

POTENSI MIKROORGANISME SEBAGAI BIOFERTILIZER

Potential of Microorganisms as Biofertilizer

Lusia Widiastuti¹⁾, Y. Sulistiyanto²⁾, Adi Jaya²⁾, Yusurum Jagau²⁾, Liswara Neneng³⁾

¹⁾ Doctoral Program Environmental Sciences, University of Palangka Raya, Indonesia

²⁾ Departement of Agriculture, University of Palangka Raya, Indonesia

³⁾ Departement of Biology Education, University of Palangka Raya, Indonesia

e-mail : lusia_widiastuti@pasca.upr.ac.id

Abstract

This research was carried out in the oil palm plantation of PT. MuliaSawitAgro Lestari (PT. MSAL) Gunung Mas Regency Central Kalimantan Province for 3 months starting in January 2019 until March 2019. The purpose of this study was to identify the potential of microorganisms as biofertilizers from palm oil mill effluent (PKS). This research is an exploratory study conducted in the Laboratory of the Faculty of Health Sciences of the Muhammadiyah University of Palangka Raya. This study used 3 (three) media used to identify the potential of microorganisms for biofertilizer from palm oil liquid waste by calculating the number of bacterial colonies namely Carboxy Methyl Cellulose (CMC), pykovskaya media and Yeast Extract Mannitol Agar (Yema) media. The results of the analysis also showed that PKS liquid waste contained potential microorganisms found were phosphate solvent bacteria, cellulite fungi and nitrogen-fixing bacteria with an average bacterial colony of 1,700,000 cells/mL. Potential microorganisms from the proportion obtained showed the ability of bacteria found in PKS liquid waste to degrade the oil. The first and second samples of bacterial forms identified were in the form of bacilli and were gram-positive bacteria, while the samples of the three bacteria were in the form of coccus and the bacteria were gram-negative bacteria.

Keywords: *biofertilizer; microorganisms; POME*

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan tanaman ekspor terbesar di Indonesia, tanaman perkebunan yang terus menerus dikembangkan dalam rangka meningkatkan sumber devisa negara dari sektor non migas selain minyak dan gas bumi, sumber kesempatan kerja bagi masyarakat dan sebagai sumber energi terbarukan (Indriantoro, Sa'id dan Guritno, 2012).

Kelapa sawit sendiri memiliki produk sampingan yaitu produk yang berasal dari pengolahan limbah cair PKS. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh PKS berkisar antara 600-700 liter/ton tandan buah segar (TBS). Limbah ini merupakan sumber

pencemaran yang potensial bagi manusia dan lingkungan karena berbau (Naibaho, 2003). Pengolahan limbah cair kelapa sawit dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi. Limbah cair hasil PKS mengandung senyawa anorganik dan organik yang dapat dan tidak dapat dirombak oleh mikroorganisme. Limbah yang mengandung senyawa organik umumnya dapat dirombak oleh bakteri dan dapat dikendalikan secara biologis (Swandi, Periadnadi dan Nurmiati, 2015).

Industri minyak sawit mengeluarkan limbah cair berupa zat organik dengan kadar yang tinggi, yang menjadi penyebab pencemaran lingkungan di sekitar PKS. Guna mengatasi pencemaran oleh limbah cair tersebut, pabrik melakukan

penampungan limbah di kolam (*lagoon*), meski penerapannya masih belum optimal, sehingga standar baku mutu untuk limbah cair pada *outlet* belum terpenuhi. Limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit berpotensi untuk proses hidrolisis dari lemak dan minyak, oleh mikroorganisme yang yang tumbuh dan berkembang padanya. Memandang bahwa permasalahan ini harus dapat dipecahkan, maka dilakukan penelitian terhadap penguraian limbah cair dari PKS oleh bakteri, yang nantinya dapat memunculkan teknologi yang ramah lingkungan yaitu teknologi bioremediasi atau penggunaan mikroorganisme untuk menguraikan polutan pada limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit.

