

Mikroba : Dalam Perspektif Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Ni Luh Putu Manik Widiyanti¹, I Wayan Karyasa², Ni Putu Dian Pertiwi¹, Desak Made Citrawathi¹, Ida Ayu Purnama Bestari¹

¹Jurusan Biologi dan Perikanan Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha

²Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha

Corresponding author: manikwidiyanti@gmail.com, putu.manik@undiksha.ac.id

Abstrak

Mikroba merupakan bentuk kehidupan yang tersebar paling luas dan terdapat paling banyak di bumi. Mikroba yang ada di bumi, ada yang menguntungkan dan merugikan. Mikroba patogen yang menyebabkan penyakit, adalah mikroba yang merugikan. Mikroba yang menguntungkan banyak dimanfaatkan dalam bioteknologi. Tujuan penulisan adalah mengkaji mengenai mikroba yang berhubungan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs). Hasil studi pustaka, didapatkan hasil peran mikroba dalam pembangunan terutama dalam bidang bioteknologi yang meliputi : bidang pangan, bidang kedokteran, farmasi dan kesehatan, pertanian, industri dan bidang lingkungan yang sesuai dengan pelaksanaan SDGs (*Sustainable Development Goals (SDGs)*)/Pembangunan Berkelanjutan yang merupakan peluncuran dari Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB), pada bulan September 2015 dan berakhir pada tahun 2030. SDGs merupakan kelanjutan dari program internasional yang disepakati oleh PBB untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan antara tahun 2000-2015 adalah *Millennium Development Goals (MDGs)*. *Millennium Development Goals (MDGs)* yang berakhir pada tahun 2015 masih menyisakan sejumlah pekerjaan rumah yang harus diselesaikan, oleh Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) dengan meluncurkan SDGs. Pembangunan berkelanjutan di Indonesia pada dasarnya mencakup tiga dimensi yaitu ekonomi, sosial dan lingkungan.

Kata kunci : mikroba, tujuan pembangunan berkelanjutan

Abstract

Microbes are the most widely distributed and most abundant forms of life on earth. Microbes that exist on earth, there are beneficial and harmful. Pathogenic microbes that cause disease are harmful microbes. Beneficial microbes are widely used in biotechnology. The purpose of writing is to study microbes associated with sustainable development goals (SDGs). From the results of the literature study, it was found that the role of microbes in development, especially in the field of biotechnology which includes: food, medicine, pharmaceutical and health, agriculture, industry and environmental fields in accordance with the implementation of the SDGs (Sustainable Development Goals (SDGs)). is the launch of the United Nations (UN), in September 2015 and ends in 2030. The SDGs are a continuation of the international program agree by the United Nations to achieve sustainable development between 2000-2015, namely the Millennium Development Goals (MDGs). The Goals (MDGs) which ended in 2015 still leave a number of homework to be completed, by the United Nations (UN) by launching the SDGs. Sustainable development in Indonesia basically includes three dimensions, namely economic, social and environment.

Keywords : *microbes, sustainable development goals*

1. PENDAHULUAN

Mikroba merupakan bentuk kehidupan yang tersebar paling luas dan terdapat paling banyak di bumi. Mikroba yang ada di bumi, ada yang merugikan dan menguntungkan. Mikroba patogen yang menyebabkan penyakit, adalah mikroba yang merugikan. Pandemi Covid-19 yang melanda dunia, dan termasuk Indonesia

disebabkan oleh virus corona yang terjadi pada akhir tahun 2019. Indonesia berjuang melawan Covid-19 dengan memodifikasi kebijakan karantina wilayah (*lockdown*) menjadi pembatasan sosial berskala besar (PSBB) yang bersifat lokal sesuai tingkat keparahan di wilayah provinsi, kabupaten, atau kota. Selama masa pandemi ini, perekonomian dunia dan Indonesia mengalami pelambatan. Pemerintah dan lembaga kajian strategis memprediksi Indonesia tumbuh rendah atau bahkan negatif di tahun 2020. Kelompok patogen selain virus, yang mampu menyebabkan penyakit pada makhluk hidup yaitu bakteri, jamur, protozoa.

Mikroba yang menguntungkan banyak dimanfaatkan dalam bioteknologi. Bidang-bidang bioteknologi baik konvensional dan modern yang menggunakan mikroba : bidang pangan, bidang kedokteran, farmasi dan kesehatan, pertanian, industri dan bidang lingkungan yang sesuai dengan pelaksanaan SDGs (*Sustainable Development Goals* (SDGs)/Pembangunan Berkelanjutan merupakan peluncuran dari Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB), pada bulan September 2015 dan berakhir pada tahun 2030. SDGs merupakan kelanjutan dari program internasional yang disepakati oleh PBB untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan antara tahun 2000-2015 adalah *Millennium Development Goals* (MDGs). *Millennium Development Goals* (MDGs) yang berakhir pada tahun 2015 masih menyisakan sejumlah pekerjaan rumah yang harus diselesaikan, oleh Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) dengan meluncurkan SDGs. Produk bioteknologi konvensional dalam bidang pangan telah banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Bioteknologi konvensional cenderung memanfaatkan keseluruhan organisme pada tingkat sel. Oleh karena itu, pada bioteknologi konvensional, pemanfaatan organisme masih sebatas pada pemanfaatan mikroorganisme saja. Beberapa produk bioteknologi konvensional yang memanfaatkan proses fermentasi dengan substrat tertentu, contohnya di Indonesia, perkembangan bioteknologi konvensional melalui teknologi fermentasi justru dimulai dengan mengubah bahan baku lokal tradisional Indonesia menjadi olahan pangan unik. Tempe merupakan produk fermentasi asli Indonesia. Tempe adalah satu-satunya produk olahan kedelai fermentasi yang asli Indonesia. Di bidang kedokteran, farmasi dan kesehatan, Produk dan aktivitas perawatan kesehatan yang direkayasa dapat dibagi menjadi : a). yang digunakan untuk menggantikan atau melengkapi protein yang diproduksi oleh tubuh manusia dalam jumlah yang tidak mencukupi atau tidak diproduksi sama sekali; b). yang melibatkan penggantian gen yang rusak; c) yang digunakan untuk mengobati penyakit; d). yang digunakan untuk profilaksis atau pencegahan penyakit, yaitu vaksin, atau e). yang digunakan untuk diagnosis penyakit. Misalnya, insulin adalah hormon yang

diproduksi oleh pankreas; hormon adalah protein kecil. Insulin rekayasa genetika adalah produk utama pertama dari bioteknologi.

