

# Reduksi tumpahan minyak dengan menggunakan metode kultur bakteri di TLP West Seno, Selat Makassar

## Reduction of oil spill by using Bacteria Culture method at TLP West Seno, Makassar Strait

KUSDARMAWAN NUR ILHAM<sup>1,\*</sup>, AHMAD SUBHAN MEIDYANSYAH<sup>2</sup>, WILDAN MUKTI ARROZI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jl Veteran, Malang 65145, Jawa Timur  
Tel.: +62-341-551611, Fax.: +62-341-565420, \*email: kUSDarmawanilham@rocketmail.com

<sup>2</sup>Jurusan Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl Veteran, Malang 65145, Jawa Timur

<sup>3</sup>Jurusan Desain Komunikasi Visual, Program Diploma, Universitas Brawijaya . Jl Veteran, Malang 65145, Jawa Timur

Manuskrip diterima: 23 Maret 2017. Revisi disetujui: 21 Mei 2017.

**Abstrak.** Ilham KN, Meidyansyah AS, Arrozi WM. 2017. Reduksi tumpahan minyak dengan menggunakan metode Kultur Bakteri di TLP West Seno, Selat Makassar. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 3*: 258-265. Karya ilmiah ini merupakan gagasan ilmiah dari penelitian kami pada proyek yang telah dilakukan oleh Hyundai Heavy Industry (HHI) di Ulsan Korea, Sebagai kontraktor utama proyek West Seno. Topik *Tension Leg Platform* kami pilih sebagai topik untuk karya ilmiah ini karena mengingat TLP mempunyai efek yang berbahaya jika terdapat tumpahan minyak disekitar laut dan menyebabkan pencemaran laut. Beberapa struktur TLP bersifat lentur dalam arah horisontal, *surge* and *sway*. Sedangkan pada gerakan vertikal, TLP dibuat *fixed*. Tampilan yang membuat TLP berbeda dengan struktur tertambat lainnya adalah konsep *buoyancy* yang unik. *Buoyancy* TLP melebihi beratnya sendiri yang dijaga oleh *mooring* vertikal yang dikenal dengan nama tendon. Maka dari itu, resiko yang terjadi jika konsep diatas tidak sesuai rencana adalah banyaknya tumpahan minyak yang terjadi karena dari beberapa model yang dibuat selalu membuat sumur atau *well* yang tegak lurus kebawah permukaan laut. TLP sendiri memiliki tegangan pada *tendon porch* yang diakibatkan oleh gerakan TLP. Hal ini tentunya berdampak pada tumpahan yang sedikit demi sedikit dilautan. Berdasarkan API RP2T tumpahan minyak ini menyebabkan tingkat keselamatan para pekerja tidak menentu dan menyebabkan pencemaran laut akan terus-menerus terjadi bila tidak ada penanganan yang serius. Maka dari itu penanaman atau kultur bakteri di sekitar TLP akan mempermudah penguraian minyak dan tidak akan terjadi pencemaran. Penanaman bakteri *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens* merupakan metode yang tepat untuk mengurangi pencemaran yang terjadi disekitar TLP. Berdasarkan data yang diperoleh dari OPEC, terdapat 1.856 rig pada tahun 2016 dan pada tahun 2015 terdapat 2.412 rig didunia. Hal ini mengindikasikan sebanyak 556 rig didunia mengalami penutupan karena masalah tumpahan minyak dan degradasi minyak. Sekitar 30% rig didunia mengalami masalah serius mengenai pencemaran tumpahan minyak dilautan. Berdasarkan penemuan Hkabel nanoh (1987) dan dikembangkan oleh Professor Derek Lovley bahwa bakteri tersebut mampu mereduksi *hydrocarbon chain* pada daerah tumpahan minyak sebesar 90%. Penanaman bakteri semacam ini jarang dilakukan oleh perusahaan minyak Indonesia bahkan dunia.

**Kata kunci:** Bakteri, *buoyancy*, *tendon porch*, tegangan, tumpahan minyak

**Abstract.** Ilham KN, Meidyansyah AS, Arrozi WM. 2017. *Reduction of oil spill by using Bacteria Culture method at TLP West Seno, Makassar Strait.* *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 3*: 258-265. This scientific work is a scientific idea from our research on a project that has been done by Hyundai Heavy Industry (HHI) of Ulsan, South Korea, as the main contractor of the West Seno project. The topic of "Tension Leg Platform" (TLP) is chosen for this scientific work because TLP has a harmful effect in the event of an oil spill and causes marine pollution. Some TLP structures are flexible in horizontal, surge and sway directions. While on the vertical movement, TLP made fixed. The view that makes TLP different from other tethered structures is the unique buoyancy concept. TLP buoyancy exceeds its own weight which is guarded by a vertical mooring known as a tendon. Therefore, the risk that occurs if the concept does not work according to plan is an oil spill, because some models always make wells perpendicular to the sea surface. TLP has a tension in the patio tendon caused by the TLP movement. This certainly has an impact on the oil spill. Under the RP2T API, oil spills cause the safety level of workers to become erratic and cause continuous sea pollution in the absence of serious handling. Therefore, planting or bacterial culture around the TLP will facilitate the decomposition of oil and reduce contamination. Bacterial cultures *Geobacter sulfurreducens* and *Geobacter metallireducens* are appropriate methods for reducing contamination around TLP. According to OPEC, there are 1,856 rigs by 2016 and there are 2,412 rigs by 2015 worldwide. This indicates as many as 556 rigs in the world are closing due to oil spills and oil degradation problems. Approximately 30% of the world's rigs have serious problems regarding the pollution of the oil spill. Based on Hkabelnanoh (1987) discovery and developed by Professor Derek Lovley that the bacterium can reduce hydrocarbon chain in oil spill area up to 90%. However, a bacterial culture like this is rarely done by Indonesian oil companies and even the world.

