi

Lindi merupakan cairan (limbah cair) yang sangat berbahaya yang dihasilkan dari masuknya air eksternal ke dalam tumpukan limbah atau sampah dan melarutkan materi yang ada pada timbunan tersebut (Said dan Hartaja, 2015). Sampah yang ditimbun pada TPA akan mengalami proses dekomposisi yang akan menyebabkan terjadinya perubahan fisik, kimia dan biologis. Hasil dekomposisi sampah tersebut adalah air lindi. Air lindi ini terbentuk dari dekomposisi sampah yang berasal dari cairan hasil penyusutan timpukan sampah yang kemudian larut karena adanya air dari luar atau hujan sehingga menimbulkan permasalahan pencemaran jika tidak dilakukan pengolahan sebelum lindi dibuang ke lingkungan Air lindi dapat merembes ke tanah dan mengalir ke air tanah yang akan bermuara ke sungai. Apabila pengelolaan air lindi dilakukan dengan tidak tepat, air lindi akan sangat berpotensi untuk mencemari lingkungan sekitar *landfill*.

2.2.2 Kandungan Air Lindi

Air lindi dari TPA mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biology Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), senyawa nitrrogen, amonia, dan logam berat seperti Fe, Zn, Pb, Ni, Mn, Cd, Cu, dan Cr. Air lindi juga mengandung berbagai bakteri patogen, yang dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia dan mencemari lingkungan dan biota perairan. Selain itu air lindi juga mengandung mikroplastik yang memiliki efek buruk terhadap lingkungan. TPA Piyungan sendiri masih menggunakan sistem *open dumping* yang membuat kandungan air lindi berbahaya akibat campuran kandungan sampah yang tertimbun dengan waktu yang kurun lama. Lindi di TPA Piyungan memiliki debit

sebesar 115 m3/hari pada musim kemarau dan bisa mencapai 400 m3/hari pada musim hujan dengan intensitas tinggi sehingga sangat berbahaya bagi lingkungan apabila mendapatkan pengolahan yang tepat (Astuti et al., 2023).

2.2.3 Dampak Negatif Air Lindi

Dampak Negatif dari adanya air lindi yaitu rembesan dari air lindi dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang dapat mencemari air dan tanah, sehingga dapat mengakibatkan kondisi lingkungan tidak normal. Ini dapat mengganggu ekosistem air lokal dan mengancam kesehatan manusia dan satwa liar yang bergantung pada sumber air tersebut.Air lindi apabila tercemar ke perairan dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan terutama bagi biota perairan (Kurniawati et al., 2015).

Air lindi yang mengalir ke perairan mengandung senyawa berbahaya salah satunya yaitu mengandung logam berat yang dapat tertelan oleh organisme di perairan. Selain itu kondisi ini juga dapat menyebabkan kenaikan suhu dan perubahan pH tanah dan air yang akan menjadi asam ataupun basa. Jika air lindi meresap ke dalam tanah, itu dapat mencemari tanah dengan bahan kimia beracun dan logam berat. Ini bisa merusak kesuburan tanah dan mengganggu pertumbuhan tanaman. Air lindi menghasilkan gas metana, yang merupakan gas rumah kaca yang sangat kuat. Pelepasan gas metana dari TPA dapat menyumbang pada pemanasan global dan perubahan iklim. Peningkatan kadar bahan kimia dan bakteri dalam air lindi meningkatkan risiko penyakit bagi manusia dan hewan yang terpapar. (Kurniawati et al., 2015),

2.2.4 IPL TPA Piyungan

Air lindi yang dihasilkan pada influen IPL Piyungan memiliki warna coklat gelap begitu pula hasil pada efluen. Air lindi yang dihasilkan ini memiliki warna lindi yang pekat disertai dengan aroma yang berbau busuk yang dipengaruhi oleh hasil dekomposisi dari konsentrasi bahan organik yang tinggi (Aziz et al., 2007 ; Kartikasari et al., 2020). Selain itu, karakteristik yang dimiliki diantara lain berwarna coklat gelap dengan pH diatas 7 yaitu berkisar 8 – 8,2 dan memiliki konsentrasi NH3-N dan COD yang tinggi (Bhalla et al., 2012 ; Kartikasari et al., 2020). Air lindi yang dihasilkan dari proses pembusukan sampah selanjutnya

ditampung di kolam pengolahan lindi sebelum dibuang ke Sungai Opak (Sismanto & Hartantyo, 2005 ; Utami dan Agustina, 2022).

Pengolahan lindi pada IPL TPA Piyungan terdapat tiga proses utama diantaranya sedimentasi, aerasi dan desinfeksi sebelum dibuang ke Sungai Opak. Hasil dari analisis kualitas lindi hasil pengolahan lindi TPA Piyungan masih berada diatas standar baku mutu pengolahan lindi yang telah ditetapkan. Hal ini dibuktikan dengan nilai rasio nilai BOD5/COD yang rendah yang hanya menunjukan nilai rasio yang rendah dari 0,012 – 0,068. Berdasarkan penelitian Rina Rikningsih (2018), 3 sampel air sumur disekitar TPA Piyungan Yogyakarta mengandung Zink sebesar 0,0072 mg/L (Sumur A); 0,0300 mg/L(Sumur B); 0,0143 mg/L(Sumur C). Air lindi yang merembes ke air tanah sangatlah berbahaya apabila mengandung logam berat yang dapat tertelan oleh organisme dan makhluk hidup di sekitar TPA Piyungan.

2.3 Logam Berat

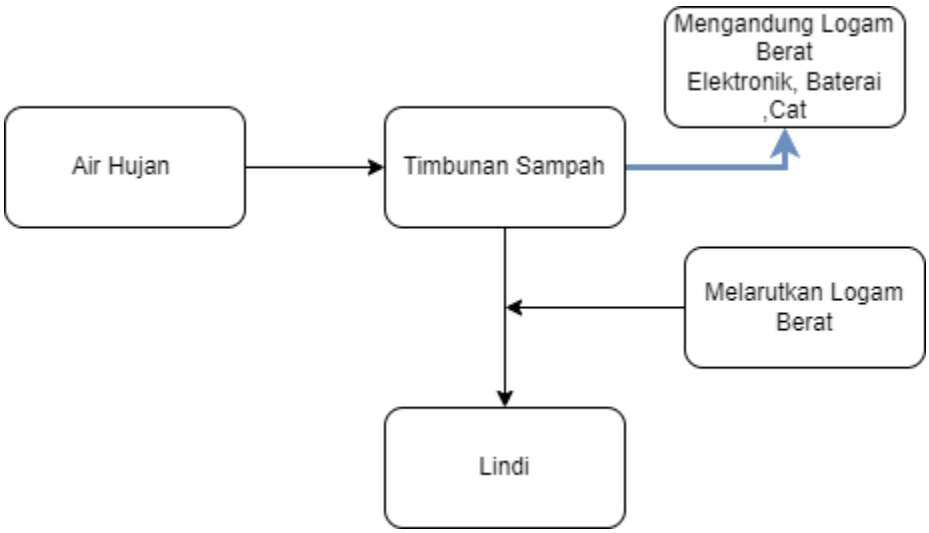
2.3.1 Definisi Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang memiliki massa jenis tinggi , biasanya lebih besar dari 5 g/cm3 dan umumnya memiliki sifat-sifat toksik bahkan dalam konsentrasi rendah (Adhiyasa, 2024). Logam berat memiliki 2 jenis yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang yang dibutuhkan oleh organisme dalam jumah tertentu , namun jika konsentrasi yang dikonsumsi melebihi batas dapat menjadi racun bagi organisme hidup. Logam berat yang termasuk golongan ini adalah Fe, Mn, Cu dan Zn. Sedangkan, logam berat non esensial yaitu logam berat yang keberadaannya tidak dibutuhkan oleh tubuh organisme dan apabila masuk kedalam tubuh bersifat toksik, seperti Pb dan Cd (Syaifullah et al., 2018). Pencemaran logam berat dapat berasal dari sumber alami seperti erosi batuan dan aktivitas vulkanik, tetapi sebagian besar pencemaran logam berat di lingkungan berasal dari aktivitas manusia, seperti industri pertambangan, peleburan logam, penggunaan pestisida, pupuk, emisi dari kendaraan bermotor ,baterai bekas, cat, kosmetik, dan lain sebagainya. Logam berat memiliki karakteristik mempunyai massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan

dengan logam ringan seperti aluminium atau magnesium. Banyak logam berat bersifat toksik dan beracun bagi organisme hidup, bahkan dalam konsentrasi yang rendah. Logam berat juga memiliki kecenderungan untuk terakumulasi dalam tubuh organisme dan sepanjang rantai makanan, suatu proses yang dikenal sebagai biokumulasi. Akumulasi ini dapat menyebabkan efek toksik yang berbahaya jika paparan berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Logam berat juga tidak mudah terurai secara alami di lingkungan, yang berarti mereka dapat bertahan dalam waktu yang sangat lama di tanah, air, atau udara, serta dapat menyebar melalui siklus geokimia. Logam berat juga cenderung membentuk ikatan kimia dengan molekul organik dan anorganik di lingkungan, sehingga dapat teradsorpsi pada partikel tanah atau sedimen atau terlarut dalam air.

2.3.2 Proses Terjadinya Logam Berat Pada Lindi

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan menerima sampah dengan komposisi sampah yang bervariasi setiap harinya dari berbagai lokasi. Sampah yang ditimbun di TPA Piyungan memiliki kemungkinan sampah yang mengandung unsur logam berat. Pembuangan sampah di TPA Piyungan dilakukan dengan cara penimbunan telah dilakukan secara berabad-abad (Al-Maaded et al, 2012). Teknik pembuangan sampah seperti ini memiliki banyak kekurangan seperti bau, biogas dan terutama lindi. Lindi merupakan cairan (limbah cair) yang sangat berbahaya yang dihasilkan dari masuknya air eksternal ke dalam tumpukan limbah atau sampah dan melarutkan materi yang ada pada timbunan tersebut (Said dan Hartaja, 2015). Logam berat pada lindi terbentuk ketika air hujan meresap melalui tumpukan limbah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Proses ini melarutkan logam berat dari berbagai sumber limbah, seperti baterai, cat, dan elektronik. Selama air mengalir melalui limbah, reaksi kimia dan biologis terjadi, yang dapat meningkatkan kelarutan dan mobilitas logam berat. Logam berat ini kemudian larut dalam air dan terbawa oleh lindi. Akibatnya, logam berat terlarut dalam lindi dan dapat terkumpul di dasar TPA. Oleh karena itu, apabila lindi yang mengandung logam berat tidak dikelola dengan baik, lindi ini bisa mencemari tanah dan air di sekitarnya.



Gambar 2. 1 Proses Terbentuknya Logam Berat

2.3.3 Logam Berat Zn

Logam Seng (Zn) merupakan salah satu logam essensial yang dibutuhkan oleh organisme hidup bahkan manusia dalam jumlah tertentu. Logam ini berperan dalam berbagai proses biologis seperti fungsi enzimatik, sintesis protein, penyembuhan luka, dan fungsi sistem kekebalan. Logam ini memiliki nomor atom 30, massa relatif 65,39 perioda 4, menempati tempat pertama pada golongan 12 unsur transisi di dalam tabel periodik unsur, dan memiliki massa jenis 7,14 g/cm3 (Suci , 2021**)**. Logam Zn termasuk unsur yang terdapat dalam jumlah berlimpah di alam. Pada kerak bumi kadar Zn memiliki sekitar 70 mg/kg (Moore,1991;Rikningsih, 2018). Logam ini memiliki warna abu-abu kebiruan, rapuh pada suhu biasa, tetapi menjadi lebih ulet dan mudah ditempa ketika dipanaskan. Zn memiliki kelarutan yang rendah dalam air murni tetapi dapat larut dalam air yang mengandung asam atau basa. Logam Zn ini mudah terserap ke dalam sedimen dan tanah, jika perairan bersifat asam atau basa. Seng dapat membentuk berbagai senyawa seperti seng oksida (ZnO), seng karbonat (ZnCO3), dan seng klorida (ZnCl2). Kelarutan unsur Zink

2.3.4 Sumber Logam Berat Zn

Logam berat Zn yang berasal dari berbagai sumber, mulai dari sumber alamiah Zn yang ditemukan secara alami dalam kerak bumi dan dilepaskan melalui proses

geologis seperti erosi batuan, aktivitas vulkanik, dan pelapukan mineral (Patty et al., 2018). Selain itu, aktivitas manusia juga dapat menghasilkan logam berat Zn seperti pada bidang pertanian dengan penggunaan pupuk, pestisida, fungisida. Aktivitas di bidang industri seperti industri besi, baja, karet, tekstil, kertas, dan bubur kertas produk yang dihasilkan jug turut menyumbang keberadaan Zn (Suci, 2021) . Sumber logam Zn pada lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat berasal dari limbah perangkat elektronik seperti baterai dan komponen elektronik yang mengandung Zn. Bahan bangunan seperti pipa galvanis dan logam berlapis Zn juga dapat menyumbang keberadaan logam Zn. Selain itu, produk kosmetik, cat, dan produk rumah tangga lainnya yang mengandung Zn juga turut menyumbang keberadaan Zn.