Bidang pertanian, keberadaan mikroorganisme dalam pupuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan membuat nutrisi lebih tersedia atau menggantikan unsur hara tanah atau meningkatkan akses tanaman terhadap unsur hara serta menciptakan bibit unggul, yang dikenal sebagai *PGPR (Plant Growth Promoting Bacteria)*, contohnya bakteri penambat nitrogen non-simbiotik antara lain : genus *Rhodospirillum*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopseudomonas*, *Azotobacter*, *Azotomonas*, *Beijerinckia*, *P. azotogensis*, *K pneumoniae*, *E. cloecae*, *E. intermedia*, *Desulfovibrio vulgaris*, *D. desulfuricans*, *Methanobacterium*, *Bacillus polymyxa*, *B. macerans*; bakteri pelarut fosfor : *Bacillus megatirium var phosphaticum* dan genus *Pseudomonas*. Bidang lingkungan, pemanfaatan mikroorganisme sebagai bioremediasi, contohnya *Chlorella vulgaris*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Pseudomonas balearica*. Semua aspek yang mencakup tadi, dibuat dalam skala besar baik menggunakan fermentor maupun makhluk hidup sebagai fermentor (biofermentor), dilakukan dalam bidang industri. Tujuan penulisan adalah mengkaji mikroba yang berkaitan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs). Rumusan masalah dalam penulisan ini adalah : (1) Bagaimanakah peran mikroba dalam tujuan pembangunan berkelanjutan? (2) Apa sajakah mikroba yang berperan dalam tujuan pembangunan berkelanjutan?

2. METODE

Metode dalam penulisan ini yang menganalisis terhadap suatu topik khusus dalam hal ini mikroba perannya dalam persepektif pembangunan berkelanjutan yang merupakan bagian dari bidang keilmuan mikrobiologi dan bioteknologi. Metode yang digunakan dalam *literature review* ini adalah *Systematic Literature Review (SLR)* sebuah cara yang secara sistematis yang bertujuan untuk mengumpulkan, kemudian menganalisis secara kritis dengan menyajikan data-data serta temuan yang berasal dari berbagai macam penelitian lainnya, mengintegrasikan dan menyajikan temuan dari berbagai studi penelitian pada pertanyaan penelitian atau topik yang menarik. SLR menyediakan cara untuk menilai tingkat kualitas bukti yang ada pada pertanyaan atau topik yang menarik. SLR memberikan tingkat pemahaman yang lebih luas dan lebih akurat daripada tinjauan literatur secara tradisional (Nursalam dkk, 2020).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jasad hidup yang termasuk dalam mikroba sangat beraneka ragam karena mencakup banyak kelompok jasad hidup termasuk bakteri, protozoa, algae, jamur lendir, fungi dan virus, meskipun virus bukan jasad hidup apabila ditinjau dari kriteria yang mendefinisikan jasad hidup. Mikroba terdapat dalam populasi yang besar dan beranekaragam serta kosmopolitan di alam ini. Mikroba merupakan bentuk kehidupan yang tersebar paling luas dan terdapat paling banyak di bumi.

Mikroba yang ada di bumi, ada yang menguntungkan dan merugikan. Mikroba patogen yang menyebabkan penyakit, adalah mikroba yang merugikan. Mikroba yang menguntungkan banyak dimanfaatkan dalam bioteknologi. Alasan mikroba digunakan dalam bioteknologi adalah: mampu menghasilkan substansi yang menarik, tersedia dalam biakan murni, sifat genetiknya stabil, tumbuh dalam biakan berskala besar, biakan dapat dipelihara dalam jangka waktu yang sangat panjang di laboratorium, tumbuh cepat dan menghasilkan produk yang diharapkan dalam waktu relative singkat, tidak berbahaya bagi manusia dan bermanfaat juga bagi tumbuhan dan hewan, mudah dipindahkan dalam medium biakan, mikroorganisme dapat direkayasa secara geneti. Bidang-bidang bioteknologi yang menggunakan mikroba : bidang pangan, bidang kedokteran, farmasi dan kesehatan, pertanian, industri dan bidang lingkungan. Bidang pangan, mikroba digunakan untuk menghasilkan produk fermentasi, baik fermentasi alkoholik maupun fermentasi non-alkoholik, produksi enzim pada makanan, asam amino maupun vitamin. Tempe, tape, yogurt, nata de coco, roti, jamur *edible*, kecap, bir, wine, adalah memanfaatkan mikroba dalam menghasilkan produk tersebut dalam bidang pangan. Produk yang dihasilkan dari fermentasi tersebut, menghasilkan dengan nilai gizi yang lebih baik, menghasilkan dengan produk rasa yang lebih baik, dengan nilai jual yang lebih tinggi, tahan lama dan biaya produksi yang lebih rendah, seperti dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh produk bioteknologi konvensional hasil fermentasi (Dewi dkk, 2021)

Mikroorganisme	Enzim	Substrat	Produk
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Protease	Kedelai	Tempe
<i>Aspergillus oryzae</i>	Protease	Kedelai	Tauco
<i>Aspergillus soyae</i>	Protease	Kedelai	Kecap
<i>Monillia sitophilia</i>	Protease	Bungkil kacang	Oncom
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Laktase	Susu	Yoghurt
<i>Lactobacillus vulgaris</i>	Laktase	Susu	Yoghurt
<i>Lactobacillus vulgaris</i>	Lipase	Susu	Keju
<i>Lactobacillus lactis</i>	Lipase	Susu	Keju
<i>Lactobacillus lactis</i>	Lipase	Susu	Mentega
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Laktase	Sayuran	Asinan

Saccharomyces cerevisiae digunakan dalam pembuatan wine, bir dan membentuk flavour roti. *Lactobacillus casei*, bakteri yang memfermentasi lactose menjadi asam laktat dalam menghasilkan yogurt. *Penicillium chrysogenum* digunakan dalam pembuatan keju. Dalam proses fermentasi, ada yang menghasilkan alkohol (fermentasi alkoholik) dan ada yang tidak menghasilkan alkohol (fermentasi non-alkoholik, seperti tercantum pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 2. Fermentasi yang melibatkan mikroorganisme yeast (Najafpour, 2018; Okafor, 2007)

Penggunaan	Ragi yang terlibat
Roti	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Pembuatan bir	<i>Sacch. uvarum (Sacch cerevisiae) Scch. cerevisiae</i>
Ragi makanan dan pakan ragi	<i>Candida tropicalis Candida pseudotropicalis</i> <i>Candida utilis Sacch. cerevisiae</i> <i>Kluyveromyces fragilis (Sacch. fragilis</i>
Pakan ragi	<i>Candida lipolytica</i>
Pembuatan wine	<i>Saccharomyces cerevisiae var. elliposoides</i>
Wine soda	<i>Sacch. bayanus</i>
Industri alcohol	<i>Sacch. cerevisiae (Sacch. fragilis with whey)</i>
Produk ragi (autolisat, biokimia)	<i>Sacch. cerevisiae</i>

Rekayasa Vitamin A pada beras yang dikenal dengan produk 'beras emas' yaitu dengan merekayasa beta-karoten, zat yang dapat diubah tubuh menjadi Vitamin A untuk melawan kekurangan vitamin A, suatu kondisi yang menimpa jutaan orang di negara berkembang, terutama anak-anak dan ibu hamil. Kekurangan Vitamin A yang parah

dapat menyebabkan kebutaan sebagian atau total; kekurangan yang kurang parah melemahkan sistem kekebalan tubuh, meningkatkan risiko infeksi seperti campak dan malaria. Beras emas dibuat dengan mentransformasi beras dengan tiga gen biosintesis beta-karoten: *psy* (*phytoene synthase*) dan *lyc* (*lycopene cyclase*) keduanya dari (*Narcissus pseudonarcissus*), dan *crt1* dari bakteri tanah *Erwinia uredovora*. Gen *psy*, *lyc*, dan *crt1* diubah menjadi genom nukleus dan ditempatkan di bawah kendali promotor spesifik endosperm, sehingga hanya diekspresikan dalam endosperm beras. Enzim endogen tanaman memproses likopen menjadi beta-karoten dalam endosperma, memberikan nasi warna kuning khas yang memberinya nama “emas” (Okafor, 2007).

