



**EFEKTIVITAS BAKTERI *Pseudomonas aeruginosa* SEBAGAI AGEN
BIOREMEDIASI PADA LIMBAH MASKER MEDIS**

**EFFECTIVENESS OF *Pseudomonas aeruginosa* BACTERIA AS
A BIOREMEDIATION AGENT IN MEDICAL MASK WASTE**

Nurlayla Zaini^{*}), Ulfayani Mayasari, Rizki Amelia Nasution

^{*}Corresponding Author

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

^{*}Email:nurlaylazaini338@gmail.com

ABSTRAK

Masker bekas termasuk dalam kategori sampah yang tidak dapat didaur ulang, karena terbuat dari Polypropylene dan polietilen dengan densitas tinggi. Menyikapi permasalahan tersebut, maka dapat dilakukan melalui proses bioremediasi menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dalam mendegradasi limbah masker medis. Penelitian ini menggunakan metode analisis data secara deskriptif, kualitatif, dan kuantitatif. Kemudian uji kemampuan bioremediasi meliputi persentase kehilangan berat limbah masker medis dan besar regangan limbah masker medis, dengan pengamatan 10, 20, 30, dan 40 hari. Hasil penelitian menunjukkan limbah masker medis mengalami penurunan kehilangan berat masker dengan kehilangan berat masker pada waktu inkubasi hari ke-10 sebesar 18%, pada waktu inkubasi hari ke-20 limbah masker medis terdegradasi sebesar 62%, sedangkan pada waktu inkubasi hari ke-30 limbah masker medis dapat terdegradasi sebesar 66%, dan pada waktu inkubasi hari ke-40 limbah masker medis mengalami degradasi tertinggi yaitu sebesar 74%. Berdasarkan hasil penelitian regangan pada limbah masker tidak terjadi perubahan ukuran. Dengan demikian, bakteri *Pseudomonas aeruginosa* efektif dalam mendegradasi kehilangan berat masker. Namun, pada regangan limbah masker, bakteri *Pseudomonas aeruginosa* tidak efektif dalam mendegradasi regangan pada limbah masker.

Kata Kunci: Bioremediasi, Limbah Masker Medis, *Pseudomonas aeruginosa*

ABSTRACT

Used masks are included in the category of waste that cannot be recycled, because they are made from high density polypropylene and polyethylene. Responding to this problem, it can be done through a bioremediation process using *Pseudomonas aeruginosa* bacteria. This research aims to determine the effectiveness of *Pseudomonas aeruginosa* bacteria in degrading medical mask waste. This research used descriptive, qualitative and quantitative data analysis methods. Then the bioremediation capability test included the percentage of weight loss of medical mask waste and the strain size of medical mask waste, with observations of 10, 20, 30 and 40 days. The results showed that medical mask waste experienced a decrease in mask weight loss with mask weight loss on the 10th day of incubation amounting to 18%, on the 20th day of incubation the medical mask waste was degraded by 62%, while on the 30th day of incubation the waste medical masks can be degraded by 66%, and on the 40th day of incubation, medical mask waste experiences the highest degradation, namely 74%. Based on the results of strain research on mask waste, there was no change in size. Thus, *Pseudomonas aeruginosa* bacteria are effective in degrading mask weight loss. However, in the mask waste strain, *Pseudomonas aeruginosa* bacteria were not effective in degrading the strain in the mask waste.

Keywords: Bioremediation, Medical Mask Waste, *Pseudomonas aeruginosa*

PENDAHULUAN

Kondisi lingkungan dan kesehatan manusia telah mengalami dampak signifikan dari limbah medis. Pada berbagai kota di seluruh dunia, penanganan dan pengelolaan limbah ini merupakan hal yang sangat memprihatinkan. Pengelolaan limbah medis harus dilakukan dengan cara yang tidak merusak lingkungan, kesehatan manusia, tanah, udara atau satwa liar, serta tidak menimbulkan bau yang tidak sedap (Ethica, 2017).

