

**KERAGAMAN DAN METABOLISME SERTA APLIKASI
MIKROORGANISME EKSTREMOPIL DALAM BERBAGAI
BIDANG UNTUK MENDUKUNG KESEJAHTERAAN
MANUSIA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Mikrobiologi
pada Fakultas Biologi
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
pada 28 Mei 2024**

**Oleh:
Prof. Dr. Endah Retnaningrum, M. Eng.**

Bismillaahirrohmaannirrahiim.

Yang terhormat,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
Gadjah Mada,
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah
Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
Mada,
Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada,
Para Dekan dan Wakil Dekan, Direktur, dan Kepala Pusat Studi di
Lingkungan Universitas Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Fakultas Biologi Universitas
Gadjah Mada,
Rekan-rekan dosen dan seluruh civitas akademika Universitas Gadjah
Mada,
Tamu undangan, sanak keluarga yang saya cintai serta hadirin sekalian
yang berbahagia.

Assalaamu 'alaikum Warohmatullaahi Wabarokaatuh

Selamat pagi, salam sejahtera bagi kita semua

Saya panjatkan puji syukur kehadiran Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga kita dapat hadir di Balai Senat ini. Sebelum membacakan pidato ini, perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada Ketua dan Sekretaris Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan sebagai Guru Besar dalam bidang Ilmu Mikrobiologi pada Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada dengan judul

**Keragaman Dan Metabolisme Serta Aplikasi Mikroorganisme
Ekstremofil Dalam Berbagai Bidang Untuk Mendukung
Kesejahteraan Manusia**

Hadirin yang saya muliakan

Topik yang saya angkat tersebut didasarkan atas penelitian mikroorganisme ekstremofil yang telah dan sedang saya tekuni. Seperti kita ketahui mikroorganisme ekstremofil mempunyai kemampuan bertahan hidup dan tumbuh pada kondisi lingkungan ekstrem fisikiawi dan kimiawi. Kondisi ekstrem fisikiawi meliputi tekanan, oksigen, temperatur dan kekeringan, sedangkan kondisi ekstrem kimiawi meliputi asam/basa, salinitas, nutrien rendah, paparan antibiotik dan polutan.

Mikroorganisme ekstremofil mempunyai mekanisme seluler dan genetik untuk bertahan hidup pada kondisi ekstrem. Kondisi ekstrem tersebut dapat berupa *macroenvironment* maupun *microenvironment*. Kondisi ekstrem *macroenvironment* berupa mata air panas dengan kandungan sulfur, dasar laut, danau dengan kadar garam tinggi hingga danau asam, lahan basah berawa maupun lahan kering. Kondisi ekstrem *microenvironment* dapat berupa lambung dengan asam rendah, usus halus dengan garam empedu serta jaringan *host* terpapar antibiotik.

Mikroorganisme ekstremofil mampu beradaptasi secara seluler dan genetik pada kondisi ekstrem melalui metabolisme dan sintesis biomolekul yang unik. Mikroorganisme ekstremofil baik sel maupun produk biomolekul sangat penting dan menarik karena potensial dikembangkan sebagai agensia maupun produk inovatif pada berbagai bidang meliputi farmasi, medis, pertanian dan lingkungan yang berguna untuk kesejahteraan manusia.

Pimpinan sidang dan hadirin yang saya muliakan

Mekanisme Adaptasi Mikroorganisme Ekstremofil

Secara umum, makromolekul seluler mikroorganisme ekstremofil berupa DNA, RNA dan protein mempunyai stabilitas tinggi dan tetap berfungsi meskipun berada pada kondisi ekstrem. Stabilitas makromolekul tersebut berhubungan dengan ikatan H, ikatan kovalen, komposisi asam amino, kandungan G+C, komposisi tRNA dan pola lipatannya (Kumar *et al.*, 2019).

Secara khusus mikroorganisme ekstremofil kondisi asam (asidofil) mampu bertahan dan tumbuh pada pH rendah melalui mekanisme adaptif seluler meliputi penurunan permeabilitas membran sel, sistem pompa proton yang efisien untuk mempertahankan gradien proton antara sitoplasma dan sel mikroorganisme (Babu *et al.*, 2015).

Mekanisme adaptif lainnya yaitu dengan cara sintesis protein porin sebagai penyusun membran luar sel, sebagai contoh karakter protein porin bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* menunjukkan *external loop* yang sangat besar, sehingga ukuran porin kecil serta selektif terhadap ion (Guiliani & Jerez, 2000). Beberapa bakteri patogen asidofil yaitu *Vibrio cholerae* dan *Helicobacter pylori* juga melakukan sintesis protein porin, sehingga bakteri mampu hidup pada *microenvironment* usus dengan pH 2 sampai pH 3 (Jeong *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2024). Sintesis protein porin MgtC (Rv1118) juga dilakukan oleh bakteri patogen *Mycobacterium tuberculosis*, sehingga tetap bertahan hidup meskipun lisosim makrofaq menyebabkan *microenvironment* bersifat asam. *Mycobacterium tuberculosis* juga mempunyai adaptasi seluler berupa asam mikolat dalam membrane sel dan adaptasi genetik melalui regulasi gen *PhoP* pada jalur biosintesis lipid (Grover *et al.*, 2016).

Mikroorganisme ekstremofil suhu tinggi (termofil) melakukan adaptasi seluler dengan sintesis protein unik. Protein tersebut stabil suhu tinggi dengan karakter *hydrophobic cores*, jumlah ikatan disulfida, muatan permukaan, dan jembatan garam tinggi. Lipid penyusun membran sel dilaporkan berupa tetraeter membentuk monolayer. Beberapa spesies anggota domain Archaeobacteria termasuk dalam kelompok mikroorganisme termofil yaitu *Thermotoga maritima*, *Aquifex pyrophilus* dan *Thermus aquaticus* (Gupta *et al.*, 2014).

Cold Shock Proteins (CSPs) dan *Cold Acclimation Proteins* (CAPs) disintesis mikroorganisme ekstremofil suhu rendah (psikrofil) sebagai mekanisme adaptasi bertahan hidup pada habitat suhu rendah. Selain itu, struktur protein mengalami beberapa modifikasi yaitu alanin digantikan oleh asam glutamat, lisin digantikan oleh arginin, dan valin digantikan oleh alanine (Kumar *et al.*, 2019).

Hadirin yang saya hormati

Keragaman Mikroorganisme Ekstremofil

Keragaman jenis, metabolit (ekstremolit), komunikasi kimiawi antar sel (*quorum sensing*) dan genetik mikroorganisme ekstremofil yang berasal dari lingkungan ekstrem sangat menarik untuk diteliti. Ekstremolit yang diperoleh dari mikroorganisme ekstremofil berupa protein, ekstremozim, eksopolisakarida (EPS) dan zat terlarut yang kompatibel sangat potensial dikembangkan dalam aplikasi untuk kesejahteraan manusia. Ekstremolit berperan melindungi makromolekul dan struktur sel mikroorganisme (Becker & Wittmann, 2020). Kajian keragaman mikroorganisme ekstremofil juga bermanfaat dalam pencarian kemungkinan adanya kehidupan di planet lain.

Mikroorganisme asidofil menunjukkan keragaman tinggi dan dapat ditemukan serta diisolasi baik dari *macroenvironment* maupun *microenvironment*. Kelompok bakteri asam laktat, bakteri pereduksi sulfat dan bakteri pengoksidasi sulfur termasuk dalam kriteria mikroorganisme asidofilik. Masing-masing kelompok bakteri tersebut mempunyai kemampuan metabolisme dan peran spesifik pada kehidupan manusia.

Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati

Bakteri Asam Laktat (BAL) Asidofilik

Bakteri asam laktat asidofilik mempunyai karakter spesifik meliputi morfologi sel berbentuk batang, *coccus* dan *coccobacillus*, sedangkan sifat pengecatan gram bersifat gram positif. Sel BAL bersifat *non-motile*, dan katalase negatif. Berdasarkan kebutuhan oksigen, sebagian BAL bersifat fakultatif anaerobik, mikroaerofilik dan anaerobik. Bakteri asam laktat asidofilik dapat bertahan pada kondisi asam (pH rendah), sangat fermentatif, tidak mereduksi nitrat, membutuhkan glukosa, amonium, beberapa vitamin dan asam amino untuk pertumbuhan serta perkembangannya (Bintsis, 2018).

Secara umum, bakteri asam laktat termasuk mikroorganisme *Generally Recognized as Safe* (GRAS), aman dikonsumsi, tidak toksik dan tidak menghasilkan toksin, sehingga dikenal juga dengan istilah *food grade microorganisms* (Daba *et al.*, 2021). Bakteri asam laktat

asidofilik mempunyai peran sangat penting dalam proses fermentasi dan pengawetan makanan, serta menghasilkan metabolit bioaktif. Metabolit bioaktif yang dihasilkan oleh BAL diantaranya adalah asam organik, H_2O_2 , diasetil, bakteriosin, reuterin, antibiotik dan EPS (Wang *et al.*, 2021). Oleh karena itu, selain berperan dalam pengembangan produk makanan, BAL juga berperan dalam pengembangan produk farmasi serta medis.

Berdasarkan produk akhir hasil fermentasi glukosa, BAL dapat dikelompokkan dalam 2 tipe yaitu homofermentatif dan heterofermentatif. Pada tipe homofermentatif, BAL hanya menghasilkan asam laktat sebagai produk akhir, sedangkan tipe heterofermentatif, selain asam laktat, produk lain juga dihasilkan oleh BAL antara lain CO_2 , dan etanol serta asam organik lainnya (García *et al.*, 2019).