Bidang kedokteran, farmasi, dan kesehatan mikroba digunakan antara lain untuk vaksin, produksi hormone, produksi antibiotik dan terapi gen. Contoh vaksin yang memanfaatkan mikroba adalah *whole microbial inactiv*, protein sub unit (contoh *spike protein* Covid-19), *viral vector*, mRNA untuk menghasilkan *spike protein* Covid-19, *Mycobacterium tuberculosis*, virus polio. *Escherichia coli* dan *Saccharomyces cerevisiae* penghasil insulin, Adenovirus untuk terapi gen (Rengganis, 2021; WHO, 2021). Hormon yang dihasilkan baik untuk kesehatan manusia dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Beberapa rekayasa genetika Kesehatan yang berkaitan dengan produk (Mohan et al., 2017; Martius dkk, 2020; Okafor, 2007) [

Produk	Aplikasi
Hormon	
1. Insulin	Pengobatan diabetes
2. Hormon pertumbuhan manusia (somatotropin)	Pengobatan dwarfisme
3. FSH (Follicle stimulating hormon)	Pengobatan untuk gangguan sistem reproduksi
Sistem Imun	
1. Tumor necrosis factor	Anti-tumor
2. Interleukin 2	Pengobatan beberapa kanker
3. Lysozyme	Anti-inflamasi
4. A-Interferon	Anti-viral
Komponen darah	
1. Erythropoietin	Pengobatan anemia dan cancers
2. Aktivasi plasminogen jaringan	Melarutkan gumpalan darah
3. Faktor VIII	Pengobatan haemophilia
Enzim	
DNase I manusia	Pengobatan cystic fibrosis

Hewan dan tumbuhan transgenik sebagai fermentor biologis (atau bioreaktor) digunakan untuk menghasilkan zat farmasi atau diagnostik berkualitas tinggi. Prosedur ini dikenal sebagai *pharming* dari parodi kata farmasi; itu juga dikenal sebagai 'pertanian molekuler' atau 'gen pharming' dan tanaman atau hewan transgenik yang digunakan kadang-kadang disebut sebagai 'bioreaktor' atau 'fermentor' hewan atau tumbuhan. Protein aktif terapeutik yang sudah ada di pasaran biasanya diproduksi di bakteri, jamur, atau kultur sel hewan. Dalam *pharming*, hewan transgenik banyak digunakan untuk membuat protein manusia yang memiliki nilai obat. Protein yang dikodekan oleh transgen disekresikan ke dalam susu hewan, telur atau darah atau bahkan urin, dan kemudian dikumpulkan dan dimurnikan. Ternak seperti sapi, domba, kambing, ayam, kelinci dan babi telah dimodifikasi dengan cara ini untuk menghasilkan beberapa protein dan obat-obatan yang berguna. Beberapa protein manusia yang digunakan sebagai obat memerlukan modifikasi biologis yang hanya dapat disediakan oleh sel-sel mamalia, seperti sapi, kambing, dan domba. Untuk obat ini, produksi pada hewan transgenik adalah pilihan yang baik. Menggunakan hewan ternak untuk produksi obat memiliki banyak keuntungan: mereka dapat direproduksi, memiliki produksi yang fleksibel, dan mudah dipelihara, seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Sintesis protein manusia pada hewan (Mohan et al., 2017; Okafor, 2007)

Protein	Penggunaan	Hewan
penghambat α -1-anti-protease	kekurangan α -1-antirypsin	Kambing
α -1-antirypsin	anti-inflamasi	Kambing, domba
Antithrombin III	Sepsis penyebaran koagulasi intravasckular (DIC)	Kambing
Kolagen		Sapi
Factor VII and IX	Terbakar, fraktur tulang, inkontinensia	domba, babi
Fibrinogen	hemophhilia	domba, babi
Hormon kesuburan manusia	Kebakaran pada <i>Fibrin glue</i> , operasi lokal hantaran obat kemoterapi	kambing, sapi
Hemoglobin manusia	ketidak suburan, vaksin kontrasepsi	babi
Serum albumin manusia	Pengganti darah untuk transfusi	kambing, sapi
Laktoferin	Kebakaran, operasi, shock, trauma	Sapi
LAtPA	Infeksi bakteri pada gastrointestinal	kambing
Antibodi monoklonal (AbMo)	Ulkus stasis vena	kambing
Aktivasi plasminogen jaringan	kanker kolon. Serangan jantung	kambing
	Trombosis vena dalam, emboli paru	

Tabel 5. Beberapa agen terapi yang dihasilkan dalam tumbuhan transgenic (Okafor, 2007; Sharma et al., 2004).

Protein	Tumbuhan	Aplikasi
Protein C manusia	Tembakau	Antikoagulan
Hirudin varian 2 manusia	Tembakau, canola, mustard Ethiopia	Antikoagulan
Granulocyte-macrophage colony-stimulating factor manusia	Tembakau	Neutropenia
Erythropoietin manusia	Tembakau	Anemia
Enkephalins manusia	Canola, selada thale	Antihyperanalgesic karena aktivitas kecanduan
Faktor pertumbuhan epidermal manusia	Tembakau	Perbaikan luka/mengontrol proliferasi sel
α -interferon manusia	Beras, lobak	Hepatitis C dan B
Serum albumin manusia	Kentang, tembakau	Sirosis pada lever
Hemoglobin manusia	Tembakau	Pengganti darah
Kolagen homotrimetil I manusia	Tembakau	Sintesis kolagen
α -1-antitrypsin	Beras	Cystic fibrosis, penyakit liver, haemorrhagik
Hormon pertumbuhan manusia	Tembakau	Dwarfisme, penyembuhan luka
Aprotinin manusia	Jagung	Penghambat tripsin, untuk operasi transpalantasi
Angiotension-1-converting enzyme (ACE)	Tembakau, tomat	Hipertensi
α -Tricosanthin	Tembakau	Terapi HIV
Glucocerebrosidase	Tembakau	Penyakit Gaucher

Mikroba dalam menghasilkan antibiotika memiliki beberapa keunggulan, antara lain : produksi dalam jumlah besar, lebih cepat diproduksi, biaya produksi lebih murah, dan bisa dilakukan rekayasa genetika. Beberapa contoh antibiotika yang dihasilkan oleh mikroba seperti pada Tabel 6 dan 7 di bawah.