**Keywords:** Bacteria, buoyancy, tendon porch, tension, oil spill

## PENDAHULUAN

Teknologi laut dalam (*deep sea technology*) di masa sekarang adalah teknologi terbaru dalam industri lepas pantai. Penemuan-penemuan baru sumber minyak dan gas alam di laut dalam telah menghadirkan tantangan-tantangan besar industri, yang menghasilkan suatu perubahan besar pada peralatan, prosedur, instrumentasi dan operasi. Menurut Arifin (2000) dalam merancang bangunan lepas pantai pertimbangan penting yang di gunakan adalah biaya investasi, perilaku hidrodinamis, kemampuan mobilitas, serta *reliability* dalam pengoperasiannya.

Menurut Ziyad (2006), Jenis anjungan biasanya dilautan merupakan gabungan instrumentasi yang bertujuan untuk mengeksplorasi sumberdaya minyak yang memiliki volume yang sangat besar. Jenis anjungan lepas pantai berdasarkan konstruksinya dibedakan menjadi 3 yaitu: (i) Struktur Terpancang (*Jacket steel platform, Gravity platform, Monopod, Tripod*), (ii) Struktur Terapung (*Semi submersible, Jack-up platform, Drilling ship, Barge*), (iii) Struktur Lentur (*Tension Leg Platform, Guyed tower, Articulated tower*).

Pada karya ilmiah kali ini kita akan lebih spesifik membahas jenis anjungan lepas pantai *Tension Leg Platform* (TLP). Hal ini dikarenakan pada jenis ini adalah jenis yang sering digunakan oleh perusahaan perminyakan sekarang ini. TLP merupakan struktur terapung yang memiliki banyak keuntungan diantaranya adalah sangat *tecno-economic* untuk dioperasikan di perairan laut dalam (Litton 1989). Salah satu hal yang sangat penting untuk dianalisis dari struktur TLP adalah tegangan pada *tendon porch*. *Tendon porch* merupakan bagian dari struktur TLP, yaitu daerah sambungan antara kolom dengan tendon. Analisis tegangan perlu dilakukan pada *tendon porch* mengingat pada bagian tersebut mendapat tegangan kombinasi dari tegangan sisa, tegangan statis serta tegangan dinamis yang mana sangat rentan sekali untuk menyebabkan kesalalahan pada saat pengeboran minyak. Jenis struktur ini termasuk jenis anjungan *offshore* yang modern. Di Indonesia TLP merupakan anjungan jenis baru yang dioperasikan oleh UNOCAL 76 dan mulai berproduksi pada tahun 2004 di perairan selat Makassar dengan kedalaman 910 m (Ziyad 2006). Sehingga perlunya penelitian dalam karya ilmiah ini adalah sebagai kajian mengenai pengembangan dan pemahaman terhadap jenis struktur TLP dengan mengingat akibat yang sering kali dilakukan oleh perusahaan perminyakan yaitu seringnya minyak tumpah ke lautan ketika adanya eksplorasi pengeboran minyak dilautan.

Dalam sehari sendiri pernah tercatat oleh OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*) eksplorasi minyak lautan di dunia pada tahun 2017 sendiri mencapai 95.50 mb/d. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap minggu, bulan dan tahun bahwa terjadi banyak sekali pencemaran tumpahan minyak disekitar anjungan. Untuk data pengeboran setiap tahun sendiri kita belum memiliki data akurat karena memang intensitas pengeboran minyak dilautan bervariasi. Untuk penanganannya pun masih

terbilang kurang efektif. Salah satu yang dilakukan oleh perusahaan minyak dunia dalam penanganan tumpahan minyak sekedar bersifat represif. Setelah terjadi tumpahan minyak yang menyebar, baru perusahaan minyak ini secara spontan bertindak tanpa adanya asumsi bahwa akan terjadi pencemaran minyak. Sebenarnya tumpahan minyak di lautan akan terurai secara alami tetapi dalam jangka waktu yang sangat panjang dan dalam waktu penguraian alami tersebut akan mempengaruhi degradasi biodiversitas dilautan.

Beberapa jenis bakteri yang merupakan pendegradasi hidrokarbon yang efektif di lingkungan alami telah diisolasi antara lain *Geobacter, Pseudomonas aeruginosa, P. putida, Bacillus subtilis, B. cereus, B. laterospor* (Cybulski et al. 2003; Carvalho dan Fonseca 2005). Ada beberapa keuntungan yang didapat dari mikroorganisme pendegradasi minyak, antara lain populasi alami sudah beradaptasi dan berkembang dengan baik di lingkungannya dan kemampuan untuk menggunakan hidrokarbon telah disebarkan dalam populasi mikroba, populasi ini terbentuk secara alamiah dan di daerah tercemar yang jumlah mikroorganismenya cukup tidak perlu lagi ditambahkan mikroorganisme untuk membantu degradasi (Ghazali et al. 2004).

Karya ilmiah ini memiliki tujuan yang lebih preventif dan tidak bersifat represif. Jarang sekali para perusahaan ini mengimplementasikan tindakan yang preventif saat pencemaran minyak terjadi dilautan. Pencemaran minyak dilautan akibat eksplorasi ini akan menyebabkan biodiversitas yang ada dilautan akan terdegradasi secara masif dan akan menyebabkan ekosistem lautan tidak seimbang. Banyak sekali biota dilautan seperti ikan yang akan kehilangan biodiversitas spesies yang menyebabkan ekosistem akan terganggu dan akan berdampak dengan masalah sosial kemasyarakatan pesisir. Salah satu dampaknya secara langsung adalah berdampak pada kehidupan nelayan yang *notabene* berada dipesisir dan dekat dengan anjungan eksplorasi minyak dilautan.