Bioremediasi adalah proses pemulihan lingkungan dengan menggunakan faktor biologi agar limbah atau apapun pencemaran terhadap komponen lingkungan tidak mengandung racun (Munir, 2006). Salah satu tahap dalam penggunaan faktor biologi yang disebut bioremediasi adalah biodegradasi. Proses biodegradasi pada umumnya memanfaatkan aktivitas populasi mikroorganisme dan enzim yang dihasilkannya untuk merombak senyawa organik yang mencemari (Jusfah, 1995). Limbah cair PKS merupakan nutrisi yang kaya akan senyawa organik dan karbon, dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri anaerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauser, 2008). Limbah cair PKS bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2006). Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi potensi mikroorganisme untuk biofertilizer dari limbah cair pabrik kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Sampel pada penelitian ini adalah limbah cair PKS yang diambil dari kolam *contact pond* (kolam pembuangan akhir) instalasi pengolahan air limbah (IPAL) PT. Mulia Sawit Agro Lestari (PT. MSAL) Kabupaten Gunung Mas Provinsi Kalimantan Tengah. Sampel diambil secara *purposive sampling* menggunakan 3 (tiga) cuplikan sebagai titik sampel, masing-masing cuplikan diulang sebanyak 3 kali ketiga media, yaitu media CMC, media pykowskaya dan media Yema. Sampel diambil menggunakan botol yang sudah disterilkan, proses pengambilan limbah cair tersebut adalah dengan mencelupkan atau menenggelamkan botol yang sudah dibuka tutupnya kedalam kolam limbah. Setelah botol terisi penuh oleh limbah cair, maka botol diangkat ke permukaan dan segera ditutup kembali. Tanda umum sampel cair limbah PKS berwarna coklat-kehitaman dengan adanya lapisan minyak di bagian permukaannya.

Penelitian ini adalah penelitian eksploratif yang dilakukan di dalam Laboratorium Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Palangka Raya. Cara menghitung jumlah koloni adalah sebagai berikut : mengambil air sampel sebanyak 1 ml, memasukkan sampel ke dalam tabung reaksi yang telah berisi 10 ml air aquades, menghomogenkan larutan dengan cara vortex tabung reaksi, mengambil larutan dalam tabung sebanyak 1 ml dengan menggunakan pipet volume, kemudian memasukkan larutan ke dalam tabung reaksi yang lain yang telah berisi air aquades. Dilakukan secara aseptis dan melakukan ulang kegiatan 4 kembali, hingga pengenceran ke-6. Setelah melakukan pengenceran, mengambil 1ml suspensi menggunakan volume pada pengenceran 10^{-6} , memasukkan suspensi ke dalam cawan petri yang berisi media Na, melakukan inkubasi pada cawan petri yang telah berisi suspensi selama 2 x 24 jam selanjutnya menghitung koloni bakteri dengan alat *colony counter*.

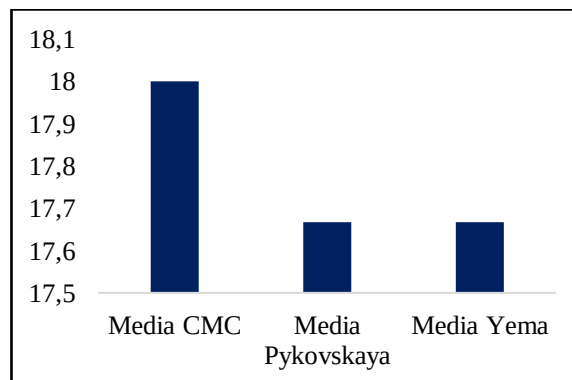
Melakukan point 1 – 9 pada air sampel 2 dan 3.