Tabel 6. Antibiotika yang dihasilkan oleh mikroba dan aktivitasnya (Najafpour, 2018; Okafor, 2007)

Komponen antibiotik	Mikroorganisme yang menghasilkan	Aktivitas spektrum
Aktinomisin D	<i>Streptomyces</i> sp	Anti-tumor
Asparaginase	<i>Erwinia</i> sp	Anti-leukemia
Bacitrasin	<i>Bacillus</i> sp	Anti-bakteria
Bleomisin	<i>Streptomyces</i> sp	Anti-cancer
Cepalosporin	<i>Acremonium</i> sp	Anti-bakteria
Chloramphenicol	<i>Cephalosporium</i> sp	Anti-bakteria
Daunorobicin	<i>Streptomyces</i> sp	Anti-sporozoa
Fumagilin	<i>Aspergillus</i> sp	Amoebicidal
Griseofulfin	<i>Penicillium</i> sp	Anti-fungi
Mitomisin C	<i>Streptomyces</i> sp	Anti-tumor
Natamisin	<i>Streptomyces</i> sp	Pengawet makanan
Nisin	<i>Streptococcus</i> sp	Pengawet makanan
Penisilin G	<i>Penicillium</i> sp	Anti-bakterial
Rifamisin	<i>Nocardia</i> sp	Anti-tuberkulosis
Streptomisin	<i>Streptomyces</i> sp	Anti-bakterial

Tabel 7. Antibiotika yang dihasilkan oleh mikroba (Brock et al., 2003; Najafpour, 2018; Okafor, 2007)

Metabolit	Organisme yang menghasilkan
sekunder	menghasilkan
Aktinomisin	<i>Streptomyces antibioticus</i>
Indolmisin	<i>Streptomyces griseus</i>
Kanamisin	<i>Streptomyces kanamiceticus</i>
Mitomisin	<i>Streptomyces verticillatus</i>
Neomisin	<i>Streptomyces fraidae</i>
Puromisin	<i>Streptomyces alboniger</i>
Siomisin	<i>Streptomyces sioyaensis</i>
Streptimisin	<i>Streptomyces griseus</i>
Bacitrasin	<i>Bacillus licheniformis</i>
Prodigosin	<i>Serratia marcescens</i>
Violacein	<i>Chromobacterium violaceum</i>
Cephalosporin C	<i>Cephalosporium acremonium</i>
Ergot alkaloids	<i>Claviceps purpurea</i>
Enniatin	<i>Fusarium sambucinum</i>
Asam gibberellik	<i>Fusarium moniliforme</i>
Penisilin	<i>Penicillium chrysogenum</i>

Dalam bidang pertanian, misalnya dengan menciptakan kultivar unggul seperti tanaman padi tahan wereng, kapas tahan hama, tomat tahan lama sehingga dapat meningkatkan hasil panen, produksi hormone, biofertilizer, biocontrol dan kesehatan tanaman antara lain menghasilkan herbisida, dan sebagai biological control, seperti Tabel 8.

Tabel 8. Agen biologikal kontrol dan prioritas dengan program spesifik WHO tahun 1980 (Okafor, 2007)

Prioritas	Nama organisme
Prioritas 1	<i>Bacillus thuringiensis</i> , serotype H-14 (bacterium)
Prioritas 2	<i>Bacillus sphaericus</i> , strain 1593 (bacterium) <i>Culicinomyces</i> sp. (fungus) <i>Poecilia reticulata</i> (fish) <i>Romanomermis culicivorax</i> (nematode) Toxorhynchites (predatory mosquitoes) <i>Zacco platypus</i> (fish)
Prioritas 3	<i>Aphanius dispar</i> (fish) Coelomomyces (fungi) Lagenidium (fungus) Leptolegnia (fungus) <i>Metarrhizium anisopliae</i> (fungus) Parasitoids in general (insects) <i>Romanomermis iyengari</i> (nematode) <i>Stenopharyngodon idella</i> (fish)
Prioritas 4	Group A Aplocheilus (fish) Baculoviruses (viruses) Dimorphic microspordia (protozoa) Dugesia (Planaria) Lutzia (predatory mosquito) <i>Octomyomermis muspratt</i> (nematode) Protozoa of snails (protozoan) Tolypocladium Group B Entomophthorales (fungi) Nosema algerae (protozoan) Vavraia culicis (protozoa)

Bidang pertanian yang menggunakan bakteri baik dengan mengisolasi protein dan rekayasa genetika, antara lain dengan menggunakan bakteri *Bacillus thuringiensis*.

Tabel 9. Gen yang menghasilkan toxin protein kristal *Bacillus thuringiensis* dan aktivitasnya pada serangga (Okafor, 2007)

Gen	Bentuk kristal	Ukuran protein (kDa)	Aktivitas serangga
cry I (beberapa sub group A(a), A(b), A(c), B, C, D, E, F, G)	bipiramidal	130-138	Larva lepidoptera
cry II [subgroups A, B, C]	cuboidal	69-71	lepidoptera and Diptera
cry III [subgroups A, B, C]	flat/irregular	73-74	coleoptera
cry IV [subgroups A, B, C, D]	bipyramidal	73-134	Diptera
cry V-IX	bervariasi	35-129	Bervariasi

Produksi bakteri *Rhizobium* sp sebagai inoculum untuk tanaman yang dapat berperan sebagai biofertilizer, seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Inokulasi silang kelompok dari genus *Rhizobium* (Brock et al., 2003; Okafor, 2007)

Spesies <i>Rhizobium</i>	Kelompok inokulasi silang	Inang legum termasuk <i>Trigonella</i> (Fenugreek)
Kelompok semanggi	<i>R. Trifolii</i> <i>Rhizobium</i>	Trifolium (semanggi)
Kelompok Alfalfa	<i>meliloti</i>	Medicago (alfalfa)
Kelompok kacang	<i>R. Phaseoli</i>	Phaseolus (kacang)
Kelompok kacang polong	<i>R. leguminosarum</i>	Pisum (pea); Vivia (Vetch) Lathyrus (sweet pea)
Kelompok lupin	<i>R. lupini</i>	Lens (Lentil) Lupinus (lupines)
Kelompok kedelai	<i>R. japonium</i>	Ornithopus (Serradella)
Kelompok kacang tunggak		Glycine (kedelai) Vigna (kacang tunggak); Grotolaria (Crotolaria) Pueraria (Kudzu) Arachis (kacang tanah) Phaseolus (kacang lima)

Sekitar 10% dari produksi tanaman dunia hilang karena gulma. Herbisida (pembunuh gulma) menargetkan proses yang penting dan unik untuk tanaman. Proses ini penting untuk tanaman dan gulma yang sejenis, dan

mendapatkan metode yang selektif memang sulit. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan merekayasa tanaman agar tahan terhadap pembunuh gulma. Tanaman dapat menjadi resisten terhadap herbisida melalui salah satu dari empat cara berikut: (a) produksi berlebih dari target sensitif herbisida, sehingga sebagian masih tersisa untuk fungsi sel yang tepat meskipun ada herbisida di dalam sel; (b) pengurangan kemampuan protein target peka herbisida untuk mengikat herbisida; (c) merekayasa ke dalam tanaman kemampuan untuk menghambat herbisida secara metabolik; (d) penghambatan penyerapan herbisida.

