

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI BAKTERI PEMBENTUK BIOFILM
*STAPHYLOCOCCUS AUREUS DAN PSEUDOMONAS
AERUGINOSA* PADA ULKUS DIABETIKUM**



Oleh:
ANISA MUSWAR
NIM: 2110262098

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI LABORATORIUM MEDIS
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS PERINTIS INDONESIA
PADANG
2025**



a) Tempat/Tgl : Batam 21 April 2003; b) Nama Orang Tua (Ayah) Ramseswar (Ibu) Musmilis Daneti; c) Program Studi: Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis; d) Fakultas: Ilmu Kesehatan; e) NIM : 2110262098; f) Tgl Lulus: 21 juli 2025; g) Predikat Lulus: Pujian; h) IPK: 3,86; i) Lama Studi: 4 Tahun; j) Alamat: Kavling Senjulung, Kec.Nongsa, Kota Batam

**IDENTIFIKASI BAKTERI PEMBENTUK BIOFILM
STAPHYLOCOCCUS AUREUS DAN PSEUDOMONAS AERUGINOSA
PADA ULKUS DIABETIKUM**

SKRIPSI

Oleh : Anisa Muswar

Pembimbing : 1. Putra Rahmadea Utami, S.Si., M.Biomed
2. Meri Wulandari, S.ST., M.Biotek

Abstrak

Diabetes Melitus (DM) adalah penyakit kronis dengan komplikasi serius seperti ulkus kaki diabetik, yang dapat menurunkan kualitas hidup dan berisiko amputasi. Infeksi ulkus disebabkan oleh bakteri seperti *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*, yang berkembang baik pada kadar glukosa tinggi. Biofilm yang dibentuk oleh bakteri membuat luka sulit sembuh karena meningkatkan resistensi terhadap pengobatan. Meski tidak sejauh berkaitan dengan tingkat keparahan penyakit, biofilm dapat memengaruhi kondisi psikologis dan kualitas hidup penderita. Penelitian menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan teknik identifikasi meliputi uji morfologi koloni, pewarnaan Gram, uji biokimia, serta konfirmasi pembentukan biofilm menggunakan media *Congo Red Agar* (CRA) pada ulkus diabetikum. Hasil penelitian ini yaitu *Staphylococcus aureus* membentuk biofilm yang kuat, sedangkan *Pseudomonas aeruginosa* membentuk biofilm yang lemah. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa bakteri menghasilkan biofilm dengan intensitas yang berbeda.

Kata Kunci : Ulkus diabetikum, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, Biofilm.

Skripsi ini telah dipertahankan didepan sidang penguji dan dinyatakan **LULUS** pada 21 Juli 2025.

Abstrak telah disetujui oleh penguji

| Tanda Tangan | 1 | 2 | 3 |
|--------------|---|------------------------------------|----------------------------|
| Anisa Muswar | Putra Rahmadea Utami, S.Si, M.Biomed | Meri Wulandari, S.S.T, M.Biotek | Dr.Almurdi, DMM., M.Kes |

Mengetahui

Ketua Program Studi: Dr. Apt. Dewi Yudiana Shinta, M.Si





a) Place/Date of Birth: Batam, April 21, 2003; b) Parents' Names: (Father) Ramseswar (Mother) Musmilis Daneti; c) Study Program: Applied Bachelor in Medical Laboratory Technology ; d) Faculty: Health Sciences; e) Student ID Number (NIM): 2110262098 ; f) Graduation Date: July 21, 2025; g) Graduation Predicate: Cum Laude; h) GPA: 3,86; i) Study Duration: 4 Years; j) Address: Kavling Senjulung, Nongsa District, Batam City

IDENTIFICATION OF BIOFILM-FORMING BACTERIA *STAPHYLOCOCCUS AUREUS* AND *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* IN DIABETIC ULCERS

THESIS

By : Anisa Muswar

Advisors : 1. Putra Rahmadea Utami, S.Si, M.Biomed,
2. Meri Wulandari, S.S.T., M.Biotek