HASIL PEMBAHASAN

PT. Multi Sawit Agro Lestari (PT. MSAL) menggunakan teknologi pengolahan di IPAL dengan teknologi *Anaerobik Laggon*, yaitu proses pengolahan anaerobik adalah proses pengolahan senyawa – senyawa organik yang terkandung dalam limbah menjadi gas metana dan karbon dioksida tanpa memerlukan oksigen (Manurung (2004). Air limbah kelapa sawit ini diambil pada *contact pond* ini merupakan tempat pembuangan terakhir limbah, dimana proses yang terjadi pada kolam ini adalah proses penonaktifan bakteri *anaerobic* dan prakondisi proses *aerobic*. Aktivitas ini dapat diketahui dengan indikasi pada permukaan kolam tidak dijumpai *scum* dan cairan tampak kehitam-hitaman dari seluruh rangkaian proses tersebut, masa tinggal limbah selama proses berlangsung mulai dari kolam pendinginan hingga air dibuang ke badan penerima membutuhkan masa waktu tinggal selama $\pm 120 - 150$ hari. Limbah cair diaplikasikan ke lahan dengan sistem *flat bed* yang sebelumnya limbah cair tersebut diolah dengan sistem kolam-kolam di IPAL. Hal tersebut bertujuan untuk menurunkan kadar bahan pencemar yang terkandung pada limbah cair.

Limbah cair PKS mengandung bahan organik dan anorganik sangat tinggi, untuk merombak bahan organik dilakukan fermentasi dengan memanfaatkan bakteri secara aerobik ataupun anaerobik. Bakteri fermentasi merombak senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dengan proses biologis dalam suasana anaerobik dan aerobik terjadi biodegradasi bahan organik menjadi senyawa asam dan gas, sedangkan mineral sedikit berkurang dalam proses ini. Selain itu dilakukan pula perombakan asam organik menjadi gas metan oleh bakteri metanogenik (Togatorop, 2009 *dalam* Winarti, S dan Neneng, L. 2013).

Pembuatan pupuk organik cair dengan bahan baku utama limbah cair PKS ini melalui proses fermentasi di IPAL. Proses fermentasi secara sederhana dapat diartikan proses penguraian zat kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana. Proses fermentasi yang berlangsung dengan bantuan mikroba dan bahan bioaktivator yang berfungsi untuk menguraikan senyawa terikat didalam tanah serta menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme menguntungkan didalam tanah sehingga dengan penambahan aktivator ini maka pengomposan dapat berjalan dengan lebih cepat. Jumlah koloni bakteri pada air limbah pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Jumlah koloni bakteri pada limbah cair pabrik kelapa sawit

Jumlah koloni pada limbah cair PKS Gambar 1 yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium menunjukkan mikroorganisme potensial adanya kemampuan bakteri yang ditemukan pada limbah cair PKS dalam mendegradasi minyak. Hal ini membuktikan bahwa keberadaan bakteri pengurai limbah cair kelapa sawit berhubungan dengan ketersediaan nutrisi yang tinggi pada air limbah. Selain ketersediaan nutrisi, keberlimpahan organisme pengurai dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, seperti: suhu, pH, kadar oksigen dan kadar bahan organik. Pada kondisi bahan organik yang tinggi atau banyak, konsentrasi oksigen pada air limbah menjadi rendah. Namun hal demikian tidak berpengaruh pada proses fermentasi (proses an-aerobik). Proses fermentasi

menghasilkan senyawa organik, seperti: asam laktat, asam nukleat, karbohidrat, protein, dan lain sebagainya.