Alkohol dihasilkan dari fermentasi karbohidrat oleh *Saccharomyces cerevisiae*, asam asetat dihasilkan dari fermentasi oleh *Acetobacter aceti*, minyak bumi, biofuel (biodiesel dan bioethanol) dan enzim adalah produk yang dihasilkan oleh mikroba dalam industri.

Dalam berbagai industri asam sitrat banyak dibutuhkan sebagai bahan baku, misalnya dalam industri makanan, minuman, farmasi, kosmetik, pewangi. Banyak jenis mikroba yang dapat digunakan dalam pembuatan asam sitrat, baik oleh bakteri maupun jamur antara lain : *Acetobacter aceti*, *Aspergillus niger*, *A. wentii*, *A. ciavatus*, *Penicillium luteum*. Tabel 11 di bawah adalah produk industri yang dihasilkan oleh mikroba.

Tabel 11. Produk industri dihasilkan dalam proses biological (Faridah& Sari, 2019; Najafpour, 2018)

Produk fermentasi	Mikroorganisme	Aplikasi
Etanol (bukan minuman)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Bahan kimia
Asam 2-ketoglukonik	<i>Pseudomonas sp</i>	Perantara dalam pembuatan asam askorbat (vitamin C) prekursos dalam sintesis asam isoaskorbat
Pektinase, protenase	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. aureus</i>	penjernih jus buah
Amilase bakteri	<i>Bacillus subtilis</i>	modifikasi tepung, merekatkan kertas
Protease bakteri	<i>Bacillus subtilis</i>	mengubah ukuran serat, penghapus noda
Lipase	<i>Candida rugosa</i>	esterifikasi lemak dan lipid
Protease	<i>Bacillus subtilis</i>	hidrolisis protein
Lisin	<i>Micrococcus glutamicus</i>	Makanan tambahan
Dextran	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Penstabil makanan
Sorbose	<i>Gluconobacter suboxydans</i>	membuat asam askorbat
Cobalamin (Vit B12)	<i>Streptomyces olivaceus</i>	suplemen makanan
Asam glutamat	<i>Brevibacterium sp</i>	makanan tambahan
Asam glutamat	<i>Aspergillus niger</i>	produk farmasi
Asam laktat	<i>Rhizopus oryzae</i>	makanan dan farmasi
Asam laktat	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	makanan tambahan dan kimia
Asam sitrik	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>A wentii</i>	produk makanan; pengobatan
Aseton-butanol-ethanol	<i>Cl. Acetobutylicum</i>	pelarut, pengantar kimia

Insulin, interferon	<i>E. coli rekombinan</i>	terapi manusia
Penggumpal susu	<i>Streptococcus thermophilus</i> <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	kultur starter yogurt
Yeast dan rennet	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	produksi keju dan yogurt
Protein mikrobia (PST)	<i>Candida utilis</i>	suplemen makanan
Protein sel tunggal (PST)	<i>Ps. methylotrop</i> Bakteri pengoksidasi fungi <i>Fusarium</i>	suplemen makanan

Minyak bumi atau *crude oil* merupakan senyawa hidrokarbon yang terdapat di dalam bumi dengan susunan berupa gas, cair dan padatan. Istilah dari minyak bumi sering disebut dengan minyak tanah dalam kehidupan sehari-hari. Minyak bumi (*petroleum*) dalam berasal dari bahasa Yunani yaitu *petra* yang berarti “batu” dan *elaison* yang artinya “minyak” serta memiliki julukan emas hitam. Minyak bumi memiliki struktur berupa cairan kental, berwarna hitam atau kehijauan, Minyak bumi terbentuk dari penguraian senyawa-senyawa organik dari jasad mikroorganisme yang ada di dasar laut atau darat. Sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mati akan mengendap atau tertimbun dalam pasir, lumpur dan zat lain selama jutaan tahun dan mengalami tekanan serta panas bumi. Proses penguraian ini berlangsung sangat lambat sehingga untuk membentuk minyak bumi dibutuhkan waktu yang sangat lama. Itulah sebabnya minyak bumi termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, sehingga dibutuhkan kebijaksanaan dalam eksplorasi dan pemakaiannya. Minyak nabati berbasis mikroba *oleaginous* (MO) atau mikroba pengakumulasi minyak didapatkan dari berbagai jenis mikroorganisme seperti: bakteri, ragi dan jamur. Beberapa contoh mikroba yang digunakan adalah *Candida sp.*, *Rhodospirium torulides*, *Cunninghamella echinulata* dan *Yarrowia lypolytica* yang digunakan untuk produksi biodiesel. Selain Biodiesel yang berasal dari minyak nabati, adapun Bioetanol merupakan campuran senyawa yang dihasilkan melalui fermentasi tumbuhan atau mikroorganisme yang banyak mengandung polisakarida (Okafor, 2007).

Enzim untuk kebutuhan industri diekstraksi dari berbagai jenis sel makhluk hidup, tetapi pada saat ini enzim lebih banyak diekstraksi dari berbagai jenis mikroorganisma, sebab mikroorganisma menghasilkan enzim yang dapat dimanfaatkan manusia dalam jumlah dan jenis yang sangat bervariasi selain mikroorganismanya sendiri dapat dikulturkan untuk memperoleh enzim yang dihasilkannya. Enzim memegang peran penting dalam kehidupan manusia salah satunya adalah enzim amilase. Enzim amilase banyak dimanfaatkan dalam bidang industri tekstil,

industri makanan, deterjen dan industri kertas. Selain itu, enzim ini juga di gunakan dalam pengujian limbah cair yang mengandung amilum, seperti pada Tabel 12 di bawah

Tabel 12. Mikroorganisme penghasil enzim xylanase (Najafpour, 2018; Okafor, 2007)

Jamur	pH	Suhu tumbuh (0C)	Suhu optimum (0C)
<i>Penicillium sp</i>	6,0	25	40
<i>Aspergillus sp</i>	4,5 - 6	24 -30	45-60
<i>Aureobasidium sp</i>	4,5-4,8	28	45-54
<i>Fusrium axysporium</i>	5,0	26	50
<i>Neurospora crassa</i>	4,8	28	50
<i>Gleophyllum trabeum</i>	4,0	22	80
<i>Mhyrothecium verrucaria</i>	5,5	30	45
<i>Bipolaris sorokinana</i>	5,5	28	70

Tabel 13. Enzim lipase yang digunakan dalam industry dan perannya (Najafpour, 2018; Okafor, 2007)