Abstract

Diabetes Mellitus (DM) is a chronic disease with serious complications such as diabetic foot ulcers, which can reduce quality of life and pose a risk of amputation. Ulcer infections are caused by bacteria such as *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*, which thrive in high glucose levels. The biofilm formed by these bacteria makes wounds difficult to heal due to increased resistance to treatment. Although not always directly related to disease severity, biofilm formation can affect psychological conditions and the overall quality of life of patients. This research used a laboratory experimental method with identification techniques including colony morphology, Gram staining, biochemical tests, and confirmation of biofilm formation using Congo Red Agar (CRA) media. The results of this study showed that *Staphylococcus aureus* formed a strong biofilm, whereas *Pseudomonas aeruginosa* formed a weak biofilm. It can be concluded from these findings that the bacteria produced biofilms with varying intensities.

Keywords: Diabetic ulcer, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, Biofilm

This thesis has been defended in front of the examine and declared PASSED in 21 July 2025.

The abstract has been approved by the examiners

| Signature | 1 | 2 | 3 |
|--------------|---|---|---|
| Anisa Muswar | | | |

Dr. Apt. Dewi Yudiana Shinta, M.Si

Knowing

Head of Study Program : Dr. Apt. Dewi Yudiana Shinta, M.Si



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes Melitus (DM) merupakan salah satu tipe penyakit kronis dengan ciri adanya peningkatan kadar gula karena ketidak mampuan tubuh dalam menghasilkan insulin. Bagian dari komplikasi diabetes mellitus (DM) yang paling sering terjadi dan dapat memengaruhi seluruh bidang kehidupan individu adalah ulkus kaki diabetik. Luka pada kaki memiliki pengaruh besar terhadap mutu kehidupan pasien, baik secara langsung maupun tidak langsung (Rasyadi, 2024).

Ulkus diabetikum adalah salah satu komplikasi yang dapat muncul akibat penyakit diabetes melitus. Penderita diabetes memiliki risiko hingga 29 kali lebih tinggi untuk mengalami ulkus. Terbentuknya ulkus diawali oleh masuknya bakteri, sementara tingginya kadar glukosa darah menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan bakteri. Infeksi pada ulkus diabetikum biasanya melibatkan kombinasi bakteri aerob maupun anaerob (Khairunnisa, 2018).

Berdasarkan informasi yang dilaporkan oleh International Diabetes Federation (IDF) Atlas edisi ke-11 di tahun 2024, Indonesia berada di posisi kelima dalam populasi orang dewasa dengan usia antara 20 sampai 79 tahun yang menderita diabetes dalam kehidupannya dengan estimasi mencapai 20,4 juta jiwa. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), sejak tahun 1990 jumlah orang dewasa yang menderita diabetes di seluruh dunia telah meningkat lebih dari empat kali lipat. Di Indonesia sendiri, penderita diabetes pada tahun 2023 berjumlah 19,5 juta jiwa dan diprediksi akan bertambah menjadi 28,5 juta pada tahun 2045. Hasil Riskesdas

2024 menunjukkan prevalensi diabetes melitus di Indonesia mencapai 11,2% pada usia ≥ 15 tahun, meningkat dari 10,9% sebelumnya. Ini berarti, dari setiap 100 orang diantaranya menderita diabetes.

Pola hidup, termasuk kebiasaan makan dan kegiatan fisik adalah salah satu penyebab risiko komplikasi ulkus kaki diabetikum pada penderita DM. Infeksi mudah terjadi pada ulkus diabetikum jika perawatan tidak diberikan dengan segera. Infeksi ini dapat menyebar bahkan dapat menyebabkan amputasi jika penderita diabetes tidak menerima perawatan, kaki mereka mudah terluka dan berkembang menjadi ulkus. Akibatnya, penderita tidak menyadari dan mengabaikan luka (Nisak, 2021).