Salah satu jenis limbah medis yang berdampak terhadap lingkungan adalah limbah masker medis. Masker bekas termasuk dalam jenis sampah yang harus dibuang pada tempatnya, seperti tempat pembuangan sampah tradisional, karena tidak dapat didaur ulang. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa masker sekali pakai sebagian besar terdiri dari polietilen dan polipropilena berdensitas tinggi, tetapi juga dapat mengandung bahan polimer lain termasuk poliester, poliuretan, polistirena, dan poliakrilonitril. Campuran monomer propilena digunakan untuk membuat polipropilena termoplastik. Plastik yang dikenal sebagai termoplastik mengeras pada suhu rendah dan meleleh pada suhu tinggi. Oleh karena itu, masker medis dapat berbahaya bagi lingkungan dan sulit terurai (Lidiawati et al., 2022).

Menyikapi permasalahan yang dihadapi tersebut, maka diperlukan adanya inovasi untuk mempercepat penguraian limbah masker medis. Prosedur bioremediasi dapat digunakan untuk melaksanakan penelitian ini. Prosedur ini menggunakan mikroorganisme tertentu untuk tumbuh pada kontaminan tertentu dalam upaya menurunkan kadar bahan pencemar yang dikenal sebagai bioremediasi. Enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme selama proses bioremediasi mengubah struktur polutan beracun menjadi lebih sederhana, menghasilkan metabolit berbahaya, dan tidak

beracun (Wayoi, 2018).

Selain itu, peneliti menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebagai agen bioremediasi, karena bakteri *Pseudomonas aeruginosa* berpotensi dalam mendegradasi plastik. Pernyataan tersebut diperkuat dengan penelitian Wati (2020) yang menguji potensi biodegradasi sampah plastik menggunakan bakteri pengurai plastik yang diisolasi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jabon Sidoarjo. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa isolat P2B2 (Genus *Pseudomonas*) mempunyai kapasitas penguraian plastik paling tinggi, dengan persentase kehilangan berat plastik sebesar 3,87% dan regangan plastik sebesar 0,005%.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, peneliti tertarik untuk meneliti bagaimana efektivitas bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dalam meremidiasi limbah masker sehingga ke depannya dapat diterapkan oleh Masyarakat di lingkungan mereka, serta dapat mengurangi penumpukan limbah masker.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2023 hingga Agustus 2023. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Sumatera Utara (USU), Jalan Bioteknologi No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara.

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sampel limbah masker medis, media NA (Nutrient Agar), medium NB (Nutrient Broth), media MSM (Mineral Salt Medium), MgSO₄, CaCl₂, KH₂PO₄, K₂HPO₄, NH₄NO₂, FeSO₄, NaCl, glukosa, isolate bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, dan alkohol 70% (Sriningsih, 2016). Bahan-bahan yang lain, yaitu; etanol 96%, larutan kristal violet, larutan lugol, pewarna safranin, dan aquades.

Alat-alat yang digunakan selama penelitian, antara lain: LAF (*Laminar Air Flow*), analytical balance, jarum ose, inkubator, tabung reaksi, oven, autoclave, string hot plate, pinset, erlenmeyer, beaker glass, vortex, shaker, gelas ukur, bunsen, cawan petri, spreader, pipet tetes, mikropipet, tip mikropipet, objekglas, cover glass, dan mikroskop binokuler.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode yang bersifat eksperimental di laboratorium secara deskriptif, kualitatif, dan kuantitatif. Beberapa tahap dalam penelitian ini, antara lain: pembuatan media, pengujian persiapan masker, peremajaan bakteri, pewarnaan gram, penilaian kapasitas

bioremediasi limbah masker medis, dan pengujian penurunan berat kering.

Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Media

Pembuatan media terdiri dari media NA (Nutrient Agar), NB (Nutrient Broth), MSM (Mineral Salt Medium), masing-masing media ditimbang sesuai spesifikasi, dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian dipanaskan di atas *String Hot Plate* sambil dihomogenisasi hingga mendidih. Air suling kemudian ditambahkan sesuai kebutuhan. Langkah selanjutnya adalah membungkus aluminium foil di atas mulut erlenmeyer dan menutupinya dengan kapas dan kemudian disterilisasi.

2. Persiapan Masker Uji

Masker uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah masker medis. Masker uji disiapkan dengan memotong masker medis menjadi ukuran 3x3 cm², kemudian ditimbang berat awal masker medis, menggunakan neraca analitik untuk mengetahui berat kering awal masker medis. Kemudian masker medis disterilisasi menggunakan alkohol 70%, dan direndam selama ± 30 menit dan disterilkan dengan sinar UV pada LAF selama 30 menit.