2.3.5 Dampak Logam Berat Zn

Kehadiran logam berat Zn di lingkungan dengan konsentrasi yang tinggi tentunya dapat memberikan dampak buruk bagi organisme dan lingkungan yang ada di dalamnya. Logam berat Zn yang larut dalam air dengan konsentrasi tinggi dapat menjadi toksik bagi organisme akuatik, mengganggu ekosistem perairan, dan mengurangi keanekaragaman hayati. Pada tanah pencemaran logam berat Zn dapat mengakibatkan menurunnya kemampuan dan fungsi tanah (PutriN, 2017). Hal itu dikarenakan Zn dalam jumlah tinggi dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penting di tanah, yang berperan dalam dekomposisi organik dan siklus nutrisi, sehingga mengganggu kesuburan tanah. Selain itu, pencemaran logam Zn juga dapat menimbulkan gangguan fungsional terhadap komponen lain seperti dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, mengurangi penyerapan nutrisi, dan menyebabkan nekrosis (kematian sel) pada daun. Sedangkan pada manusia dampak paparan zn dalam jangka panjang dan jumlah yang besar dapat menyebabkan muntah diare, demam, anemia, serta gangguan reproduksi (Hafeez et al., 2012).

2.4 Bioremediasi Logam Berat

Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat diatasi dengan cara bioremediasi. Bioremediasi didefinisikan sebagai penggunaan organisme hidup terutama mikroorganisme untuk mendegradasi pencemaran lingkungan yang

merugikan ke tingkat atau bentuk yang lebih aman. Proses bioremediasi ini dapat dilakukan secara bioaugmentasi yaitu penambahan atau introduksi satu jenis atau lebih mikroorganisme baik yang alami maupun yang sudah mengalami perbaikan sifat (improved/genetically engineered strains). Biostimulasi yaitu suatu proses yang dilakukan melalui penambahan zat gizi tertentu yang dibutuhkan oleh mikroorganisme atau menstimulasi kondisi lingkungan sedemikian rupa (misalnya pemberian aerasi) agar mikroorganisme dapat tumbuh dan beraktivitas lebih baik (Putra, 2005). Bioremediasi menggunakan mikroorganisme dilakukan sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan salah satunya logam berat. Mikroorganisme yang mampu melakukan remediasi logam berat di antaranya adalah bakteri (*Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, dan *Escherichia coli*); kapang (*Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus stolonifer* dan *Aspergillus oryzae*) dan *khamir*, *Saccharomyces cerevisae*) (Suhendrayatna, 2001; Widiatmono, 2020). Metode biologi oleh mikroorganisme merupakan salah satu cara yang tepat, efektif dan hampir tidak ada pengaruh sampingnya pada lingkungan karena tidak menghasilkan racun.

2.4.1 Bakteri Staphylococcus sp

Staphylococcus sp. merupakan bakteri Gram positif yang dapat menghasilkan pigmen kuning, memiliki sifat aerob fakultatif, dan tidak memiliki spora. Warna koloninya biasanya berwarna puth atau cream, dan terkadang kuning hingga orange. Bakteri ini biasanya tumbuh berpasangan atau berkelompok, dengan diameter sekitar 0,8-1,0 µm. Bakteri *Staphylococcus* sp. biasanya tumbuh dengan optimum pada suhu 37℃ dengan waktu pembelahan 0,47 jam (Syarief dan Halid, 1993). Uji katalase pada bakteri ini selalu positif sedangkan uji oksidasenya negatif.

Pada penelitian sebelumnya bakteri *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Staphylococcus* sp. dapat meremediasi logam berat (Kumar et al., 2010). Bakteri ini memiliki dinding sel yang terdiri dari asam *teichoic* atau *lipoteichioc* yang menunjukkan kapasitas pengikatan logam yang sangat baik pada permukaan selnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kouadjo dan Zeze (2010) bakteri *Staphylococcus arlettae* juga dapat mereduksi logam berat Cr dari 250 ug/ml menjadi 30 ug/ml. Sehingga bakteri *Staphylococcus* sp. memiliki potensi sebagai

agen bioremediasi logam berat Zn. Selain itu, isolat *Staphylococcus arlettae* juga menunjukkan halotoleransi (NaCl 10%) dan silang toleransi terhadap logam berat beracun lainnya (Sadhana et al., 2012). Toleransi ini memungkinkan bakteri untuk bertahan dan berkembang biak di lingkungan yang tercemar, sambil melakukan perannya dalam bioremediasi.

1. Klasifikasi Bakteri *Staphylococcus*

Menurut Rosenbach (1884) , klasifikasi bakteri *Staphylococcus* sp. adalah sebagai berikut :

Kingdom : Eubacteria
Divisio : Firmicutes
Classis : Cocci
Ordo : Bacillales
Familia : Staphylococcaceae
Genus : Staphylococcus

2. Morfologi dan Sifat

Staphylococcus merupakan bakteri berbentuk bulat yang memiliki diameter sekitar 0,5-1,5 µm. Bakteri dengan genus *Staphylococcus* bersifat gram positif dan biasanya pada mikroskop akan terlihat bulat-bulat bergerombol seperti anggur yang muncul secara berpasangan atau tunggal (Soedarto, 2015). Bakteri ini termasuk kedalam jenis bakteri yang tidak bergerak (nonmotil), karena tidak memiliki flagela sehingga tidak dapat bergerak (Gupte, 1990).

2.5 Mekanisme Pengolahan Logam Oleh Bakteri

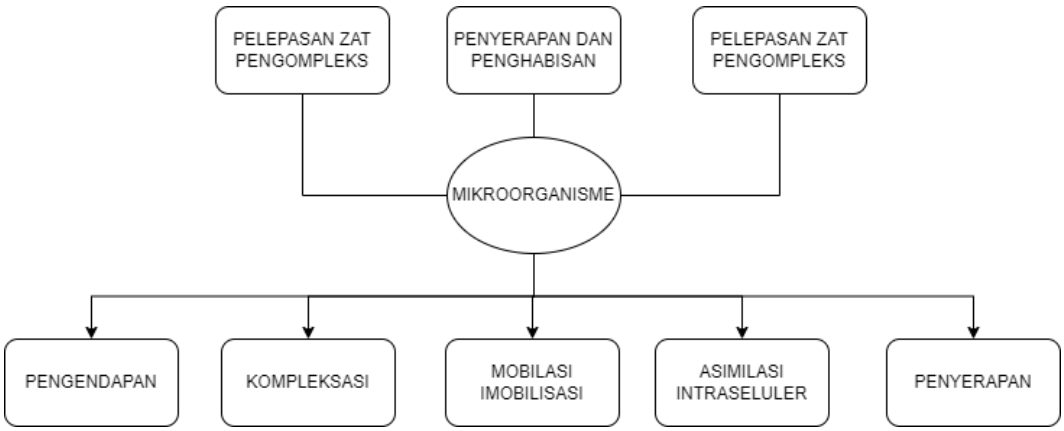
Secara umum ada beberapa cara mikroba dalam mengurangi tingkat pencemaran logam berat diantaranya, detoksifikasi (biopresipitasi), biohidrometalurgi, bioleaching, dan bioakumulasi. Menurut El-Barbary dan El-Badry (2018), bakteri mampu mengurangi konsentrasi logam berat yang tinggi dengan mengakumulasi atau menghilangkannya dari lingkungan tercemar. Mekanisme pengolahan logam oleh bakteri melibatkan beberapa langkah, yaitu:

1. Bakteri mengeluarkan cairan ekstra yang bereaksi dengan logam berat, menyebabkan logam diendapkan di sekitar sel dalam bentuk selongsong,

lalu terlibat dalam metabolisme bakteri melalui proses biotransformasi, seperti reaksi reduksi yang menghasilkan molekul organik.

2. Proses biotransformasi didukung oleh kemampuan bakteri dalam mensintesis enzim adaptif yang mengkatalis reaksi tersebut.
3. Ada dua jenis penyerapan logam: penyerapan yang tidak mempengaruhi metabolisme (metabolism-independent), yang menyebabkan akumulasi logam di dalam sel. Proses ini terdiri dari adsorpsi dan transport aktif. Adsorpsi terjadi ketika atom atau molekul logam terikat pada permukaan luar sel karena gaya tarik.
4. Biosorpsi, yang terjadi baik pada sel hidup maupun mati, adalah proses adsorpsi logam pada dinding sel bakteri yang memiliki muatan negatif, meningkatkan permeabilitas membran sel, terutama saat terjadi toksisitas. Dinding sel bakteri, baik gram negatif maupun gram positif, menyediakan area permukaan besar untuk interaksi dengan ion logam berat.

Dengan mekanisme-mekanisme ini, bakteri dapat membantu mengurangi tingkat pencemaran logam berat di lingkungan.



Gambar 2. 2 Mekanisme Pengolahan Logam Oleh Bakteri

Menurut Wang dkk. (2020), mekanisme pengikatan logam berat oleh bakteri gram positif dan gram negatif berbeda. Pada bakteri gram positif, pengikatan logam terjadi melalui sifat anionik peptidoglikan dan polimer lain yang menyusun permukaan sel. Peptidoglikan, yang terdiri dari komponen seperti N-asetilglukosamin dan asam muramik, mengandung grup karboksil yang dapat

mengikat logam. Selain itu, asam teichoic, yang bermuatan negatif, juga berperan penting dalam penyerapan logam.

Pada bakteri gram negatif, pengikatan logam melibatkan lapisan peptidoglikan dan membran luar yang terdiri dari bilayer fosfolipid dan lipopolisakarida. Membran luar ini berfungsi sebagai lapisan pertama yang berinteraksi dengan lingkungan luar, dengan gugus fosfat pada lipopolisakarida berperan dalam pengikatan logam.

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah daftar penelitian terdahulu yang digunakan sebagai salah satu acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Penulis	**Jenis Bakteri**	**Limbah**	**Hasil Penelitian**
(Perdana, 2012)	Isolat Bakteri Lumpur Pantai Kenjeran	Larutan logam	Persentase penurunan konsentrasi tiap logam oleh isolat bakteri terpilih dalam mendegradasi logam Zn mengalami penurunan sebesar 58,17 % oleh isolat MB1C.
(Sadhana et al., 2012)	*Staphylococcus arlettae Strain Cr11*	Air limbah penyamakan kulit	Penelitian ini menjelaskan bahwa bakteri *Staphylococcus arlettae* strain Cr11 dalam kondisi aerobik. Isolat tersebut mampu mentoleransi Cr(VI) . Isolat tersebut juga positif terhadap siderofor, asam indol asetat, produksi amonia dan katalase, pelarutan fosfat dan pembentukan biofilm

			dengan ada dan tidak adanya Cr(VI). Isolat tersebut menunjukkan halotoleransi (NaCl 10%) dan toleransi silang terhadap logam berat toksik lainnya .
(Maulana alfian., 2017)	*Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*	Air Sungai Setu	Penelitian ini meneliti mengenai presentase penurunan kadar logam Pb terbaik adalah pada penambahan Staphylococcus aureus 20%. Selain itu, penelitian ini menjelaskan mengenai metode yang digunakan dengan Total Plate Count (TPC) untuk menghitung jumlah sel mikroba, dan metode destruksi untuk kadar logam dan di uji dengan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom)

2.7 *Research Gap*

Pada penelitian bioremediasi logam barat Zn pada air lindi TPA Piyungan Yogyakarta menggunakan bakteri *Staphylococcus* sp. yang terdiri dari isolat 1 dan 2 akan dipelajari efektivitas bioremediasi logam berat Zn pada sampel lindi di TPA Piyungan yang dilakukan oleh bakteri tersebut. Penelitian ini dilakukan sebagai

upaya untuk menangani pencemaran logam berat di lingkungan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi baru yang inovatif untuk lingkungan dari dampak logam berat dengan investasi rendah dan tidak membahayakan lingkungan. Selain itu , diharapkan dari penelitian ini dapat membantu memberi informasi dalam proses penanganan logam berat dengan memanfaatkan mikroorganisme di TPA Piyungan.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Pelaksanaan perancangan Tugas Akhir (TA) akan berlangsung selama satu semester dan lokasi pelaksanaan direncanakan di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan Program Studi Teknik Lingkungan S1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 22 April 2024 di TPA Piyungan, Desa Ngablak, Kecamatan Piyungan, Daerah Istimewa Yogyakarta. Waktu penelitian dimulai sejak Mei 2024 hingga Juni 2024 di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sample diambil pada inlet di TPA Piyungan.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia

Sumber: https://earth.google.com

Pengambilan sampel dilakukan pada IPL TPA Piyungan bagian inlet dengan titik koordinat titik sampling untuk pengambilan sampel adalah 7° 52' 5.619" LS