Dalam penelitian (Patricia et al., 2022) penderita diabetes melitus yang menjalani perawatan luka di pusat perawatan luka bagi pasien diabetes ditemukan mengandung bakteri Gram-negatif (82,35%) dan Gram-positif (17,65%) pada ulkusnya. Jenis bakteri Gram-negatif yang teridentifikasi meliputi *Proteus mirabilis* (17,65%), *Proteus morganii* (5,88%), *Citrobacter diversus* (23,53%), *Pseudomonas aeruginosa* (11,7%), *Escherichia coli* (5,8%), *Enterobacter agglomerans* (5,88%), serta *Enterobacter cloacae* (11,76%). Sementara itu, bakteri Gram-positif yang ditemukan adalah *Staphylococcus aureus*.

Staphylococcus aureus adalah bakteri yang sering ditemukan pada ulkus kaki penderita diabetes. Sebagai bagian dari flora normal kulit dan luka, bakteri ini memiliki potensi untuk menyebabkan infeksi. Bakteri *Staphylococcus aureus* muncul dengan tanda-tanda yang jelas yaitu adanya peradangan, pembusukan (suatu keadaan ketika sel-sel tubuh mengalami kerusakan hingga menimbulkan

kematian sel dan jaringan) serta memicu terbentuknya abses bernalah. Infeksi pada kulit maupun luka terbuka, seperti ulkus, berpotensi berkembang menjadi infeksi yang menyebar ke seluruh sistem tubuh dan dapat menyebabkan kerusakan jaringan kulit (Zuliana et al., 2023).

Pseudomonas aeruginosa dikenal memiliki ketahanan terhadap berbagai jenis antibiotik dan agen terapi lainnya, yang menjadikannya sulit diatasi saat menyebabkan infeksi. Bakteri ini dikategorikan sebagai patogen "oportunistik" karena jarang menimbulkan penyakit pada individu dengan sistem imun yang sehat. Secara klinis, bakteri ini paling berisiko menyerang pasien pada individu dengan sistem imun lemah, misalnya penderita fibrosis kistik (CF), kanker, AIDS, pengguna alat medis implan, pasien dengan luka bakar, infeksi pada mata, serta luka diabetes yang sulit sembuh (Diggle, 2020). *Pseudomonas aeruginosa* menyebabkan cedera serius pada penderita dengan luka kaki diabetik maupun non-diabetik boleh dianggap sebagai kontaminasi atau flora alami, karena mikroorganisme ini selalu menjadi patogen pada populasi pasien ini, dan penyebab utama sepsis dan amputasi terkait diabetes (Garousi et al., 2023).

Biofilm merupakan agregasi bakteri yang saling melekat dan dipersatukan oleh matriks eksopolisakarida. Fungsi biofilm bagi bakteri adalah untuk sistem pertahanan yang memungkinkan bakteri tetap bertahan dan berkembang, baik di dalam tubuh makhluk hidup maupun pada lingkungan bebas. Pada manusia, biofilm merupakan salah satu faktor yang membuat luka sulit sembuh karena bakteri dapat bertahan terhadap sistem imun pada manusia, sehingga bakteri menjadi lebih tahan terhadap antimikroba (Agrijanti et al., 2023).

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan (Lasminingrum & Boesoirie, 2019) dinyatakan bahwa tidak terdapat korelasi yang bermakna antara kemampuan membentuk biofilm pada bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* dengan derajat keparahan penyakit pada pasien rinosinusitis kronik dan penelitian menunjukkan adanya hubungan yang bermakna antara pembentukan biofilm bakteri tersebut dengan kualitas tidur dan kondisi psikologis penderita rinosinusitis kronik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tidak ada pengaruh langsung terhadap derajat keparahan penyakit, pembentukan biofilm pada bakteri tersebut dapat mempengaruhi kualitas tidur dan aspek psikologis penderita RSK (Lasminingrum et al., 2021).

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, akan dilakukan penelitian terkait Identifikasi Bakteri Pembentuk Biofilm *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* Pada Ulkus Diabetikum.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu “Apakah dapat ditemukan bakteri pembentuk biofilm *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel pasien penderita ulkus diabetikum?”

