

Bioremediasi Air Laut Tercemar Minyak Bumi dengan Menggunakan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Era Revolusi Industri 4.0 dalam Perspektif Al-Qur'an.

Icha Nurhaliza

Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang

Ichanurhaliza1998@gmail.com

I. Pendahuluan

Saat ini kita memasuki era Revolusi Industri 4.0 yang secara fundamental mengubah siklus hidup, kebutuhan psikis maupun biologis dan perubahan interaksi antar sesama makhluk hidup baik manusia maupun hewan. Lingkungan hidup mengalami degradasi fungsi utama penyedia tempat tinggal bagi seluruh makhluk hidup, energi dan oksigen yang diakibatkan oleh perbuatan manusia. Hal ini selaras dengan pendapat (Thayyarah, 2014 : 674) sesungguhnya, siklus hidup umat manusia yang datang silih berganti di bumi telah menciptakan perubahan lingkungan tempat kita hidup, juga menimbulkan sampah dan limbah yang dibuang ke perairan dan permukaan tanah. Bumi ini menjadi saksi sejak awal revolusi industri sampai hari ini hingga terus meningkatnya polusi yang mencemari udara, air dan tanah.

Hal yang menyedihkan dari kerusakan lingkungan ini tidaklah diimbangi dengan usaha pencegahan terhadap munculnya polutan pada semua aspek lingkungan. Maha benar Allah dengan firman-Nya :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia ...” (Ar-Rum : 41)

Ayat tersebut turun 1400 tahun silam, saat manusia di masa itu belum tahu apa-apa soal polusi ataupun perusakan lingkungan di darat maupun lautan. Ayat itu seakan berbicara tentang masa kini. Sesungguhnya, hadis-hadis Nabi pun mengisyaratkan betapa pentingnya upaya menjaga lingkungan dari polusi demi kesehatan manusia. Di antara hadis-hadis itu bahkan ada yang berbicara tentang anjuran menanam tanaman, larangan membuang limbah di air yang tidak mengalir, dan menyingkirkan batu dan duri dari jalan (Thayyarah, 2014 : 674-675).

Di antara hadis-hadis Nabi yang berkaitan dengan menjaga lingkungan ialah “*Apabila seorang muslim menanam sesuatu lalu hasilnya dimakan oleh burung, manusia ataupun hewan ternak, itu adalah sedekahnya.*” (HR. Muslim). “*Upayamu menyingkirkan batu, duri dan tulang dari jalan yang dilalui manusia adalah sedekah.*” (HR. Al-Baihaqi). “*Janganlah kalian buang air kecil di genangan air yang tak mengalir.*” (HR. Al-Bukhari) (Thayyarah, 2014 : 674). Ketiga hadis ini menjelaskan hal-hal yang perlu dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan makhluk hidup dan alam dimulai dari hal yang sederhana seperti menanam tanaman dan membuang sampah pada tempatnya karena sekecil apapun amal yang dilakukan demi kemaslahatan bersama maka bernilai sedekah.

Saat ini untuk pembuangan limbah cair hasil industri dikenal sebagai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), namun pada skala industri dan instansi, semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi maka produktivitas barang maupun jasa semakin meningkat. Oleh sebab itu, pencemaran lingkungan pun semakin tak terkendali baik di darat maupun di laut, umumnya pencemaran di laut terjadi karena tumpahan minyak bumi, (NASA dalam Mukhtasor, 2007) sebagaimana dalam kutipan Pusat Penelitian Oseanografi LIPI (2017), menyatakan bahwa saat ini pencemaran minyak sudah cukup mengkhawatirkan. Sejak tahun 2002 kontribusi tahunan tumpahan minyak ke laut mencapai 706 juta galon dengan sumbangan terbesar berasal dari pelimpasan darat yang mencapai 51,4%.