Bakteri selulolitik memiliki kemampuan mendegradasi selulosa dengan menghasilkan enzim selulase (Aklyosov. 2004). Bakteri ini dapat mendegradasi molekul kompleks pada substrat tidak larut dalam air dengan enzim selulase. Proses perombakan secara enzimatik bersifat spesifik untuk menghidrolisis ikatan β -(1,4)-glikosidik, rantai selulosa dan derivatnya (Ambriyanto, 2010). Enzim ini merupakan enzim yang memegang peranan penting dalam proses biokonversi limbah-limbah organik berselulosa menjadi glukosa, makanan ternak, etanol dan lain-lain (Silva, J.R., Silva, F. J. L, dan. Sazima., 2005; Meryandini *et al.*, 2009). Pada umumnya bakteri aerobik selulolitik termasuk dalam kelompok *Firmicutes*, *Actinobacterial*, *Bacteroidetes* dan *Proteobacteria*. Bakteri selulolitik merupakan salah satu mikroba yang paling banyak ditemukan di rumen sapi. Beberapa bakteri selulolitik yang ditemukan pada rumen sapi antara lain : *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Streptomyces*, *Cytophaga*, *Cellvibrio* dan *Pseudomonas* (Lynd *et al.*, 2002).

Kemampuan bakteri pelarut fosfat untuk tumbuh pada media spesifik *Pikovskaya* dan mampu membentuk zona bening menunjukkan bahwa bakteri tersebut mampu melarutkan fosfat yang terikat pada unsur kalsium. Mikroorganisme yang

termasuk dalam kelompok bakteri pelarut fosfat antara lain *Pseudomonas striata*, *P. diminuta*, *P. fluorescens*, *P. cerevisia*, *P. aeruginosa*, *P. putida*, *P. denitrificans*, *P. rathhonis*, *Bacillus polymyxa*, *B. laevolacticus*, *B. megatherium*, *Thiobacillus sp.*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Escherichia freundii*, *Cunninghamella*, *Brevibacterium spp.*, dan *Thiobacillus sp.* Kelompok bakteri pelarut fosfat yang banyak terdapat pada lahan pertanian di Indonesia berasal dari genus *Enterobacter* dan *Mycobacterium*. Pelarutan fosfat oleh mikroba pelarut fosfat berlangsung secara kimia dan biologis. Mekanisme pelarutan fosfat secara kimia merupakan mekanisme utama yang dilakukan oleh bakteri. Bakteri tersebut mengekskresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, ketoglutarat, asetat, formiat, propionate, glikonat, glutamat, glioksilat, malat, fumarat (GunartodanNurhayati, 1994).

Pada media yang ketiga menggunakan *Yeast Extract Mannitol Agar* (Yema) untuk mengidentifikasi mikroba penambat nitrogen, secara hayati yang non simbiotik dilakukan oleh jasad mikro yang hidup bebas. Menurut Hastuti dan Gunarto (1993), bakteri yang terdapat pada limbah cair kelapa sawit berfungsi sebagai pengikat N₂ bebas yang mempunyai pengaruh terhadap sifat fisik dan kimia tanah sehingga mampu meningkatkan kesuburan tanah.

Tabel 1. Hasil Analisis Jumlah Koloni Bakteri Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

No	Kode Sampel	Media CMC	Media Pykovskaya	Media Yema
		(sel/mL)		
1.	I	16,67	17,00	17,67
2.	II	18,00	18,33	18,00
3.	III	19,33	17,67	17,33

Sumber : Laboratorium Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Palangka Raya. Tahun 2019.

Pada Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa untuk menghitung jumlah koloni bakteri yaitu media CMC untuk menghitung jumlah koloni mikroorganisme selulolitik, media pykovskaya bakteri pelarut fosfat dan

media Yema untuk mikroba penambat nitrogen. Dari hasil analisis tersebut limbah cair PKS mengandung mikroorganisme potensial yang ditemukan adalah bakteri selulolitik, bakteri pelarut