Jenis Industri	Fungsi enzim lipase
Kosmetik	Pengemulsi, pelembab kulit dan krim matahari, cokelat, minyak mandi dll
Kertas	Peningkatan kualitas kertas
Farmasi	Obat membantu proses pencernaan
Surfaktan	Hidrolisis, transesterifikasi minyak dan lemak dalam industri deterjen dan penghilang noda baju
Bahan bakar	esterifikasi dalam produksi biodiesel
Kulit	Transesterifikasi dan hidrolisis dalam produksi kerajinan kulit
Susu	Hidrolisis lemak susu dalam industri susu, keju dan mentega
Makanan	Modifikasi lemak mentega untuk memperpanjang waktu simpan makanan, emulsifier pada makanan seperti saus dan es krim
Minuman	Peningkat rasa pada minuman beralkohol
Daging dan ikan	Transesterifikasi pada produk daging, ikan dan penghilang lemak

Teknik rekayasa genetika menggunakan enzim yang dihasilkan oleh mikroba dan memotong palindrom genom tertentu untuk diinsersikan ke plasmid, dalam produksi produk rekayasa genetika seperti contoh enzim pada Tabel 14 di bawah ini.

Tabel 14. Enzim endonuclease restriksi yang memotong palindrom gen (Brock et al., 2003)

Enzim	Sumber mikroba	Rangkaian gen yang dikenal
<i>AluI</i>	<i>Arthrobacter luteus</i>	$\begin{array}{c} \downarrow \\ 5' \text{ A G C T } 3' \\ 3' \text{ T C G A } 5' \\ \uparrow \end{array}$
<i>BamHI</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens H</i>	$\begin{array}{c} \downarrow \\ 5' \text{ G G A T C C } 3' \\ 3' \text{ C C T A G G } 5' \\ \uparrow \end{array}$
<i>EcoRI</i>	<i>Escherichia coli</i>	$\begin{array}{c} \downarrow \\ 5' \text{ G A A T T C } 3' \\ 3' \text{ C T T A A G } 5' \\ \uparrow \end{array}$
<i>HaeIII</i>	<i>Haemophilus aegyptius</i>	$\begin{array}{c} \downarrow \\ 5' \text{ G G C C } 3' \\ 3' \text{ C C G G } 5' \\ \uparrow \end{array}$
<i>HindIII</i>	<i>Haemophylus influenzae b</i>	$\begin{array}{c} \downarrow \\ 5' \text{ A A G C T T } 3' \\ 3' \text{ T T C G A A } 5' \\ \uparrow \end{array}$

Bidang lingkungan, mikroba digunakan untuk bioremediasi, pengolahan limbah, *bioleaching*, pemisahan logam. Penggunaan mikroba dalam bidang lingkungan, antara lain untuk bioremediasi. dengan alasan :

1. Biaya pengolahan limbah lebih murah
2. Efek samping pada lingkungan minimal
3. Dapat diikuti dengan aktivitas lain untuk mengembalikan fungsi lingkungan

Bioremediasi sebagai respons biologis menuju perbaikan substrat pada lingkungan yang telah rusak atau tercemar. Konsep bioremediasi ini kemudian menjadi sebuah metode yang menawarkan proses pemulihan lingkungan tercemar menjadi kembali normal dan aman bagi kehidupan. Bioremediasi dibedakan menjadi

biostimulasi dan bioaugmentasi. Bioremediasi secara biostimulasi dilakukan dengan cara memberikan tambahan nutrisi, elektron akseptor, dan oksigen untuk menstimulasi perkembangbiakan mikroba. Biostimulasi dilakukan dengan memodifikasi lingkungan agar diperoleh kondisi optimal sehingga indigenous mikroba mampu berperan sebagai agen pengurai. Bioremediasi terkadang memiliki laju penguraian yang rendah bila hanya dilakukan oleh mikroba lokal dan penambahan exogenous mikroba yang telah teruji biasa dilakukan untuk meningkatkan laju penguraian. Konsep ini dikenal sebagai bioaugmentasi.

Alasan digunakannya mikroba dalam bioremediasi :

1. Biaya pengolahan limbah lebih murah
2. Dampak terhadap lingkungan minimal
3. Bioremediasi dapat diikuti aktivitas lain untuk mengembalikan lingkungan

Contoh bakteri yang digunakan dalam bioremediasi hidrokarbon, seperti pada Tabel 15.

Tabel 15. Jamur dan Bakteri pengurai petroleum hidrokarbon (Adenkunle & Adebambo, 2007; Andhini dkk, 2018; Hidayat & Siregar, 2017)

Mikroba	Polutan	Media	Degradasi (%)
Jamur			
<i>Fusarium sp. F092</i>	Minyak mentah tipe 1, 2, 3 (1000 ppm)	Cair	98%, 72%, 46% (60 hari)
	Minyak mentah tipe-2 (1000 ppm)	Tanah	49% (60 hari)
		Pasir laut	60% (60 hari)
<i>Aspergillus ochraceus</i> <i>NCIM-1147</i>	Kerosene (10%)	cair	77–83% (20 hari)
Bakteri			
<i>Bacillus sp.</i>	Minyak mentah (5000 ppm)	cair	89–90% (5 hari)
<i>Dietzia cinnamea</i> <i>Hoyosella altamirensis</i> <i>Vibrio alginolyticus</i>	Minyak mentah (1000 ppm)	Cair	39% (14 hari)

Tabel 16. Bakteri pengurai alifatik (Hidayat & Siregar, 2017)

Bakteri	Alifatik
<i>Pseudomonas balearica</i> Strain BerOc7	C14-C20
<i>Pseudomonas</i> B17 dan B18	C5-C12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Strain WAtG	C36 dan C40
<i>Marinobacter</i> sp. BP42	C18
<i>Desulfatibacillum</i> <i>aliphaticivorans</i> CV2083T	C13-C18
<i>Rhodococcus</i>	C6-C20
<i>Rhodococcus</i> sp Moj-3449	C12-C18

Tabel 17. Bakteri dan jamur pengurai polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) (Hidayat & Siregar, 2017)

Bakteri	PAH
<i>Mycobacterium flavescens</i>	Pyrene dan fluoranthrene
<i>Mycobacterium</i> <i>aromativaron</i> JS 19b1T	Phenanthrene
<i>Rhodococcus</i> spp	Pyrene dan fluoranthrene
<i>Rhodotorula glutinis</i>	Phenanthrene
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Phenanthrene
Jamur	
<i>Anthracophyllum discolor</i>	Phenanthrene, anthracene, fluoranthene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)pyrene
<i>Fusarium</i> sp. F092	Chrysene

Tabel 18. Jamur dan bakteri pengurai zat pewarna (Hidayat & Siregar, 2017)

Mikroba	Zat pewarna	Tipe	Degradasi (%)
Jamur			
<i>Phanerochaete</i> <i>chrysosporium</i>	Reactive	Immobilisasi	93% (72 jam)
<i>Rhizopus</i> <i>arrhizus</i>	Black 5 (100 ppm), Reactive Red RB, Reactive Black B, Remazol Blue, Methylene Blue (100 ppm)	(bioreaktor) Kultur cair	Reactive Red RB (100%, 2 hari), Reactive Black B (100%, 3 hari), Remazol Blue (72%, 8 hari), Methylene Blue 93%, 8 hari)
Bakteri			
<i>Pseudomonas putida</i>	Direct Red 5B (20 ppm)	Kultur cair	81% (96 jam)
<i>Alcaligenes faecalis</i> PMS-1	Reactive Orange 13 (400 ppm)	Kultur cair tanpa sel (enzimatik)	100% (16 jam)

Bioremediasi yang dilakukan oleh mikroba juga bisa menguraikan zat warna untuk menyehatkan lingkungan juga, beberapa jenis mikroba bisa digunakan untuk menguraikan senyawa yang berklorinasi, seperti Tabel 19 di bawah.