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Penelitian yang dilaksanakan memiliki tujuan umum, yaitu untuk mengidentifikasi bakteri pembentuk biofilm *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada ulkus diabetikum

1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini, yaitu:

- a. Untuk melakukan pengidentifikasi bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada ulkus diabetikum
- b. Untuk mengetahui hasil pembentuk biofilm pada bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada ulkus diabetikum

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Bagi Peneliti

Manfaat penelitian bagi peneliti yaitu sebagai sarana memperluas wawasan yang didapat selama menjalani perkuliahan terkhususnya pada mata kuliah mikrobiologi dalam mengidentifikasi bakteri pembentuk biofilm *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* pada ulkus diabetikum.

1.4.2 Bagi Institusi Pendidikan

Manfaat yang didapatkan oleh institusi akademik dari penelitian ini adalah sebagai acuan atau tambahan informasi dibidang mikrobiologi terutama dalam mengidentifikasi bakteri pembentuk biofilm *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* bagi perguruan tinggi kesehatan, terutama Universitas Perintis Indonesia.

1.4.3 Bagi Teknisi Laboratorium

Manfaat penelitian bagi teknisi laboratorium adalah sebagai sarana memberikan informasi serta pengetahuan terkini mengenai Identifikasi Bakteri Pembentuk Biofilm *Staphylococcus aureus* Dan *Pseudomonas aeruginosa* Pada Ulkus Diabetikum.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Identifikasi Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* Pada Ulkus Diabetikum

Dalam penelitian ini, bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* berhasil diidentifikasi pada ulkus diabetikum melalui pengamatan pertumbuhan koloni pada media selektif dan diferensial, pewarnaan Gram, uji enzimatik, uji biokimia, serta uji fermentasi berbagai jenis gula.

5.1.1 *Staphylococcus aureus*

Pada bakteri *Staphylococcus aureus* ditandai dengan pertumbuhan koloni kuning pada media MSA disertai dengan perubahan warna media yang menunjukkan fermentasi manitol. Hasil pewarnaan Gram memperlihatkan bahwa bakteri ini bersifat Gram positif, berbentuk coccus yang bergerombol menyerupai buah anggur, dengan warna ungu. Penelitian (Novitasari et al., 2019) juga mendapatkan hasil pada media MSA berwarna kuning serta pengamatan secara mikroskopis, bakteri Gram positif berbentuk coccus yang bergerombol terlihat menyerupai buah anggur.

Setelah melakukan pewarnaan Gram, dilanjutkan dengan uji katalase dilakukan dengan menambahkan tetesan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) pada kaca objek yang bersih. Biakan kemudian dioleskan pada kaca tersebut, dan suspensi diaduk perlahan menggunakan ose. Hasil positif ditunjukkan oleh munculnya gelembung-gelembung udara, yang menandakan uji katalase positif (Yanto et al., 2019). Pada penelitian ini menunjukkan hasil positif, ditandai dengan

terbentukya gelembung gas saat ditetesi larutan hidrogen peroksida (H_2O_2). Gelembung tersebut merupakan hasil dari reaksi enzim katalase yang diproduksi oleh bakteri terhadap hidrogen peroksida.

Selanjutnya dilakukan penelitian uji koagulase menunjukkan hasil positif apabila terbentuk gumpalan halus seperti pasir pada plasma setelah inkubasi. Enzim ini merupakan protein ekstraseluler yang diproduksi oleh *Staphylococcus aureus* dan mampu menggumpalkan plasma (Yanto et al., 2019). Pada penelitian (Hayati et al., 2019) didapatkan hasil uji koagulase positif dengan terbentuknya gumpalan seperti pasir halus. Keempat hasil ini memperkuat proses identifikasi yang akurat terhadap *Staphylococcus aureus*.