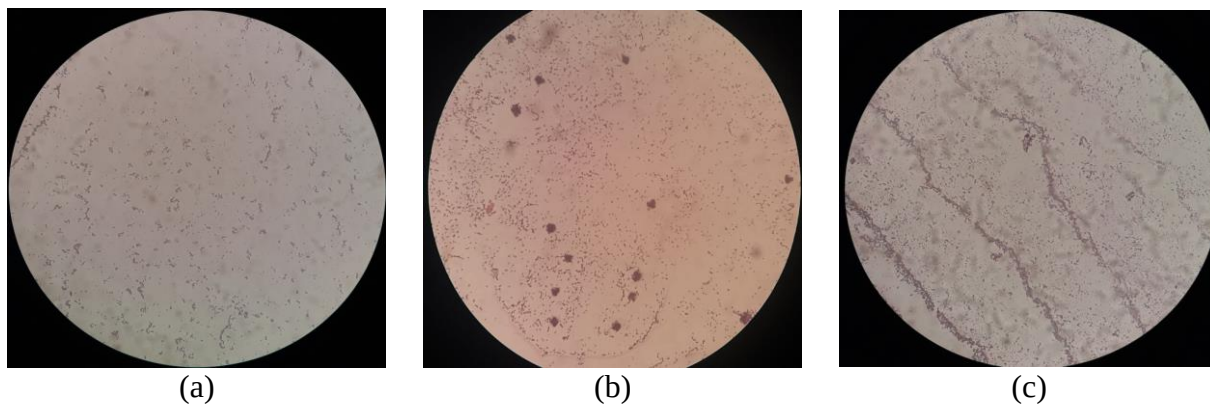
posfat, dan bakteri penambat nitrogen jumlah koloni bakteriyaitu rata-rata 1.700.000 sel/mL.

Hasil analisis sidik ragam pada jumlah koloni bakteri limbah cair PKS pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata antara media yang digunakan dengan nilai probF $0,98 < 0,05$. Dimana hal ini menyatakan mikroorganisme yang berasal dari limbah cair PKS itu sendiri lebih efektif daripada mikroorganisme yang dari luar air limbah (Soleimaninanadegani dan Manshad (2014). Proses biodegradasi limbah cair dengan bakteri yang diisolasi adalah spesies *Micrococcus*, spesies *Bacillus*, spesies *Pseudomonas*, dan *Staphylococcus aureus*, sedangkan jamur yang diisolasi adalah *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*, spesies *Candida*, spesies *Fusarium*, spesies *Mucor*, dan spesies *Penicillium*. Waluyo (2009) dalam Nursanti (2013) menjelaskan bahwa bakteri memanfaatkan bahan organik sebagai sumber makanan dari suatu rangkaian reaksi biokimia yang kompleks. Pada reaksi katabolisme, bahan organik dipecah untuk menghasilkan energi, sedangkan pada reaksi anabolisme, energi digunakan untuk sintesis sel baru.

Limbah cair PKS yang menghasilkan konsentrasi bahan organik yang tinggi/besar, yang pada akhirnya menyebabkan pencemaran di lingkungan sekitarnya, sangat tergantung dengan system instalasi

penyaliran air limbah (IPAL). Proses IPAL mengupayakan pengolahan limbah cair dengan menerapkan sistem kolam anaerobik (*Anaerobic lagoon*), yang didalamnya mikroorganisme yang diberikan ruang untuk melakukan hidrolisis terhadap lemak dan minyak. Dengan demikian potensi pencemaran lingkungan akibat minyak dan lemak menjadi sangat kecil, sehingga pengolahan limbah cair kelapa sawit yang berwawasan lingkungan dapat tersedia dan semakin luas penggunaannya..

Simanjuntak (2009), menyatakan bahwa air limbah yang dihasilkan dari PKS dapat dimanfaatkan untuk pemupukan pada tanah perkebunan. Limbah tersebut pada kondisi tertentu masih mengandung unsur hara yang dapat dimanfaatkan untuk tanaman. Mikroorganisme secara alami mampu mendegradasi bahan-bahan organik yang ada pada air limbah sehingga dapat meningkatkan kualitas air limbah. Limbah cair PKS mengandung unsur hara seperti : fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C), sehingga limbah ini maupun tidak langsung mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman (Simanjuntak, 2009), dapat menjadi sumber pertumbuhan bakteri, dimana bakteri dapat juga digunakan dalam proses pengolahan limbah (Manusawai, 2011). Bahan organik baik langsung maupun tidak langsung mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman (Simanjuntak, 2009).