Data terbaru dari Pusat Penelitian Oseanografi (2013) mengklaim dalam Pusat Penelitian Oseanografi LIPI (2017) menunjukkan bahwa kadar total PAH (*Poliaromatic Hydrocarbon*) dalam air laut dan kerang hijau telah melewati Nilai ambang batas yang ditetapkan oleh KemenLH (2004) dan dalam sedimen juga sudah melewati batas aman yang ditetapkan oleh *Handbook for Sedimen Contamination Research* (2005). PAH adalah salah satu senyawa penyusun kandungan minyak yang paling membahayakan bagi kehidupan biota laut juga manusia. (Atlas, 1992) mengklaim dalam Yulia, Bindanetty dan Sri (2014 : 1) BTX (Benzene, Toluene, dan Xylene) merupakan senyawa aromatik dalam jumlah kecil dalam hidrokarbon, namun pengaruhnya sangat besar dalam pencemaran perairan. *Canadian Water Quality Guidelines Protection* memberi ambang batas benzena pada badan air tawar ialah 0,3 mg/L.

(Nugroho, 2006) sebagaimana dalam kutipan Yulia, Bindanetty dan Sri (2014 : 1) Bioremediasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggunakan

mikroba untuk mengolah (cleaning) hidrokarbon minyak bumi dari kontaminan melalui mekanisme biodegradasi alamiah (*intrinsic bioremediation*) atau meningkatkan mekanisme biodegradasi alamiah dengan menambahkan mikroba, nutrien, donor elektron dan atau akseptor elektron (*enhanced bioremediation*). (Atlas, 1992) menyatakan sebagaimana dalam kutipan Mas'ud (2018 : 23) bahwa Mikroorganisme yang digunakan untuk Bioremediasi dapat mendegradasi hidrokarbon menjadi karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O) sebagai hasil akhir.

(Environmental Canada Health Canada, 2011) menyatakan sebagaimana dalam kutipan Yulia, Bindanetty dan Sri (2014 : 1) bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mampu menggunakan lebih dari 75 macam organik sebagai sumber karbon dan sumber energi, mampu menggunakan respirasi aerobik (dengan oksigen) dan anaerob pada nitrat atau akseptor elektron alternatif lainnya juga mampu tumbuh pada nutrient dalam jumlah sedikit. *Pseudomonas aeruginosa* mampu mendegradasi hidrokarbon polisiklik aromatik seperti toluena, bentuk sederhana dari methylbenzene, melalui oksidasi dari kelompok metil aldehida, alkohol dan asam yang kemudian diubah menjadi katekol. *Pseudomonas aeruginosa* tumbuh dengan optimal pada suhu 37°C dan bertahan hidup dari suhu kisaran 10 °C hingga 45°C dalam air garam dan air distilat, serta pada pH media antara 6,0 – 9,0.

II. Bioremediasi Air Laut Tercemar Minyak Bumi Menggunakan *Pseudomonas aeruginosa* era Revolusi Industri 4.0 dalam Perspektif Al-Qur'an.

Hal yang perlu dipahami dalam melakukan Bioremediasi ialah mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan timbulnya polutan di air laut. Menurut Thayyarah (2014 : 676-678) terdapat 4 faktor penyebab utama terjadinya polusi di lautan antara lain :

1. Pembuangan limbah industri ke air secara langsung tanpa diolah, seperti material pembersih, pembasmi dan logam berat.
2. Polusi permukaan air oleh minyak mentah, khususnya permukaan lautan dan samudera melalui kapal tanker, kilang pengolahan minyak bumi, dan pabrik petrokimia. Polusi itu terjadi ketika tumpahan minyak mengambang di permukaan air dan menghalangi masuknya cahaya matahari ke dalam air laut. Hal itu berdampak langsung pada kehidupan di bawah laut berupa kematian dan migrasi hewan laut serta gangguan keseimbangan habitat laut.

3. Pembuangan limbah perkotaan dan saluran air secara langsung ke laut dan ke sungai yang berhilir ke laut tanpa diolah. Limbah manusia diketahui pula mengandung bakteri yang terbawa oleh mikroorganisme yang menempel di banyak tempat. Ketika limbah-limbah itu dibuang ke air, maka bakteri-bakteri itu akan tersebar sebanyak organisme yang membawanya. Melalui pengamatan bahwa semakin dekat level air dengan permukaan akan semakin besar tingkat polusinya, demikian pula dengan permukaan air di pantai.
4. Polusi akibat pembuangan air panas yang disengaja ataupun tidak disengaja di aliran sungai maupun danau. Hal ini mengakibatkan meningkatnya suhu air yang dapat mempengaruhi kehidupan di dalam air.