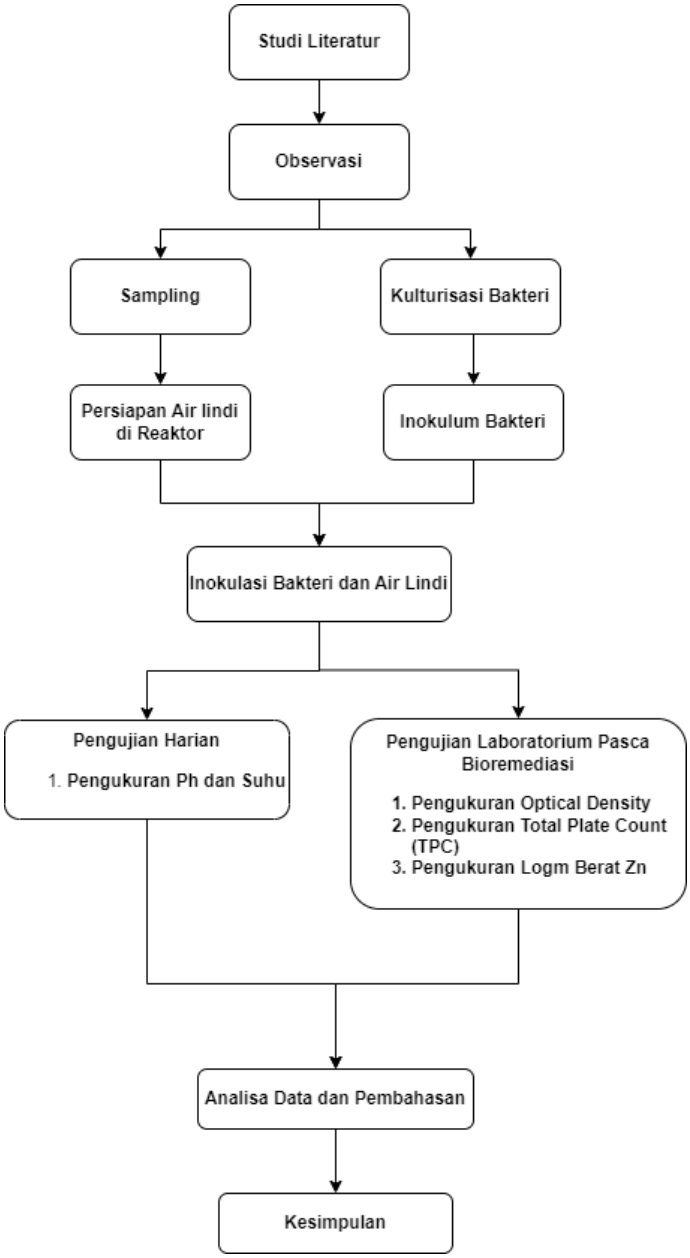
dan 110°25'48.932” BT. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil sampel air lindi pada bak penampungan air lindi yang ada di TPA piyungan yang sudah ditentukan pada titik koordinat.

3.2 Alat dan Bahan

Pada pelaksanaan penelitian ini alat yang dibutuhkan untuk berjalannya proses penelitian adalah sebagai berikut botol sampel 300 ml, reaktor kaca, jarum ose, bunsen, cawan petri, erlemenyer, pipet ukur, timbangan analisis digital, gelas beaker, labu ukur 50 mL, erlenmeyer 250 mL, botol vial, *colony counter*, inkubator, kompor, *hotplate stirrer*, *magnetic stirrer*, gelas ukur dan *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS). Sedangkan bahan pada pelaksanaan penelitian ini yang dibutuhkan adalah HNO3 pekat, kertas saring, air lindi, aquades, media NA, Media NaCl, isolat 1 dan 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp.

3.3 Prosedur Analisis Data

Prosedur analisis data yang dilakukan pada penelitian ini akan dilakukan secara kuantitatif, dimana analisis data yang akan dilaksanakan menjelaskan adanya pengaruh isolat 1 dan 2 dari bakteri *Staphyllococcus* sp terhadap biodegradasi logam berat Zn di lindi TPA Piyungan. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis data sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan dengan mencari sumber atau referensi dari berbagai literatur yang terkait dengan penelitian. Studi literatur ini digunakan sebagai sumber dan pembanding dalam penelitian yang dilakukan.

3.3.2 Metode Sampling

1. Penentuan Titik Sampling

Penelitian ini akan dilaksanakan di TPA Piyungan dengan titik pengambilan sampel berada di inlet tempat pengolahan lindi TPA Piyungan.

2. Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel air lindi akan dilakukan dengan metode pengambilan sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Tahapan pengambilan contoh ini dilakukan untuk pengujian logam, berikut ini tahapannya:

1. Bilas botol contoh dan tutupnya dengan contoh sampel yang akan dianalisa.
2. Buang air pembilas dan isi botol dengan sampel hingga beberapa cm di bawah puncak botol agar masih tersedia ruang untuk menambahkan pengawet dan melakukan pengocokan.
3. Kemudian tutup botol contoh yang sudah terisi sampel dan simpan ditempat yang aman.

3.3.3 Pembuatan Media

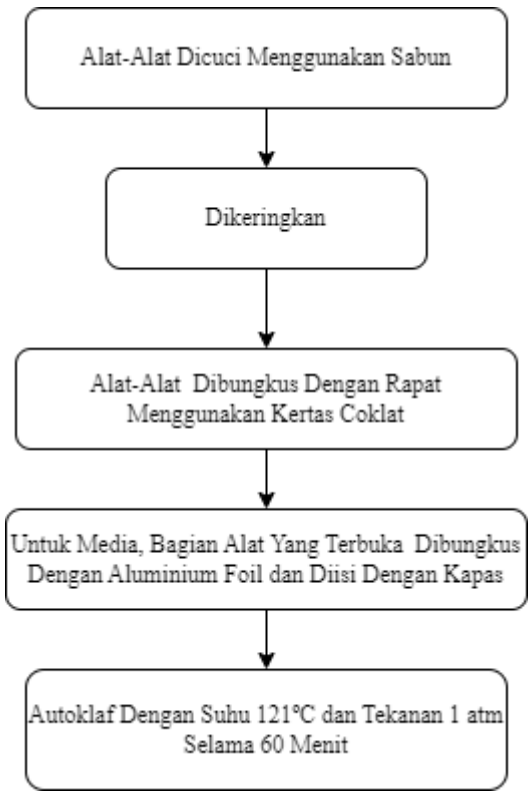
1. Media NA

Pembuatan media NA dilakukan dengan cara menimbang media NA dengan timbangan analitik hingga beratnya mencapai 6 gr. Setelah itu, media NA dimasukkan kedalam erlenmeyer lalu dilarutkan dengan aquades sebanyak 300 mL (Wati, 2022). Selanjutnya, media dipanaskan dan dihomogenkan menggunakan *hot plate magnetic stirer* hingga mendidih. Selanjutnya, media didiamkan beberapa saat dan erlemenyer yang berisi media tersebut dibungkus dengan aluminium foil yang telah ditutup kapas. Setelah itu , media NA disterilisasi menggunakan autoklaf dengan suhu 121ºC selama 60 menit.

3.3.4 Sterilisasi Alat dan Media

Sterilisasi alat dan media pada penelitian ini bertujuan untuk membunuh dan membersihkan semua bentuk mikrobia hidup di peralatan dan media yang digunakan (Misra dan Misra, 2012). Metode sterilisasi yang digunakan adalah

metode sterilisasi basah menggunakan autoklaf yang dioperasikan dengan uap air di bawah tekanan. Suhu dan tekanan yang digunakan untuk sterilisasi pada umumnya adalah 121°C/ 15 psi (Vishal Gupta & Shukshith, 2016). Proses sterilisasi dilakukan dengan cara alat-alat yang akan disterilisasikan dicuci menggunakan sabun, kemudian dikeringkan. Selanjutnya, alat-alat tersebut dibungkus dengan rapat menggunakan kertas coklat. Untuk sterilisasi media, bagian alat yang terbuka juga dibungkus dengan aluminium foil dan diisi dengan kapas untuk mencegah kontaminasi uap air pada media. Sterilisasi tersebut dilakukan menggunakan autoklaf dengan suhu 121ºC dengan tekanan 1 atm selama 60 menit.



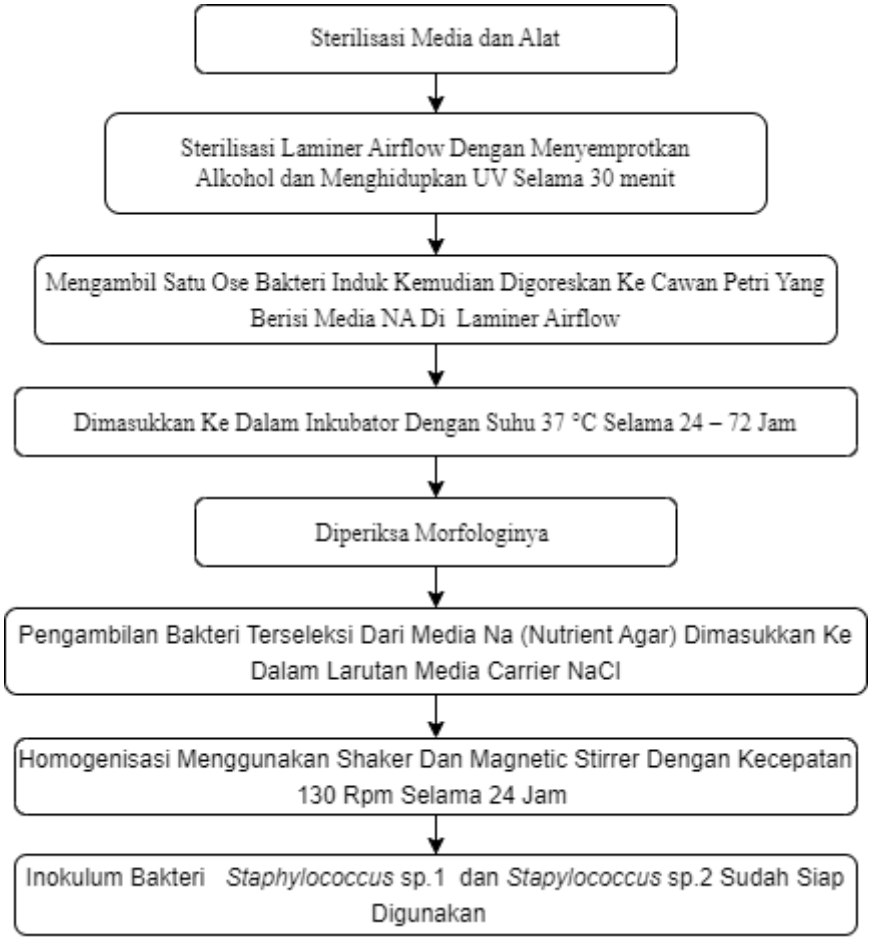
Gambar 3. 3 Diagram Alir Sterilisasi Alat dan media

3.3.5 Pembuatan Inokulum Bakteri

Persiapan inokulum bakteri *Staphylococcus* sp. dilakukan dengan proses reculture bakteri dari bakteri induk ke media yang baru. Pada saat reculture bakteri media dan alat harus dipastikan steril kontaminasi dengan tujuan agar yang

berkembangbiak bakteri yang diinginkan. Reculture bakteri ini dilakukan pada laminer airflow dan menggunakan media NA (Nutrient Agar). Kulturisasi bakteri ini menggunakan teknik gores menggunakan jarum ose dengan cara mengambil satu ose bakeri induk kemudian digoreskan ke cawan petri yang berisi media NA. Setelah itu, cawan petri yang sudah berisikan bakteri dimasukkan ke dalam inkubator dengan suhu 37 °C selama 24 – 72 jam. Bakteri yang telah diinkubasi kemudian diperiksa morfologinya, untuk memastikan bakteri yang tumbuh adalah bakteri diinginkan dan tidak terkontaminasi dengan bakteri lain. Isolat single koloni bakteri diamati dan dibedakan dengan cara melihat perbedaan ukuran, warna, bentuk tepi, pertumbuhan koloni, dan bentuk koloni (Napitupulu et al., 2019).

Selanjutnya dilakukan pengambilan bakteri terseleksi dari media NA (Nutrient Agar) dimasukkan ke dalam larutan media carrier NaCl. Selanjutnya, dihomogenisasi menggunakan shaker dan magnetic stirrer dengan kecepatan 130 rpm selama 24 jam. Kemudian Inokulum isolat 1 dan 2 dari bakteri *Staphylococcus* sp sudah siap digunakan dengan presentase 5% (v/v) dari volume total yaitu 1000 ml. Inokulum tersebut akan digunakan untuk bioremediasi logam dengan kode R15 untuk isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp dan R16 untuk isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp sebanyak 50 ml per reaktor.