Karena keunikan karakter BAL, kelompok bakteri tersebut dapat ditemukan dan telah berhasil diisolasi dari berbagai produk makanan fermentasi, buah, susu, dan *microenvironment* saluran pencernaan manusia dan hewan (Giyatno & Retnaningrum, 2020; Hutajulu *et al.*, 2021; Nurhikmayani *et al.*, 2019; Plessas *et al.*, 2017; Ridwan *et al.*, 2019; Sapalina & Retnaningrum, 2020).

Hadirin yang saya hormati

Metabolit Bioaktif BAL Asidofilik

Metabolit bioaktif BAL asidofilik mempunyai kemampuan menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dan perusak makanan. Karena kemampuan tersebut, metabolit tersebut tergolong sebagai agen antimikroba alami yang berkontribusi dalam memperpanjang umur simpan dan meningkatkan keamanan pangan (Moradi *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021).

Selama pertumbuhan BAL, metabolit tersebut dilepaskan dalam media kultur kompleks, makanan, dan *microenvironment* pada *tractus digestivus host* (Moradi *et al.*, 2021). Keberadaan metabolit BAL dalam produk bahan makanan juga akan meningkatkan sifat nutrisi dan sensorik, sedangkan dalam *microenvironment* pada *tractus digestivus host* akan meningkatkan status kesehatannya. Berdasarkan berat molekul, senyawa metabolit tersebut dikategorikan menjadi dua.

Kategori pertama merupakan senyawa metabolit dengan berat molekul rendah, meliputi H_2O_2 , asam organik, asetoin, dan asetaldehida. Kategori kedua merupakan senyawa metabolit dengan berat molekul tinggi yaitu bakteriosin, reuterin, antibiotik dan EPS (Abarquero *et al.*, 2022; O'Connor *et al.*, 2020).

Bakteriosin merupakan senyawa peptida dan bersifat antimikrobia. Berdasarkan struktur molekul, komposisi asam amino, berat molekul, stabilitas suhu, pH, dan mekanisme penghambatan pertumbuhan mikroorganisme target, bakteriosin dapat diklasifikasikan dalam kelas tertentu. Klasifikasi bakteriosin pertama kali diusulkan oleh Klaenhammer (1993), kemudian direvisi oleh Nes *et al.* (1996), Cotter *et al.* (2005), Alvarez-Sieiro *et al.* (2016) dan Acedo *et al.*, (2018).

Bakteriosin dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme melalui beberapa mekanisme meliputi perusakan dinding sel, mengganggu integritas membran sel, menghambat proses biosintesis protein, menghambat replikasi dan transkripsi DNA (Cavera *et al.*, 2015). Bakteriosin sangat menjanjikan diaplikasikan untuk pengawetan makanan maupun medis. Aksi antimikrobia bakteriosin berbeda dengan antibiotik lain, sehingga sangat potensial sebagai agen antimikroba baru terhadap patogen, terutama MDR patogen.

Isolasi dan skrining BAL penghasil bakteriosin serta karakterisasi bakteriosin telah dilakukan oleh beberapa peneliti. *Lactobacillus plantarum* BDL11 yang diisolasi dari dadih soya menghasilkan bakteriosin yang menghambat beberapa bakteri patogen uji antara lain *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* dan *Salmonella typhi*. Bakteriosin yang dihasilkan oleh strain tersebut tidak dipengaruhi oleh pH, pemanasan, dan konsentrasi NaCl, tetapi sensitif terhadap enzim proteolitik, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai biopreservatif. (Retnaningrum *et al.*, 2020). Krishnamoorthi *et al.*, (2022), juga memperoleh *Lactococcus lactis* CH₃ yang diisolasi dari keju dengan kemampuan menghasilkan bakteriosin. Bakteriosin menunjukkan sensitivitas terhadap enzim proteolitik dan memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, rentang pH yang luas, pelarut organik dan deterjen. Bakteriosin tersebut bersifat

antimikrobia terhadap beberapa spesies bakteri yaitu *Staphylococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Shigella flexneri* dan beberapa fungi spesies *Candida albicans* serta *A. fumigatus*. Berat molekul bakteriosin tersebut sebesar 3,5 kDa berdasarkan pengamatan SDS-PAGE dan menunjukkan adanya enam asam amino berdasarkan spektrum NMR. Pengamatan SEM memperlihatkan deformasi struktural dan hilangnya integritas membran sel bakteri patogen akibat paparan bakteriosin.

Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati

Quorum Sensing BAL Asidofilik dalam Pembentukan Biofilm Sebagai Antimikrobia Patogen dan Detoksifikasi Mikotoksin

Antar sel BAL asidofilik melakukan komunikasi kimiawi (*quorum sensing*/QS) untuk pengaturan fisiologis sel meliputi pengontrolan pembelahan sel, pengaturan perkembangan sel khusus, dan bertanggung jawab pada perlekatan dan pelepasan sel melalui pembentukan biofilm. Biofilm tersebut dapat melekat pada permukaan biotik maupun abiotik (Mgomi *et al.*, 2021). Biofilm BAL terbentuk karena sintesis molekul sinyal autoinducer-2 (AI-2) yang dikode gen *luxS*. Menurut Liu *et al.*, (2018), ekspresi berlebih dari gen *luxS* akan meningkatkan produksi AI-2, yang menginduksi pembentukan biofilm *Lactobacillus paraplantarum* L-ZS9.

Biofilm BAL akan melindungi sel saat berada pada kondisi ekstrem dan juga melindungi dari mikrobia patogen (Kareb & Aider, 2020). Hu *et al.* (2019), melaporkan pada proses fermentasi yogurt, pembentukan biofilm *Lactobacillus plantarum* dapat meningkatkan umur simpan yogurt serta jumlah sel tersebut. Selain itu pembentukan biofilm juga meningkatkan stabilitas penyimpanan starter BAL *Streptococcus thermophilus* ST0 (Yao *et al.*, 2022). Biofilm *Lactobacillus brevis* KA2 and *L. brevis* KB1 yang diisolasi dari kimchi menunjukkan sifat antibakteri patogen terhadap *S. aureus* dan *E. coli*. Biofilm kedua BAL tersebut juga toleran terhadap pH 2,5, garam empedu 0,3% dan daya rekat kuat (Solichah *et al.*, 2022). Aksi biofilm BAL terhadap penghambatan mikrobia patogen terjadi melalui 2 mekanisme. Mekanisme pertama terjadi kompetisi nutrisi dan ruang,

sedangkan mekanisme kedua terjadi karena kandungan senyawa antimikroba biofilm BAL (Gomez *et al.*, 2016; Jalilsood *et al.*, 2015).

Biofilm LAB juga dapat digunakan sebagai adsorben biologis pendetoksifikasi mikotoksin pada bahan makanan yang dihasilkan beberapa fungi genus *Penicillium*, *Fusarium* dan *Aspergillus*. (Muhialdin *et al.*, 2020). Assaf *et al.* (2019) berhasil melakukan detoksifikasi aflatoksin M1 (AFM1) dalam susu menggunakan biofilm *L. rhamnosus* GG.

Hadirin yang saya hormati

BAL Asidofilik Sebagai Kultur Starter Fermentasi Makanan

Jenis makanan fermentasi tradisional di Indonesia sangat beragam dan khas, khususnya yang melibatkan aktivitas BAL. Produk makanan fermentasi tersebut umumnya dibuat dengan memanfaatkan substrat yang cukup melimpah di wilayah tersebut, meliputi bahan hewani (susu, ikan) dan bahan nabati (buah, sayuran dan ubi kayu). Produk makanan fermentasi tradisional tersebut sampai saat ini masih banyak yang diproses secara spontan dengan memanfaatkan BAL pada substrat dan belum distandarisasi proses serta kualitas hasilnya.

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam upaya untuk mendapatkan BAL asidofilik unggul sebagai kultur starter pada proses fermentasi, sehingga akan diperoleh produk terstandarisasi baik proses maupun kualitas. Hutajulu *et al.* (2021) melaporkan dua strain unggul *Enterococcus faecalis* F14IS3 dan *E. faecalis* F6IS berperan dalam proses fermentasi singkong serta mempunyai aktivitas β -glukosidase dan tanase tinggi. Selama proses fermentasi, tanase dan β -glukosidase akan menghidrolisis sianogen dan tanin pada singkong, sehingga rasa tidak enak dan aroma menyengat tanin serta racun sianogen menjadi hilang. Kedua strain tersebut juga dapat digunakan sebagai starter dalam fermentasi substrat lain seperti sayuran, buah-buahan, dan kacang-kacangan. Huang *et al.*, (2023) juga telah mendapatkan 17 strain *Lactococcus lactis* unggul sebagai starter kultur fermentasi susu nabati yaitu dari bahan kacang-kacangan. Selama proses fermentasi strain tersebut dapat memproduksi asetoin/diasetil dan eksopolisakarida, sehingga meningkatkan tekstur, aroma dan rasa produk fermentasi. Strain tersebut juga dapat menghidrolisis sukrosa

dari substrat kacang- kacangan dan memfermentasi menjadi asam laktat. Kemampuan hidrolisis pada strain juga dibuktikan dengan terdeteksi gene *sacR*, *sacA*, *sacB* dan *sacK* yang mengkode sukrase.