5.1.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada media BAP memiliki koloni menyebar, permukaan licin atau basah, menghasilkan pigmen kuning kehijauan (*pyoverdin*) yang bisa menyebar ke media, sering menunjukkan β -hemolisa (daerah bening sekitar koloni) serta menghasilkan bau khas seperti anggur. Media BAP berfungsi untuk mendeteksi kemampuan hemolitik bakteri sehingga memudahkan proses identifikasi awal *Pseudomonas aeruginosa*. Penelitian yang dilakukan oleh (Scania & Ningsih, 2023) pada media BAP, bakteri menghasilkan pigmen fluoresen (*pyoverdin*) yang memberi warna hijau pada media, koloni yang tumbuh mengeluarkan aroma manis seperti anggur, dan mampu menunjukkan hemolisis tipe beta

Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bentuk batang (basil) berukuran sedang hingga panjang, berwarna merah yang bersifat aerobik dan memiliki

kemampuan motilitas (bergerak), ini merupakan ciri khas bakteri Gram-negatif. Berdasarkan hasil pewarnaan Gram, bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang diambil dari koloni media BAP menunjukkan sifat Gram-negatif, berwarna merah, dan berbentuk batang (basil) berukuran sedang hingga panjang, serta tersusun secara acak atau menyebar, tidak membentuk rantai maupun kelompok tertentu. Penelitian (Scania & Ningsih, 2023) hasil pewarnaan Gram *Pseudomonas aeruginosa* menunjukkan bahwa koloni bakteri berbentuk batang, tersusun secara tunggal atau tidak berkelompok, serta bersifat Gram-negatif dengan warna merah.

Pada uji TSIA, baik bagian *butt* (tusuk) maupun *slant* (miring) tidak menunjukkan perubahan warna merah, hal ini dikarenakan bakteri tersebut tidak mampu memfermentasi laktosa, dekstrosa, maupun sukrosa pada media TSIA. Pada uji SIM, tidak terbentuk gas H₂S. Hasil uji indol negatif ditandai dengan tidak terbentuknya cincin ungu, yang berarti bakteri tidak memproduksi enzim *tryptophanase* untuk memecah *tryptophan* menjadi indol. Sementara itu, uji motilitas menunjukkan hasil positif, terlihat dari penyebaran pertumbuhan bakteri sepanjang area inokulasi pada media SIM, menunjukkan bakteri bersifat motil, umumnya akibat adanya flagella yang memungkinkan pergerakan dari titik tusukan. (Sayuti & Suratni, 2018).

Hasil uji sitrat menunjukkan reaksi positif, terlihat dari perubahan warna media menjadi biru, yang menandakan bakteri dapat memanfaatkan sitrat sebagai sumber energi (Ullah et al., 2024). Hasil uji MR menunjukkan reaksi negatif, yang ditandai dengan tidak adanya perubahan warna pada media setelah penambahan 3–5 tetes methyl red. Uji MR menunjukkan proses fermentasi glukosa yang

menghasilkan senyawa asam sehingga menurunkan pH media. Sementara itu, uji VP menunjukkan hasil negatif, ditandai dengan tidak adanya perubahan warna media setelah penambahan 3–5 tetes KOH 3% (Rapi et al., 2017). Pada uji fermentasi gula (Glukosa, Laktosa, Sukrosa, Maltosa), media tidak mengalami perubahan warna, yang menunjukkan bahwa bakteri tidak menghasilkan asam dari fermentasi karbohidrat (Rahmadian et al., 2018).

5.2 Identifikasi Pembentuk Biofilm Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*

Dalam penelitian ini, bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* berhasil diidentifikasi pada sampel ulkus diabetikum. Selanjutnya, dilakukan uji pembentukan biofilm menggunakan media *Congo Red Agar* (CRA)

5.2.1 *Staphylococcus aureus*

Hasil uji pembentukan biofilm pada media CRA Bakteri *Staphylococcus aureus* menunjukkan hasil positif dalam pembentukan biofilm. Hal ini ditandai dengan terbentuknya koloni berwarna hitam pekat, tampak kering, tidak mengkilap dengan permukaan koloni kasar pada latar media yang berwarna merah tua, dengan tekstur yang padat. Pada penelitian (Surekha, 2018) juga mendapatkan hasil pembentukan biofilm dengan koloni hitam konsistensi kristal kering.