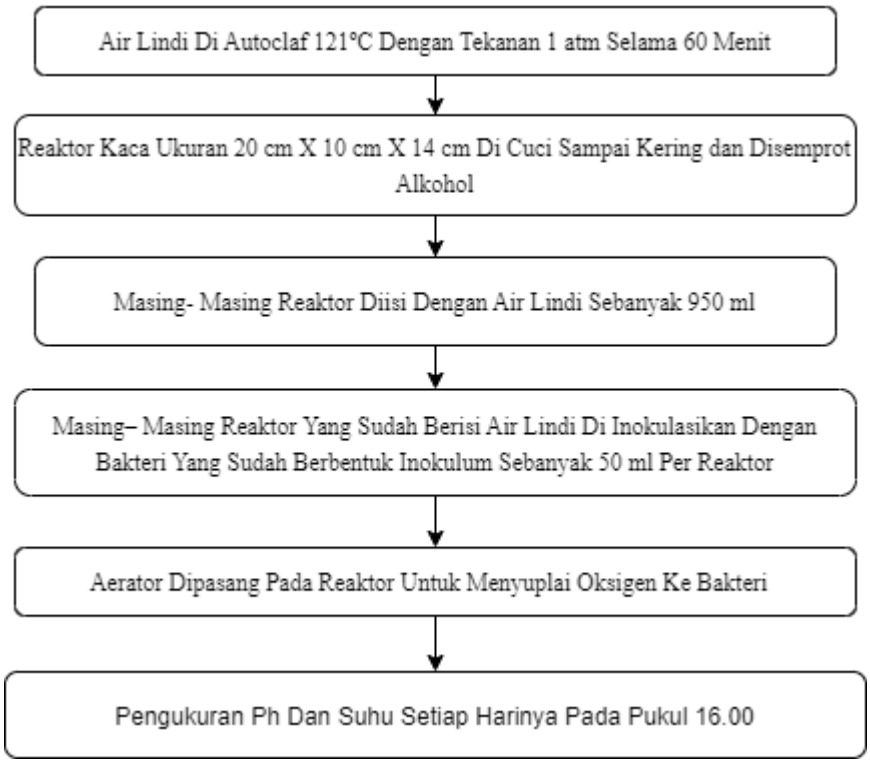


Gambar 3. 4 Diagram Alir Pembuatan Inokulum Bakteri

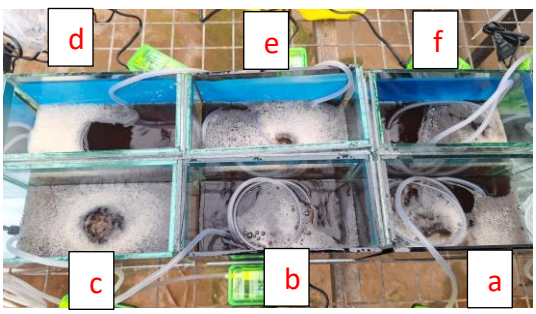
3.3.6 Pengolahan Bakteri dan Lindi

Inokulasi bakteri dan lindi dilakukan dengan cara menyiapkan 2 reaktor kaca ukuran 20 cm x 10 cm x 14 cm. Selanjutnya, menyiapkan air lindi sebanyak 1900 ml untuk 2 reaktor. Sebelum inokulasi, air lindi di autoclaf 121ºC dengan tekanan 1 atm selama 60 menit dan reaktor kaca dicuci bersih lalu dikeringkan. Sebelum reaktor diisi dengan air lindi , reaktor di semprot desinfekan untuk menghilangkan bakteri yang menempel di reaktor. Setelah itu, masing- masing reaktor diisi dengan air lindi sebanyak 950 ml. Selanjutnya, masing – masing reaktor yang sudah berisi air lindi di inokulasikan dengan bakteri isolat 1 (R15) dan isolat 2 (R16) yang sudah berbentuk inokulum sebanyak 50 ml per reaktor. Penambahan 50 ml dalam 950 ml air lindi didasarkan pada perhitungan dengan total bakteri dan air lindi adalah 1000

ml . Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penggunaan bakteri sebanyak 5% (v/v). Selanjutnya, aerator dipasang pada reaktor sebagai alat untuk menyuplai oksigen ke bakteri yang ada di dalam reaktor tersebut. Setelah reaktor terpasang dilakukan pengukuran pH dan suhu setiap harinya pada pukul 16.00 wib. suhu green house yang mencapai rata -rata 30.69 ℃. Selanjutnya, setelah setiap minggunya dilakukan sampling air lindi 200 ml perminggunya. Dilakukan sampling air selama 2 minggu sebanyak 2 kali sampling dengan minggu ke 2 sebanyak 200 ml air lindi.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Inokulasi Air Lindi dan Bakteri



Gambar 3. 6 Inokulasi Air Lindi dan Bakteri *Staphylococcus* sp.

a. Control b. R15 c. R16 d. R31 d. R Total e. Jamur

Berikut ini tabel perlakuan pada penelituan ini menggunakan isolat 1 dan 2 bakteri *Staphylococcus* sp.:

Tabel 3. 1 Tabel Perlakuan Penelitian

Varian	Kode
Isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp	R15
Isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp	R16

3.3.7 Parameter Pengujian

Berikut ini merupakan beberapa parameter pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini :

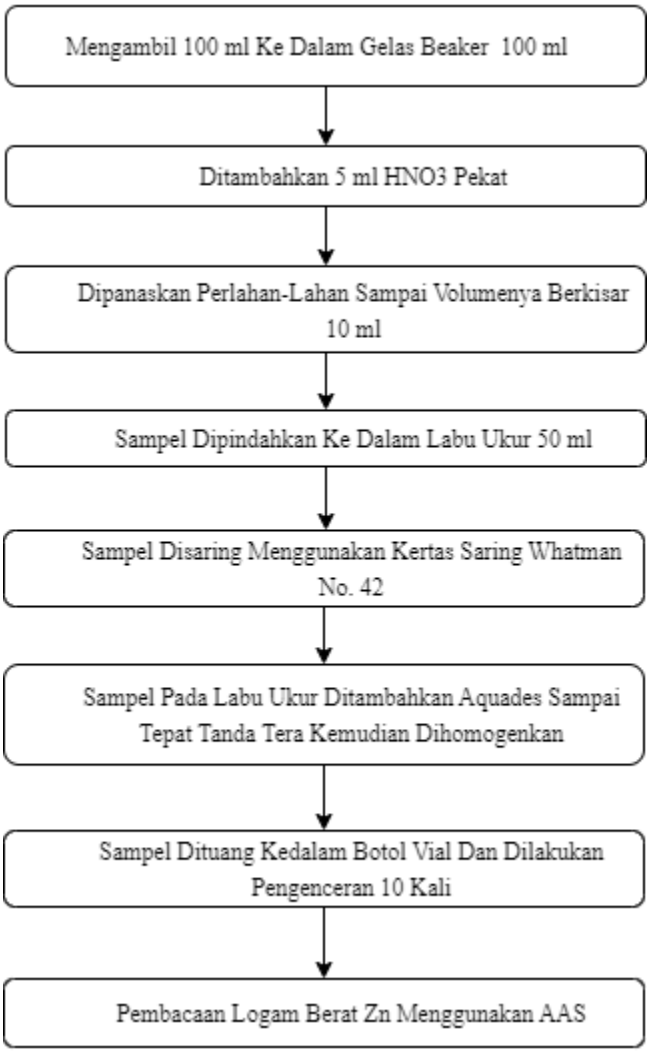
Tabel 3. 2 Uji Parameter Penelitian

Parameter	Unit	Metode	Standar dan Sumber
Ph dan Suhu	pH dan °C	Potensiometri	SNI 06-6989.1-2004
Uji TPC	CFU/ml	Pour Plate	SNI 2897:2008 (Syafrizal, 2010)
Logam Berat Zn	mg/L	Spektrometri Serapan Atom (SSA)	SNI 6989-84-2019

3.3.8 Uji Logam Berat Zn

Pengujian logam dilakukan berdasarkan SNI 6989-84-2019: Air dan air limbah - Bagian 84: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA). Pengujian ini dilakukan dengan cara menghomogenkan contoh uji dengan mengambil 100 mL ke dalam gelas beaker 100 mL. Selanjutnya ditambahkan 5 mL HNO3 pekat. Setelah itu, dipanaskan perlahan-lahan sampai volumenya berkisar 10 mL. Setelah sampel dingin, sampel dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan sampel disaring menggunakan kertas saring. Selanjutnya,

sampel pada labu ukur ditambahkan aquades sampai tepat tanda tera kemudian dihomogenkan. Selanjutnya sambel dituang kedalam botol vial dan dilakukan pengenceran 10 kali. Selanjutnya, dilakukan pembacaan logam berat Zn menggunakan AAS.



Gambar 3. 7 Diagram Alir Uji Logam Zn

3.3.9 Analisis Data

Analsisi data untuk bioremediasi logam berat Zn pada penelitian ini dianalisis secara kuantitatif deskriptif dan inferensial. Analisis kuantitatif deskriptif dilakukan untuk membandingkan hasil konsentrasi logam berat Zn sebelum ditambahkan

bakteri dan sesudah ditambahkan. Berikut ini analisis data yang digunakan pada penelitian ini:

a. Analisis Removal Logam Berat Zn

Hasil pengujian logam berat Zn pada sampel air lindi di TPA Piyungan yang sudah didapatkan kemudian dianalisis untuk mengetahui pengurangan kandungan logam oleh bakteri. Analisis data dilakukan untuk menganalisis tren dalam grafik agar memudahkan untuk analisis removal kandungan logam berat Zn oleh bakteri. Rumus yang digunakan untuk menganalisis removal kandungan logam berat Zn adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Konsentrasi Logam Berat Zn

   Perhitungan konsentrasi logam berat Zn dilakukan berdasarkan SNI 6989-84-2019: Air dan air limbah - Bagian 84: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA). Kadar logam dihitung sebagai berikut:

   Kadar logam (mg/L) = C x Fp

   Keterangan

   C :kadar logam yang di dapat dari hasil pengukuran (mg/L)

   Fp :faktor pengenceran

2. Perhitungan Persen Removal Logam Berat Zn

   Perhitungan persen removal logam berat Zn dilakukan setelah mengetahui konsentrasi logam berat Zn. Menurut Choirunnisa (2022) **u**ji efisiensi removal kadar logam berat Zn adalah sebagai berikut:

   $$\textbf{Efisiensi Removal } (\eta) = \left(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}\right) \times 100\%$$

   Keterangan

   P Awal :Konsentrasi logam berat awal (mg/L)

   P Akhir : Konsentrasi logam berat akhir (mg/L)

b. Uji TPC

Uji TPC (Total Plate Count) yang dilakukan pada penelitian ini digunakan untuk menghitung jumlah total bakteri yang ada dalam suatu sampel lindi. Uji Total Plate Count (TPC) pada penelitian ini akan disajikan dalam bentuk tabel

dan grafik. Menurut penelitian Cappucino dan Sherman (2011) jumlah bakteri yang tumbuh selanjutnya dikalkulasikan dengan menggunakan rumus berikut: **CFU/ml = Koloni Bakteri yang Tumbuh x Jumlah yang Diambil (ml) x Tingkat Pengenceran**.

3.3.10 Kesimpulan

Tahap ini berisi interpretasi dari efektivitas yang dihasilkan bakteri *Staphylococcus* sp terhadap bioremediasi logam berat Zn pada lindi di TPA Piyungan. Hasil analisis dilihat dilihat dari seberapa besar bakteri mampu menurunkan logam berat Zn air lindi di TPA Piyungan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kurva Pertumbuhan Bakteri

4.1.1 Uji TPC

Uji TPC pada penelitian ini digunakan untuk menghitung jumlah sel bakteri yang hidup dalam sampel. Berikut ini hasil dari uji TPC yang dilakukan menggunakan isolat 1 dan 2 bakteri *Staphyllococcus* sp.:

Tabel 4. 1 Hasil Uji TPC Isolat 1 dan 2 Bakteri *Staphyllococcus* sp. Pengenceran 10^2

Minggu	R15		R16	
	Jumlah Koloni Bakteri	CFU /ml	Jumlah Koloni Bakteri	CFU /ml
0	64	64 X 10^2	48	48 X 10^2
1	285	285 X 10^2	125	125 X 10^2
2	260	260 X 10^2	80	80 X 10^2

Berdasarkan tabel 4.1 diatas, isolat 1 bakteri *Staphyllococcus* sp. pada pengenceran 10^2 didapatkan perumbuhan bakteri pada minggu ke 0 adalah 64 X 10^2 CFU/ml, minggu ke 2 sebesar 285 X 10^2 CFU/ml dan minggu ke 3 sebesar 260 X 10^2 CFU/ml. Isolat 2 bakteri *Staphyllococcus* sp pada pengenceran 10^2 didapatkan perumbuhan bakteri pada minggu ke 0 adalah 48 X 10^2 CFU/ml , minggu ke 1 sebesar 125 X 10^2 CFU/ml dan minggu ke 2 sebesar 80 X 10^2 CFU/ml.

Dari data yang dapat disimpulkan bahwa isolat 1 dan 2 bakteri *Staphyllococcus* sp. dapat hidup pada air lindi. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa kedua isolat bakteri mengalami peningkatan di minggu ke 2 dan mengalami penurunan di minggu ke 3. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa bakteri mengalami peningkatan di minggu ke 2 dan mengalami penurunan di minggu ke 3. Pada

minggu ke -2 setelah bakteri mengalami fase adaptasi , bakteri akan berada dalam fase pertumbuhan eksponensial, di mana mereka memanfaatkan nutrisi yang tersedia dan mulai mengakumulasi atau meremediasi logam berat. Sehingga bakteri mengalami fase perbanyakan sel dengan melakukan konsumsi nutrien dan proses fisiologis lainnya (Purwoko, 2007). Pada minggu ke-3 jumlah bakteri mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh pertumbuhan bakteri melambat atau bahkan kematian sel. Beberapa alasan bakteri mengalami penurunan adalahnutrien habis, akumulasi metabolit toksik (misalnya alkohol, asam, dan basa, logam berat), penurunan kadar oksigen, penurunan nilai aw (ketersediaan air) (Maulana, 2017) .