Hadirin yang saya hormati

Bakteri Pereduksi Sulfat Asidofilik

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) merupakan kelompok bakteri yang dapat menggunakan sulfat (SO_4^{2-}), tiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), serta sulfit (SO_3^{2-}) sebagai akseptor elektron terakhir dan senyawa organik sebagai donor elektron terakhir dalam mendapatkan energi (Li *et al.*, 2019). Beberapa BPS tertentu menggunakan akseptor elektron terakhir berupa nitrat, nitrit dan besi (Muyzer & Stams, 2008). Sulfat, tiosulfat dan sulfit akan direduksi menjadi sulfida (dalam bentuk H_2S , HS^- , dan S_2^-) serta unsur belerang. Senyawa organik dioksidasi menjadi asam asetat, bikarbonat, dan/atau karbon dioksida. Selama proses reaksi tersebut, sulfida yang dihasilkan dapat bereaksi dengan logam terlarut, seperti Mn, Fe, Zn, Cr dan membentuk presipitat logam, sehingga seringkali dimanfaatkan dalam proses remediasi limbah yang mengandung logam (Kiran *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2024; Xu & Chen, 2020). Pada ekosistem, bakteri pereduksi sulfat berperan penting dalam siklus biogeokimia baik siklus karbon dan siklus sulfur. Bakteri tersebut juga berkontribusi dalam oksidasi bahan organik, produksi sulfit, sekaligus pengendapan logam terlarut pada ekosistem air (Ding *et al.*, 2024).

Kelompok BPS dapat ditemukan dan diisolasi pada hampir seluruh ekosistem di seluruh bagian bumi yang mengandung sulfat dan rendah oksigen, bahkan pada area ekstrem seperti kawasan *hydrothermal*, pemandian belerang, rawa, kutub, area pertambangan, bahkan saluran pencernaan hewan dan kotoran ternak (Andriyanto *et al.*, 2020; Barton & Hamilton, 2007; Retnaningrum & Wilopo, 2017; Simate & Ndlovu, 2014; Syawaluddin & Retnaningrum, 2022).

Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati

Keragaman Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) Asidofilik

Barton & Hamilton (2007) telah mengidentifikasi BPS secara polifasik terdiri 119 spesies dengan 39 genera dan 3 filum BPS.

Berdasarkan kemampuan degradasi senyawa organik, BPS dapat dibagi menjadi dua kategori. Kategori pertama merupakan BPS yang dapat mendegradasi senyawa organik secara sempurna menjadi CO₂. Kategori kedua merupakan BPS yang mendegradasi senyawa organik secara tidak sempurna menjadi asam asetat (Zhang *et al.*, 2022).

Gen *dissimilatory sulfite reductase (dsrAB)* pada BPS merupakan gen kunci yang bertanggungjawab pada tahap akhir reaksi reduksi sulfat menjadi sulfida. Gen *dsrAB* tersebut akan mengkode protein penyusun enzim *Dissimilatory sulfite reductase (Dsr)* yang mengkatalisis proses reduksi sulfat tersebut. Gen tersebut secara spesifik hanya ditemukan pada BPS dan telah diisolasi dengan ukuran sebesar 1,9 Kbp serta bersifat *conserved*, sehingga gen *dsrAB* dapat digunakan sebagai gen marker untuk menganalisis keragaman dan aktivitas BPS pada suatu sistem (Ferreira *et al.*, 2022; Gao *et al.*, 2022).

Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati

Bakteri Pereduksi Sulfat Asidofilik Sebagai Agen Bioremediator Polutan

Karena kemampuan BPS mereduksi sulfat dan mengubah logam terlarut menjadi bentuk presipitat, serta menggunakan senyawa organik sebagai donor elektron terakhir, bakteri tersebut sangat bermanfaat digunakan dalam proses bioremediasi limbah mengandung logam maupun sulfat. Beberapa limbah industri umumnya mengandung sulfat dan logam tinggi, termasuk juga limbah air asam tambang yang banyak ditemukan di area industri tambang (Andriyanto *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2020; Retnaningrum & Wilopo, 2017; Syawaluddin & Retnaningrum, 2022; Wang *et al.*, 2024). Pada beberapa tahun terakhir, strain BPS ditemukan juga dapat melakukan biodegradasi polutan organik yaitu hidrokarbon, senyawa aromatik, dan senyawa rekalsitran (Dhar *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2021)

Efisiensi dan keberhasilan bioremediasi polutan dapat ditingkatkan melalui pembuatan desain bioreaktor dengan parameter lingkungan dan kondisi sistem terkontrol, sehingga meningkatkan aktivitas bioremediasi BPS. Beberapa parameter lingkungan dan kondisi sistem bioreaktor yang mempengaruhi efisiensi dan keberhasilan bioremediasi polutan meliputi pH, suhu, rasio COD:SO₄²⁻,

donor elektron, *oxidation reduction potential* (ORP), *hydraulic retention time* (HRT) dan kelompok bakteri sintrofik atau kompetitif lainnya. Proses bioremediasi limbah air asam tambang oleh BPS dapat dioptimalkan dengan pengaturan konsentrasi karbon organik terlarut minimal 10 mg/L. Karena umumnya limbah air asam tambang miskin karbon organik, aktivitas BPS dalam bioremediasi dapat ditingkatkan dengan penambahan donor elektron sebagai sumber karbon. Selain itu nilai rasio COD:SO₄²⁻ dalam bioreaktor diatur lebih dari 0,67. Pemilihan karbon organik sebagai donor elektron pada bioremediasi BPS juga perlu dipertimbangkan yaitu tipe BPS dalam merombak karbon organik dan biaya penyediaan sumber karbon, sehingga proses bioremediasi efektif dan efisien (Ayangbenro *et al.*, 2018).

Sejumlah penelitian berhasil meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas bioremediasi BPS dengan menambahkan beberapa limbah organik berupa serbuk gergaji, jerami, serpihan kayu, gambut, limbah pabrik kertas, kotoran ternak, molase dan khitin (Rodriguesa *et al.*, 2020; Smyntek *et al.*, 2017; Syawaluddin & Retnaningrum, 2022; Westereng *et al.*, 2015).

Selain penambahan limbah organik, teknik imobilisasi sel BPS pada permukaan material penyangga dapat meningkatkan proses bioremediasi BPS dalam bioreaktor. Akibat kondisi ekstrem terpapar polutan, sel BPS berubah dari fase planktonik menjadi fase biofilm dan menempel pada permukaan material penyangga. Biofilm BPS memiliki stabilitas dan metabolisme yang lebih tinggi daripada planktonik BPS, sehingga proses bioremediasi meningkat. Beberapa material penyangga untuk imobilisasi sel BPS antara lain berupa polimer meliputi *polyvinyl alcohol* (PVA) dan *sodium alginate* (SA) serta material geologi yaitu zeolit (Retnaningrum & Wilopo, 2017; Zhang *et al.*, 2018; Zhang & Wang, 2016).

Pencitraan SEM konsorsium BPS pada permukaan zeolit dengan jelas menunjukkan pembentukan biofilm BPS pada zeolit. Analisis EDX mengkonfirmasi bahwa polutan logam dipresipitasi BPS sebagai logam-sulfida (Andriyanto *et al.*, 2020; Retnaningrum & Wilopo, 2017; Syawaluddin & Retnaningrum, 2022).

Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati

Bakteri Pengoksidasi Sulfur Asidofilik Sebagai Agen *Bioleaching*

Bakteri Pengoksidasi Sulfur (BOS) kemolitotrofik asidofil mampu mereduksi senyawa sulfur anorganik seperti sulfida, sulfur, thiosulfat dan elemental sulfur juga senyawa sulfur organik (*methanethiol* dan *dimetilsulfida*) untuk mendapatkan energi. Bakteri pengoksidasi sulfur menggunakan CO₂ sebagai sumber karbon untuk sintesis komponen penyusun sel. Anggota sel BOS tersebut bersifat gram negatif dan tidak berpigmen (Pokorna & Zabranska, 2015). Beberapa anggota genus BOS antara lain *Acidithiobacillus*, *Acidiphilium*, *Acidiphilum*, *Sulfobacillus* dan *Sulfolobus* (Ghosh *et al.*, 2016; Jang & Valix 2017; Jalali *et al.*, 2019; Huynh *et al.*, 2019; Retnaningrum & Wilopo 2019).

Pada ekosistem, BOS berperan sangat penting pada desulfurisasi biologis, dan telah banyak diterapkan dalam *bioleaching* untuk proses ekstraksi logam. Ekstraksi logam terjadi karena BOS menghasilkan asam sulfat dan bereaksi dengan proton serta mengoksidasi besi menjadi ion feri. Proses *bioleaching* tersebut ditandai dengan perubahan bijih logam dari fase padat ke fase cair. Menurut Dopson & Holmes (2014), BOS aktif melakukan *bioleaching* pada pH yang rendah (pH <3).

Proses *bioleaching* lebih efektif apabila menggunakan kultur campuran mikroorganisme sinergis berupa mikroorganisme heterotrofik asidofilik dan BOS autotrofik asidofilik. Efek sinergis terjadi karena campuran metabolit asam organik dan asam sulfat yang masing-masing dihasilkan oleh mikroorganisme heterotrofik asidofilik dan BOS autotrofik. Kedua jenis metabolit saling sinergis meningkatkan efisiensi *bioleaching* logam. Hasil analisis *electrostatic force microscopy* (EFM) dan *atomic force microscopy* (AFM) terbukti kedua kultur campuran mikroorganisme tersebut menghasilkan lebih banyak polimer ekstraseluler daripada monokultur (Corbett *et al.*, 2018; Fathollahzadeh *et al.*, 2018).

Penggunaan tipe bioreaktor tertentu dan juga optimasi juga akan meningkatkan hasil *bioleaching* bijih logam. Optimasi proses *bioleaching* meliputi jumlah dan jenis bijih mangan serta kondisi lingkungan (pH, suhu) terbukti berhasil meningkatkan ekstraksi logam

(Retnaningrum & Wilopo 2019; Prasidya *et al.*, 2019). Beberapa tipe bioreaktor telah berhasil digunakan proses *bioleaching* bijih logam antara lain *rotating drums*, *stirred tanks* dan *fluidized bed reactors* (Adetunji *et al.*, 2023; Roberto & Schippers, 2022).