3. Peremajaan Bakteri

Isolat bakteri uji *Pseudomonas aeruginosa* diremajakan dengan beberapa tahap pengkulturan, dimana untuk subkultur ke-1 digunakan 1 ose kultur murni isolate, kemudian diinokulasi ke dalam medium Nutrient Agar (NA), dan selanjutnya diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya pada subkultur ke-2 menggunakan 1 ose dari subkultur ke-1, dan selanjutnya diinokulasi pada 10 ml Nutrient Broth (NB), dan diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya untuk subkultur ke-3 menggunakan 2,5 ml dari subkultur ke-2, kemudian diinokulasi kedalam 25ml medium NB, dan kemudian diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya pada subkultur ke-4 menggunakan 5 ml hasil subkultur ke-3, kemudian diinokulasi kedalam 50 ml medium NB. Pada tahap terakhir subkultur ke-5 adalah 10 ml dari subkultur ke-4, kemudian diinokulasi kedalam 100 ml medium NB.

4. Pewarnaan Gram

Pewarnaan menggunakan jarum lingkaran, isolat bakteri diambil untuk pewarnaan gram. Setelah itu, isolat diletakkan di atas objek kaca yang telah diberi air sulingan. Setelah itu, isolat bakteri difiksasi. Isolat bakteri dikeringkan dengan cara dipanaskan di atas api bunsen untuk tujuan fiksasi. Sediaan isolat bakteri kemudian ditetaskan secara bertahap dengan empat jenis larutan berbeda: safranin, etanol 96%, lugol, dan kristal violet. Preparat ditetaskan menggunakan larutan kristal violet, dan kemudian diamkan hingga satu menit. Kemudian lakukan pencucian pada preparat dengan air mengalir, dan selanjutnya dikeringkan. Langkah selanjutnya, preparat ditetesi

lugol, kemudian dibiarkan hingga satu menit, selanjutnya cuci pada air mengalir, dan dikeringkan. Setelah itu, preparat ditetesi dengan etanol 96%, selanjutnya dibiarkan hingga 30-45 detik, kemudian bilas pada air mengalir, dan selanjutnya tunggu sampai mengering. Langkah selanjutnya adalah safranin dituangkan ke atas sediaan, didiamkan sejenak, lalu dibilas dengan air mengalir. Tunggu sampai piring mengering. Kemudian diperiksa dengan perbesaran 1000x menggunakan mikroskop. Bakteri gram positif ditunjukkan dengan warna ungu pada isolat bakteri. Bakteri gram negatif ditemukan pada isolasi bakteri jika warnanya merah muda. Selain itu, morfologi koloni juga ditentukan dengan melihat dimensi, tinggi dan warna batas sel bakteri, yang dapat dibedakan menjadi bulat (kokus), berbentuk batang (basil), atau membusuk (spiral).

5. Uji Kemampuan Bioremediasi Limbah Masker Medis

a. Bioremediasi Limbah Masker Medis

Uji kemampuan bioremediasi dilakukan dengan memasukan satu buah potong limbah masker medis yang telah disterilkan kedalam erlenmeyer yang berisi media MSM (Mineral Salt Medium) yang mengandung glukosa, selanjutnya 5 ml bakteri uji diinokulasi ke dalam erlenmeyer. Selanjutnya erlenmeyer ditutup menggunakan aluminium foil, kemudian direkatkan menggunakan *plastic wrap*. Selanjutnya inkubasi hingga 40 hari, menggunakan shaker 50 rpm, dengan interval waktu inkubasi 10 hari, 20 hari, 30, hari, dan 40 hari . Sebagai pembanding digunakan masker yang akan didegradasi tanpa penambahan bakteri dengan waktu inkubasi 10 hari, 20 hari, 30, hari, dan 40 hari. Sesudah masa inkubasi, biofilm yang sudah terbentuk dipisahkan dengan memasukan ke dalam tabung reaksi. Potongan limbah masker medis yang berada di dalam erlenmeyer, kemudian diambil secara aseptis, dengan menggunakan pinset steril, kemudian potongan limbah masker medis dimasukan pada tabung reaksi yang berisi 13 ml aquades steril, selanjutnya dihomogenkan dengan vortex selama 1 menit (Wati, 2020).