4.2 Data Suhu dan PH

Pengukuran suhu dan pH dilakukan dengan pH meter untuk mendeteksi adanya perubahan ph dan suhu pada reaktor setiap harinya. Berikut ini hasil pengukuran suhu dan pH yang dilakukan pada isolat 1 dan 2 bakteri *Staphyllococcus* sp.:

Tabel 4. 2 Data Suhu dan pH Isolat 1dan 2 Bakteri *Staphyllococcus* sp.

Minggu	**R15**		**R16**	
	PH	**Suhu**	**PH**	**Suhu**
0	8.47	31.50	8.47	31.50
1	9.05 ± 0.116	29.77 ± 0.774	9.00 ± 0.130	30.57 ± 0.925
2	9.19 ± 0.098	28.67 ± 0.929	9.17 ± 0.094	29.94 ± 1.141

Berdasarkan tabel 4.2 diatas, pH pada reaktor isolat 1 bakteri *Staphyllococcus* sp. pada minggu ke 0 yaitu sebesar 8.47 dan suhu awalnya adalah 31.50°C. Pada minggu ke-1, rata- rata pH mengalami peningkatan menjadi 9.05 ± 0.116, sementara suhu menurun menjadi 29.77 ± 0.774°C. Pada minggu ke-2, pH kembali naik menjadi 9.19 ± 0.098, sedangkan suhu terus mengalami penurunan hingga 28.67 ± 0.929°C. Pada reaktor isolat 1 bakteri *Staphyllococcus* sp. pada minggu ke-0, pH awalnya sebesar 8.47 dan suhu pada 31.50°C. Pada minggu ke-1, rata -rata pH naik menjadi 9.00 ± 0.130 dan rata -rata suhu sedikit turun menjadi 30.57

± 0.925°C. Pada minggu ke-2, rata-rata pH meningkat lagi menjadi 9.17 ± 0.094, sedangkan rata-rata suhu turun menjadi 29.94 ± 1.141°C.

Secara umum, dari data tersebut menunjukkan kedua reaktor menunjukkan tren serupa, di mana terjadi peningkatan pH dan penurunan suhu dari minggu ke-0 hingga minggu ke-2. PH mengalami peningkatan dan penurunan selama 14 hari. Namun apabila dilihat secara garis besar rata -rata pH mengalami peningkatan pH yang dapat diartikan adanya peningkatan pada populasi bakteri. Peningkatan pH pada kedua reaktor dari minggu 0 hingga minggu 2 menunjukkan adanya perubahan kimiawi atau biologis yang berlangsung selama proses berlangsung. Penurunan dan peningkatan pH dalam air limbah yang mengandung bakteri mencerminkan dinamika metabolisme bakteri serta reaksi kimia di lingkungan tersebut. Apabila dilihat dari data diatas pH rata-rata bakteri tersebut adalah 9,07. Namun, bakteri *Staphylococcus aureus* dapat tumbuh optimum pada pH 7,4 (Gupte, 1990). Apabila dilihat dari data pada isolat 1 (R15), pH meningkat dari 8.47 menjadi 9.05 pada minggu pertama dan mencapai 9.19 pada minggu kedua sedangkan pada isolat 2 (R16) pH naik dari 8.47 menjadi 9.00 pada minggu pertama dan 9.17 pada minggu kedua. Kenaikan pH yang stabil ini mengindikasikan bahwa sistem mikrobiologis dalam reaktor bekerja secara konsisten. PH yang lebih tinggi dari pH optimum bisa disebabkan aktivitas bakteri yang terus meningkat sehingga menghasilkan atau mengkonsumsi basa. Pada fase awal, pH mungkin menurun karena produksi asam organik oleh bakteri. Kondisi air lindi setelah di inokulasikan selama 2 minggu volume airnya berkurang dari total air lindi menjadi 400 ml. Hal itu disebabkan peningkatan suhu green house yang mencapai rata -rata 30.69 ℃ sehingga mempercepat penguapan air lindi dan aerasi terus-menerus juga dapat menyebabkan beberapa senyawa volatil dalam air lindi terlepas ke udara, sehingga berkontribusi pada pengurangan volume.

Dari data tersebut menunjukkan suhu mengalami penurunan selama 14 hari. Penurunan dan peningkatan suhu dalam air limbah yang menggunakan bakteri selama proses bioremediasi bisa disebabkan oleh beberapa faktor yang terkait dengan aktivitas metabolisme bakteri dan lingkungan sekitarnya. Apabila dilihat dari data diatas rata-rata suhu bakteri tersebut adalah 29,4℃. Bakteri

Staphylococcus aureus dapat tumbuh optimum pada suhu 37℃ (Gupte, 1990). Namun suhu bakteri lebih rendah dari suhu optimum bisa disebabkan oleh aktivitas metabolisme yang lebih rendah yang menghasilkan lebih sedikit panas, yang bisa menyebabkan penurunan suhu air limbah. Sedangkan, aktivitas metabolisme yang tinggi biasanya menghasilkan panas, yang bisa menyebabkan peningkatan suhu air limbah. Selain itu, suhu lingkungan juga mempengaruhi air limbah menurun maupun meningkat (misalnya, karena perubahan cuaca atau suhu ruangan).

4.3 Uji Removal Logam Berat Zn

Berikut ini hasil uji removal logam Zn yang dilakukan pada isolat 1 dan 2 bakteri *Staphyllococcus* sp.:

Tabel 4. 3 Hasil Uji Removal Logam Zn Isolat 1 dan 2 Bakteri *Staphyllococcus* sp.

Minggu	**Control**		**R15**		**R16**	
	Konsentrasi mg/L	**Presentase Removal (%)**	**Konsentrasi mg/L**	**Presentase Removal (%)**	**Konsentrasi mg/L**	**Presentase Removal (%)**
0	2.61	0%	2.61	0%	2.61	0%
1	2.61	0%	1.27	51%	1.16	56%
2	2.61	0%	0.93	64%	0.64	75%
Nilai Akhir Removal		**0%**	**Nilai Akhir Removal**	**64%**	**Nilai Akhir Removal**	**75%**

Berdasarkan tabel 4.3 diatas, dihasilkan konsentrasi logam berat Zn pada reaktor isolat 1 dan 2 *Staphyllococcus* sp. dengan pengenceran 10 kali.Pengukuran konsentrasi Zn dilakukan pada beberapa interval waktu selama proses bioremediasi berlangsung, yaitu pada minggu ke-0, ke-1, dan ke-2. Berdasarkan data di atas dapat dilihat bahwa isolat 1 bakteri *Staphyllococcus* sp. logam berat Zn mengalami penurunan dari minggu ke- 0 2,61 mg/L lalu setelah 1 minggu kandungan logam berat Zn menjadi 1,27 mg/L dengan presentase logam berat Zn 51% dan

mengalami penurunan lagi di minggu ke 2 menjadi 0,93 mg/L dengan presentase logam berat 64 %. Nilai akhir removal pada logam berat zn menggunakan isolat 1 bakteri *Staphyllococcus* sp. adalah 64%. Pada isolat 2 dapat dilihat bahwa logam berat Zn mengalami penurunan dari minggu ke- 0 2,61 mg/L lalu setelah 1 minggu kandungan logam berat Zn menjadi 1,16 mg/L dengan presentase logam berat Zn 45% dan mengalami penurunan lagi di minggu ke 2 menjadi 0,64 mg/L dengan presentase logam berat 75 %. Nilai akhir removal pada logam berat zn menggunakan isolat 2 *Staphyllococcus* sp. adalah 75%.

Penurunan konsentrasi Zn pada air lindi menunjukkan efektivitas isolat 1 dan 2 bakteri *Staphyllococcus* sp. dalam proses bioremediasi logam berat Zn. Penurunan Zn ini merupakan proses di mana ion Zn teradsorpsi pada permukaan sel bakteri. Dinding sel bakteri mengandung gugus fungsional seperti karboksil, hidroksil, dan amina yang dapat berikatan dengan ion logam (Irawati, 2020). Sehingga dapat mengurangi konsentrasi Zn terlarut pada air lindi. Bakteri Staphylococcus dapat menggunakan protein transporter spesifik untuk mengurangi akumulasi Zn di dalam sel. Salah satu sistem transporter yang penting adalah sistem Czc (Cobalt-zinc-cadmium resistance), yang memompa ion Zn^{2+} keluar dari sel menggunakan energi yang dihasilkan dari gradien proton melintasi membran. Selain itu, Staphylococcus juga dapat menghasilkan metalotionein, yaitu protein pengikat logam, yang berperan dalam menetralkan efek toksik ion Zn dengan cara mengikatnya sehingga ion tersebut tidak aktif secara biokimia. Di sisi lain, beberapa spesies Staphylococcus juga diketahui mampu memanfaatkan Zn sebagai kofaktor untuk enzim tertentu, seperti dalam metalloenzim, yang bergantung pada Zn untuk aktivitas katalitik. Dengan demikian, ion Zn yang berlebihan dapat digunakan sebagai bagian dari struktur enzim tersebut dalam konsentrasi yang terkontrol.Reaksi umum yang terlibat dalam pengolahan Zn oleh bakteri dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Zn^{2+}+\text{Protein}\rightarrow[\text{Zn-protein}]$$

Dalam reaksi ini, ion seng berikatan dengan protein tertentu (seperti metalotionein atau enzim metallo), membentuk kompleks protein-seng yang lebih stabil dan aman bagi bakteri. Dengan mekanisme seperti itu, *Staphylococcus* dapat

bertahan hidup di lingkungan yang mengandung konsentrasi seng yang tinggi, baik dengan mengeluarkan ion seng dari sel maupun menetralkannya melalui pengikatan protein. Pada akhir proses, penurunan konsentrasi Zn yang semakin lambat bisa diakibatkan oleh menurunnya aktivitas metabolisme bakteri karena penurunan ketersediaan nutrien atau perubahan kondisi lingkungan yang tidak lagi optimal untuk pertumbuhan bakteri (Maulana, 2017). Meskipun demikian, isolat 1 dan 2 bakteri *Staphyllococcus* sp. tetap efektif dalam mengurangi konsentrasi Zn hingga 64% dari nilai awal untuk isolat 1 dan isolat 2 hingga 75 % dari nilai awal. Proses bioremediasi juga dipengaruhi oleh pH dan suhu air limbah. Kondisi pH yang optimal mendukung aktivitas enzim yang terlibat dalam biosorpsi dan bioakumulasi Zn. Sementara itu, suhu yang optimal memastikan bakteri berada dalam kondisi yang paling aktif secara metabolik, sehingga mampu memaksimalkan penyerapan Zn.

4.4 Perbandingan Efektivitas Removal Logam Berat Zn

4.4.1 Perbandingan Jumlah Pertumbuhan Bakteri

1. Uji TPC

Berikut ini hasil perbandingan jumlah pertumbuhan bakteri berdasarkan uji TPC yang dilakukan pada isolat 1 dan 2 bakteri *Staphylococcus* sp. :

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Uji TPC Isolat 1 dan 2 Bakteri *Staphylococcus* sp.

Minggu	**CONTROL**	**R15**	**R16**
	CFU /ml	**CFU /ml**	**CFU /ml**
0	30 X 10^2	64 X 10^2	48 X 10^2
1	30 X 10^2	285 X 10^2	125 X 10^2
2	30 X 10^2	260 X 10^2	80 X 10^2

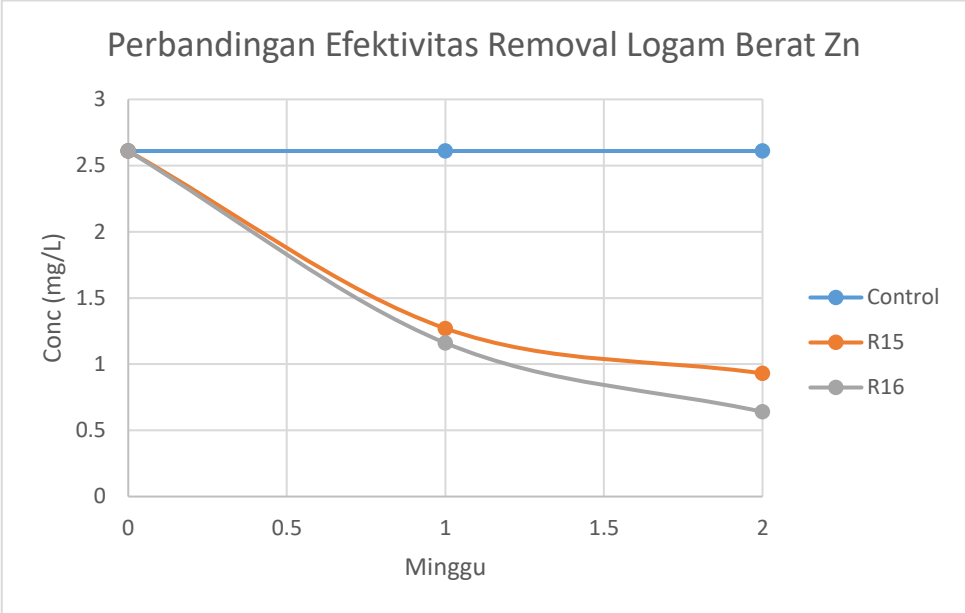
Berdasarkan data, pada minggu ke-0, nilai TPC control yaitu 30 x 10^2 CFU/ml lebih rendah dibandingkan isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp.

yaitu 64 x 10^2 CFU/ml, dan isolat 2 berada di tengah dengan nilai 48 x 10^2 CFU/ml. Pada minggu pertama, terlihat bahwa semua kondisi mengalami peningkatan signifikan dalam jumlah TPC. Isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. meningkat lebih drastis menjadi 285 x 10^2 CFU/ml, sementara isolat 2 meningkat tetapi dengan laju yang lebih rendah menjadi 125 x 10^2 CFU/ml. Pada minggu kedua, nilai TPC untuk isolat 1 mengalami penurunan TPC menjadi 260 x 10^2 CFU/ml, sementara itu isolat 2 juga mengalami penurunan TPC menjadi 80 x 10^2 CFU/ml.