Ciri-ciri ini mengindikasikan bahwa bakteri memiliki kemampuan tinggi dalam membentuk biofilm, yang berfungsi sebagai pelindung terhadap lingkungan maupun antibiotik. Bakteri ini memproduksi eksopolisakarida (EPS), khususnya *polisakarida intercellular adhesin* (PIA), yang berfungsi membentuk matriks pelindung serta memfasilitasi perlekatan antar sel bakteri. Faktor genetik seperti

ekspresi gen icaADBC juga berperan dalam produksi zat adhesif yang memperkuat struktur biofilm. Kondisi lingkungan seperti ulkus diabetikum yang lembab dan kaya nutrisi turut mendukung proses pembentukan biofilm. Biofilm yang terbentuk memberikan perlindungan terhadap antibiotik dan sistem imun, sehingga membuat bakteri lebih tahan dan sulit dieliminasi. Hasil penelitian ini mendukung literatur sebelumnya pada penelitian (Sahli, 2018) Produksi biofilm pada bakteri ditandai oleh munculnya koloni berwarna hitam pada media CRA. Bakteri *Staphylococcus aureus* diketahui memiliki operon adhesi intersetular (ica) yang mengatur produksi slime. Operon ini terdiri dari gen icaADBC yang memiliki peran penting dalam pembentukan biofilm. Dalam jalur yang bergantung pada PIA, PIA memiliki peran penting dalam pembentukan biofilm dan mendukung pertumbuhan anaerobik, di mana pembentukan biofilm terjadi bersamaan dengan sintesis PIA.

5.2.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Hasil penelitian uji biofilm dari bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada media CRA adalah tidak membentuk biofilm, melalui penampakan koloni dengan warna kemerahan pucat hingga merah muda, dan tekstur yang lebih licin dan mengkilat, tidak kering atau kasar. Pada penelitian sebelumnya (Sahli, 2018) tidak membentuk biofilm dengan bentuk koloni berwarna merah yang menunjukkan rendahnya produksi zat biofilm.

Warna merah ini menunjukkan bahwa bakteri hanya memproduksi sedikit eksopolisakarida (EPS), yang merupakan komponen utama pembentuk biofilm. Rendahnya produksi EPS menyebabkan struktur biofilm yang terbentuk tidak padat dan kurang stabil. Hal ini menandakan bahwa bakteri memiliki kemampuan yang

rendah dalam membentuk biofilm karena proses pembentukan biofilm sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor genetik serta kondisi lingkungan. *Pseudomonas aeruginosa* dikenal mampu membentuk biofilm, tidak semua strain memiliki tingkat kemampuan yang sama. Hasil biofilm yang lemah dapat disebabkan oleh ekspresi gen penyusun biofilm yang rendah seperti gen pel, psl, atau alg yang berperan dalam produksi matriks eksstraseluler. Pembentukan biofilm yang lemah bisa terjadi akibat kondisi media atau lingkungan yang kurang mendukung, seperti ketidakseimbangan kadar nutrisi, pH, maupun suhu inkubasi. Selain itu, perbedaan fenotip antar strain dan rendahnya kemampuan adhesi awal juga dapat menyebabkan struktur biofilm yang terbentuk menjadi tipis atau kurang stabil. Menurut literatur sebelumnya (Vetrivel et al., 2021) pertumbuhan matriks biofilm dan perkembangan bakteri dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama ketersediaan nutrisi dan kondisi hidrodinamik di lingkungannya. Interaksi yang bersifat kooperatif antar spesies dalam biofilm menghasilkan variasi dalam tahap perkembangan, struktur, serta fungsi organisasi biofilm itu sendiri.