Penambahan katalis berupa *biochar* juga terbukti meningkatkan reaksi *bioleaching* BOS. *Biochar* dapat memfasilitasi transfer elektron dan meningkatkan reaksi redoks. Material *biochar* tersebut juga mempunyai porositas tinggi dan sesuai untuk pelekatan biomasa BOS selama proses *bioleaching*. Material *biochar* tersebut juga murah dan melimpah yang dapat diperoleh dari proses pirolisis cangkang limbah kelapa sawit, sehingga pemanfaatan untuk *bioleaching* bijih logam sangat efisien (Kadivar *et al.*, 2021; Retnaningrum *et al.*, 2021)

Bapak, Ibu dan para hadirin yang saya hormati

Bakterial Biofilm Resistome

Biofilm bakteri mempunyai struktur dan matriks spesifik. Matriks biofilm terdiri dari *extracellular polymeric substances* (EPS), DNA ekstraseluler (eDNA), protein, lipid, dan polisakarida (Soares *et al.*, 2019). Komponen EPS pada biofilm bakteri berperan penting dalam imobilisasi dan kolonisasi sel pada permukaan partikel biogenik maupun inorganik serta interaksi antara spesies bakteri yang berbeda. Interaksi tersebut memberikan beberapa sifat metabolik, fisiologis dan genetik pada biofilm bakteri yang spesifik. Sifat spesifik tersebut berupa pertumbuhan sel tinggi, toleransi yang tinggi terhadap antibiotik dan stres eksogen (biosida, desinfektan), serta memfasilitasi transfer gen (Balcazar *et al.*, 2015). Akumulasi patogen dalam biofilm terutama yang resisten terhadap antibiotik, merupakan permasalahan kesehatan masyarakat yang perlu mendapat perhatian.

Beberapa penelitian melaporkan peran biofilm sebagai sumber *antibiotic resistant bacteria* (ARB) dan *antibiotic resistance gene* (ARG) pada beberapa aspek antara lain sistem penyediaan air minum, penyediaan daging ayam; nasofaring manusia, saluran kemih manusia, saluran pencernaan manusia, limbah rumah sakit dan domestik (Flynn & Dooley, 2021; Ginting *et al.*, 2021; Kurniati *et al.*, 2022; Labella *et al.*, 2021 Nadifah *et al.*, 2022), sehingga biofilm merupakan sumber penyebaran ARB dan ARG pada berbagai aspek tersebut.

Beberapa *bacterial biofilm resistome* yang bersifat patogen oportunistik telah diidentifikasi dan dikarakterisasi berupa spesies *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii* dan *Pseudomonas aeruginosa*, (Liu *et al.*, 2016; Shamsizadeh *et al.*, 2017). Selain itu *bacterial biofilm resistome* yang bersifat patogen juga telah diidentifikasi dan dikarakterisasi berupa spesies *Streptococcus pneumoniae* dan *Haemophilus influenzae* (Flynn & Dooley, 2021).

Karena kepadatan dan kedekatan serta kontak antar sel yang besar dalam biofilm, sangat dimungkinkan adanya transfer material genetik antar anggota komunitas bakteri yang besar. Transfer material genetik tersebut berupa *horizontal gene transfer* (HGT), *mobile genetic element* (MGE), termasuk plasmid, transposon, dan bakteriofag, sehingga berkontribusi terhadap munculnya dan sirkulasi resistensi antibiotik pada berbagai aspek. Mekanisme akuisisi *mobile genetic element* yang menyimpan *antibiotic resistant bacteria* melalui *horizontal gene transfer* meliputi proses transduksi dan konjugasi (Munita & Arias, 2016).

Pertumbuhan biofilm dipengaruhi oleh beberapa faktor penting meliputi kondisi fisik (pH, suhu), komposisi nutrisi dan sifat material pelekatan biofilm. Konsentrasi karbon organik yang digunakan untuk disimilasi dan asimilasi, serta fosfor dan nitrogen untuk metabolisme sel bakteri merupakan sumber nutrisi yang diperlukan oleh biofilm tersebut (Liu *et al.*, 2016). Sumber, peran dan penyebaran serta dampak *bacterial biofilm resistome* dalam aspek kehidupan manusia sangat berguna dalam pengembangan strategi pengendalian untuk membatasi atau mengurangi bakteri tersebut.

Penutup

Berdasarkan paparan yang telah saya sampaikan, dapat dipahami bahwa mikroorganisme ekstremofil memiliki potensi yang sangat luas untuk diaplikasikan sebagai agensia maupun produk inovatif yang berguna untuk kesejahteraan manusia.

Mikroorganisme ekstremofil sangat beragam baik secara seluler, metabolisme dan genetik, diharapkan dapat dikembangkan sebagai agensia atau produk inovatif sehingga dapat berkontribusi

dalam kesejahteraan manusia. Indonesia yang terdiri dari kepulauan yang menyebar dari Sabang sampai Merauke dengan keunikan masing-masing menyimpan kekayaan sumber mikroorganisme ekstremofil lokal yang sangat potensial yang selanjutnya akan bermanfaat bagi bangsa Indonesia khususnya dan dunia pada umumnya.

Hadirin yang saya muliakan dan saya hormati

Sebagai akhir kata, perkenankan saya mengucapkan syukur Alhamdulillah kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar dan semoga saya diberi kekuatan untuk memegang amanah dalam jabatan baru ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada:

1. Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi RI atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Mikrobiologi.
2. Rektor, Dewan Guru Besar dan Senat Akademik Universitas Gadjah Mada yang telah menyetujui dan mengusulkan jabatan Guru Besar.
3. Dekan, para wakil Dekan, Ketua Departemen Biologi Tropika, dan Senat Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada yang telah menyetujui dan mengusulkan kenaikan jabatan Guru Besar.
4. SDM Universitas dan Fakultas yang telah membantu memproses pengusulan kenaikan jabatan Guru Besar

Saya ucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Para guru saya di TK Pertiwi Simo, SDN 1 Simo, SMPN 8 Surakarta dan SMAN I Surakarta
2. Prof. Dr. Jusuf Subagja selaku dosen pembimbing akademik, Drs. Sri Juni Nastiti selaku pembimbing seminar, almarhum Drs. Badjra Sidemen selaku pembimbing skripsi.
3. Prof. Dr. Takashi Asaeda dan Prof. Dr. Takeshi Fujino selaku dosen pembimbing tesis di Saitama University, Jepang.
4. Prof. Irfan. D. Prijambada, M. Eng., Ph. D., Prof. Sukarti Moeljopawiro, M.Sc., Ph. D., Prof. Dr. Budi. S. Daryono, M. Agr.

Sc., selaku Promotor dan Ko-Promotor saat melakukan riset dan penyusunan disertasi di Prodi S3 Biologi UGM, serta Prof. Hiroyuki Ohta, Ph. D yang telah menerima dan memberi kesempatan melakukan riset pada beberapa laboratorium di College of Agriculture Department, Ibaraki University, Jepang.

Rasa terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Issirep Sumardi, sebagai dekan saat itu yang telah menerima dan membimbing saya sebagai dosen di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi. Selanjutnya terima kasih atas bimbingan, dukungan, dan motivasi untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang lebih tinggi dari para dosen saya khususnya di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi UGM Prof. Dra. A. Endang Sutariningsih, M.Sc., Ph.D., Prof. Drs. Langkah Sembiring, M.Sc., Ph.D., dan almarhumah Dra Theresia Tri Suharni.

Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D. Eng. dan Prof. Dr. Ir. Bambang Agus Kironoto selaku Rektor dan Wakil Rektor Bidang Sumber Daya Manusia dan Aset masa bakti 2017-2022 atas kebijakan, kebaikan dan dukungan kepada keluarga saya. Rasa hormat dan terima kasih saya sampaikan juga kepada Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D atas semua kebaikan dan dukungan kepada keluarga saya..

Terima kasih kepada Prof. Dr. Eng. Ir. Wahyu Wilopo ST, M.Eng., IPM, Dr. rer. nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM dan Dr. rer. nat. Ir. Doni Prakasa Eka Putra, S.T., M.T., IPM atas kebaikan dan kerjasama dalam penelitian.

Kepada seluruh mahasiswa bimbingan skripsi, tesis dan disertasi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu atas kerjasama dan dukungannya.

Kepada Prof. Dr. Budi Setiadi Daryono, M.Agr., Prof. Dr. Kumala Dewi MSc.St., dan Prof. Dr. Endang Semiarti M.S., terhadap koreksi naskah ini.

Sungguh sebuah kebahagiaan dan terima kasih yang tak terhingga untuk kedua orang tua saya, Almarhum Ayahanda S. Hadi Sucipto dan Almarhumah Ibunda Warsiti yang telah membesarkan, mendidik saya dengan penuh kasih sayang, memberikan doa dan dukungan dalam mengembangkan karier sebagai dosen maupun dalam mengatasi berbagai rintangan kehidupan. Terima kasih juga saya

ucapkan kepada kakak saya Dra Woro Budi Hastuti, Tatik Herawati, B. A., Trijatmi Sulistyowati, B. A., Drs Budi Purwanto, M. Psi., Prof. Dr. Ir. Budi Prasetyo Widyobroto, DESS., DEA., IPU., ASEAN Eng, Dra Retno Purwanti Kushadiningsih, M. Com., Dra Mardiyati Kuncoro Dewi, Agung Pratomo Hadi, S. H., M. Kn., Tejo Kusworo Hadi S.E., adik saya Nur Dewi Handayani, S. Sos., Wuri Riyanti Nur Utami., Tien Harjanti Mulatsari, S.E., dan Edi Wulandari, S.E yang selalu membantu dan mendukung dalam segala hal. Terima kepada kakak sepupu saya dr. Hartono, Sp.M atas nasehat untuk selalu belajar serta mengembangkan ilmu.