Dari kedua bakteri dapat dilihat bahwa isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. lebih mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan bakteri isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. Pertumbuhan bakteri yang lebih tinggi pada isolat 1 bakteri *Staphylococcu*s sp. memungkinkan kemampuan bakteri ini baik untuk mereduksi logam berat Zn (Perdana, 2012). Meningkatnya jumlah sel bakteri mengakibatkan konsentrasi logam menurun. Hal ini terjadi karena banyaknya sel membuat proses degradasi semakin cepat, karena bakteri melakukan bioakumulasi dan biosorpsi logam (Nithya, 2011). Meskipun pada hasil akhir, isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dalam meremediasi Zn. Hal ini dapat menunjukkan bahwa laju pertumbuhan sel bakteri tidak selalu berkorelasi langsung dengan efektivitas bioremediasi, melainkan ada faktor lain yang juga berperan, seperti kemampuan bakteri dalam mendegradasi logam berat (Perdana, 2012).

4.4.2 Perbandingan Removal Logam Berat Zn

Berikut ini grafik hasil perbandingan removal logam berat Zn pada isolat 1 dan 2 bakteri *Staphylococcus* sp.:



Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Hasil Uji Removal Logam Berat Zn

Berdasarkan data dari tabel 4.3 diatas , pada minggu ke-0 konsentrasi awal logam berat Zn untuk semua kondisi kontrol atau R15 dan R16 adalah sama, yaitu 2.61 mg/L. Pada tahap ini, persentase penghilangan adalah 0% karena belum dapat dihitung. Pada minggu pertama, apabila dibandingkan kontrol konsentrasi Zn dengan perlakuan isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. turun signifikan menjadi 1.27 mg/L, menunjukkan persentase removal sebesar 51%. Ini menunjukkan bahwa isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. cukup efektif dalam menghilangkan Zn pada minggu pertama. Kondisi bakteri isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. menunjukkan penghilangan Zn yang paling signifikan dengan konsentrasi Zn turun menjadi 1.16 mg/L, yang memberikan persentase removal sebesar 56%. Isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. terbukti lebih efektif dibandingkan isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. dalam meremoval Zn pada minggu pertama. Pada minggu kedua, isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. menunjukkan sedikit penurunan dalam efektivitas, dengan konsentrasi Zn menjadi 0.93 mg/L dan persentase removal sebesar 64 %. Hal ini menunjukkan bahwa isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. tidak seefektif minggu pertama dalam menghilangkan Zn. Sedangkan, isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. terus menunjukkan performa terbaik, dengan konsentrasi Zn menurun menjadi 0.64 mg/L dan persentase removal sebesar 75 %. Meskipun

persentase removal lebih rendah dibandingkan minggu pertama, nilai akhirnya tetap paling tinggi dibandingkan dengan isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp.

Berdasarkan nilai akhir removal dari kedua isolat bakteri, isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. menunjukkan penghilangan Zn paling tinggi secara keseluruhan, dengan nilai akhir removal sebesar 75%. Lalu diikuti oleh isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. dengan nilai akhir removal 64% . Data ini menunjukkan bahwa bakteri isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. paling efektif dalam meremoval Zn di antara ketiga kondisi tersebut. Meskipun berdasarkan hasil uji TPC dan OD sebelumnya, bakteri isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. memiliki nilai OD dan TPC yang lebih rendah dibandingkan bakteri isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. tetapi menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dalam penghilangan Zn. Hal ini menunjukkan bahwa laju pertumbuhan sel bakteri tidak selalu berkorelasi langsung dengan efektivitas bioremediasi, melainkan ada faktor lain yang juga berperan, seperti kemampuan bakteri dalam mendegradasi logam berat (Perdana, 2012).

Pada penelitian sebelumnya penggunaan bakteri eksogen (*S. aureus* dan *B. subtilis*) untuk bioremediasi logam Pb di sedimen sungai setu mampu menurunkan kandungan logam tersebut, dengan persentase penurunan kadar logam tertinggi pada penambahan *S. aureus* 20% dari air sungai dengan persentase penurunan hingga 95,85%. Menurut penelitian Perdana (2012) persentase penurunan konsentrasi tiap logam oleh isolat bakteri terpilih dalam mendegradasi logam Zn mengalami penurunan sebesar 58,17 % oleh isolat bakteri MB1C. Meskipun pada penelitian ini menggunakan jenis logam yang berbeda, hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas bioremediasi dapat bervariasi tergantung pada jenis bakteri dan logam yang dihadapi. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. memiliki potensi yang signifikan dalam upaya bioremediasi logam berat Zn, dan ini dapat memberikan dasar yang kuat untuk penelitian lebih lanjut serta aplikasi praktis di bidang lingkungan.

Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 baku mutu konsentrasi logam Zn untuk klasifikasi kelas IV adalah 2 mg/l. Berdasarkan kedua perlakuan, baik isolat 1 dan 2 bakteri *Staphylococcus* sp. dengan konsentrasi 5% (v/v) mampu menurunkan

kadar Zn di bawah baku mutu PP No. 82 Tahun 2001 pada minggu pertama dan kedua. Sehingga kedua bakteri ini berpotensi digunakan dalam bioremediasi Zn, karena dapat menurunkan kadar Zn hingga di bawah batas yang diizinkan dalam baku mutu lingkungan.

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1) Isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. dapat digunakan untuk bioremediasi logam berat Zn pada air lindi di TPA Piyungan Zn dengan logam berat Zn pada minggu ke- 0 2.61 mg/L lalu setelah 1 minggu kandungan logam berat Zn menjadi 1.27 mg/L dengan presentase logam berat Zn 51% dan mengalami penurunan lagi di minggu ke 2 menjadi 0.93 mg/L dengan presentase logam berat 64 %. Sehingga, nilai akhir removal pada logam berat zn menggunakan isolat 1 bakteri *Staphylococcus* sp. adalah 64%.
2) Isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. untuk bioremediasi logam berat Zn pada air lindi di TPA Piyungan dengan logam berat Zn pada minggu ke- 0 2,61 mg/L lalu setelah 1 minggu kandungan logam berat Zn menjadi 1,16 mg/L dengan presentase logam berat Zn 56% dan mengalami penurunan lagi di minggu ke 2 menjadi 0,64 mg/L dengan presentase logam berat 75%. Sehingga diperoleh nilai akhir removal pada logam berat zn menggunakan isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. adalah 75%.
3) Berdasarkan penelitian kemampuan yang lebih efektif dari isolat 1 dan isolat 2 bakteri *Staphylococcus* sp. dalam mengurangi kandungan logam berat Zn pada air lindi di TPA Piyungan adalah is
4) olat 2 dengan presentase nilai removal 75%.

5.2 Saran

Berikut ini saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Pada saat inokulasi bakteri dengan air lindi harus lebih diperhitungkan untuk konsentrasi bakterinya .
2) Pada saat inokulasi bakteri dengan air lindi untuk penggunaan aerator dapat dilakukan dengan tidak continue atau setiap hari karena dapat menyebabkan airnya habis sebelum waktunya

3) Pada Uji TPC untuk bakteri *Staphylococcus* sp. isolat 1 dan isolat 2 dapat dilakukan minimal 2x 24 jam agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Adhiyasa, G.R., 2024. *Pengujian kadar logam berat (Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, dan Fe) dan radionuklida alam (Ra-226, Th-232, U-238, dan K-40) pada bahan pangan dari Bogor* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).

Arianti, R., Febriani, H. and Syukriah, S., 2024. Analisis Kandungan Logam Seng (Zn) pada Air dan Daging Ikan Tilan (Mastacembelus armatus) di Sungai Asahan Kota Tanjungbalai. *Jurnal Lemuru*, *6*(1), pp.76-92.

Asria, M dan F. Alhamid. 2021. Analisis Logam Berat Cu dan Zn dalam air Limbah Industri. Journal of Research on Chemistry and Engineering. Volume 2. Nomor 1. Halaman 29 – 31.

Astuti, F. A., Syafrudin, S., & Susilowati, I. 2023. *Kajian Status Mutu Air Sungai Akibat Buangan Air Lindi TPA Piyungan di Kabupaten Bantul*. Jurnal Ilmu Lingkungan, *21*(4), 881-887.

Choirunnisa, A.T., 2022. Fitoremediasi Logam Berat Besi (Fe) Menggunakan Tanaman.

Cappucino JG dan Sherman N. 2011. Microbiology a Laboratory Manual Ed.9. San Francisco: Benjamin Cummings

Gupta, N.V. and Shukshith K.S. (2016). Qualiication of autoclave. International Journal of PharmTech Research 9(4), 220-226

Hafeez, R., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., Rengel, Z. (2012). Zinc Nutrition in Rice Production Systems: A Review. J. Plant Soil. 361: 203-226.

Herbila, S., Syam, N. and Batara, A.S., 2022. Analisis Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) Pada Air, Sedimen, Dan Ikan Nila (Oreochromis Niloticus) Di Kanal Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, *3*(6), pp.1044-1053.

Irawati, W.A.H.Y.U., Hasthosaputro, A. and Kusumawati, L.U.C.I.A., 2020. Multiresistensi dan akumulasi Acinetobacter sp. IrC2 terhadap logam berat. *J. Biol. Papua*, *12*(2), pp.114-122.

Kartikasari, I., Widyastuti, M., dan Hadisusanto, W. 2020. *Pengujian Toksisitas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada Daphnia sp. dengan Whole Effluent Toxicity*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 18 (2), 297- 304.

Lizayana, L., Mudatsir, M. and Iswadi, I., *Densitas bakteri pada limbah cair pasar tradisional* (Doctoral dissertation, Syiah Kuala University).

Maulana, Alfian. 2017. Studi Kemampuan Mikroba Eksogen Staphylococcus aureus DAN Bacillus subtilis Sebagai Agen Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Di Sungai Setu Pekalongan. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Stahl, D. A., & Clark, D. P. (2012). A brief journey to the microbial world. Brock biology of microorganisms, 13th edition. Benjamin Cumings, New York, 25-30.

Michelle, W. H. Y. 2019. *Pengelolaan Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPAS) Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Air di Kota Balikpapan*. Fakultas Hukum Atma Jaya Yogyakarta,(November), 1-14.

Misra, A.N. and M. Misra. (2012). Sterilization Techniques in Plant Tissue Culture. Fakir Mohan University, Balasore.

Mulasari, A., Husodo, A. H., Muhadjir, N. 2016. *Analisis Situasi Permasalahan Sampah Kota Yogyakarta dan Kebijakan Penanggulangannya.* Jurnal Kesehatan Masyarakat, 11 (2), 97-105.

Patty, J.O., Siahaan, R. and Maabuat, P.V., 2018. Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara-Sulawesi Utara (The Occurrence of Heavy Metals (Pb, Cd, Cu, Zn) on Water and Sediment in the River Lowatag, Southeast Minahasa-North Sulawesi). *Jurnal Bios Logos*, *8*(1).

Perdana, J., 2012. *Uji Resistensi Dan Uji Biodegradasi Logam Berat (Pb, Zn, Dan Hg) Oleh Isolat Bakteri Lumpur Pantai Kenjeran* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS AIRLANGGA).

Purwoko, T., 2007. Fisiologi mikroba. Jakarta: PT Bumu Aksara

PutriN, B., 2017. *Pengaruh Konsentrasi Logam Seng (Zn) Dalam Tanah Tercemar Terhadap Penyerapan Oleh Bunga Matahari (Helianthus Annuus L.) Pada Fase Vegetatif* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).

Popuri, S.R., Vijaya, Y., Boddu, V.M., Abburi, K., 2009. Adsorptive removal of copper and nickel ions from water using PVC coated chitosan beads. Bioresour. Technol. 100, 194–1

Sadhana Sagar, S.S., Abhishek Dwivedi, A.D., Suneel Yadav, S.Y., Manishi Tripathi, M.T. and Kaistha, S.D., 2012. Hexavalent chromium reduction and plant growth promotion by Staphylococcusarlettae Strain Cr11.

Said, N. I., & Hartaja, D. R. K. 2015. *Pengolahan air lindi dengan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi*. Jurnal Air Indonesia, *8*(1).

SNI 6989-84-2019: Air dan air limbah - Bagian 84: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA).

Suci, A., 2021. Penentuan Kandungan Logam Berat Cu Dan Zn Pada Sampel Air Limbah Kelapa Sawit Dengan Metode Aas (Atomic Absorption Spectrophotometry). *Penentuan Kandungan Logam Berat Cu Dan Zn Pada Sampel Air Limbah Kelapa Sawit Dengan Metode Aas (Atomic Absorption Spectrophotometry)*.