Gambar 2. Bakteri Pada Sampel I (a), Sampel II (b) dan Sampel III (c)

Pewarnaan Gram selain digunakan untuk membedakan antara bakteri Gram

positif dan Gram negatif, juga digunakan untuk mengetahui bentuk bakteri dan

susunan bakteri selulolitik. Sampel pertama dan kedua bentuk bakterinya adalah berupa basil dan merupakan bakteri tergolong bakteri gram positif. Bakteri pada sampel pertama dan kedua bentuk bakterinya adalah berupa basil yang tergolong bakteri gram positif, yang merupakan sel bakteri yang dicirikan oleh warna ungu. Sifat Gram positif ini didukung oleh hasil uji KOH 3% yang ternyata tidak menghasilkan lendir pada kaca objek. Berarti bahwa mikroorganisme yang ada pada limbah cair pengolahan kelapa sawit adalah bakteri. Penyebaran dan warna yang demikian biasanya adalah bakteri dari genera *Clostridium* dan *Bacillus*.

Bakteri yang berperan besar dalam mengurai substrat lipid pada limbah cair industri minyak sawit seharusnya adalah bakteri lipolitik. Sebab bakteri lipolitik merupakan bakteri memproduksi enzim lipase yang berperan dalam menghidrolisis lipid menjadi asam lemak dan gliserol. Bakteri lipolitik membutuhkan minyak sebagai sumber karbon yang dibutuhkannya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian. Nurdini (2010), yang menemukan bakteri lipolitik pada banyak tempat yang mengandung minyak. Kelemahan dari bakteri lipolitik, adalah: prosesnya berjalan lambat, membutuhkan oksigen dalam jumlah/konsentrasi, dan hanya dapat menyerap bahan yang terlarut dalam air. Untuk mengatasinya terutama untuk bahan yang tidak larut dalam air adalah membentuk emulsi. Peng-emulsian bertujuan untuk mengurangi tegangan permukaan, agar minyak dapat tercampur dengan air sehingga nutrisi yang ada pada limbah cair yang pada umumnya terdiri dari minyak dan lemak dapat dimanfaatkan oleh bakteri untuk pertumbuhannya. Dalam keadaan air dan minyak tidak dapat bercampur, maka lemak dan minyak tidak dapat menjadi nutrisi yang tersedia bagi bakteri, oleh karena itu perlu pengemulsi (misalnya margarin) agar minyak dan air tercampur (Hutagalung, 2009 dan Bala *et al.*, 2014)..

Sampel ketiga bakterinya berbentuk coccus dan bakterinya merupakan bakteri gram negatif Gambar 2, di dalam penelitian yang dilakukan oleh Sarah (2018) menemukan Isolasi bakteri dari limbah cair kelapa sawit berhasil memperoleh 15 isolat bakteri yang ditumbuhkan pada media *Nutrient Agar* (NA). dapat diketahui bahwa bentuk koloni dari isolat bakteri yang diperoleh yaitu, tidak beraturan (*irregular*) dan bulat beraturan (*circular*). Tepi koloni yaitu, bergelombang (*undulate*), berlekuk (*lobate*), rata (*entire*), keriting (*curled*) dan berfilamen (*filamentous*). Elevasi koloni dari 15 isolat yaitu datar (*flat*). Warna isolat yaitu, putih krem dan kuning. Hasil pengelompokkan sifat Gram dari 15 isolat yang paling mendominasi adalah gram negatif. Bentuk sel yang paling mendominasi adalah batang, sedangkan yang lainnya berbentuk bulat. Morfologi koloni isolat bakteri yang ditemukan pada penelitian ini sesuai dengan pernyataan Cappucino dan Sherman (2005) bahwa pada umumnya bentuk koloni bakteri berbentuk *circular, irregular, filamentous, rhizoid*. Elevasi berbentuk *raised, convex, flat, umbonate, crateriform*. Tepian yang berbentuk *entire, undulate, filiform, curled dan lobate*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fitri dan Yasmin (2011) yang melaporkan bahwa isolat bakteri yang diisolasi memiliki bentuk koloni bulat. Bentuk tepian koloni yang rata berjumlah empat isolat dan tiga yang bergerigi. Seluruh isolat berwarna putih susu dan hampir semuanya bersifat gram negatif serta bentuk sel basil dan bulat dan lebih banyak didapat bakteri gram negatif dengan bentuk sel basil dan kokus.