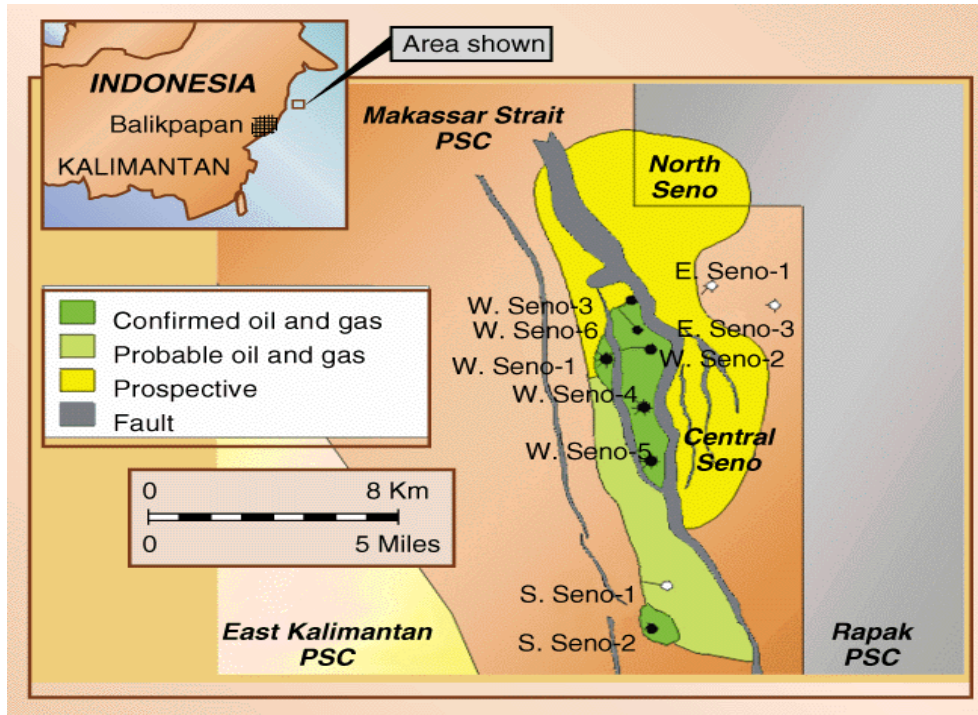
Dalam penanganannya kita akan membuat suatu sistem kultur bakteri yang berbeda. Tidak membuang sumberdaya manusia yang sangat banyak. Bakteri yang digunakan untuk mengurai *carbon chain* adalah spesies *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens*. Bakteri ini sudah diuji dilaboratorium oleh professor Derek Lovley. Bakteri ini biasa hidup pada dalam tanah yang selalu berinteraksi dengan polutan hidrokarbon. Bakteri ini bisa mengurai secara ekstrim dan pada saat itu juga tumpahan minyak secara spontan akan terurai. Jadi kita akan membuat suatu gagasan ilmiah dimana akan membuat suatu inovasi baru, yaitu adalah peternakan bakteri pengurai *carbon chain* di *Tension Leg Platform* (TLP) tepatnya melekat pada anjungan lepas pantai. Bakteri ini akan hidup pada sekitar *tendon porch* pengeboran minyak, ketika minyak tumpah ke lautan, maka sensor tumpahan minyak yang ada pada tempat perkembangbiakan bakteri itu akan terbuka dan menyerap minyak yang tumpah dilautan.

## MATERI DAN METODE

### Area kajian

Selat Makassar terletak disepanjang sisi timur Sundaland, terletak diantara Sulawesi dan Kalimantan. Membentuk perbatasan fisiografi yang berbeda antara daratan Indonesia Barat *cratonic* stabil dan kolase kompleks Kepulauan Indonesia bagian timur. Secara geografis Selat Makassar terletak diantara Garis Bujur E117.5° dan E118.5°, Garis Lintang S1.5° dan S2.5°.

Lokasi pengeboran eksplorasi minyak di West Seno, Selat Makassar ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapat beberapa lokasi yang digunakan untuk eksplorasi minyak dilokasi tersebut. TLP West Seno Makassar merupakan pelopor TLP pertama di Indonesia. TLP West Seno, Selat Makassar yang pertama kali di Indonesia (Gambar 2). Tendon porch serta struktur yang mendukung TLP diatas didesain sedemikian rupa sehingga memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan tendon yang didukungnya.



Gambar 1. Peta eksplorasi minyak West Seno, Selat Makassar



Gambar 2. TLP B West Seno, Selat Makassar

## BAHAN DAN METODE

### Metode kultur bakteri

#### *Pengkondisian laboratorium*

Dalam ekosistem terdapat mikroba yang mampu melakukan biodegradasi sehingga kondisi lingkungan dapat bersifat lebih baik (Capelli et al. 2001; Richard dan Vogel 1999; Kim et al. 2005). Hidrokarbon petroleum dapat didegradasikan oleh mikroba seperti bakteri, jamur, yeast, dan alga mikro (Riser-Roberts 1992; Bundy et al. 2004). Mikroorganisme tersebut diisolasi berdasarkan kemampuan mereka untuk memetabolisme berbagai sumber karbon, seperti komponen alifatik dan aromatik. Bakteri mempunyai peran yang terbaik dalam degradasi hidrokarbon, alasan utama karena bakteri tersebut menggunakan hidrokarbon dari minyak sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan dan energi. Dari sejumlah besar penelitian dilaporkan bahwa: alkana dengan bobot molekul rendah lebih cepat didegradasi dan kultur campuran lebih cepat melakukan degradasi daripada biakan murni (Ghazali et al. 2004; Gerdes et al. 2005; Oteyza et al. 2005; Sun et al. 2005).