Syaifullah, M., Candra, Y.A., Soegianto, A. and Irawan, B., 2018. Kandungan logam non esensial (Pb, Cd dan Hg) dan logam esensial (Cu, Cr dan Zn) pada sedimen di perairan Tuban Gresik dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, *11*(1), pp.69-74.

Rahmawati, Ramadania and Sri Gunawan. 2018. *Do brand credibility and altruistic attribution affect corporate philanthropy performance? – the moderating effect of geny's hedonic behaviour*. International Journal of Business and SocietyVol. 19 No.1, 27-40.

Tchobanoglous, George dan F.L Burton. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Ed. McGraw-Hill.Inc. New York.

Wati, E.F.M., 2022. *Potensi bakteri Indigen dalam mengakumulasi Timbal (pb) dari sungai Wonokromo, Kota Surabaya* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim)

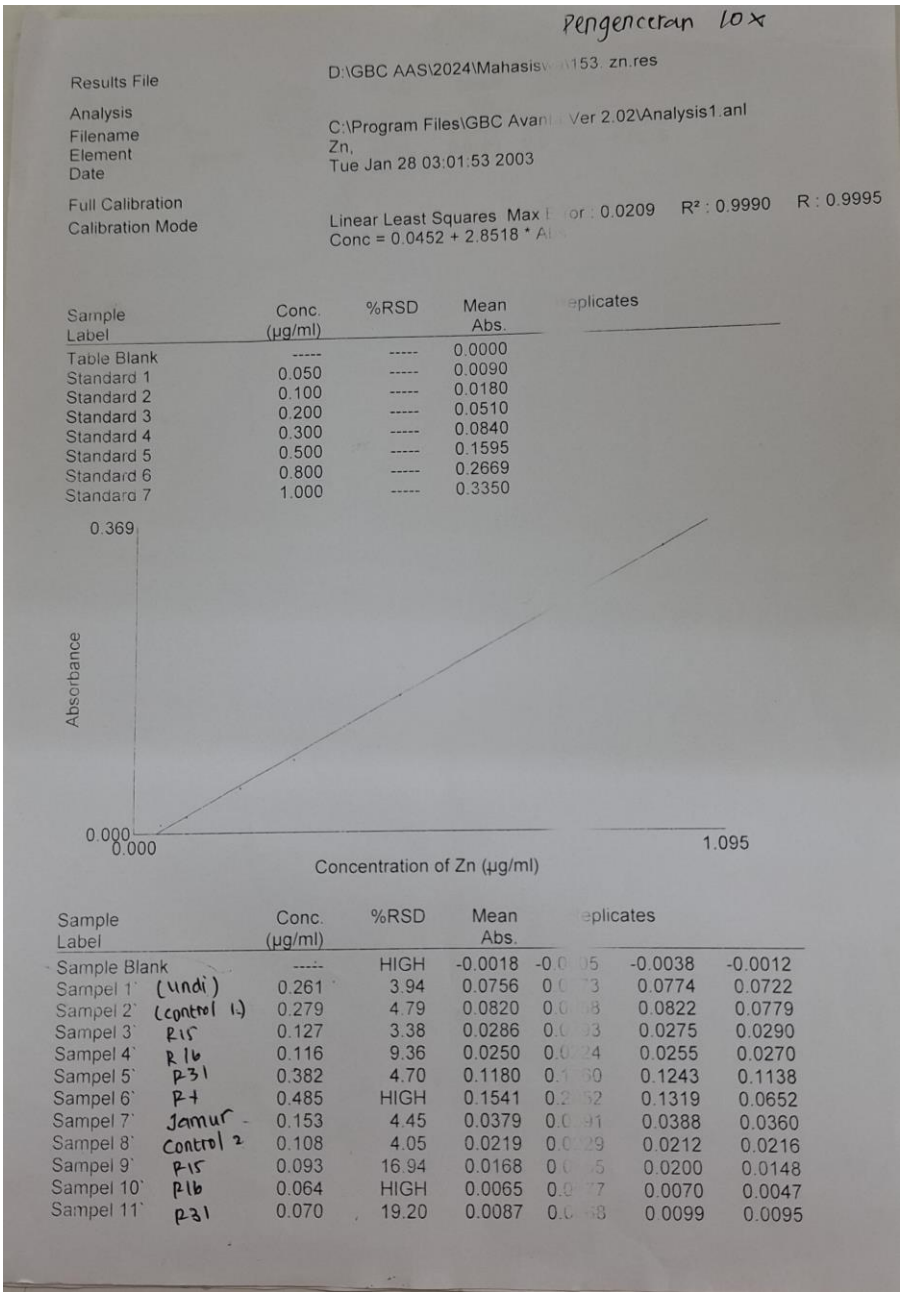
Widiatmono, B.R., Susanawati, L.D. and Agustianingrum, R., 2020. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bakteri Indigenous Pada Tanah Tercemar Air Lindi (Leachate). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, *6*(3), pp.11-18.

Wardhani, A.K., Uktolseja, J.L. and Djohan, D., 2020. Identifikasi Morfologi dan Pertumbuhan Bakteri pada Cairan Terfermentasi Silase Pakan Ikan. Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek) Ke-5.

Zamil, S.S., Ahmad, S., Choi, M.H., Park, J.Y. and Yoon, S.C., 2009. Correlating metal ionic characteristics with biosorption capacity of Staphylococcus saprophyticus BMSZ711 using QICAR model. *Bioresource Technology*, *100*(6), pp.1895-1902.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pembacaan AAS Logam Berat Zn



Pengenceran 10x

Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasis...153. zn.res

Analysis Filename C:\Program Files\GBC Avan... Ver 2.02\Analysis1.anl

Element Zn,

Date Tue Jan 28 03:01:53 2003

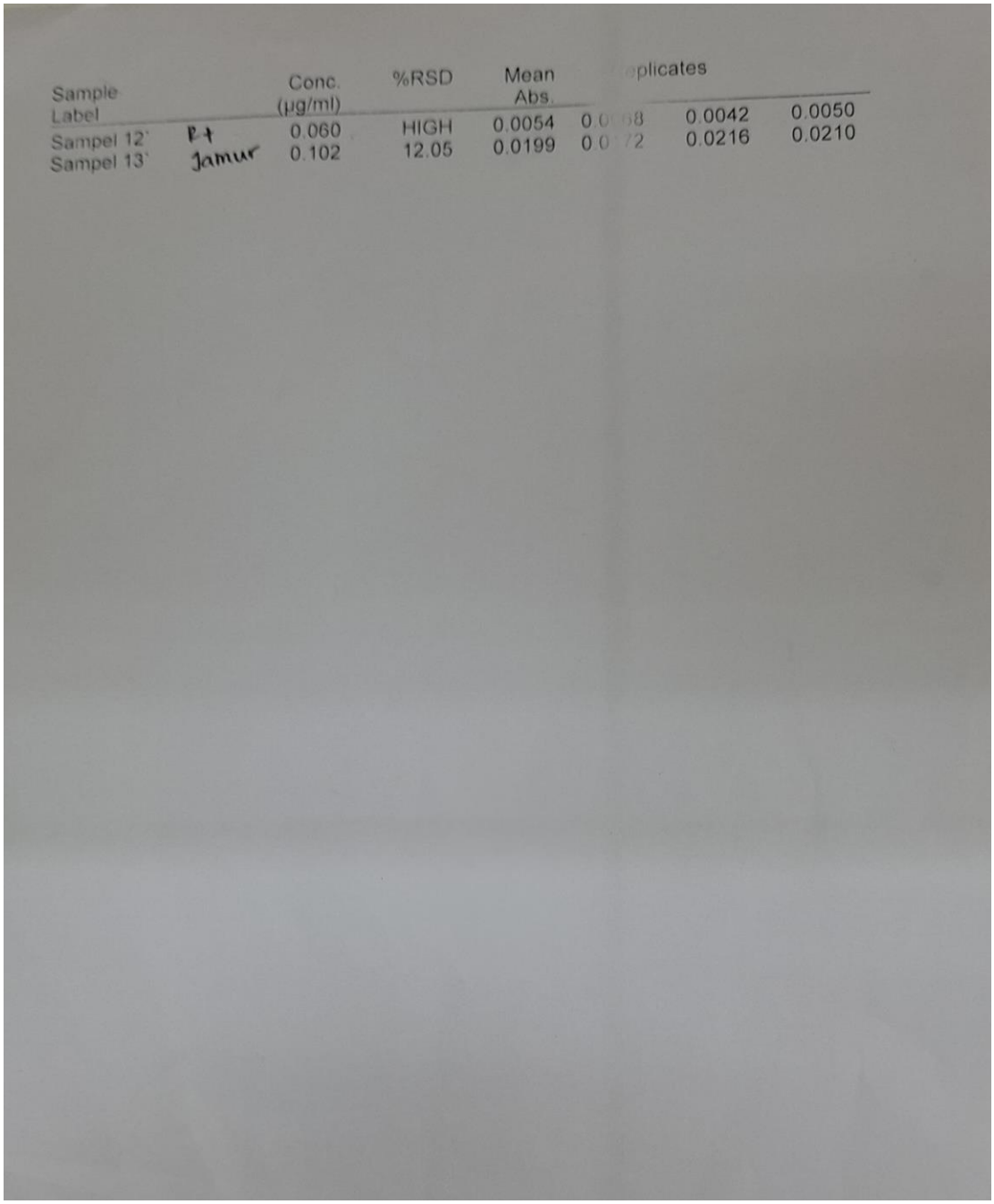
Full Calibration

Calibration Mode Linear Least Squares Max E...or : 0.0209 R^2 : 0.9990 R : 0.9995

Conc = 0.0452 + 2.8518 * A...

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0090	
Standard 2	0.100	-----	0.0180	
Standard 3	0.200	-----	0.0510	
Standard 4	0.300	-----	0.0840	
Standard 5	0.500	-----	0.1595	
Standard 6	0.800	-----	0.2669	
Standard 7	1.000	-----	0.3350	

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	...eplicates		
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0018	-0.0005	-0.0038	-0.0012
Sampel 1` (Undi)	0.261	3.94	0.0756	0.0773	0.0774	0.0722
Sampel 2` (control 1)	0.279	4.79	0.0820	0.0838	0.0822	0.0779
Sampel 3` R15	0.127	3.38	0.0286	0.0293	0.0275	0.0290
Sampel 4` R16	0.116	9.36	0.0250	0.0224	0.0255	0.0270
Sampel 5` R31	0.382	4.70	0.1180	0.1150	0.1243	0.1138
Sampel 6` R4	0.485	HIGH	0.1541	0.2252	0.1319	0.0652
Sampel 7` Jamur	0.153	4.45	0.0379	0.0391	0.0388	0.0360
Sampel 8` Control 2	0.108	4.05	0.0219	0.0229	0.0212	0.0216
Sampel 9` R15	0.093	16.94	0.0168	0.0165	0.0200	0.0148
Sampel 10` R16	0.064	HIGH	0.0065	0.0077	0.0070	0.0047
Sampel 11` R31	0.070	19.20	0.0087	0.0068	0.0099	0.0095



Sample Label		Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sampel 12`	P4	0.060	HIGH	0.0054	0.0068	0.0042	0.0050
Sampel 13`	Jamur	0.102	12.05	0.0199	0.0172	0.0216	0.0210

Lampiran 2 Perhitungan Konsentrasi Bakteri *Staphylococcus* sp

Berdasarkan penelitian yang dilakukan konsentrasi bakteri bakteri *Staphylococcus* sebesar 5% dalam 1000 ml air limbah, kamu dapat menggunakan rumus perhitungan persentase sebagai berikut:

Volume Bakteri = $\frac{5}{100} \times 1000\ ml$

Volume Bakteri = 50 ml

Jadi, untuk mendapatkan konsentrasi 5% bakteri dalam 1000 ml air limbah, kamu perlu menambahkan 50 ml larutan bakteri ke dalam 950 ml air limbah.