Kepada anak-anak terkasih Farah Athaya Harukirana, S. T, Shin Salsabila Harukirana, S. Ked dan Aozora Neutriana Harukirana, terima kasih atas kasih sayang, dukungan dan pengorbanannya. Semoga Allah selalu meridhoi dan memberikan hidayah-Nya untuk masa depan yang terbaik bagi anak-anak saya, agar berguna bagi sesama.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh panitia Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar UGM ini atas dukungan dan kinerjanya sehingga acara pengukuhan ini dapat berjalan baik dan lancar.

Kepada hadirin sekalian, saya mengucapkan terima kasih atas kehadiran, keikhlasan dan kesabarannya untuk mengikuti acara pidato pengukuhan guru besar ini. Apabila ada kekurangan dan kesalahan dalam penyampaian saya mohon maaf sebesar-besarnya. Mohon do'a restu dari hadirin sekalian agar saya diberikan kemudahan dan kemampuan dalam menjalankan tugas dan tanggung jawab sebagai guru besar Ilmu Mikrobiologi di Universitas Gadjah Mada. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kasih sayang, taufik dan hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin yaa robbal 'alamin.

Sekian, *Wassalaamu 'alaikum warrahmatullaahi wabarakaatuh.*

DAFTAR PUSTAKA

- Abarquero, D., Renes, E., Fresno, J. M. & Tornadijo, M. E. 2022. Study of exopolysaccharides from lactic acid bacteria and their industrial applications: a review. *International Journal Food Science and Technology*. 57: 16-26. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15227>.
- Acedo, J. Z., Chiorean, S., Vederas, J. C. & van Belkum, M. J. 2018. The expanding structural variety among bacteriocins from Gram-positive bacteria. *FEMS Microbiology Review*. 42(6): 805-828. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy033>.
- Adetunji, A. I., Oberholster, P. J. & Erasmus, M. 2023. Bioleaching of metals from E-waste using microorganisms: a review. *Minerals* 13(6): 828. <https://doi.org/10.3390/min13060828>.
- Alvarez-Sieiro, P., Montalban-L ´opez, ´M., Mu, D. & Kuipers, O. P. 2016. Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 100: 2939-2951. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7343-9>.
- Andriyanto, Wilopo, W. & **Retnaningrum, E.** 2020. The performance of a fixed-bed anaerobic bioreactor using sulfate-reducing bacterial consortium from Sikidang Crater sediments. *Indonesian Journal of Chemistry*. 20(1): 190-199. <https://doi.org/10.22146/ijc.45164>.
- Assaf, J. C., El Khoury, A., Chokr, A., Louka, N. & Atoui, A. A. 2019. Novel method for elimination of aflatoxin M1 in milk using *Lactobacillus rhamnosus* GG biofilm. *International Journal of Dairy Technology*. 72: 248-56. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12578>.
- Ayangbenro, A. S., Olanrewaju, O. S. & Babalola, O. O., 2018. Sulfate-reducing bacteria as an effective tool for sustainable acid mine

- bioremediation. *Frontiers in Microbiology*. 9: 1986. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01986>.
- Babu, P., Chandel, A. K. & Singh, O. V. 2015. *Extremophiles and Their Applications in Medical Processes*, Springer Briefs in Microbiology. pp. 9-23.
- Balcazar, J. L., Subirats, J. & Borrego, C. M. 2015. The role of biofilms as environmental reservoirs of antibiotic resistance. *Frontiers in Microbiology*. 6: 1216. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01216>.
- Barton, L. L. & Hamilton, W. A. 2007. *Sulphate-reducing Bacteria: Environmental and Engineered Systems*. Cambridge University Press
- Becker, J. & Wittmann, C. 2020. Microbial production of extremolytes- High-value active ingredients for nutrition, health care, and well-being. *Current Opinion in Biotechnology*. 65: 118-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2020.02.010>.
- Bintsis, T. 2018. Lactic acid bacteria as starter cultures: an update in their metabolism and genetics. *AIMS Microbiology*. 4(4): 665-684. <http://dx.doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665>.
- Cavera, V. L., Arthur, T. D., Kashtanov, D. & Chikindas, M. L. 2015. Bacteriocin and their position in the next wave of conventional antibiotics. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 46(5): 494-501. <http://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2015.07.011>.
- Corbett, M. K., Eksteen, J. J., Niu, X.-Z. & Watkin, E. L. J. 2018. Syntrophic effect of indigenous and inoculated microorganisms in the leaching of rare earth elements from Western Australian monazite. *Research in Microbiology*. 169(10): 558-568. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2018.05.007>.
- Daba, G. M., Elnahas, M. O. & Elkhateeb, W. A. 2021. Contributions of exopolysaccharides from lactic acid bacteria as biotechnological tools in food, pharmaceutical, and medical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 173: 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.110>.
- Dhar, K., Panneerselvan, L., Subashchandrabose, S. R., Venkateswarlu, K. & Megharaj, M. 2022. Anaerobic degradation of naphthalene

and pyrene by sulfate-reducing cultures enriched from former manufactured gas plant soil. *Microbial Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02042-4>.

- Ding, X., Qian, L., Jiang, W., Liu, H., Yiming, A., Zha, M., Qu, J. & Jiang, Z. 2024. Review of bacterial sulfate reduction in lacustrine deposition and its identification in the Jimsar Sag, Junggar Basin. *Marine and Petroleum Geology*. 163: 106801. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2024.106801>.
- Fathollahzadeh, H., Hackett, M. J., Khaleque, H. N., Eksteen, J. J., Kaksonen, A. H. & Watkin, E. L. J., 2018. Better together: potential of co-culture microorganisms to enhance bioleaching of rare earth elements from monazite. *Bioresource Technology Reports*. 3: 109-118. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2018.07.003>
- Ferreira, D., Barbosa, A. C., Oliveira, G. P., Catarino, T., Venceslau, S. S. & Pereira, I. A. 2022. The DsrD functional marker protein is an allosteric activator of the DsrAB dissimilatory sulfite reductase. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 119(4): e2118880119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2118880119>.
- Flynn, M. & Dooley, J. 2021. The microbiome of the nasopharynx. *Journal of Medical Microbiology*. 70: 001368. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001368>.
- Gao, H., Wang, C., Chen, J., Wang, P., Zhang, J., Zhang, B., Wang, R. & Wu, C. 2022. Enhancement effects of decabromodiphenyl ether on microbial sulfate reduction in eutrophic lake sediments: A study on sulfate-reducing bacteria using *dsrA* and *dsrB* amplicon sequencing. *Science of the Total Environment*. 843: 157073. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157073>.
- García, C., Rendueles, M. & Díaz, M. 2019. Liquid-phase food fermentations with microbial consortia involving lactic acid bacteria: a review. *Food Research International*. 119: 207-220. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.043>.
- Ghosh, S., Mohanty, S., Akcil, A., Sukla, L. B. & Das, A. P. 2016. A greener approach for resource recycling: Manganese bioleaching.

- Chemosphere*. 154: 628-639.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.028>.
- Giyatno, D. C. & **Retnaningrum, E.** 2020. Isolasi dan karakterisasi bakteri asam laktat penghasil eksopolisakarida dari buah kersen (*Muntingia calabura* L.). *Jurnal Sains Dasar*. 9 (2): 42-49.
<https://doi.org/10.21831/jsd.v9i2.34523>.
- Ginting, E. V., **Retnaningrum, E.** & Widiasih, D. A. 2021. Antibacterial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) and cinnamon (*Cinnamomum burmannii*) essential oil against extended-spectrum β -lactamase-producing bacteria. *Veterinary World*. 14(8): 2206-2211.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.2206-2211>.
- Gomez, N. C., Ramiro, J. M. P., Quecan, B. X. V. & de Melo Franco, B. D. G. 2016. Use of potential probiotic lactic acid bacteria (LAB) biofilms for the control of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, and *Escherichia coli* O157: H7 biofilms formation. *Front Microbiology*. 7: 1-15.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00863>
- Grover, S., Gupta, P., Kahlon, P. S., Goyal, S., Grover, A., Dalal, K., Sabeeha, S., Ehtesham, N. Z. & Hasnain, S. E. 2016. Analyses of methyltransferases across the pathogenicity spectrum of different mycobacterial species point to an extremophile connection. *Molecular BioSystems*. 12(5): 1615-25.
<http://dx.doi.org/10.1039/C5MB00810G>.
- Guiliani, N. & Jerez, C.A. 2000. Molecular cloning, sequencing, and expression of omp-40, the gene coding for the major outer membrane protein from the acidophilic bacterium *Thiobacillus ferrooxidans*. *Applied and Environmental Microbiology*. 66: 2318-2324.
<http://dx.doi.org/10.1128/AEM.66.6.2318-2324.2000>.
- Gupta, G.N., Srivastava, S., Khare, S. K. & Prakash, V. 2014. Extremophiles: an overview of microorganism from extreme environment. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*. 7 (2): 371-380. <http://dx.doi.org/10.5958/2230-732X.2014.00258.7>.