Penyimpanan limbah cair PKS mempunyai peranan yang baik terhadap komposisi unsur hara karena pada proses penyimpanan ini terjadi proses dekomposisi yang menyebabkan mikroorganisme yang hidup dalam limbah cair PKS dapat berkembang. Dekomposisi zat organik dalam lingkungan anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul selain oksigen

sebagai akseptor hidrogen. Konova (1996) berpendapat secara umum, bahwa bahan organik memperbesar ketersediaan P melalui dekomposisinya yang menghasilkan asam-asam organik dan gas CO₂. Gas CO₂ larut dalam air membentuk asam karbonat yang mampu melapukkan beberapa mineral tanah ataupun kompos. Beberapa penelitian mengemukakan, bahwa jamur seperti *Aspergillus* sp, *Penicillium* sp, dan bakteri seperti *Rhodopseudomonas* spp, dan *Lactobacillus* mampu meningkatkan ketersediaan P dan menghasilkan zat pengatur tumbuh (Simanjuntak, 2009).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme secara alami mampu mendegradasi bahan-bahan organik yang ada pada air limbah sehingga dapat meningkatkan kualitas air limbah sebagai salah satu sumber unsur hara bagi tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa sangat perlu bakteri untuk biofertilizer limbah cair kelapa sawit dalam proses yang dilakukan di IPAL menggunakan mikroorganisme baik aerob maupun anaerob juga mampu mengubah atau mentransformasikan senyawa kimia kompleks menjadi lebih sederhana dan untuk mempercepat penyerapan nutrisi pada tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aklyosov. (2004). Cellulase Enzyme That Degrades Celulose From Fungi. *Application of Microbial*. 522-529.
- Ambriyanto, K. S. (2010). *Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Aerob Pendegradasi Selulosa dari Serasah Daun Rumpun Gajah (Pennisetum purpureum schaum)*. [Skripsi]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Azwir. (2006). *Analisa pencemaran air sungai Tapung Kiri Oleh limbah industri kelapa sawit PT. Peputra Masterindo di Kabupaten Kampar*. [Doctoral Dissertation]. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Bala, J. D., Lalung, J., & Ismail, N. (2014). Biodegradation of palm oil mill effluent (POME) by bacterial. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 4(3).
- Cappucino, J. G., & Sherman N. (2005). *Microbiology a Laboratory Manual*. 7th Ed. Pearson Education, Inc. Publishing as Benjamin Cummings. San Francisco.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (Eds.). (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- Fandri, W. (2006). *Identifikasi Bakteri Lipolitik pada Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit PT. AMP Plantation*. [Skripsi]. Universitas Andalas. Padang.
- Fitri, L., & Yasmin, Y. (2011). Isolasi dan pengamatan morfologi koloni bakteri kitinolitik. *Jurnal Biologi Edukasi*, 3(2), 20-25.
- Gunarto, L., & Nurhayati, L. (1994). Karakterisasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat pada tanah-tanah di Indonesia. In *Makalah disampaikan pada Seminar Tahunan* (pp. 29-30). Hasil Penelitian Tanaman Pangan, Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor, 29-30 Maret 1994.
- Hastuti, R. D., & Gunarto, L. (1993). Interaksi pemberian N dan inokulasi *Azospirillum* terhadap pertumbuhan tanaman jagung. *Risalah Hasil Penelitian Tanaman Pangan*, 1(3), 16-19.
- Hutagalung, L. E. (2009). *Penentuan Kadar Lemak dalam Margarin dengan Metode Ekstraksi Sokletasi di Balai Besar Pengawas Obat dan Makanan Medan*. [Karya Ilmiah]. Program Studi Diploma-3 Kimia Analisis. FMIPA. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Indriantoro, F. W., Sa'id, E. G., & Guritno, P. (2012). Rantai nilai produksi