Sebelum bakteri diinokulasi, air laut disterilkan terlebih dahulu. Bakteri *Geobacter metallireducens* dan *Geobacter sulfurreducens* kemudian diinokulasi (lima sel untuk setiap lempeng agar-agar atau ke masing-masing 10 c.c media cair) ke dalam media yang telah dikondisikan. Isolasi tahap I dilakukan dengan memasukkan sampel air laut yang terkena tumpahan minyak sebanyak 2% (b/v) ke dalam media SMSSe yang mengandung tumpahan minyak 2% (b/v) diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang dengan digoyang di atas *shaker* pada kecepatan 120 rpm. Untuk keperluan isolasi, sampel diambil pada hari ke-1,3,5 dan hari ke-7. Isolasi dilakukan dengan metode pengenceran dengan menggunakan pengenceran 10-5 dengan air laut steril, isolat diambil sebanyak 1 mL untuk dibiakkan di atas lempeng agar SMSSe yang mengandung solar 2% (b/v) dan 2% bacto agar sebagai pematat dengan metode cawan sebar dengan menggunakan *hockey stick* lalu diinkubasi pada suhu 35°C selama 2 hari. Setiap koloni yang berbeda dimurnikan kembali pada medium padat yang serupa. Untuk melakukan isolasi tahap II, kita tetap menggunakan sampel air laut yang terkena tumpahan minyak dan dilakukan dengan prosedur dan kondisi yang sama, tetapi medium pengisolasinya (SMSSe) diperkaya dengan minyak sisa degradasi (MSD) tahap sebelumnya yang diperoleh dengan cara mendinginkan media tahap I di dalam kulkas pada suhu 5°C selama ± 15 menit lalu lapisan minyak pada bagian atas media diambil dengan Spatula. Isolasi tahap II menggunakan MSD I, Isolat bakteri yang diperoleh kemudian dikarakterisasi melalui pengamatan morfologi koloni, sel, dan sejumlah uji biokimia (Cappuccino 1987 dalam Pikoli et al. 2000).

Dalam hal ini, *Artificial sea water* (10 cc di setiap 150x16 mm. Tabung pyrex. Jika tidak ada *bacteria-free culture* dapat diperoleh dari sel diatom yang dicuci, kemudian dengan subkultur yang berturut-turut akan dibuat dari kultur bakteri ini untuk mengurangi jumlah bakteri lebih jauh). *Broth nutrient seawater* (yang terdiri dari dekstrosa, natrium asetat, ekstrak daging sapi Difco dan

pepton, masing-masing 0,1%, di air laut yang telah dikondisikan, atau *Berkefeld-filtered* air laut diperkaya dengan NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, NaSiO<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O, dan Fe-sitrat, 50, 5, 10, dan 0,5 bagian per juta masing-masing), 10 cc di setiap 150x16 mm. Pyrex tabung. *Sea-water agar* (1,5% agar dengan air laut yang telah dikondisikan pada jumlah nitrat, fosfat, silikat dan sitrat dua kali lipat, atau dalam *Berkefeld-filtered* secara alami dengan air laut diperkaya dengan NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, NaSiO<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O, dan Fe-sitrat, 100, 10, 20 (*parts per-million*)). *Nutrient sea-water agar* [1,5% agar dalam air laut yang telah dibuat dengan jumlah nitrat, fosfat, silikat dan sitrat dua kali lipat (atau di *Berkefeld-filtered* secara alami dengan air laut dengan diperkaya dengan NaNO<sub>3</sub> 100, NaHPO<sub>4</sub> 10, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O 20, dan *Fe-citrate* (*part per million*) lebih diperkaya dengan dextrose, natrium asetat, ekstrak daging sapi Difco dan pepton, masing-masing 0,1%] (Holger dan Gallen 1999).

Pertumbuhan bakteri hanya terjadi pada salah satu kultur bakteri pada lima nutrisi agar piring (medium 4), sementara empat kultur bakteri piring lain terbukti bebas bakteri. Tidak ada pertumbuhan bakteri di salah satu kultur bakteri di gizi kaldu (medium 2) atau di piring agar air laut (medium 3). Ketika 1 mL dari piring, tidak ada pertumbuhan bakteri berkembang. Subkultur dibuat pada kemiringan agar nutrisi dari masing-masing kultur bakteri yang tanpa pertumbuhan bakteri lain, dan ini kemudian diinkubasi dalam keadaan gelap pada suhu kamar (20°-25° C). Akhirnya salah satu subkultur diinokulasi dari salah satu piring agar nutrisi bebas bakteri telah disubkultur berturut-turut pada kemiringan nutrisi agar (Chu 1946).

#### *Pengkondisian Kultur bakteri di TLP*

Media yang digunakan saat di TLP adalah *bassal medium* yang telah dibuat sedemikian rupa seperti bentuk pipa transparan yang menyesuaikan bentuk atau struktur dari TLP itu sendiri. Jadi pembuatan dan pemasangannya harus menyesuaikan dengan media dan bakteri yang akan dikultur. Untuk media penanaman bakteri sehingga menjadi peternakan bakteri (*Bacterial farming*) kita menggunakan *bassal medium*. Bentuk mediana kita buat berbentuk pipa yang mengelilingi struktur *tendon porch* dan bersifat transparan agar terkena oleh sinyal matahari untuk penyokong hidup bakteri. Ketersediaan oksigen sangat penting dalam proses biodegradasi hidrokarbon jenuh dan aromatik (Cerniglia 1992). Benzena, toluena, etilbenzena dan xylene dapat didegradasi tanpa O<sub>2</sub> di air tanah yang terkontaminasi (Coates et al. 2002; Johnson et al. 2003). Bakteri *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens* yang telah dikondisikan pada laboratorium ditempatkan pada *bassal medium* yang telah dibuat menyerupai pipa yang transparan. Setelah bakteri *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens* ditempatkan pada *bassal medium* yang telah dibentuk menyerupai pipa transparan kita tempatkan dan sesuaikan dengan struktur dari *tendon porch* tersebut. Kita pasang pipa *bassal medium* yang telah dikondisikan dengan adanya bakteri ke *tendon porch* dan menyesuaikan strukturnya. Jadi di TLP ada 8 *tendon porch* dan 1 *drilling pipe*. Kita pasang pipa tersebut menyesuaikan struktur 8

*tendon porch* dan 1 *drilling pipe* diatas permukaan air dan menyentuh badan air. Disekeliling pipa tersebut kita juga memasang sensor minyak yang mana ketika terjadi tumpahan minyak pipa tersebut akan terbuka dan bakteri tersebut akan keluar dan memakan tumpahan minyak tersebut.