- Hu, K., Xu, D. & Chen, Y. 2020. An assessment of sulfate reducing bacteria on treating sulfate-rich metalladen wastewater from electroplating plant. *Journal of Hazardous Materials*. 393: 122376. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122376>.
- Hu, M. X., Li, J. N., Guo, Q., Zhu, Y. Q. & Niu, H. M. 2019. Probiotics biofilm-integrated electrospun nanofiber membranes: a new starter culture for fermented milk production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 67 (11): 3198-3208. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05024>.
- Huang, W., Dong, A., Pham, H. T., Zhou, C., Huo, Z., Watjen, A. P., Prakash, S., Bang-Berthelsen, C. H. & Turner, M. S. 2023. Evaluation of the fermentation potential of lactic acid bacteria isolated from herbs, fruits and vegetables as starter cultures in nut-based milk alternatives. *Food Microbiology*. 112: 104243. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104243>.
- Hutajulu, I. B. E., Kali Kulla, P. D. & **Retnaningrum, E.** 2021. Diversity of lactic acid bacteria isolated during fermentation of indigenous cassava obtained from Sumba, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas*. 22 (7): 2561-2570. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220703>.
- Huynh, D., Giebner, F., Kaschabek, S. R., Rivera-Araya, J., Levican, G., Sanda, W. & Schlömann, M. 2019. Effect of sodium chloride on *Leptospirillum ferriphilum* DSM 14647T and *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* DSM 9293T: Growth, iron oxidation activity, and bioleaching of sulfidic metal ores. *Minerals Engineering*. 138: 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.04.033>.
- Jalali, F., Fakhari, J. & Zolfaghari, A. 2019. Response surface modeling for lab-scale column bioleaching of low-grade uranium ore using a new isolated strain of *Acidithiobacillus ferridurans*. *Hydrometallurgy*. 185: 194-203. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.02.014>.
- Jalilsood, T., Baradaran, A., Song, A. A. L., Foo, H. L., Mustafa, S., Saad, W. Z., Yusoff, K. & Rahim, R. A. 2015. Inhibition of pathogenic and spoilage bacteria by a novel biofilm forming *Lactobacillus* isolate: a potential host for the expression of

- heterologous proteins. *Microbial Cell Factories*. 14(1): 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0283-8>.
- Jang, H. & Valix, M. 2017. Overcoming the bacteriostatic effects of heavy metals on *Acidithiobacillus thiooxidans* for direct bioleaching of saprolitic Ni laterite ores. *Hydrometallurgy*. 168: 21-25. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.08.016>
- Jeong, G-J., Khan, F., Tabassum, N. & Kim, Y-M. 2024. Cellular and physiological roles of sigma factors in *Vibrio* spp.: A comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 254: 127833. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127833>.
- Kadivar, S, Pourhossein, F. & Mousavi, S. M. 2021. Recovery of valuable metals from spent mobile phone printed circuit boards using biochar in indirect bioleaching. *Journal of Environmental Management*. 280: 111642. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111642>
- Kareb, O. & Aider, M., 2020. Quorum Sensing circuits in the communicating mechanisms of bacteria and its implication in the biosynthesis of bacteriocins by lactic acid bacteria: a review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 12(1): 5-17. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09555-4>.
- Kiran, M. G., Pakshirajan, K. & Das, G., 2017. Heavy metal removal from multicomponent system by sulfate reducing bacteria: mechanism and cell surface characterization. *Journal of Hazardous Materials*. 324, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.12.042>.
- Klaenhammer, T. R. 1993. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*. 12(1-3): 39-85. [https://doi.org/10.1016/0168-6445\(93\)90057-G](https://doi.org/10.1016/0168-6445(93)90057-G).
- Krishnamoorthi, R., Srinivash, M., Mahalingam, P. U., Malaikozhundan, B., Suganya, P. & Gurushankar, K. 2022. Antimicrobial, anti-biofilm, antioxidant and cytotoxic effects of bacteriocin by *Lactococcus lactis* strain CH3 isolated from fermented dairy products-An in vitro and in silico approach. *International Journal of Biological Macromolecules*. 220: 291-306. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.087>

- Kumar, S., Dangi, A. K., Shukla, P., Baishya, D. & Khare, S. K. 2019. Thermozyms: adaptive strategies and tools for their biotechnological applications. *Bioresource Technology*. 278: 372-382. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.088>.
- Kurniati, E., **Retnaningrum, E.**, Wijayanti, N. & Wibawa, T. 2022. The diversity and susceptibility against antibiotics of *Salmonella* spp. clinical isolates from Yogyakarta, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231134>.
- Li, J., Cai, M. H., Miao, Y., Luo, G. & Li, A. M., 2019. Bacterial community structure and predicted function in an acidogenic sulfate-reducing reactor: effect of organic carbon to sulfate ratios. *Bioresource Technology*. 293: 122020 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122020>.
- Li, M., Yao, J., Wang, Y., Sunahara, G., Duran, R., Liu, J., Liu, B., Liu, H., Ma, B., Li, H., Pang, W. & Cao, Y. 2024. Contrasting response strategies of sulfate-reducing bacteria in a microbial consortium to As³⁺ stress under anaerobic and aerobic environments. *Journal of Hazardous Materials*. 465: 133052. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133052>.
- Liu, S., Gunawan, C., Barraud, N., Rice, S. A., Harry, E. J. & Amal, R. 2016. Understanding, monitoring, and controlling biofilm growth in drinking water distribution systems. *Environmental Science and Technology*. 50: 8954-8976. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00835>.
- Liu, L., Wu, R., Zhang, J. & Li, P. 2018. Overexpression of luxS promotes stress resistance and biofilm formation of *Lactobacillus plantarum* L-ZS9 by regulating the expression of multiple genes. *Front Microbiology*. 9: 1-11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02628>.
- Mgomi, F. C., Yuan, L., Chen, C., Zhang, Y. & Yang Z. 2021. Bacteriophages: a weapon against mixed-species biofilms in the food processing environment. *Journal of Applied Microbiology*. 1-15. <https://doi.org/10.1111/jam.15421>. 00.
- Moradi, M., Molaei, R. & Guimarães, J. T. 2021. A review on preparation and chemical analysis of postbiotics from lactic acid

- bacteria. *Enzyme and Microbial Technology*. 143: 109722. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109722>.
- Muhalidin, B. J., Saari, N. & Hussin, A. S. 2020. Review on the biological detoxification of mycotoxins using lactic acid bacteria to enhance the sustainability of foods supply. *Molecules*. 25(11): 2655. <https://doi.org/10.3390/molecules25112655>.
- Muyzer, G. & Stams, A. J., 2008. The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria. *Nature Reviews Microbiology*. 6(6): 441-454. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1892>.
- Nadifah, F., Artama, W. T., Daryono, B. S. & **Retnaningrum, E.** 2022. Characterization of the urogenital microbiome in patients with urinary tract infections. *Indonesian Journal of Biotechnology*. 27(3): 142-150. <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.69212>.
- Nes, I. F., Diep, D. B., Havarstein, L. S., Brurberg, M. B., Eijsink, V. & Holo, H. 1996. Biosynthesis of bacteriocins in lactic acid bacteria. *Antonie Leeuwenhoek*. 70(2-4): 113-28. <https://doi.org/10.1007/BF00395929>.
- Nurhikmayani, R., Daryono, B. S. & **Retnaningrum, E.** 2019. Isolation and molecular identification of antimicrobial- producing Lactic Acid Bacteria from chao, South Sulawesi (Indonesia) fermented fish product. *Biodiversitas*. 20 (4): 1063-1068. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200418>.
- O'Connor, P. M., Kuniyoshi, T. M., Oliveira, R. P. S., Hill, C., Ross, R. P. & Cotter, P. D. 2020. Antimicrobials for food and feed; a bacteriocin perspective. *Current Opinion in Biotechnology*. 61: 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.023>.
- Plessas, S., Nouska, C., Karapetsas, A., Kazakos, S., Alexopoulos, A., Mantzourani, I., Chondrou, P., Fournomiti, M., Galanis, A. & Bezirtzoglou, E. 2017. Isolation, characterization and evaluation of the probiotic potential of a novel *Lactobacillus* strain isolated from Feta-type cheese. *Food Chemistry*. 226: 102:108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.052>.
- Pokorna, D. & Zabranska, J. 2015. Sulfur-oxidizing bacteria in environmental technology. *Biotechnology Advances*. 33: 1246-1259. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.007>.

- Prasidya, D. A., Wilopo, W., Warmada, I. W. & **Retnaningrum, E.** 2019. Optimization of manganese bioleaching activity and molecular characterization of indigenous heterotrophic bacteria isolated from the sulfuric area. *Biodiversitas*. 20(7): 1904-1909. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200716>.
- Retnaningrum, E.** & Wilopo, W. 2019. Pyrolusite bioleaching by an indigenous *Acidithiobacillus* sp KL3 isolated from an Indonesian sulfurous river sediment. *Indonesian Journal of Chemistry*. 19(3): 712-719. <https://doi.org/10.22146/ijc.38898>.
- Retnaningrum, E.**, Yossi, T., Nur'azizah, R., Sapalina, F. & Kulla, P. D. K. 2020. Characterization of a bacteriocin as biopreservative synthesized by indigenous lactic acid bacteria from dadih soya traditional product used in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(9): 4192-4198. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210933>.
- Retnaningrum, E.**, Wilopo, W. & Warmada, I. W. 2021. Enhancement of manganese extraction in a biochar-enriched bioleaching column with a mixed culture of indigenous bacteria. *Biodiversitas*. 22(5): 2949-2955. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220560>.
- Ridwan, R., **Retnaningrum, E.**, Ilmi, M. & Daryono, B. S. 2019. Identification and antimicrobial activity of lactic acid bacteria from the digestive tract of eels (*Monopterus albus*). *Asian Journal of Tropical Biotechnology*. 16 (1): 5-10. <https://doi.org/10.13057/biotek/c160102>.
- Roberto, F. F. & Schippers, A. 2022. Progress in bioleaching: part B, applications of microbial processes by the minerals industries. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 106(18): 5913-5928. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12085-9>.
- Rodriguesa, C., Núñez-Gómez, D., Dal Magro Follmann, H. V., Silveiraa, D. D., Nagel-Hassemara, M. E., Lapollia, F. R. & Lobo-Recioa, M. Á. 2020. Biostimulation of sulfate-reducing bacteria and metallic ions removal from coal mine-impacted water (MIW) using shrimp shell as treatment agent. *Journal of Hazardous Materials*. 398: 122893. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122893>.