b. Presentase Kehilangan Berat Kering

Potongan limbah masker medis yang sudah terpisah dari biofilm, selanjutnya diletakan kedalam cawan petri, untuk kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 1 jam. Selanjutnya limbah masker medis yang sudah kering, ditimbang berat akhirnya dan juga dilakukan pengukuran panjang akhir, selanjutnya hitung presentase kehilangan berat limbah masker medis serta regangan limbah masker medis dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

Rumus Presentase Kehilangan Berat Masker

$$\% \text{ Kehilangan berat} : \frac{\text{Berat awal masker} - \text{Berat akhir masker}}{\text{Berat awal masker}} \times 100\% \text{ (Sriningsih, 2015)}$$

Rumus Regangan Masker

Besar regangan : $\frac{\text{Panjang awal masker} - \text{Panjang akhir masker}}{\text{Panjang awal masker}}$ (Wati, 2020).

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis data deskriptif, kualitatif, dan kuantitatif digunakan. Sifat-sifat bakteri pengurai limbah masker medis dirinci dalam penelitian ini secara deskriptif. Selanjutnya dilakukan uji kapasitas bioremediasi yang meliputi pengukuran regangan dan susut berat limbah masker medis selama kurun waktu 10, 20, 30, dan 40 hari. Kemudian hasilnya ditampilkan dalam tabel data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan Berat Limbah Masker

Hasil Perbedaan berat antara bagian-bagian masker sebelum dan sesudah proses kerusakan digunakan untuk mengukur penurunan berat masker. Berikut temuan data yang diperoleh (Tabel 1.):

Tabel 1. Penurunan Berat Limbah Masker

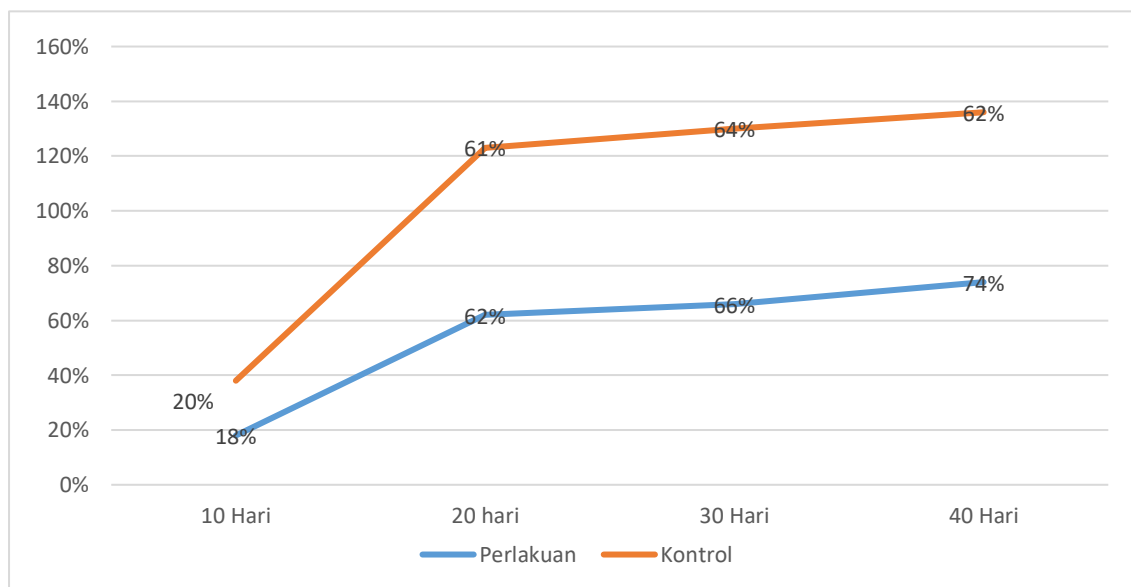
Variabel	Berat Awal	Waktu (Hari)			
		10	20	30	40
Kontrol	0,0513	0,0410	0,0199	0,0186	0,0196
% Kehilangan Berat		20%	61%	64%	62%