### Analisis data TLP

Analisis data yang digunakan oleh para *engineering* untuk merancang struktur TLP West Seno menggunakan Unocal yang akan dimodelkan oleh para *engineering* menggunakan MOSES dan ORCAFLEX. Dalam analisis data proses pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* MOSES dan ORCAFLEX. MOSES digunakan untuk menganalisis keseluruhan respon struktur, sedangkan ORCAFLEX digunakan untuk menganalisis kondisi struktur yang ditambat dengan tendon. Struktur yang tertambat (*moored structure*) serta dikenai berbagai macam kondisi lingkungan dapat digambarkan sebagai sebuah sistem dinamik dengan eksitasi frekuensi tinggi dan rendah. Gaya eksitasi sebagai hasil dari beban angin, gelombang, dan arus yang mengenai sistem tersebut. Gaya reaksinya merupakan kombinasi dari gaya masa tambah, gaya seret gelombang (*wave drift force*), gaya *viscous*, serta kombinasi gaya redaman dan gaya pengembali pada interaksi dengan tendon. Analisis tension pada tendon dilakukan melalui dua fase. Fase pertama berhubungan dengan analisis yang dilakukan dengan analisis 3D-*diffraction analysis* dengan MOSES untuk mendapatkan respon gerakan struktur TLP. Fase yang kedua adalah analisis *Time Domain* dengan bantuan ORCAFLEX, dengan menggunakan hasil respons gerakan dari fase pertama.

### Analisis data terhadap kultur bakteri

Analisis data senyawa kimia yang diperlukan untuk pengkondisian dari bakteri itu sendiri yang memerlukan nutrisi untuk hidup adalah seperti data diatas. Dengan adanya zat kimia dan nutrisi yang memadai maka bakteri *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens* akan maksimal dalam penyerapan tumpahan minyak yang ada disekitar tendon porch tersebut. Sehingga data analisis data TLP dan analisis data terhadap kultur bakteri kita hubungkan maka akan menjadi data yang akurat dalam prediksi tumpahan minyak dan kuantitas bakteri dalam penyerapan tumpahan minyak yang ada disekitar anjungan minyak. Data tersebut akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan hasil.

**Tabel 3.** Data tension pada tendon

Tendon	10 Tahun			100 Tahun		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	7028,4657	5801,6551	4971,6271	7249,8309	8636,2345	8117,5685
2	6390,0197	5881,0116	6112,2309	8941,3864	6787,8092	7125,6602
3	6289,2632	5872,5075	6416,2437	9066,9815	6499,1038	6961,1636
4	6019,6260	5681,1748	7914,3729	8285,1854	5790,0236	6533,0124
5	6058,9092	5636,7861	<b>7953,8230</b>	7992,4502	5901,4756	6591,0594
6	6704,2357	5495,4890	6799,9849	6303,1414	7631,1586	7522,3868
7	6812,9000	5513,9195	6496,3531	6221,8562	7931,7881	7686,0704
8	7075,6198	5767,5612	5011,4697	6991,0777	<b>8759,5497</b>	8174,9322

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil *running* ORCAFLEX dengan *load case*, kita akan mendapatkan gaya *tension global* pada *tendon porch* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa *tension* maksimum pada *load case* 10 tahun sebesar 7953,8 KN, sedangkan untuk *load case* 100 tahun sebesar 8759,5 KN. Nilai *tension* maksimum ini yang akan dipakai pada analisis *local* pada *tendon porch* TLP. Sebagai verifikasi apakah hasil *tendon tension* memenuhi batas keamanan tendon, maka dilakukan pengecekan terhadap *unity check* dari tendon berdasarkan API RP 2T, yaitu 0,6dy. Beban yang diberikan pada tendon adalah beban *tension* pada tendon yang maksimum, yaitu sebesar 8759,5497 KN, Kemudian akan dilakukan penambahan beban sehingga akan dapat diketahui pada beban *tension* berapa struktur tersebut akan mengalami kegagalan (*failure*).

**Tabel 1.** Data Struktur untuk Pemodelan TLP

Item	Nilai	Satuan
Kedalaman	910	M
Sarat Desain	28,95	M
Tinggi Kolom	36,26	M
Kolom PxL	9,6x9,6	M
Panjang Pontoon	32,10	M
Lebar Pontoon	9,6	M
Tinggi Pontoon	9,6	M
Jumlah Tendon	8	Buah
Yield Strength Material Tendon	358,6	Mpa
Kekakuan Tendon	12175	KN/m
Tendon Pretension	31175	KN
Berat Platform (payload+deck)	12773	Ton

**Tabel 2.** Data senyawa kimia kultur bakteri

Chemistry	Parts per-million
Dextrose	2000
Sodium Acetate	2000
Peptone	2000
NaNO <sub>3</sub>	75
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	75
Na <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> .9H <sub>2</sub> O	15
FEC6H <sub>3</sub> O <sub>7</sub> .3H <sub>2</sub> O	0,81

Tegangan yang terjadi pada *tendon porch* tidak boleh melebihi nilai yang telah ditentukan oleh standar. Standar desain yang dipakai adalah API RP 2T, yang mana standar tersebut diwakili oleh besarnya *safety factor*. Untuk struktur plat yang didesain menurut API BUL 2V, tegangan ijin tergantung dari kondisi batas dibawah pertimbangan (*ultimate or serviceability*). Untuk masing-masing kondisi batas tegangan ijin didapat dengan membagi *yield strength* dengan *safety factor*.