- Sapalina, F. & **Retnaningrum, E.** 2020. Molecular characterization of lactic acid bacteria producing edible biofilm isolated from kimchi. *Biodiversitas*. 21(3): 962-968. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210315>.
- Shamsizadeh, Z., Nikaeen, M., Esfahani, B. N. B. N., Mirhoseini, S.H.S.H., Hatamzadeh, M. & Hassanzadeh, A., 2017. Detection of antibiotic resistant *Acinetobacter baumannii* in various hospital environments: potential sources for transmission of acinetobacter infections. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 22: 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12199-017-0653-4>.
- Simate, G. S. & Ndlovu, S. 2014. Acid mine drainage: challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2(3): 1785-1803. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.07.021>
- Smyntek, P. M., Wagner, R. C., Krometis, L. A., Sanchez, S. C., Wynn-Thompson, T. & Strosnider, W. H. J., 2017. Passive biological treatment of mine water to reduce conductivity: potential designs, challenges, and research needs. *Journal of Environmental Quality*. 46(1): 1-9. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.06.0216>.
- Soares, A., Roussel, V., Pestel-Caron, M., Barreau, M., Caron, F., Bouffartigues, E., Chevalier, S. & Etienne, M. 2019. Understanding ciprofloxacin failure in *Pseudomonas aeruginosa* biofilm: persister cells survive matrix disruption. *Frontiers in Microbiology*. 10: 2603. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02603>.
- Solichah, A., Sapalina, F. & **Retnaningrum, E.** 2022. Antimicrobial and physicochemical characterization of *Lactobacillus brevis* biofilm as a biopreservative agent. *Malaysian Journal Microbiology* 18 (1): 93-104. <https://doi.org/10.21161/mjm.211248>.
- Syawaluddin, L, O. M. & **Retnaningrum, E.** 2022 Chromium bioremediation of batik industrial wastewater using a consortium of sulfate-reducing bacteria from forested wetland soil. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 9(3): 3511-3523. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3511>.
- Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y. & Geng, W. 2021. Metabolism characteristics

- of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 9: 1-10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612285>.
- Wang, H., Zhang, M., Dong, P., Xue, J. & Liu, L. 2024. Bioremediation of acid mine drainage using sulfate-reducing wetland bioreactor: Filling substrates influence, sulfide oxidation and microbial community. *Chemosphere*. 349: 140789. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140789>.
- Westereng, B., Cannella, D., Wittrup, Agger, J., Jørgensen, H., Larsen Andersen, M., Eijsink, V. G. H. & Felby, C. 2015. Enzymatic cellulose oxidation is linked to lignin by long- range electron transfer. *Scientific Reports*. 5: 18561 <https://doi.org/10.1038/srep18561>.
- Xu, Y.-N. & Chen, Y. 2020. Advances in heavy metal removal by sulfate-reducing bacteria. *Water Science and Technology*. 81(9): 1797-1827. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.227>.
- Yao, C., Li, J., Jingjing, E., Wang, R., Zhang, Q. & Wang, J. 2022. The symbiosis among, and the storage stabilities of, starter lactic acid bacterial strains in biofilms. *LWT - Food Science and Technology*. 155: 112896.
- Zhang, Z., Zhang, C., Yang, Y., Zhang, Z., Tang, Y., Su, P. & Lin, Z. 2022. A review of sulfate-reducing bacteria: Metabolism, influencing factors and application in wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*. 376: 134109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134109>.
- Zhou, C., Bisseling, T. M., Van der Post, E. S. & Boleij, A. 2024. The influence of *Helicobacter pylori*, proton pump inhibitor, and obesity on the gastric microbiome in relation to gastric cancer development. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 23: 186-198. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2023.11.053>.
- Zhang, H., Li, H., Li, M., Luo, D., Chen, Y., Chen, D., Luo, H. & Chen, Z., Li, K. 2018. Immobilizing metal-resistant sulfate-reducing bacteria for cadmium removal from aqueous solutions. *Polish Journal of Environmental Studies*. 27(6): 2851-2859. <https://doi.org/10.15244/pjoes/83666>.

- Zhang, M. & Wang, H. 2016. Preparation of immobilized sulfate reducing bacteria (SRB) granules for effective bioremediation of acid mine drainage and bacterial community analysis. *Minerals Engineering*. 92: 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.02.008>.
- Zhang, Z., Sun, J., Guo, H., Gong, X., Wang, C. & Wang, H. 2021. Investigation of anaerobic biodegradation of phenanthrene by a sulfate-dependent *Geobacter sulfurreducens* strain PheS2. *Journal of Hazardous Materials*. 409, 124522 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124522>.
- Zhang, Z., Zhang, C., Yang, Y., Zhang, Z., Tang, Y., Su, P. & Lin, Z. 2022. A review of sulfate-reducing bacteria: Metabolism, influencing factors and application in wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*. 376: 134109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134109>.

BIODATA

Nama : Prof. Dr. Endah Retnaningrum, M. Eng
 Tempat, Tgl Lahir : Yogyakarta, 19 Maret 1972
 NIP : 197203191999032002
 Pangkat : Pembina Tk I
 Golongan : IVb
 Jabatan : Guru Besar
 Unit Kerja : Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada
 Alamat Kantor : Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada,
 Jl. Teknika Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta,
 55281
 Alamat Rumah : Lemponsari RT 15, RW 27, Yogyakarta
 Keluarga : Farah Athaya Harukirana (anak)
 Shin Salsabila Harukirana (anak)
 Aozora Neutriana Harukirana (anak)

Riwayat Pendidikan

1979 – 1985 SDN I Simo, Simo, Boyolali
 1985 – 1987 SMPN 8 Surakarta
 1987 – 1990 SMANegeri 1 Surakarta
 1990 – 1997 Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, UGM
 2005 – 2007 Human and Environment Engineering, Saitama
 University, Japan
 2010 – 2015 Program Studi S3 Biologi, Fakultas Biologi, Universitas
 Gadjah Mada, UGM

Riwayat Pekerjaan

1. Dosen Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada (1999 – sekarang)
2. Kepala Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, UGM (2016-2023)
3. Kepala Program Studi S3, Fakultas Biologi, UGM (2023 – sekarang)

Publikasi Artikel Ilmiah Internasional (Scopus) dalam 5 tahun terakhir

1. Dewatisari, W. F., Nugroho, L. H., **Retnaningrum, E.** & Purwestri, Y. A. 2023. Inhibition of protease activity and anti-quorum sensing of the potential fraction of ethanolic extract from *Sansevieria trifasciata* prain leaves against *Pseudomonas aeruginosa*. *Indonesian Journal of Biotechnology*. 28(1): 23-30. <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.73649>.
2. Habibie, A., Raharjo, T. J., Swasono, R. D. & **Retnaningrum, E.** 2023. Antibacterial activity of active peptide from marine macroalgae *Chondrus crispus* protein hydrolysate against *Staphylococcus aureus*. *Pharmacia*. 70(4): 983-992. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.70.e112215>.
3. Prastiyanto, M. E., **Retnaningrum, E.**, Darmawati, S., Aji, M. Z. B., Putri, D. R., Khairunnisa, A., Arilya, N. Y., Wulansari, K. P. & Qoni'ah, U. H. 2023. Anti-MDR bacterial activity of bacteria associated with sea sponge of *Amphimedon* sp. from Karimunjawa Island, Central Java, Indonesia. *Malaysian Journal of Microbiology*. 19(5): 518-526. <https://doi.org/10.21161/mjm.230195>.
4. Rohmah, D. N. & **Retnaningrum, E.** 2023. Assessment and bioremediation of mercury pollutants by highly mercury-resistant bacteria immobilized in biochar from small-scale artisanal gold mining areas. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 10(2): 4061-4072. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.102.4061>.
5. Dewatisari, W. F., Nugroho, L. H., **Retnaningrum, E.** & Purwestri, Y. A. 2022. Antibacterial and anti-biofilm-forming activity of secondary metabolites from *Sansevieria trifasciata*

- leaves against *Pseudomonas aeruginosa*. *Indonesian Journal of Pharmacy*. 33(1): 100-109. <https://doi.org/10.22146/ijp.2815>.
6. Kurniati, E., **Retnaningrum, E.**, Wijayanti, N. & Wibawa, T. 2022. The diversity and susceptibility against antibiotics of *Salmonella* spp. clinical isolates from Yogyakarta, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231134>.
 7. Nadifah, F., Artama, W. T., Daryono, B. S. & **Retnaningrum, E.** 2022. Characterization of the urogenital microbiome in patients with urinary tract infections. *Indonesian Journal of Biotechnology*. 27(3): 142-150. <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.69212>.
 8. Sari, E., Nugroho, A. P., **Retnaningrum, E.** & Prijambada, I. D. 2022. Literature review and experiment: diversity of bacteria in forest, revegetated post-mining land, and active tin mining with a metagenomic approach. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 8(1): 19-48. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.51662>.
 9. Sidin, R. S. & **Retnaningrum, E.** 2022. Antibacterial activity of carotenoid pigments produced by heterotrophic bacteria from seawater in Krakal Coastal Area, Yogyakarta, Indonesia. *Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*. 17(2): 74-84. <https://doi.org/10.15578/squalen.648>.
 10. Solichah, A., Sapalina, F. & **Retnaningrum, E.** 2022. Antimicrobial and physicochemical characterization of *Lactobacillus brevis* biofilm as a biopreservative agent. *Malaysian Journal Microbiology*. 18(1): 93-104. <http://doi.org/10.21161/mjm.211248>.
 11. Syawaluddin, L. O. M. & **Retnaningrum, E.** 2022. Chromium bioremediation of batik industrial wastewater using a consortium of sulfate-reducing bacteria from forested wetland soil. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 9(3): 3511-3523. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3511>.
 12. Widane, K. A., Widyasari, A. & **Retnaningrum, E.** 2022. Characterization and polyphasic identification of novel *Rhizobacteria* strain isolated from sand dunes ecosystem.