Lampiran 3 Perhitungan Konsentrasi dan Removal Logam Berat Oleh Isolat 1 Bakteri *Staphylococcus* sp

Berdasarkan tabel 4.4 diatas, dihasilkan konsentrasi logam berat Zn pada reaktor isolat 1 bakteri *Staphyllococcus* sp dengan pengenceran 10 kali. Hasil konsentrasi logam data diatas dihasilkan dari perhitungan :

- Minggu ke 0

Kadar logam (mg/L) = C x Fp
= 0,261 mg/L x 10
= 2,61 mg/L

- Minggu ke 1

Kadar logam (mg/L) = C x Fp
= 0,16 mg/L x 10
= 1,16 mg/L

- Minggu ke 2

Kadar logam (mg/L) = C x Fp
= 0,064 mg/L x 10
= 0,64 mg/L

Hasil presentase removal isolat 1 bakteri *Staphyllococcu*s sp pada tabel diatas didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

- Minggu ke 0

Efisiensi Removal (η)= 0

- Minggu ke 1

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{2,61-1,16}{2,61}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= 56 %

- Minggu ke 2

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{1,16-0,64}{2,61}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= 45 %

- Nilai akhir Removal

  Efisiensi Removal (η)= $(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}) \times 100\%$

  Efisiensi Removal (η)= $(\frac{2,61-0,64}{2,61}) \times 100\%$

  Efisiensi Removal (η)= 75 %

Lampiran 4 Perhitungan Konsentrasi dan Removal Logam Berat Oleh Isolat 2 Bakteri Staphylococcus

Berdasarkan tabel 4.4 diatas, dihasilkan konsentrasi logam berat Zn pada reaktor isolat 2 bakteri *Staphyllococcus* sp dengan pengenceran 10 kali. Hasil konsentrasi logam data diatas dihasilkan dari perhitungan :

- Minggu ke 0

Kadar logam (mg/L) = C x Fp
= 0,261 mg/L x 10
= 2,61 mg/L

- Minggu ke 1

Kadar logam (mg/L) = C x Fp
= 0,16 mg/L x 10
= 1,16 mg/L

- Minggu ke 2

Kadar logam (mg/L) = C x Fp
= 0,064 mg/L x 10
= 0,64 mg/L

Hasil presentase removal isolat 2 bakteri *Staphyllococcus* sp pada tabel diatas didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

- Minggu ke 0

Efisiensi Removal (η)= 0

- Minggu ke 1

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{2,61-1,16}{2,61}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= 56 %

- Minggu ke 2

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= $(\frac{1,16-0,64}{2,61}) \times 100\%$

Efisiensi Removal (η)= 45 %

- Nilai akhir Removal

  Efisiensi Removal (η)= $(\frac{P\ Awal - P\ Akhir}{P\ Awal}) \times 100\%$

  Efisiensi Removal (η)= $(\frac{2,61-0,64}{2,61}) \times 100\%$

  Efisiensi Removal (η)= 75 %

Lampiran 5 Isolat 1 dan 2 Bakteri *Staphylococcus* sp



Lampiran 6 Penuangan Air Lindi Untuk Inokulasi Bakteri dan Air Lindi



Lampiran 7 Penuangan Bakteri Untuk Inokulasi Bakteri dan Air Lindi



Lampiran 8 Pengukuran PH dan Suhu Menggunakan PH Meter



Lampiran 9 Pengukuran PH dan Suhu Menggunakan PH Meter



Lampiran 10 Inokulasi Bakteri dan Air Lindi Minggu Ke-0



Lampiran 11 Inokulasi Bakteri dan Air Lindi Minggu Ke-1



Lampiran 12 Inokulasi Bakteri dan Air Lindi Minggu Ke-2



Lampiran 13 Hasil Panen Air Lindi Minggu Ke-1



Lampiran 14 Hasil Panen Air Lindi Minggu Ke-2



Lampiran 15 Sterilisasi Alat dan Media



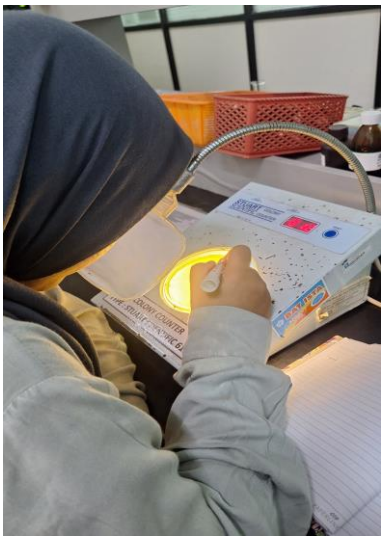
Lampiran 16 Pengenceran Untuk Uji TPC



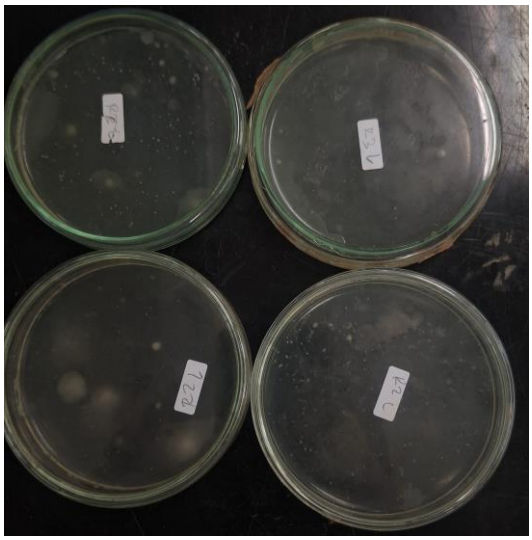
Lampiran 17 Penuangan Media Untuk Uji TPC



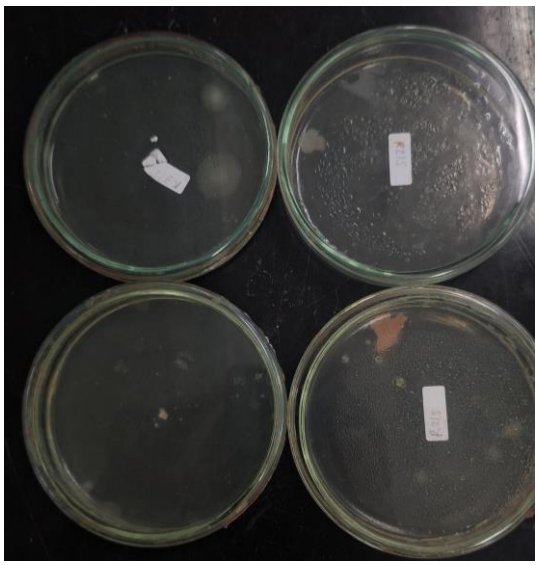
Lampiran 18 Perhitungan Bakteri Menggunakan Colony Counter



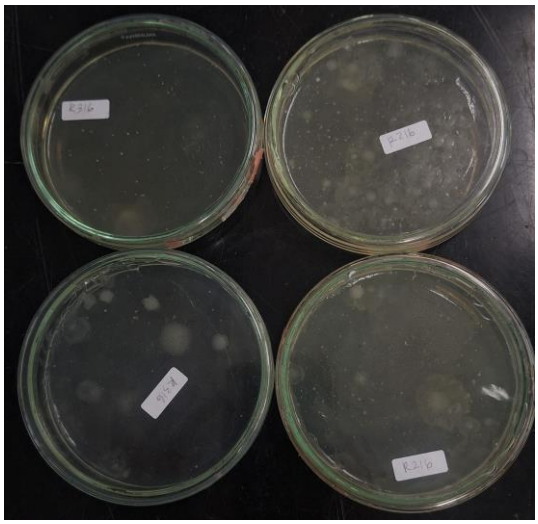
Lampiran 19 Uji TPC Lindi Minggu Ke-0



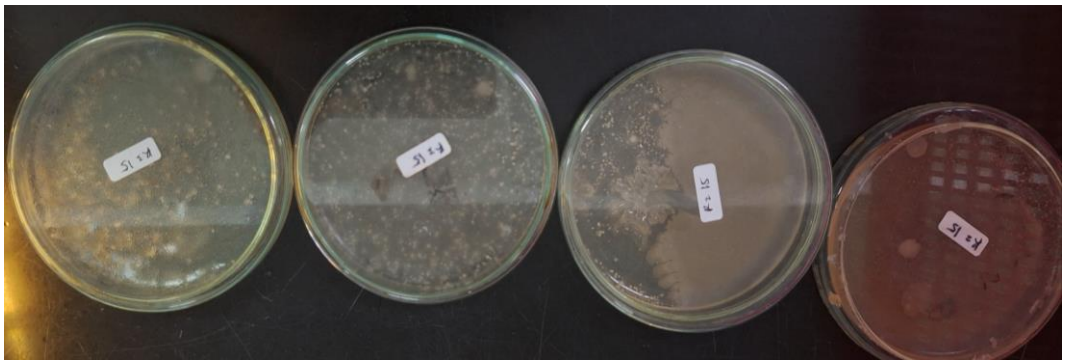
Lampiran 20 Uji TPC R15 Minggu Ke-0



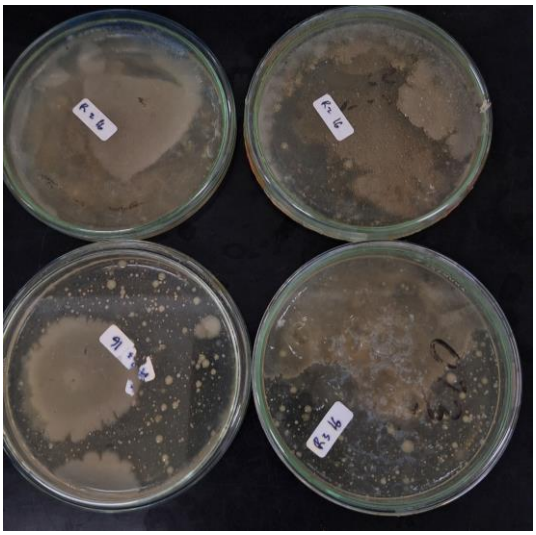
Lampiran 21 Uji TPC R16 Minggu Ke-0



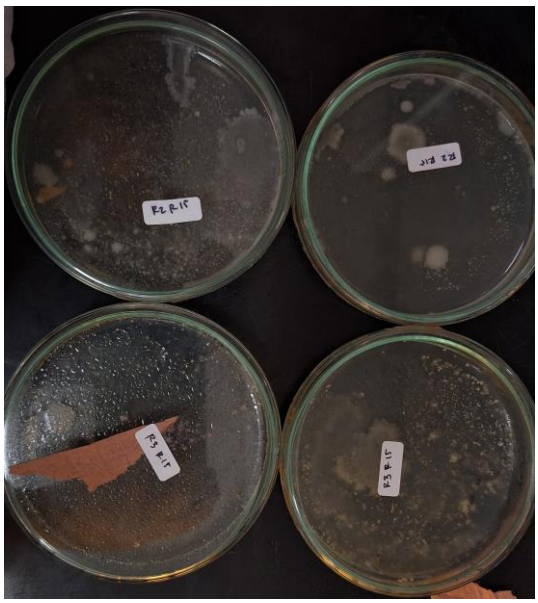
Lampiran 22 Uji TPC R15 Minggu Ke-1



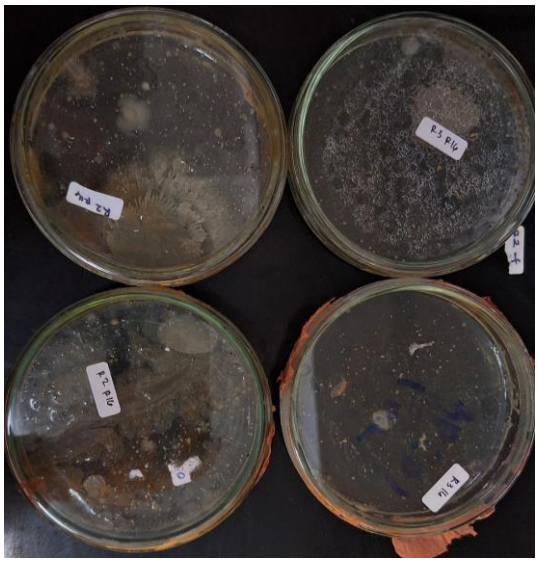
Lampiran 23 Uji TPC R16 Minggu Ke-1



Lampiran 24 Uji TPC R15 Minggu Ke-2



Lampiran 25 Uji TPC R16 Minggu Ke-2



Lampiran 26 Sampel Uji Logam Zn Yang Sudah Di Ukur



Lampiran 27 Larutan HNO3



Lampiran 28 Penambahan HNO3 Pada Saat Destruksi Logam Di Lemari Asam



Lampiran 29 Sampel Destruksi Logam Yang Sudah Bisa Disaring



Lampiran 30 Penyaringan Sampel Yang Sudah Didestruksi Logam



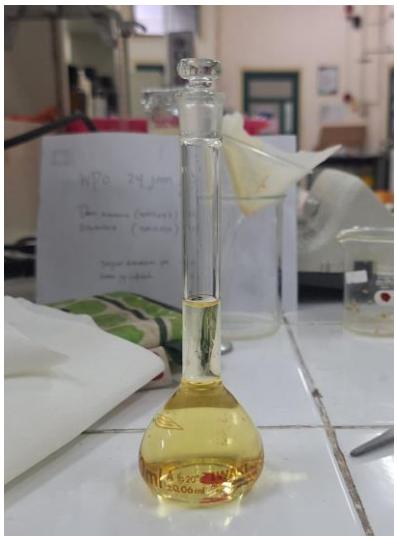
Lampiran 31 Penambahan Aquades Sampai Batas Tera Di Labu Ukur 50 ml



Lampiran 32 Penghomogenan Sampel Yang Sudah Didestruksi dan Ditambah Aquades



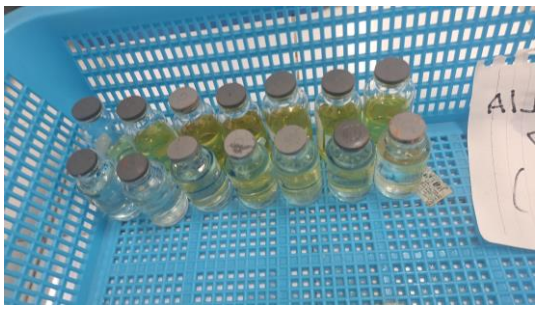
Lampiran 33 Sampel Yang Sudah Didestruksi



Lampiran 34 Sampel Yang Sudah Diencerkan dan Siap Pembacaan AAS



Lampiran 35 Sampel Yang sudah Siap Pembacaan AAS



Lampiran 36 Pembacaan AAS Logam Berat Zn