Menurut Yulia, Bindanetty, dan Sri (2014 : 1) berbagai kegiatan eksplorasi, eksploitasi, transportasi, penyimpanan, pengolahan dan distribusi minyak mentah maupun minyak olahan masih sering menghasilkan kejadian kebocoran dan atau tumpahan minyak ke lingkungan. Penanganan yang tidak tepat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berbahaya bagi makhluk hidup.

Penanganan kondisi lingkungan yang tercemari minyak bumi dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi. Remediasi secara fisika dan kimia bersifat remediasi jangka pendek dan tidak tuntas (perpindahan massa antar media lingkungan) hanya sekitar 10-15% pencemar dapat dipindahkan dari media laut (*Office of Technology Assesment*, 1990) dalam (Yulia, dkk., 2014 : 1). Untuk penuntasan remediasi diperlukan penghilangan media secara biologi (*Bioremediasi*) (Yulia, dkk., 2014 : 1).

Bakteri laut adalah salah satu mikroorganisme yang mampu menjaga kesinambungan kehidupan di laut karena kemampuannya mendegradasi senyawa organik mulai dari yang sederhana hingga kompleks, yang masuk ke perairan laut. Bioremediasi adalah usaha perbaikan lingkungan yang telah tercemar dengan menggunakan biota hidup. Salah satu contoh biota yang sering digunakan dalam uji coba perbaikan lingkungan laut yang tercemar minyak adalah bakteri laut hidrokarboklastik (bakteri pemecah minyak) yang jumlahnya lebih dari 200 spesies (Irianto, 2013 : 562)

Polusi minyak di laut, sungai dan perairan lain sudah sangat umum. Minyak sangat resisten terhadap degradasi oleh mikroba. Jamur *Cladosporium resinae* dapat mendegradasi plastik dan parafin dengan efektif. Mikroba lain adalah *Pseudomonas*

sp. Hasil rekayasa genetika oleh Dr. Chakrabarty, yang dapat memecah ikatan hidrokarbon minyak (Irianto, 2013 : 511).

Keberhasilan teknik Bioremediasi ditentukan oleh mikroba (kepadatan bakteri, keragaman populasi, dan aktivitas enzim), bahan cemaran (karakteristik kimia dan fisik, struktur molekul dan konsentrasi) dan berbagai faktor lingkungan (pH, suhu, kelembaban, Eh dan ketersediaan sumber karbon dan energi) (Pusat Penelitian Oseanografi, 2017) Das dan Chandran (2011) dalam Pusat Penelitian Oseanografi (2017) menyatakan bahwa berbagai parameter ini mempengaruhi masa aklimasi mikroba terhadap substratnya (bahan cemaran). Struktur molekul dan konsentrasi cemaran sangat mempengaruhi kelayakan bioremediasi dan perubahan jenis mikroba yang terjadi, juga apakah senyawa akan berperan sebagai substrat utama, sekunder atau ko-metabolit.

Menurut zam (2010) dalam Fitria (2018 :7), suhu dapat mempengaruhi lingkungan tumpahan minyak dan aktivitas atau populasi dari mikroorganisme. Umumnya kecepatan degradasi minyak bumi oleh bakteri aerob berlangsung optimum pada suhu berkisar antara 15 – 30°C. Kemudian menurut Prasetya *et al* (2016) dalam Fitria (2018 :7), menyatakan bahwa bakteri yang berpotensi mendegradasi senyawa sulfur aromatik minyak bumi tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 30°C.

Derajat keasaman (pH) berkisar antara 6.2 – 7.9. pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju pertumbuhan mikroba dan berkaitan dengan aktivitas enzim. Umumnya enzim bekerja optimum pada rentang pH 6 – 8 (Fitria, 2018 : 7). Menurut Wenti (2012) sebagaimana dalam kutipan Fitria (2018 :7), menyatakan bahwa tingkat optimal pertumbuhan dan biodegradasi hidrokarbon dapat berlangsung pada keadaan yang cukup nutrisi, oksigen yang cukup dan pH antara 6 – 9. Menurut Filosofia (2011) dalam (Fitria, 2018 : 7) kandungan DO (*Demand Oxygen*) atau Oksigen terlarut minimum adalah 2 mg/L dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun. Kandungan DO minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme. Selanjutnya kebutuhan oksigen dapat dipenuhi dengan aerasi yaitu dengan cara pengocokan dengan *shaker* di Laboratorium.

Implementasi bioremediasi air laut tercemar minyak bumi menggunakan *Pseudomonas aeruginosa* merupakan terobosan di bidang bioteknologi dengan sistem *batch* di era Revolusi Industri keempat sebagai upaya penanganan kondisi

lingkungan yang dicemari minyak bumi. Berbagai penelitian telah dilakukan dalam pengujian Bioremediasi menggunakan isolat *Pseudomonas aeruginosa*. Salah satunya penelitian tersebut dilakukan oleh Yulia, Bindanetty, dan Sri (2014) berdasarkan data dan analisa pada penelitian maka diketahui bahwa :

1. Semakin besar presentase bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang ditambahkan maka akan meningkatkan persen biodegradasi TPH (Total Petroleum Hidrokarbon), rate penurunan TPH pada fase log yang dinyatakan sebagai nilai slope serta mempercepat degradasi BTX. Bioreaktor dengan media teraerasi dan konsentrasi semaran minyak 1000 ppm, pada penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 1% v/v menghasilkan % biodegradasi TPH akhir sebesar 100% dalam waktu 28 hari, slope penurunan TPH pada fase log sebesar 61,812 mg/L. Hari dan degradasi senyawa BTX seluruhnya pada hari ke-28. Sedangkan , pada penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 3% v/v menghasilkan % biodegradasi TPH akhir sebesar 100% dalam waktu 21 hari, slope penurunan TPH pada fase log sebesar 73,34 mg/L. Hari dan degradasi senyawa BTX seluruhnya pada hari ke-14.
2. Semakin tinggi konsentrasi cemaran minyak bumi maka akan memperlama waktu biodegradasi TPH dan BTX. Bioreaktor dengan penambahan 35 v/v bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan media teraerasi pada cemaran minyak 1000 ppm memerlukan waktu 21 hari untuk degradasi TPH dan 14 hari untuk degradasi BTX, sedangkan pada cemaran minyak 1500 ppm memerlukan waktu 28 hari untuk degradasi TPH dan 21 hari untuk degradasi senyawa BTX.
3. Hasil yang terbaik untuk persen biodegradasi TPH dan BTX adalah bioreaktor dengan penambahan *Pseudomonas aeruginosa* 3% (v/v), media teraerasi dan konsentrasi cemaran minyak bumi 1000 ppm dengan hasil biodegradasi TPH 100% dalam waktu 21 hari dan penurunan kadar BTX sebesar 100% dalam waktu 14 hari.

Menurut Tjandrawinata (2016 : 1) Revolusi Industri disebut sebagai Revolusi Digital yang serba otomatisasi pada pabrik-pabrik yang memproduksi barang secara massal, selain menyebabkan kerusakan lingkungan akibat pertanian modern, kemajuan bidang otomatisasi juga telah menyebabkan “Revolusi hijau”. Hal ini menunjukkan bahwa semakin luas ilmu pengetahuan dan teknologi yang diketahui oleh manusia maka semakin banyak pula permasalahan yang dihadapi berupa

dampak positif dan dampak negatif terhadap lingkungan, alam, manusia dan makhluk hidup lainnya.

Kemajuan teknologi di bidang perindustrian memberikan kemampuan produktivitas yang sangat tinggi namun kurang maksimalnya tingkat kesadaran akan betapa penting pengolahan limbah yang terbentuk dari hasil produksi dan tingkat keamanan pengoperasian alat berat maupun mesin seperti kilang minyak. Tumpahan minyak bumi yang mencemari lautan berdampak buruk bagi biota laut dan manusia, karena secara tidak langsung manusia teracuni oleh kandungan senyawa kimia dalam tubuh hewan laut ketika dikonsumsi, namun tak menyadari bahwa terdapat emulsi dari tumpahan minyak bumi yang terdapat dalam hewan laut tersebut baik jenis *Pisces*, *Moluska* dan *Arthropoda*. Kemampuan mendetoksifikasi dalam tubuh manusia berbeda-beda, oleh sebab itu pentingnya tindakan pencegahan mengonsumsi daging hewan laut yang tercemar oleh tumpahan minyak bumi, limbah dan logam berat.

Memasuki era Sains management pada tahun 1948 awal abad 20, istilah teknik industri muncul, menurut IIE (*Institute of Industrial Engineering*) diartikan bidang pekerjaan yang mencakup perancangan, perbaikan, dan penginstalasian serta menangani masalah manusianya yang terintegrasi dengan manusia, material, informasi, peralatan, dan energi. Sehingga profesi teknik industri banyak dihadapkan dengan permasalahan yang kompleks (Tritulasih dan Wahyudi, 2017 : 509), sehingga mampu mendukung bidang keilmuan lainnya seperti Mikrobiologi, perminyakan dan pertambangan.

(Sayuti *et al.*, 2016) sebagaimana dalam kutipan Fitria, Nusyirwani dan Thamrin (2018 : 4) menyatakan bahwa dampak besar dari pencemaran minyak di sedimen yaitu terhadap organisme dan telur biota laut yang bersifat bentik (di dasar perairan) karena minyak terakumulasi di lapisan dasar dan umumnya beberapa organisme bentik tidak bergerak dan tidak dapat menghindari pencemaran tersebut, senyawa minyak dapat bersifat toksik apabila terakumulasi dalam sel.

Dari awal Revolusi Industri hingga saat ini kerusakan di muka bumi semakin meningkat dikarenakan ulah manusia yang tak henti-hentinya berinovasi namun mengabaikan dampak buruk yang terbentuk terhadap lingkungan. Sesungguhnya, sebanyak apapun manusia mampu menggali kekayaan alam dan ilmu pengetahuan di dunia maka tidak akan ada habis-habisnya.

Maha benar Allah dengan firman-Nya :

وَلَوْ أَنَّمَا فِي الْأَرْضِ مِنْ شَجَرَةٍ أَقْلَمٌ وَالْبَحْرُ يَمُدُّهُ مِنْ بَعْدِهِ سَبْعَةُ أَبْحُرٍ مَا نَفِدَتْ
كَلِمَاتُ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ حَكِيمٌ

“Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena dan laut (menjadi tinta), ditambahkan kepadanya tujuh laut (lagi) sesudah (kering)nya, niscaya tidak akan habis-habisnya (dituliskan) kalimat Allah. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana.” (QS. Luqman : 27)

Menurut Tafsir Ibnu Katsir jilid 6 (2004 : 411-412) Allah Ta’ala berfirman mengabarkan tentang kebesaran, ketinggian dan keagungan-Nya serta nama-namaNya yang indah, sifat-sifat dan kalimat-kalimat-Nya yang sempurna. Tidak ada seorang pun yang mampu meliputi-Nya dan tidak ditampakkan kepada manusia tentang hakikat dan jumlahnya, sebagaimana yang disabdakan oleh penghulu manusia dan penutup para Rasul (Muhammad SAW) :

“Aku tidak mampu menjangkau pujian kepada-Mu, sebagaimana engkau memuji diri-Mu sendiri.”

Maka Allah Ta’ala berfirman “Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena dan laut (menjadi tinta), ditambahkan kepadanya tujuh laut (lagi) sesudah (kering)nya, niscaya tidak akan habis-habisnya (dituliskan) kalimat Allah.” Yaitu, sekalipun seluruh pohon-pohon di bumi menjadi pena dan langit menjadi tinta ditambahkan kepadanya tujuh laut bersamanya, lalu dengan itu semua ditulis kalimat-kalimat Allah yang menunjukkan kebesaran, sifat-sifat dan keagungan-Nya, niscaya pena-pena itu akan hancur dan air laut akan kering, sekalipun didatangkan tinta sejumlah itu pula. Kata tujuh disebutkan untuk menunjukkan maksimalisasi dan tidak dimaksudkan untuk membatasi. Yaitu sekalipun pohon-pohon di bumi menjadi pena dan disertai dengan tujuh lautan yang ada, niscaya keajaiban-keajaiban Rabbku, kebijaksanaan, penciptaan dan pengetahuan-Nya tidak akan terjangkau.

Ketetapan yang telah dibuat oleh Allah mutlak adanya, manusia selalu berusaha menemukan, mencari, meneliti, dan mengumpulkan data untuk menghasilkan teknologi terbaru dan terus berinovasi untuk memperoleh kepuasan dunia. Bahkan rela mengorbankan segalanya demi keuntungan pribadi, sehingga lupa bahwa tak ada yang mampu menyaingi kekuasaan Allah dan mustahil mampu menggali seluruh ilmu pengetahuan yang Allah miliki.

Ar-Rabi’ bin Anas berkata : “Sesungguhnya perumpamaan pengetahuan seluruh manusia di dalam ilmu Allah adalah seperti setetes air lautan dengan lautan

tersebut, *wallaahu a'lam.*” Ibnu ishaq mengatakan, telah menceritakan kepadaku Muhammad ibnu Abu Muhammad, dari Sa'id ibnu Jubair atau Ikrimah, dari ibnu Abbas, bahwa para pendeta Yahudi berkata Kepada Rasulullah Sallallahu alih wa sallam di Madinah, Hai Muhammad bagaimanakah pendapatmu tentang ucapanmu : ‘dan tidaklah kamu diberi pengetahuan, melainkan sedikit’ (Al-Isra' : 85) apakah engkau bermaksud kami ataukah kaummu? Rasulullah Sallallahu alih wa sallam menjawab, Kedua-duanya. Mereka berkata, bukankah kamu sering membaca apa yang diturunkan kepadamu menyatakan bahwa sesungguhnya kami telah diberi kitab Taurat yang di dalamnya terdapat penjelasan segala sesuatu? Maka Rasulullah Sallallahu alih wa sallam menjawab : Sesungguhnya kitab Taurat itu menurut ilmu Allah adalah sedikit, dan bagi kalian dari isi kitab Taurat itu terdapat apa yang menjadi kecukupan bagi kalian. Allah menurunkan pula firman-Nya sesuai dengan pertanyaan mereka itu, antara lain ialah firman-Nya : dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena. (Luqman - 27), hingga akhir ayat. (Tafsir Ibnu Katsir jilid 6, 2004 : 412).

Firman Allah subhanahu wa ta'ala :

إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ حَكِيمٌ

“*Sesungguhnya Allah mahaperkasa lagi mahabijaksana*” (Luqman : 27), Yakni mahaperkasa yang menundukkan segala sesuatu dan mengalahkannya. Maka tiada yang dapat mencegah apa yang dikehendaki-Nya, tiada yang dapat menentang-Nya, serta tiada yang dapat mempertanyakan apa yang diputuskan-Nya, perintah-Nya, semua ucapan dan perbuatan-Nya, dan semua urusan-Nya (Tafsir Ibnu Katsir jilid 6, 2004 : 412).

Hal ini jelas bahwa manusia sebagai hamba benar-benar tidak memiliki kemampuan untuk menyelisihi segala kehendak Allah subhanahu wa ta'ala. Kemampuan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mendegradasi hidrokarbon berupa PAH dan BTX yang mencemari lautan merupakan kehendak Allah subhanahu wa ta'ala. Atas izin-Nya manusia mampu menemukan bakteri yang cukup efektif dalam proses Bioremediasi, terutama di era Revolusi Industri keempat ini. Bioremediasi harus diimplementasikan, diaplikasikan dan diterapkan pada bidang perindustrian, karena para pelaku industrialis harus menyadari betapa pentingnya menjaga dan melestarikan lingkungan hidup demi kelangsungan hidup di masa yang akan datang serta pola hidup yang sehat dan khasanah.

Bioremediasi menggunakan *Pseudomonas aeruginosa* perlu dikembangkan dan dipatenkan sejak dini hari agar mulai terciptanya lingkungan hidup yang harmonis di laut dan di pesisir dengan mengedepankan kemajuan teknologi di Revolusi industri keempat, sehingga sekecil apapun ilmu yang dimiliki oleh manusia asal dipergunakan demi kemaslahatan bersama maka akan bernilai ibadah di sisi Allah subhanahu wa ta'ala.

III. Kesimpulan

Siklus hidup umat manusia yang datang silih berganti di bumi telah menciptakan perubahan lingkungan tempat kita hidup. Sebagaimana dalam QS. Ar-Rum : 41, bumi mengalami kerusakan dan menjadi saksi sejak awal revolusi industri sampai hari ini hingga terus meningkatnya polusi yang mencemari udara, air dan tanah. Sejak tahun 2002 kontribusi tahunan tumpahan minyak ke laut mencapai 706 juta galon dengan sumbangan terbesar berasal dari pelimpasan darat yang mencapai 51,4%, maka perlu dilakukan Bioremediasi. Bioremediasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggunakan mikroba untuk mengolah (cleaning) hidrokarbon minyak bumi dari kontaminan melalui mekanisme biodegradasi alamiah atau meningkatkan mekanisme biodegradasi alamiah dengan menambahkan mikroba, nutrien, donor elektron dan atau akseptor elektron.

Hasil yang terbaik untuk persen biodegradasi TPH dan BTX adalah bioreaktor dengan penambahan *Pseudomonas aeruginosa* 3% (v/v), media teraerasi dan konsentrasi cemaran minyak bumi 1000 ppm dengan hasil biodegradasi TPH 100% dalam waktu 21 hari dan penurunan kadar BTX sebesar 100% dalam waktu 14 hari. Kemampuan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mendegradasi hidrokarbon berupa PAH dan BTX yang mencemari lautan merupakan kehendak Allah subhanahu wa ta'ala sebagaimana dalam QS. Luqman : 27. Atas izin-Nya manusia mampu menemukan bakteri yang cukup efektif dalam proses Bioremediasi di era Revolusi Industri keempat.

IV. Daftar Pustaka

Fitria, gina ulfa., Nursyirwani., dan Thamrin. 2018. Isolasi Bakteri Pendegradasi Minyak Dari Sedimen Di Perairan Sungai Pakning Kabupaten Bengkalis dan Kemampuannya Dalam Mendegradasi Minyak Mentah. *Jurnal Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau*. Pekanbaru. 1- 12.

- Ibnu Katsir. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6*. Mu-assasah Daar al-Hilaal Kairo : Kairo.
- Irianto, Koes. 2013. *Mikrobiologi Medis (Medical Microbiology)*. Alfabeta : Bandung.
- Mas'ud, asrianty. 2018. Analisis Kemampuan Biodegradasi Hidrokarbon Petroleum oleh Isolat Bakteri Laut dari Kolom Air Pelabuhan Paotere Makassar Secara In-Vitro. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. UIN Sunan Gunung Djati : Bandung. 9 (17). 22-31.
- Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. 2017. Pengembangan Tehnik Bioremediasi di Kawasan Tercemar Minyak Perairan Pesisir Teluk Jakarta. Jakarta. 48 p.
- Thayyarah, Nadiyah. 2014. *Buku Pintar SAINS dalam AL-QUR'AN, Mengerti Mukjizat Ilmiah Firman Allah*. Dar al-Yamama : Abu Dhabi.
- Tjandrawinata, Raymond. R. 2016. Industri 4.0 : Revolusi Industri Abad Ini dan Pengaruhnya pada Bidang Kesehatan dan Bioteknologi. *Working Paper from Dexa Medica Group*. Dexa Laboratories of Biomolecular Sciences (DLBS) : Dexa Medica Group. 1-12
- Tritularsih, Yustina., dan wahyudi Sutopo. 2017. Peran Keilmuan Teknik Industri dalam Perkembangan Rantai Pasokan Menuju Era Industri 4.0. *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC*. Surakarta. 507-517.
- Yulia, Lusiana Riski., Bindanetty Marsa., dan Sri Rachmania Juliastuti. 2014. Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Menggunakan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) : Surabaya. 1-5