- Biotropia*. 29(1): 33-43.
<https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.1.1584>.
13. Dewatisari, W., Nugroho, L. H., **Retnaningrum, E.** & Purwestri, Y. A. 2021. The potency of *Sansevieria trifasciata* and *S. cylindrica* leaves extracts as an antibacterial against *Pseudomonas aeruginosa*. *Biodiversitas*. 22(1).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220150>.
 14. Ginting, E. V., **Retnaningrum, E.** & Widiasih, D. A. 2021. Antibacterial activity of clove (*Syzygium aromaticum*) and cinnamon (*Cinnamomum burmannii*) essential oil against extended-spectrum β -lactamase-producing bacteria. *Veterinary World*. 14(8): 2206-2211.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.2206-2211>.
 15. Hutajulu, I., Kulla, P. D. K. & **Retnaningrum, E.** 2021. Diversity of lactic acid bacteria isolated during fermentation of indigenous cassava obtained from Sumba, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas*. 22(7): 2561-2570.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220703>.
 16. **Retnaningrum, E.**, Wilopo, W. & Warmada, I. W. 2021. Enhancement of manganese extraction in a biochar-enriched bioleaching column with a mixed culture of indigenous bacteria. *Biodiversitas*. 22(5): 2949-2955
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220560>.
 17. Andriyanto, Wilopo, W. & **Retnaningrum, E.** 2020. The performance of a fixed-bed anaerobic bioreactor using sulfate-reducing bacterial consortium from Sikidang Crater sediments. *Indonesian Journal of Chemistry*. 20(1): 190-199.
<https://doi.org/10.22146/ijc.45164>.
 18. Kusumaningrum, S. B. C., Warmada, I. W., Wilopo, W. & **Retnaningrum, E.** 2020. Bioleaching ability of fungi isolated from an Indonesian sulfurous river sediment. *Indonesian Journal of Chemistry*. 20(4): 810-817. <https://doi.org/10.22146/ijc.44810>.
 19. **Retnaningrum, E.**, Rizqullah, M. F. & Wilopo, W. 2020. Biocatalysts characters of novel bacteria from crude oil-contaminated river. *AIP Conference Proceedings*. 2260(1).
<https://doi.org/10.1063/5.0015925>.

20. **Retnaningrum, E.**, Yossi, T., Nur'azizah, R., Sapalina, F. & Kulla, P. D. K. 2020. Characterization of a bacteriocin as biopreservative synthesized by indigenous lactic acid bacteria from dadih soya traditional product used in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(9): 4192-4198. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210933>.
21. Sapalina, F. & **Retnaningrum, E.** 2020. Molecular characterization of lactic acid bacteria producing edible biofilm isolated from kimchi. *Biodiversitas*. 21(3): 962-968. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210315>.
22. Siallagan, Z. L., **Retnaningrum, E.** & Prijambada, I. D. 2020. Symbiotic performance of several leguminous plants with legume nodule bacteria isolated from siratro (*Macroptilium atropurpureum*) at Mount Merapi Eruption, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*. 2260(020019): 020019-1–020019-7. <https://doi.org/10.1063/5.0015969>.
23. Soleha, S. & **Retnaningrum, E.** 2020. Optimization extracellular lipase activity from *Moraxella* sp SBE01 for hydrocarbons nanoremediation. *AIP Conference Proceedings*. (070003): 070003-1–070003-7. <https://doi.org/10.1063/5.0015926>.
24. Soleha, S. & **Retnaningrum, E.** 2020. Screening and molecular identification of lipolytic bacteria from spent bleaching earth. *Biodiversitas*. 21(9): 4155-4161. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210929>.
25. Widyasari, A., Wilopo, W. & **Retnaningrum, E.** 2020. Characterization of biosurfactant production by *Klebsiella variicola* BF1 for hydrocarbon degradation enhancement. *AIP Conference Proceedings*. 2260(1): 070001-1–070001-8. <https://doi.org/10.1063/5.0015924>.
26. Kahol, Y. V., Ningrum, N. S., **Retnaningrum, E.** & Darmasiwi, S. 2019. Effectivity of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) as bio filter for microbiological water quality in Purwomartani Housing, Kalasan, Sleman, DIY. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 308(1): 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012008>.

27. Kulla, P. D. K. & **Retnaningrum, E.** 2019. Biochemical and microbial change in food fermentation ‘ubi karet busuk’ Sumba, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Proceedings of the 6th International Conference on Bioinformatics Research and Applications*. 24-27. <https://doi.org/10.1145/3383783.3383801>.
28. Nurhikmayani, R., Daryono, B. S. & **Retnaningrum, E.** 2019. Isolation and molecular identification of antimicrobial- producing lactic acid bacteria from chao, South Sulawesi (Indonesia) fermented fish product. *Biodiversitas*. 20(4): 1063-1068. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200418>.
29. Prasidya, D. A., Wilopo, W., Warmada, I. W. & **Retnaningrum, E.** 2019. Optimization of manganese bioleaching activity and molecular characterization of indigenous heterotrophic bacteria isolated from the sulfuric area. *Biodiversitas*. 20(7): 1904-1909. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200716>.
30. **Retnaningrum, E.** & Wilopo, W. 2019. Pyrolusite bioleaching by an indigenous *Acidithiobacillus* sp KL3 isolated from an Indonesian sulfurous river sediment. *Indonesian Journal of Chemistry*. 19(3): 712-719. <https://doi.org/10.22146/ijc.38898>.
31. Sari, M. A. & **Retnaningrum, E.** 2019. Hydrocarbon degradation by bacteria from rhizospheres of *Imperata cylindrica* at oil mining site in Wonocolo, Bojonegoro, Indonesia. *Biodiversitas*. 20(11): 3422-3429. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201140>.

Penelitian dalam 5 tahun terakhir

1. Peneliti Utama “Aktivitas Antibakteri, Antioksidan dan Profil Metabolisme Sinbiotik *Lactobacillus* spp dengan Beberapa Prebiotik Lokal”. Penelitian Rekognisi Tugas Akhir (RTA), Dana Masyarakat UGM. Tahun 2022.
2. Peneliti Utama “Pengembangan *Bacterial Bioflocculant* dan *Clay Mineral* untuk Dekontaminasi Polutan serta Pengendali Water Borne Disease pada Air Tanah”. Penelitian Desentralisasi (PDUPT), Tahun 2022.
3. Anggota Tim Peneliti “Senyawa Antimikroba Berbasis Peptida Bioaktif (AMP) dari Hidrolisat Protein Makroalga Laut *Chondrus*

- crispus*". Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PMDSU), Tahun 2022.
4. Anggota Tim Peneliti "Isolasi Metabolit Sekunder dan Aktivitas Antibakteri dari Ekstrak Tumbuhan Obat Tradisional Masyarakat Asli Jambi". Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PMDSU), Tahun 2020-2022.
 5. Anggota Tim Peneliti "Efek Katalis Kombinasi Karbon Aktif dan Surfaktan pada *Column Biobleaching* untuk Ekstraksi Logam Ramah Lingkungan". Penelitian Desentralisasi (PDUPT), Tahun 2020-2021.
 6. Anggota Tim Peneliti "Pengembangan Material Biosensor Bakteri *Escherichia coli* Berbasis Nanopartikel Emas (AuNP)". Penelitian Kompetitif Nasional. Tahun 2020-2021.
 7. Peneliti Utama "Pengembangan Biofilm Bakteri Asam Laktat sebagai Kandidat Biopreservatif". Penelitian Rekognisi Tugas Akhir (RTA), Dana Masyarakat UGM. Tahun 2020.
 8. Anggota Tim Peneliti "Profil Mikrobiom dan Karakterisasi Molekuler Bakteri pada Urin Pasien Infeksi Saluran Kemih". Penelitian Kompetitif Nasional (PPS-PDD), Tahun 2020.
 9. Peneliti Utama "Pengembangan *Bacterial Nano-Catalysts* untuk Peningkatan Bioremediasi Pencemaran Minyak Bumi". Penelitian Rekognisi Tugas Akhir (RTA), Dana Masyarakat UGM, Tahun 2019.
 10. Anggota Tim Peneliti "Pengembangan Pengolahan Tambang Logam Berharga Ramah Lingkungan Menggunakan *Bacterial-Catalysis Reductive Leaching*". Penelitian Desentralisasi (PDUPT), Tahun 2019.

Pengabdian Kepada Masyarakat

- 2023 : (1). Narasumber *Training "Microbial Culturing and Analysis for Oil Industry Application"* di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UGM.
- (2). Narasumber Kegiatan Penyuluhan "*Microgreen dan Pemanfaatan Edible Flower* untuk Minuman Fermentasi"
- 2022 : Narasumber Pelatihan PLP UGM Level 3 (Terampil Penyelia).

- 2021 : (1). Narasumber Seminar Daring Tahun 2021 untuk SMP dan SMA Sekolah Harapan Bangsa Unit *Modernhill*, Pondok Cabe, Kota Tangerang Selatan.
- (2). Narasumber *Biolecture Series* "Potensi Pengembangan Mikrobia Pangan dan Kesehatan"
- (3). Kegiatan Program Magang Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Kemendikbud Dikti 2021.
- 2020 : (1). Pembicara pada Kegiatan Pendidikan dan Pelatihan bagi Laboran Tingkat Dasar di UGM.
- (2). Pembicara Sadaring Indi Seri 5 "Sumber Daya dan Teknologi Produksi Pewarna Alami Nusantara: Biodiversitas dan Teknologi Mikrobia Penghasil Pigmen"
- (3). Pembicara Seminar *Online (Webinar) Analytical Chemistry in Context* 6 "Remediasi Air Limbah dengan Metode yang Ramah Lingkungan"