Tabel 19. Mikroba yang menguraikan senyawa berklorinasi (Hidayat & Siregar, 2017)

Mikroba	Polutan	Tipe	Degradasi (%)
Jamur			
<i>Phanerochaete sordida</i> YK-625	PCDF dan PCDD (0,05 ppb)	Kultur cair	14-50% (7 hari), bervariasi tergantung isomer TCDF dan TCDD yang digunakan
<i>Pseudallescheria boydii</i>	2,3,7,8 TCDD (0,05 ppm)	Kultur cair	76% (60 jam)
<i>Trametes versicolor</i> U97	DDT (0,1 mM)	Kultur cair	73% (40 hari)
<i>Phlebia lindtneri</i>	DDT (25 µmol L-1)	Kultur cair	70% (21 hari)
<i>Phlebia brevispora</i>	DDT (25 µmol L-1) dan Heptachlor (25 µmol L-1)	Kultur cair	30% (21 hari) 74% (14 hari)
<i>Phlebia tremellosa</i>	Heptachlor (25 µmol L-1)	Kultur cair	71% (14 hari)
<i>Phlebia acanthocystis</i>	Heptachlor (25 µmol L-1)	Kultur cair	90% (14 hari)
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	DD dan 2,7 DDD (2,5 µM)	Kultur cair	> 50% (1 hari) 43% (24 hari)
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	DDT (25 µmol L-1)	Kultur cair	87% (14 hari)
<i>Fomitopsis pinicola</i>	DDT (25 µmol L-1)	Kultur cair	84% (14 hari)
<i>Daedalea dickinsii</i>	DDT (25 µmol L-1)	Kultur cair	81% (14 hari)
Bakteria			
<i>Pseudomonas resinovorans</i> strain CA11	2,3-DDD (1 ppm)	Kultur mikroba pada media tanah (109 CFU, dengan pengulangan)	59-99% (14 hari)
<i>Sphingomonas wũchii</i> RW1	237-TCDD (50 ppm)		23% (5 hari)
<i>Rhodococcus opacus</i> SAO101	27-DCDD (1 ppm)		16% (7 hari)
<i>Dehalococcoides</i> sp. CBDB1	124- TCDD (17,3 ppm)		55% (84 hari)

Bioleaching dan biooksidasi mempunyai pengertian yang berbeda. *Bioleaching* adalah pelarutan logam dari mineral menggunakan jasa mikroba untuk memperoleh logam-logam berharga seperti tembaga, nikel, seng, uranium dan kobalt. Logam-logam tersebut menjadi larut selama proses berlangsung. Larutannya kemudian diolah lagi untuk memperoleh logam berharganya secara maksimum melalui proses ekstraksi dan penapisan elektrik. Biooksidasi adalah oksidasi mineral oleh bakteri tetapi logam berharganya tidak larut dan tetap berada dalam residu padatan

dalam bentuk yang lebih terkonsentrasi. Larutannya sendiri dibuang. Teknologi biooksidasi telah digunakan oleh industri pemrosesan emas sebagai proses pra olahan untuk membuang pirit dan arsenopirit dari bijih emas refraktori. Katalis ini akhirnya dapat diidentifikasi sebagai komponen mikroorganisme yang hidup di tambang dan ditemukan pula di dalam air asam tambang. Mikroorganisme itu adalah *Thiobacillus thiooxidans*. Kemudian tahun 1950, Colmer dan Temple berhasil mengisolasi bakteri Chemolithoautotroph dari air asam. Bakteri ini mengoksidasi ion fero menjadi feri, dan bakteri ini diberi nama *Thiobacillus ferrooxidans*. Kemampuan *Thiobacillus ferrooxidans* dalam mengoksidasi sulfur kemudian dimanfaatkan dalam proses oksidasi dan pelarutan logam sulfida lain seperti kalkopirit (CuFeS_2), kalkosit (Cu_2S), kovelit (CuS). Sejak itu, *Thiobacillus ferrooxidans* diisolasi dari banyak air asam tambang dan penemuan bakteri ini telah menandai era baru dalam memahami fenomena yang berhubungan dengan pembentukan dan degradasi bijih mineral, serta menjadi dasar dari lahirnya teknologi bioleaching dan biooksidasi. Metode biooksidasi menggunakan mikroorganisme telah dilakukan dengan bakteri dari spesies *Thiobacillus ferrooxidans* untuk pra olahan bijih emas refraktori asal Kalimantan Timur dalam melarutkan mineral sulfida dari ikatan emas. Efektivitas proses pelindian selama 42 hari oleh bakteri tersebut menunjukkan adanya perolehan emas sebesar 87,1% dibandingkan metode sianidasi langsung tanpa pra olahan yang dicapai sebesar 38,7%. Pemanfaatan kultur bakteri konsorsium *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan *A. thiooxidans* dapat meningkatkan perolehan emas menjadi 98% dengan waktu proses yang lebih singkat selama 28 hari (Hidayat & Siregar, 2017)

Peran mikroba dalam tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) secara global sesuai dengan tujuan SDGs, yang pada dasarnya mencakup tiga dimensi yaitu (Muhyiddin, 2020; Said dkk, 2016; Bappenas; Wuryandani, 2020) ekonomi, sosial dan lingkungan. Dalam dimensi ekonomi terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai antara lain upaya meningkatkan pertumbuhan ekonomi, memerangi kemiskinan, serta mengubah produksi dan konsumsi ke arah yang seimbang. Sedangkan dimensi sosial berhubungan dengan pemecahan masalah kependudukan, perbaikan pelayanan masyarakat, peningkatan kualitas pendidikan, dan lain-lain. dimensi lingkungan memiliki tujuan-tujuan antara lain upaya pengurangan dan pencegahan terhadap polusi, pengelolaan limbah serta konservasi/preservasi sumber daya alam. Dengan demikian tujuan pembangunan berkelanjutan terfokus pada ketiga dimensi di atas yaitu keberlanjutan laju pertumbuhan ekonomi yang tinggi (*economic growth*), keberlanjutan kesejahteraan sosial yang adil dan merata (*social progress*) Implementasi *Sustainable Development* di Indonesia serta keberlanjutan ekologi

dalam tata kehidupan yang serasi dan seimbang (*ecological balance*). Konsep yang jelas tentang pembangunan berkelanjutan diungkapkan oleh Robert *et. al* (2005) yaitu pembangunan berkelanjutan terbagi atas dua bagian yaitu apa yang harus dilestarikan dan apa yang harus dibangun. Adapun bagian yang harus dijaga adalah : 1) *Nature* (alam) yaitu bumi, biodiversitas dan ekosistem. 2) *Life support* (penunjang) yaitu layanan. ekosisten, sumber daya dan lingkungan dan 3) *Community* (masyarakat) yaitu budaya, kelompok dan tempat. Sedang bagian yang harus dibangun adalah : 1) Manusia yang ditujukan pada kehidupan anak-anak, harapan hidup, pendidikan, kesetaraan, dan kesempatan yang sama. 2) Ekonomi yang ditujukan pada kesejahteraan, produktifitas dan konsumsi, dan 3) Sosial yang ditujukan pada institusi, modal sosial, kawasan lokal dan regional.