Hasil analisis tegangan lokal untuk beban sebenarnya dengan penambahan maksimum (tension ke-8) dimana sudah melampaui *yield stress* selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 4. Safety Factor TLP

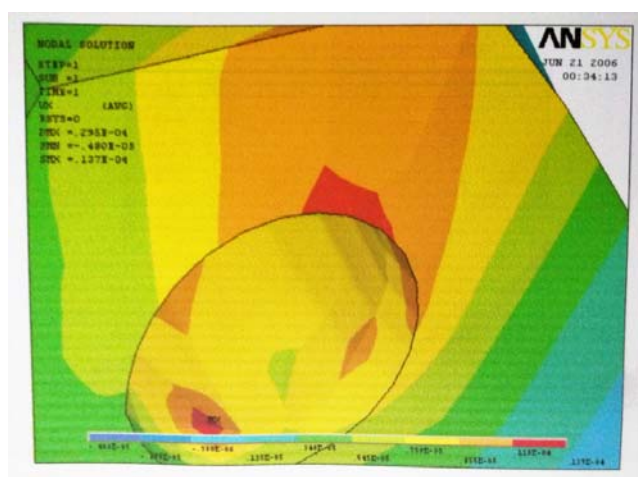
Safety Criteria	Serviceability State	Limit	Ultimate State	Limit
A	1,67		2,0	
B	1,25		1,5	

Tabel 5. Hasil analisis pemodelan Local Intial Design

Tension	Maximum stress
1	112,44
2	122,61
3	143,18
4	165,56
5	187,94
6	210,32
7	232,70
8	369,05

Tabel 6. Hasil tegangan lokal pada intial Model Tendon Porch

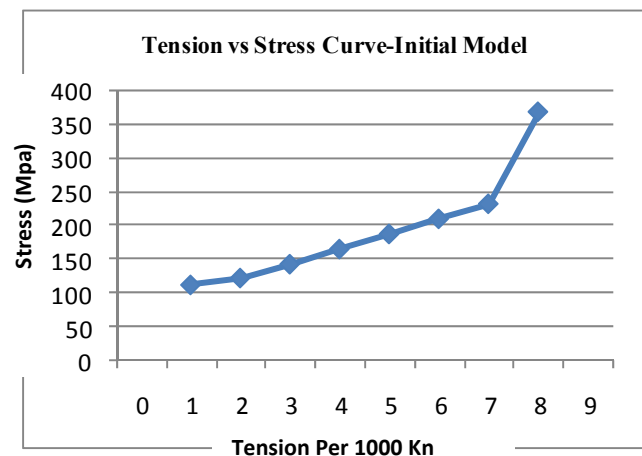
Stress maksimum	Node	SX (KN/m <sup>2</sup> )	SY (KN/m <sup>2</sup> )	SZ (KN/m <sup>2</sup> )
Tension ke-1	184	40,744	2917,6	0,11244E+06
Tension ke-8	384	20442	0,24402E+06	0,36905E+06



Gambar 3. Distribusi tegangan maksimum pada Intial Design

Pada *load case* pertama, struktur *tendon porch* terkena gaya terurai ke arah X,Y, dan Z masing-masing sebesar 307,7739 KN; 291,0614 KN; dan -8749,304 KN. Akibat pembebanan ini menyebabkan struktur mengalami tegangan maksimum 112,44 Mpa yang terjadi pada node 184. Besarnya tegangan akibat pembebanan gaya ini masih dibawah tegangan luluh ( $\delta_y$ ) sebesar 250 mpa. Setelah mengalami *load case* kedelapan, struktur *tendon porch* terkena gaya terurai ke arah X,Y dan Z masing-masing sebesar 7307,774 KN; 7291,0614 KN dan -15749,3 KN. Akibat pembebanan ini menyebabkan struktur mengalami tegangan maksimum 369,05 yang terjadi pada node 384. Besarnya tegangan akibat pembebanan gaya ini sudah melampaui tegangan luluh ( $\delta_y$ ) sebesar 250 Mpa. Hasil peningkatan tegangannya dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada *load case* ke-8, tegangan yang terjadi sebesar 369 Mpa atau melebihi *yield stress*. Dari analisis lokal disini terlihat bahwa awal retak dimulai dari lubang *porch* yang ditunjukkan oleh tingginya tegangan yang terjadi. Dari beban yang menimbulkan kerusakan, terlihat gaya ke arah Z (FZ) yang merupakan *tension force* ke bawah memberikan kontribusi terbesar penyebab keruntuhan struktur. Hal tersebut menyebabkan *tendon porch* akan mengalami kebocoran. Maka dari itu penguraian tumpahan minyak di TLP tersebut harus dilakukan se-intens mungkin pada saat eksplorasi minyak di TLP West Seno, Selat Makassar. Dalam kasus ini kita harus menggunakan tindakan preventif dengan menggunakan metode kultur bakteri atau penanaman bakteri sehingga menjadi peternakan bakteri disekitar tendon porch tersebut. Kemampuan bakteri *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens* dalam mendegradasi minyak tentunya sangat membantu sekali dalam menjaga ekosistem dan biodiversitas dilautan. Perbandingan kemampuan bakteri menyerap minyak yaitu 1% (1,5 mL), 2% (3 mL) dan 3% (4,5 mL) dalam penguraian *carbon chain*. Hal ini ditentukan dengan menyesuaikan seberapa banyak minyak yang tumpah dilautan.



Gambar 4. Peningkatan tegangan pada Tendon Porch

## Pembahasan

Perairan Indonesia memiliki keadaan alam yang unik, yaitu topografinya yang beragam. Karena merupakan penghubung dua system samudera yaitu Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, maka sifat dan kondisinya dipengaruhi oleh kedua samudera tersebut, khususnya samudera pasifik. Pengaruh ini terlihat antara lain pada sebaran massa air, arus, pasang surut dan kesuburan perairan. Selain pengaruh kedua samudera tersebut, keadaan musim juga mempengaruhi sifat dan kondisi perairan disini, misalnya perairan Selat Makasar, Laut Banda, Laut Flores dan Laut Sulawesi (Wyrcki 1961).