Berdasarkan Tabel 1. di atas, variabel kontrol menunjukkan hasil penurunan kehilangan berat masker pada tanpa adanya perlakuan menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rata-rata penurunan tertinggi terjadi pada waktu inkubasi hari ke-30 yaitu 0,0199, sedangkan pada waktu inkubasi hari ke-10 terjadi penurunan terendah yaitu rata-rata sebesar 0,0410. Kemudian, pada waktu inkubasi hari ke-20 rata-rata penurunan berat masker sebesar 0,0199, dan pada waktu inkubasi hari ke-40 rata-rata penurunan berat masker sebesar 0,0196. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa media degradasi yang digunakan juga berpengaruh terhadap penurunan berat limbah masker. Selanjutnya, data tentang penurunan berat masker tertera dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data Penurunan Berat Masker

Variabel	Berat Awal	Waktu (Hari)			
		10	20	30	40
U1	0,0513	0,0330	0,0194	0,0164	0,0110
U2	0,0513	0,0378	0,0194	0,0159	0,0135
U3	0,0513	0,0473	0,0190	0,0154	0,0137
U4	0,0513	0,0502	0,0198	0,0215	0,0153
Rata-Rata		0,0420	0,0194	0,0173	0,0134
% Kehilangan Berat		18%	62%	66%	74%

Berdasarkan Tabel 2. tersebut, menunjukkan bahwa rata-rata penurunan kehilangan berat limbah masker tertinggi terjadi pada waktu inkubasi hari ke-40, dimana rata-rata kehilangan berat masker sebesar 0,0134. Sedangkan penurunan berat masker terendah terjadi pada waktu inkubasi hari ke-10 dimana rata-rata kehilangan berat masker sebesar 0,0420. Kemudian rata-rata kehilangan berat masker pada waktu inkubasi hari ke-20 yaitu sebesar 0,0194, dan rata-rata kehilangan berat masker pada waktu inkubasi hari ke-30 sebesar 0,0134. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kehilangan berat masker menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* memiliki kemampuan dalam mendegradasi limbah masker dengan rata-rata kehilangan berat masker tertinggi yaitu pada waktu inkubasi hari ke-40 (Gambar 1.).

**Gambar 1.** Persentase Kehilangan Berat Masker

Berdasarkan Gambar 1. dapat dilihat bahwa persen kehilangan berat masker pada inkubasi hari ke-10 sangat kecil perubahannya yaitu sebesar 18%, dibandingkan dengan hari ke-20, hari ke-

30, dan hari ke-40. Pada hari ke-40 masker memiliki persen kehilangan berat tertinggi yaitu sebesar 74%. Kemudian, pada hari ke-30 persen kehilangan sebesar 66%, dan pada hari ke-20 persen kehilangan berat sebesar 62%, sehingga dapat diasumsikan bahwa berdasarkan persentase kehilangan berat masker bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mampu mendegradasi limbah masker medis dengan optimal pada waktu inkubasi hari ke-40.

Teknik kuantitatif yang paling mudah untuk menggambarkan biodegradasi suatu polimer adalah dengan menimbang polimer sebelum dan sesudah proses biodegradasi selama jangka waktu tertentu untuk menghitung penurunan berat dan kehilangan massa bahan polimer. Faktor koreksi dapat dimasukkan untuk menentukan kehilangan massa sebenarnya. berat sampel asli, yang mungkin ditemukan pada kontrol negatif, sebelum proses biodegradasi. Selanjutnya, kontrol negatif diperlukan agar polimer dapat terurai jika Anda perlu menentukan massa yang tepat dari sampel asli sebelum proses biodegradasi. Kontrol negatif adalah sampel polimer yang diinkubasi selama waktu tertentu, tanpa adanya mikroorganisme (Roehati, 2009).

Menurut Kurniawan dan Effendi (2014), hasil penelitian menunjukkan bahwa fluktuasi penurunan berat mungkin berkaitan dengan siklus hidup bakteri. Bakteri ini berkembang biak dan menyebabkan penurunan berat badan yang relatif besar pada bulan pertama dan kedua karena jumlah nutrisi yang terurai dan sumber karbon yang melimpah. Penurunan berat badan yang rendah disebabkan oleh berkurangnya jumlah nutrisi dan sumber karbon yang dapat terurai pada akhir fase degradasi.

Sementara itu, beberapa mikroorganisme di antaranya adalah bakteri, melakukan pembusukan biotik yang disebut juga biodegradasi, hal ini terlihat dari permukaan masker yang bersifat hidrofilik sehingga membantu bakteri mudah menempel dan berkoloni pada permukaan masker dan sehingga mendukung proses biodegradasi (Das, 2013).

Regangan Limbah Masker

Besar regangan masker ditentukan dengan mengukur panjang masker awal dan panjang masker sesudah diberi beban, kemudian dihitung besar regangan masker. Hasil pengukuran regangan masker disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penurunan Regangan Masker

Variabel	Panjang Awal	Waktu (Hari)			
		10	20	30	40
Kontrol	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm
U1	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm
U2	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm
U3	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm
U4	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm
Rata-Rata		3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm	3x3 cm
Regangan Masker		0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 3. tersebut, pengukuran regangan masker pada kontrol dan juga pada perlakuan menggunakan empat kali ulangan, pada ke-empat waktu inkubasi tersebut tidak ada perubahan yang terjadi. Hal ini dapat diasumsikan bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* tidak berpengaruh terhadap regangan limbah masker medis. Hal tersebut karena terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya biodegradasi, antara lain: karakteristik organisme, jenis polimer, dan jenis perlakuan yang dilakukan. Adapun beberapa ciri menunjukkan terjadinya degradasi polimer, seperti; perubahan warna, pemisahan fasa, retak dan delimitasi. Unsur lingkungan yang meliputi kelembaban, suhu, pH, struktur kimia, ketersediaan oksigen, dan sumber nutrisi lainnya juga dapat berdampak pada proses pembusukan. Akibatnya, hal ini secara signifikan mempengaruhi jumlah dan aktivitas bakteri yang memecah polimer. Selain itu, suhu 20°C hingga 40°C merupakan rentang yang sangat baik untuk pertumbuhan bakteri pengurai masker. Pertumbuhan bakteri juga dapat dipengaruhi oleh tingkat pH. Hal ini dikarenakan bakteri tertentu dapat tumbuh subur pada lingkungan dengan pH tinggi maupun rendah (asam) (Sangale, 2012).

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* efektif dalam mendegrasi limbah masker medis dengan kehilangan berat masker pada hari ke-40, memiliki persen kehilangan berat tertinggi yaitu sebesar 74%, dan pada inkubasi hari ke-10 sangat kecil kehilangan berat masker sebesar 18%. Efektivitas bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dalam mendegradasi limbah masker medis hanya berpengaruh terhadap degradasi kehilangan berat masker saja, sedangkan pada regangan limbah masker medis tidak mengalami perubahan ukuran, sehingga bakteri *Pseudomonas aeruginosa* tidak efektif dalam mendegradasi regangan limbah masker medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, M. P., & Kumar, S. A. N. T. O. S. H. (2013). Influence of cell surface hydrophobicity in colonization and biofilm formation on LDPE biodegradation. *Int J Pharm Pharm Sci*, 5(4), 690-4.
- Ethica, S. N., Muchlissin, S. I., Saptaningtyas, R., & Sabdono, A. (2017). Sampling Mikrobiologi Limbah Biomedis Rumah Sakit di Kota Semarang Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional & Internasional*, Vol. 1, No. 1.
- Kurniawan & Efendi. (2014). Potensi Isolat Bakteri Bacillus dalam Mendegradasi Plastik dengan Metode Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 3(2), 40-43.
- Lidiawati, M., Fadhil, I., Aisyah, S., & Pida, N. (2022). Dampak Limbah Masker Bekas Pakai (Medis dan Non Medis) terhadap Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat di Kota Banda Aceh. *Prosiding SEMDI-UNAYA (Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu UNAYA)*, Vol. 5, No. 1, pp. 56-66.
- Rohaeti, E. (2009). Karakterisasi biodegradasi polimer. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian*. (pp. 248-257).
- Sangale, M. K., Shahnawaz, M., & Ade, A. B. (2012). A review on biodegradation of polythene: the microbial approach. *J Bioremed Biodeg*, 3(10), 1-9.
- Sriningsih, A., & Shovitri, M. (2016). Potensi Isolat Bakteri Pseudomonas sebagai Pendegradasi Plastik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2).
- Wati, R. I. (2020). Uji Kemampuan Biodegradasi Sampah Plastik Polyethylene (PE) oleh Bakteri Pendegradasi Plastik yang Diisolasi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jabon Sidoarjo. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Wayoi, G. P. F. (2018). Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Limbah Minyak Menggunakan Bakteri Pseudomonas aeruginosa. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Makassar.