Sustainable Development Goals mencakup 17 tujuan yaitu : pengentasan kemiskinan di seluruh dunia termasuk Indonesia, peningkatan ketahanan pangan dan peningkatan gizi, serta upaya promosi pertanian berkelanjutan, peningkatan promosi hidup sehat dan kesejahteraan masyarakat, peningkatan pendidikan yang berkualitas dan berkeadilan serta upaya promosi kesempatan belajar seumur hidup, kesetaraan gender dan pemberdayaan perempuan, ketersediaan dan pengelolaan air dan sanitasi yang berkelanjutan, tercapainya energi yang handal yang didukung dengan akses yang berkelanjutan serta terjangkau bagi seluruh masyarakat, pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, kesempatan kerja dan produktifitas serta pekerjaan yang layak untuk semua, infrastruktur yang handal dan mendorong inovasi pada industri yang berkelanjutan, ketimpangan antar negara yang semakin kecil, tercapainya kota dan pemukiman yang aman dan berkelanjutan, pola produksi dan konsumsi kebutuhan masyarakat yang berkelanjutan, upaya praktis untuk mereduksi dampak perubahan iklim, pelestarian sumber daya kelautan yang mendukung pembangunan berkelanjutan, perlindungan ekosistem darat, pengelolaan hutan yang berkelanjutan, pencegahan penggurunan, pencegahan degradasi lahan dan perlindungan keanekaragaman hayati , penciptaan masyarakat yang damai untuk pembangunan berkelanjutan, penyediaan akses yang efektif dan akuntabel bagi semua masyarakat dan peningkatan sarana dan kemitraan yang mendukung pembangunan berkelanjutan (Nursalam dkk, 2020; Pertiwi, 2017).

4. SIMPULAN

1. Mikroba yang menguntungkan bagi manusia digunakan untuk kesejahteraan hidup manusia.
2. Peran mikroba dalam bioteknologi antara lain : bidang pangan, kedokteran, farmasi dan kesehatan, pertanian, industry dan lingkungan.
3. Bioteknologi sesuai dengan SDGs yang diluncurkan oleh PBB, salah satu pesertanya adalah Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- Adekunle, A.A., Adebambo, O.A. (2007). Petroleum Hydrocarbon Utilization by Fungi Isolated From Detarium Senegalense (J. F Gmelin) Seeds. *J. of American Science*. 3(1)
- Andhini, N., Nursyirwani, Nedi, S. (2018). Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak Dari Perairan Sekitar Pelabuhan Bengkalis Provinsi Riau. *J. Perikanan dan kelautan*. 23 (1)
- Brock, Madigan, Martinko. (2003). *Biology of Microorganism*. New York : Prentice Hall
- Dewi, E.R.S., Widyastuti, D.A., Nurwahyunani, A. (2021). *Buku Ajar Bioteknologi*. Univ PGRI Semarang Press
- Faridah, H.D., Sari, S.K. (2019). Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Pengembangan Makanan Halal Berbasis Bioteknologi. *J. of Halal Product and Research* : Universitas Airlangga
- Mohan, G. Kumar, S., Deginal, R., Prasad, K., Kumar N, A., Kumar P, S. (2017). Advances in transgenic animal production and applications. *Inter. J of Science, Environment and Technology*. Vol 6 (4)
- Hidayat , A., Siregar, C.A. (2017). *Telaah Mendalam tentang Bioremediasi: Teori dan Aplikasinya dalam Upaya Konservasi Tanah dan Air*. Bogor : IPB Press.
- Muhyiddin. (2020). *Covid-19, New Normal dan Perencanaan Pembangunan di Indonesia*. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas Republik Indonesia
- Nursalam, Kusnanto, Mishbahatul, E., Yusuf, A., Kurniawati, N.D., Sukartini, T., Efendi, F., Kusumaningrum, T. (2020). Editor: Diah Priyantini. *Pedoman penulisan skripsi literature review dan tesis sistematic riview*. Surabaya : Fakultas Keperawatan Universitas Airlangga
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas Republik Indonesia. *The Indonesian J. of Development Planning*. 4 (2)

- Martius, E., Laoditta, F., Sofia, D.Y., Mahsunah., A.H. (2020). Optimasi Waktu Induksi dalam Mengekspresikan Gen Proinsulin secara Intraseluler Menggunakan Inang *Pichia pastoris*. *J Riset Biologi dan Aplikasinya*. 2 (1).
- Najafpour, G.D. (2018). *Industrial Microbiology* : Elsevier
- Okafor, N. (2007). *Modern Industrial Microbiology and Biotechnology*. British Isles : Science Publisher
- Pertiwi, N. (2017). Implementasi *Sustainable Development* di Indonesia. Makassar : Pustaka Ramadhan
- Rengganis, I. (2021). Workshop Vaksinasi Covid 2019. PAPDI
- Robert, K. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. A. (2005). What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 47(3), 8–21.
<https://doi.org/10.1080/00139157.2005.10524444>
- Said, A. dkk. (2016). Potret Awal Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) di Indonesia. Jakarta : Badan Pusat Statistik/Statistics Indonesia.
- Sharma, A.K., Jani, D., Raghunath, C., Tyagi, A.K. (2004). Transgenic plants as bioreactors. *Indian J of Biotechnology*. Vol 3
- Unsur-unsur Kementerian PPN/Bappenas dan Kementerian Lembaga Terkait, Filantropi dan Pelaku Usaha, Akademisi dan Organisasi Kemasyarakatan. (2017). Terjemahan Tujuan & Target Global Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/ *Sustainable Development Goals* (SDGs). Jakarta : Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Bappenas
- Wuryandani, D. (2020). Dampak Pandemi Covid-19 Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Indonesia 2020 Dan Solusinya. Jakarta : Info Singkat. Bidang Ekonomi dan Kebijakan Publik. Kajian Singkat Terhadap Isu Aktual dan Strategis. Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI : 8(15)
- WHO. (2021). Vaksin COVID-19 Janssen (Ad26.COV2-S [rekombinan])