Dengan demikian semakin jelas terlihat bahwa untuk aplikasi di laut-dalam, sangat tidak layak digunakan jenis anjungan terpancang maupun jenis guyed tower. Sehingga mau tidak mau harus dicari jenis struktur lain yang layak, baik dari segi teknis maupun ekonomis, untuk penggunaan di laut-dalam. Dari paparan di atas terlihat juga, salah satu struktur alternatif yang menarik adalah jenis TLP. Selain teknologi struktur terapung itu sendiri, beberapa teknologi lainnya yang terkait dengan sistim terapung tersebut antara lain adalah *catenary mooring*, *taut mooring* dan *tension leg mooring*, *flexible risers* serta *control umbilicals*. Sebagaimana dijelaskan di atas, *Tension Leg Platform* (TLP) adalah salah satu jenis struktur lepas pantai yang dapat dikelompokkan ke dalam golongan *compliant structures* yang mana jenis ini sangat cocok dipakai di perairan dalam. Karakteristik utama TLP yang berbeda dengan jenis struktur terpancang (*fixed jacket type*) adalah sifat respon TLP yang sangat lentur terhadap gayagaya luarnya. Dengan kata lain, responnya cenderung bersifat "ikut bergerak" bersama gelombang dari pada harus "menahan gelombang" secara kaku. Dengan demikian, keadaannya akan menjadi lebih baik jika harus berada di perairan dalam yang mana kondisi lingkungan yang lebih berat.

Dalam masa operasinya, *draft* dari *platform* relatif tinggi (sekitar dua kali) dari *hull* apungnya. Sistem penambatannya yang kaku menyebabkan gerakan *platform* pada saat terkena gelombang menjadi terbatas dalam arah *heave*, *pitch* dan *roll*. Kekakuan tendon yang tinggi juga menyebabkan periode natural dalam arah gerakan tersebut sangat kecil. Geometri dari *hull* dan penempatan tendon biasanya dibuat simetris agar periode *roll* dan *pitch*-nya sama. Biasanya periode natural TLP dalam arah *heave* dan *pitch* untuk aplikasi perairan dalam (lebih dari 1000 ft) adalah antara 1 sampai 5 detik. Sebaliknya, struktur TLP cukup lentur dalam arah *surge* karena gaya pengembali dalam tendon ini biasanya kecil. Periode dalam arah *surge* (*sway*) adalah sangat besar yaitu dalam orde 100 detik atau lebih.

Secara umum, gaya lingkungan yang bekerja pada struktur lepas pantai, termasuk TLP, adalah berupa gaya gelombang, arus, angin dan gaya akibat pasang surut air laut sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5. Beban-belan lingkungan tersebut selengkapnya terdiri dari (i) Gaya Gelombang (*Wave Forces*), meliputi: *Wave frequency forces*, *Low frequency forces* (*First and second-order drift force* dan *Wave drag force*), *Hight frequency forces* (*Second order potential flow force*, *Vortex shedding force* dan *Drag force*); (ii) Gaya Arus (*Current Forces*)

yang mencakup: *Current drag force* dan *Coexisting wave and current drag force*; (iii) Gaya Angin (*Wind Forces*), meliputi: *Fluctuating wind force* dan *Steady wind force* (Faltinsen dan Demirbilek 1989). Disamping itu dalam kondisi tertentu bisa terjadi beban gempa bumi (*earthquake force*). Dalam kondisi yang sesungguhnya, semua gaya-gaya di atas cenderung terjadi secara simultan, sehingga untuk suatu analisis dan perancangan yang komprehensif, maka sebaiknya semua gaya-gaya yang mungkin terjadi di atas harus dipertimbangkan. Namun biasanya, untuk tujuan-tujuan analisis tertentu, hanya gaya-gaya tertentu saja yang dianggap paling dominan yang dipertimbangkan.

Angin, gelombang dan arus menyebabkan TLP cenderung berosilasi terhadap suatu posisi *offset*-nya dari pada terhadap posisi vertikalnya. *Offset* dalam arah surge terkait dengan "set down" yaitu turunnya TLP dalam arah *heave* yang berakibat bertambahnya daya apung sehingga gaya-tarik pada tendon menjadi lebih besar dari pada dalam posisi vertikalnya. Sementara itu efek orde yang lebih tinggi akibat sifat non-linier alami dari gelombang dan strukturnya akan mempengaruhi respon dinamisnya (Bar-Avi 1999).

Maka hal tersebut tentunya dalam eksplorasi perlu adanya suatu tindakan khusus dalam penanganan berdasarkan API RP2T. Banyak sekali TLP yang belum mempunyai mekanisme penanganan yang preventif. Anjungan (TLP) ideal adalah yang bisa bermanfaat untuk lingkungan dan tidak merusak biodiversitas dilautan. Sebenarnya penelitian ini merupakan penelitian pertama yang membahas dan mencoba memberikan tindakan preventif untuk menjaga biodiversitas dilautan. Penelitian sebelumnya biasanya membahas bagaimana bakteri mengurai tumpahan minyak setelah terjadi tumpahan minyak tersebut. Dalam penelitian Nababan (2008), juga tidak mencoba melakukan tindakan preventif tetapi masih melakukan tindakan represif. Kemudian juga dengan penelitian Yulia et al. (2012), masih menggunakan tindakan konvensional yaitu secara represif.

Menurut Ziyad (2006), Perilaku gerak dari struktur TLP terdiri dari gerak vertikal yaitu *heave*, *roll* dan *pitch* yang dibuat *fixed* dan juga gerak horizontal yaitu *surge*, *sway* dan *yaw* yang dibuat *compliment* (lentur). Hal ini menimbulkan beberapa kemungkinan tumpahan minyak saat eksplorasi minyak dilaut lepas pantai. Besarnya *tension tendon* maksimum adalah sebesar 8759,5 KN yang terjadi pada *load case* 100 tahun, arah 45°. Hal ini tentunya sangat berpengaruh dengan kemungkinan keretakan *tendon porch* yang terus menerus menerima tekanan dari *platform deck* yang mana merupakan keseluruhan bodi TLP.