- minyak sawit berkelanjutan. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 9(2), 108-116.
- Januar, W., Khotimah, S., & Mulyadi, A. (2013). Kemampuan Isolat Bakteri Pendegradasi Lipid dari Instalasi Pengolahan Limbah Cair PPKS PTPN-XIII Ngabang Kabupaten Landak. *Probiot*, 2(3).
- Jusfah, J. (1995). *Peranan Mikroorganisme dalam Pengelolaan Limbah untuk Mengatasi Pencemaran Lingkungan*. [Pidato]. Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Biologi FMIPA Universitas Andalas. Padang.
- Konova, M. M. (1996). *Soil Organic Matter. It's Role in Soil Formation and in Soil Fertility*. 2nd Ed. Pargamon Press. Oxford.
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 66(3), 506-577.
- Manusawai. H. A. (na). Pengelolaan Limbah Padat Sabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Untuk Mengelola Limbah Cair. (NA). 2011, 6(12), 892.
- Manurung, R. (2004). Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit. [Artikel]. Repository Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Meryandini, A., Widosari, W., Maranatha, B., Sunarti, T. C., Rachmania, N., & Satria, H. (2009). Isolasi bakteri selulolitik dan karakterisasi enzimnya. *Makara Journal of Science*. 13(1):33-38. DOI: [10.7454/mss.v13i1.369](https://doi.org/10.7454/mss.v13i1.369)
- Munir, E. (2006). *Pemanfaatan Mikroba dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif untuk Pelestarian Lingkungan*. [Pidato]. Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Mikrobiologi FMIPA Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Naibaho, P. (2003). *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Nurdini, A. L. (2010). *Penapisan Bakteri Lipolitik Asal Fruktosfer Kelapa Sawit*. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nursanti, I. (2017). Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit pada Proses Pengolahan Anaerob dan Aerob. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 13(4), 67-73.
- Safika, S., Matondang, S. W., Darmawi, D., Abral, M., Erina, E., & Jalaluddin, M. (2017). 9. Total colony of cellulolytic bacteria in the rumen of aceh cattle. *Jurnal Medika Veterinaria*, 11(1), 51-58.
- Sarah, S. (2018). *Isolasi dan Uji Potensi Isolate Bakteri dari Limbah Cair Kelapa Sawit sebagai Agen Pengendali Hayati Lamur Patogen Fusarium sp. pada Tanaman Cabai (Capsicum annum L.)*. [Skripsi]. Program Studi Biologi. Fakultas MIPA. Universitas Sumatera Utara. Skripsi.
- Silva Jr, J. M., Silva, F. J., & Sazima, I. (2005). Rest, nurture, sex, release, and play: diurnal underwater behaviour of the spinner dolphin at Fernando de Noronha Archipelago, SW Atlantic. *Journal of Ichthyology and Aquatic Biology*, 9(4), 161-176.
- Simanjuntak, H. (2009). *Studi Korelasi Antara Bod Dengan Unsur Hara N, P Dan K Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS)*. [Thesis]. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Soleimaninanadegani, M., & Manshad, S. (2014). *Enhancement of biodegradation of palm oil mill effluents by local isolated microorganisms*. Hindawi Publishing Corporation. International Scholarly research Notices. Vol 2014.8 page.
- Swandi, M. K., Periadnadi, P., & Nurmia, N. (2015). Isolasi Bakteri Pendegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*. 4(1) : 71-76.
- Winarti, S., & Neneng, L. (2013). Pengaruh pemberian limbah kelapa sawit

terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah pada lahan kritis eks penambangan emas. *Jurnal Agripeat*, 14(2): 53 – 58.