Besarnya tegangan maksimum yang terjadi pada *initial design tendon porch* oleh UNOCAL adalah sebesar 112,4 Mpa. Pada *load case* ke-8, tegangan yang terjadi melebihi *yield stress*. Sedangkan lokasi terjadinya tegangan kritis adalah pada bagian *porch* bagian bawah. Maka dari itu kultur bakteri atau penanaman bakteri sehingga menjadi peternakan bakteri disekitar *tendon porch* merupakan langkah yang konkret dilakukan dengan perbandingan bakteri *Geobacter sulfurreducens* dan *Geobacter metallireducens* 1% (1,5 mL), 2% (3 mL), dan 3% (4,5 mL).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Hyundai Heavy Industry (HHI) yang telah pemberian informasi data untuk karya ilmiah. Terima kasih juga disampaikan kepada Agus Ziyad Kurnia yang telah memberikan bimbingan referensi tentang TLP di West Seno, Selat Makassar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin. 2000. Analisis Perilaku Hidrodinamis TLP dengan Metode Finite Difference. [Tesis]. Teknik Perancangan Lepas Pantai, ITS, Surabaya.
- Bar-Avi P. 1999. Non-linear dynamics respons of a tension leg platforms. *J Offshore Mech Arctic Eng* 121: 219-226.
- Bundy JG, Paton G I , Cambell CD. 2004. Combined Microbial Community Level and Single Species Biosensor Responses to Monitor Recovery of Oil Polluted Soil. *Soil Biol Biochem* 36: 1149-1159.
- Capelli, SM, PJ Busalmen, De Sánchez RS. 2001. Hydrocarbon bioremediation of a mineral-base contaminated waste from crude oil extraction by indigenous bacteria. *Intl Biodeterior Biodegrad* 47: 233-238.
- Cappucino, JG. , Sherman N. 1983. *Microbiology a Laboratory Manual*. 4th ed. Menlo Park: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Carvalho C, Da Fonseca MR. 2005. Degradation of hydrocarbons and alcohols at different suhes and salinities by *Rhodococcus erythropolis* DCL14. *FEMS Microbiol Ecol* 51: 389-399.
- Cerniglia CE. 1992. Biodegradation Of Polycyclic Aromatik Hydrocarbons. *Biodegradation* 3: 351-360.
- Chu SP. 1956. Note on the technique of making bacterial-free cultures of marine diatoms. Plymouth Laboratory, UK.
- Coates DJ, Chakraborty R, McInerney JM. 2002. Anaerobic Benzene Biodegradation-A New Era. *Res Microbiol* 153: 621-628.
- Cylbulski Z, Dziurla E, Kaczorek E, Olszanowski A. 2003. The influence of emulcifiers on hydrocarbon biodegradation by *Pseudomonadacia* and *Bacillacea* strains. *Spill Sci Technol Bull* 8: 503-507
- Faltinsen OM, Demirebilek Z. 1989. A discussion of the mi-terms in the waves current body interaction problem. *Marine Hydrodynamics*. Norwegian
- Gerdes B, Brinkmeyer R, Deckman G, Helmke E. 2005. Influence of cude oil on changes of bacterial communities in Artic Sea-ice. *FEMS Microbiol Ecol* 53: 129-139.
- Ghazali MF, Zaliha NR, Abdul RN, Salleh AB, Basri M. 2004. Biodegradation of hidrocarbons in soil by microbial consortium. *Intl Biodeterior Biodegrad* 54: 61-67.
- Holger W, Gallen E. 1999. Bacterial populations in sea water as determined by different methods of enumeration. Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, California.
- Johnson JS, Woolhouse JK, Prommer H, Barry AD, Christofi N. 2003. Contribution of anaerobic microbial activity to natural attenuation of benzene in groundwater. *Eng Geol* 70: 343-349.
- Kim SJ, Choi DH, Sim DS, Oh YS. 2005. Evaluation of bioremediation effectiveness on crude oil-contaminated sand. *ChemoSphere*. 59: 845-852.
- Litton RW. 1989. TLPs and other deepwater platforms. (Tension Leg Platforms: a state of he art reviews). American Society of Civil Engineers, New York.
- Nababan B. 2008. Isolasi Dan Uji Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar Dari Laut Belawan. [Tesis]. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- OPEC. 2017. Montly Oil Market Report. Organization of the Petroleum Exporting Countries, Austria.
- Oteyza de TG, Grimald JO, Lliros M., Esteve I. 2006. Microsom experiment of oil degradation by microbial mats. *Sci Total Environ* 357 (1-3): 12-24.
- Pikoli MR, Aditiawati P, Astuti DI. 2000. Isolasi Bertahap dan Identifikasi Isolat Bakteri Termofilik Pendegradasi Minyak Bumi dari Sumur Banko. Jurusan Biologi, ITB, Bandung.
- Richard JY, Vogel MT. 1999. Characterization of a soil bacterial cosortium capable of degrading diesel fuel. *Intl Biodeterior Biodegrad* 44: 93-100
- Riser-Roberts E. 1992. *Bioremediation of Petroleum Conaminated Sites*. Bocaaton (FL): CRC Press, Inc.
- Sun Y, Chen Z, Xu S, Cai P. 2005. Stable Carbon and Hydrocarbon Isotopic Fractionation of Individual n-alkanes accompanying Biodegradation: evidence from a group of progressively biodegraded oils. *Organic Geochem* 36: 225-238.
- Wyrтки. 1961. The thermohaline circulation in relation to the general circulation in the oceans. *Deep-Sea Res* 8: 39-64.
- Ziyad. 2006. Analisis Tegangan pada Tendon Porch Akibat Gerakan Tension Leg Platform. ITS, Surabaya
- Yulia LR, Marsa B, Juliastuti SR. 2012. Bioremediasi Air Laut Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Menggunakan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya