



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Ricky Lukman Tawekal

**KAJIAN INTEGRITAS
STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI
PASCA UMUR LAYAN**

9 Juli 2010
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
9 Juli 2010

Profesor Ricky Lukman Tawekal

**KAJIAN INTEGRITAS
STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI
PASCA UMUR LAYAN**



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Judul: KAJIAN INTEGRITAS STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI
PASCA UMUR LAYAN
Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,
tanggal 9 Juli 2010.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Data katalog dalam terbitan

Ricky Lukman Tawekal

**KAJIAN INTEGRITAS STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI
PASCA UMUR LAYAN**

Disunting oleh Ricky Lukman Tawekal

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2010

vi+70 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-20-6

1. Teknik Lepas Pantai 1. Ricky Lukman Tawekal

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah pidato ilmiah ini untuk dipaparkan pada Sidang Terbuka Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung pada tanggal 9 Juli 2010. Pidato ilmiah ini merupakan salah satu bentuk pertanggung-jawaban akademik kepada ITB dan masyarakat yang telah mempercayakan jabatan Guru Besar kepada penulis. Untuk itu, terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada Pimpinan dan anggota Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk memaparkan pidato ilmiah ini.

Dalam tulisan ini, diuraikan secara ringkas mengenai bangunan lepas pantai yang biasanya digunakan untuk eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di lepas pantai. Indonesia yang merupakan salah satu penghasil minyak bumi dan gas alam dunia mempunyai ratusan anjungan lepas pantai dan pipa penyalur bawah laut yang tersebar di seluruh wilayah perairan Indonesia. Sebagian besar dari anjungan lepas pantai yang ada, umumnya berjenis tetap (*fixed platform*) karena perairan di Indonesia umumnya termasuk perairan yang tidak dalam dan kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi didahulukan di perairan yang tidak dalam.

Akibat perkembangan teknologi eksploitasi minyak dan gas bumi atau

adanya kemungkinan gas didalamnya telah memberikan suatu alternatif penggunaan anjungan yang telah melewati umur layannya. Dari segi ekonomi, penggunaan kembali anjungan lepas pantai akan memberikan biaya yang lebih rendah dibandingkan membangun yang baru meskipun harus dilakukan rekonstruksi, perbaikan, dan inspeksi. Berkaitan dengan hal tersebut, dibutuhkan prosedur pengkajian ulang struktur yang mempertimbangkan kondisi setempat dan memenuhi standar/kriteria yang ada.

Besar harapan penulis agar tulisan ini dapat memberikan manfaat dan menimbulkan semangat untuk lebih mengembangkan lagi bidang teknik kelautan, khususnya teknik lepas pantai, untuk kemakmuran bangsa dan negara Republik Indonesia.

Wassalamu alaikum, wr. Wb.

Bandung, 9 Juli 2010.

Ricky Lukman Tawekal

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Pengenalan Teknik Kelautan	1
1.2. Bangunan Lepas Pantai	1
1.2.1 Struktur Anjungan Lepas Pantai	3
1.2.2 Pipa Penyalur Bawah Laut	12
2. PENGKAJIAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI DI INDONESIA	16
2.1. Pengkajian Ulang Struktur Berdasarkan Standar API	17
2.2. Pengkajian Ulang Struktur Berdasarkan Standar ISO	30
2.3. Pengkajian Struktur Berdasarkan Kelelahan (<i>Fatigue</i>) Pada Sambungan Tubular	33
3. ANALISA KEKUATAN ULTIMATE STRUKTUR	35
4. KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI	39
4.1. Kehandalan Struktur Anjungan Berdasarkan <i>Fatigue</i>	42
4.2. Kehandalan Struktur Anjungan Berdasarkan Perambatan Retak	48
4.3. Sisa Umur Layan Struktur Berdasarkan Target Kehandalan .	51
5. PENGEMBANGAN KE DEPAN	54
6. UCAPAN TERIMA KASIH	56

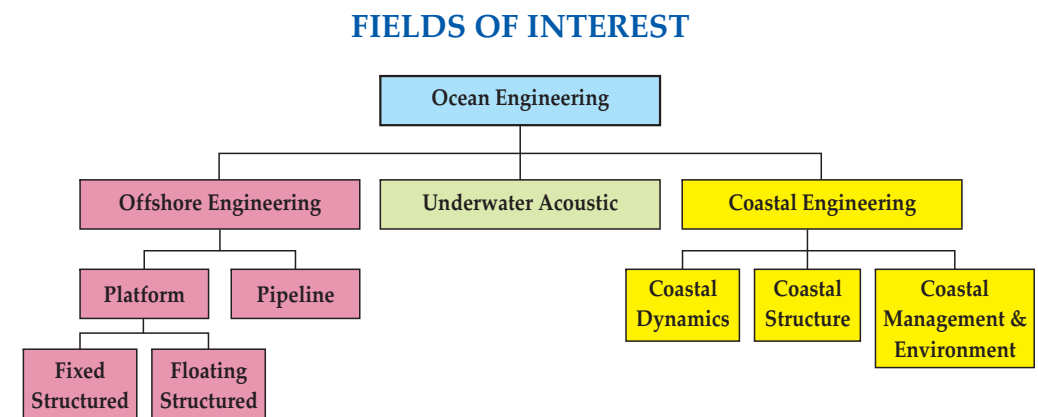
DAFTAR PUSTAKA	58
BIODATA	63

KAJIAN INTEGRITAS STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE JACKET PASCA UMUR LAYAN

1. PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Teknik Kelautan

Teknik Kelautan adalah cabang keilmuan yang mencakup perancangan dan perencanaan bangunan di lingkungan laut, mulai dari daerah pantai (*coastal engineering*) sampai daerah lepas pantai (*offshore engineering*). Bidang keahlian yang ditekuni dalam KK Teknik Kelautan bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Bidang Kelompok Keahlian Teknik Kelautan

1.2 Bangunan Lepas Pantai

Daerah lepas pantai biasanya didefinisikan sebagai bagian dari lautan

yang permukaannya dasarnya dibawah pasang surut terendah atau bagian lautan yang berada diluar daerah gelombang pecah (*breaker zone*) arah ke laut. Daerah lepas pantai yang berada di bagian lempengan benua (*continental shelves*) yang mempunyai kedalaman kurang dari 200m kira-kira seluas 8% dari luas lautan atau sama dengan 20% dari luas daratan. Bangunan, kendaraan dan fasilitas yang beroperasi di lepas pantai disebut bangunan, kendaraan dan fasilitas lepas pantai.

Ciri-ciri dari bangunan atau sistem lepas pantai adalah:

1. Beroperasi di daerah sekitar sumur minyak atau daerah pertambangan yang terbatas. Jadi, tidak berpindah jauh seperti halnya dengan kapal laut.
2. Tidak beroperasi di daratan
3. Tidak dibangun langsung di lapangan. Jadi, komponen-komponennya dibuat di darat untuk kemudian diangkut dan dirakit di lapangan.
4. Tetap beroperasi di lapangan untuk perioda waktu yang lama sehingga bangunan harus dapat bertahan dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi selama masa operasi.

Dalam makalah ini, bangunan lepas pantai yang akan dibahas adalah struktur anjungan lepas pantai (*offshore platform*) dan pipa penyalur bawah laut (*subsea pipeline*) yang saat ini digunakan untuk kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi.

1.2.1 Struktur Anjungan Lepas Pantai

Struktur anjungan lepas pantai yang ada saat ini umumnya dibangun untuk kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi yang berada di perairan dangkal sampai dengan perairan yang sangat dalam. Pemenuhan ide-ide baru untuk desain struktur lepas pantai bergantung kepada kedalaman perairan dan kondisi lingkungan. Berdasarkan perilaku dan kondisi geometri, struktur anjungan lepas pantai dibagi menjadi beberapa jenis (gambar 2) yaitu sebagai berikut.

- | | |
|---|--|
| a. <i>Fixed Platforms</i> | c. <i>Floating Structures</i> |
| <ul style="list-style-type: none">• <i>Steel Template Structures</i>• <i>Concrete Gravity Structures</i> | <ul style="list-style-type: none">• <i>Tension Leg Platform (TLP)</i>• <i>SPAR</i>• <i>Floating Production, Storage and Offloading System (FPSO)</i> |
| b. <i>Compliant Structures</i> | |
| <ul style="list-style-type: none">• <i>Compliant Tower</i>• <i>Guy Tower</i> | |



Gambar 2: Perbedaan jenis-jenis struktur lepas pantai. (Courtesy of MMS)

Berdasarkan fungsi, anjungan lepas pantai untuk eksploitasi minyak dan gas dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya sebagai berikut.

- a. *Wellhead Platform*
- b. *Process platform*
- c. *Riser platform*
- d. *Living Quarter platform*
- e. *Flare support platform*

Fixed Platform

Struktur lepas pantai tipe *fixed platform* akan memberikan periode natural dan defleksi yang minimal terhadap beban lingkungan (gambar 3)

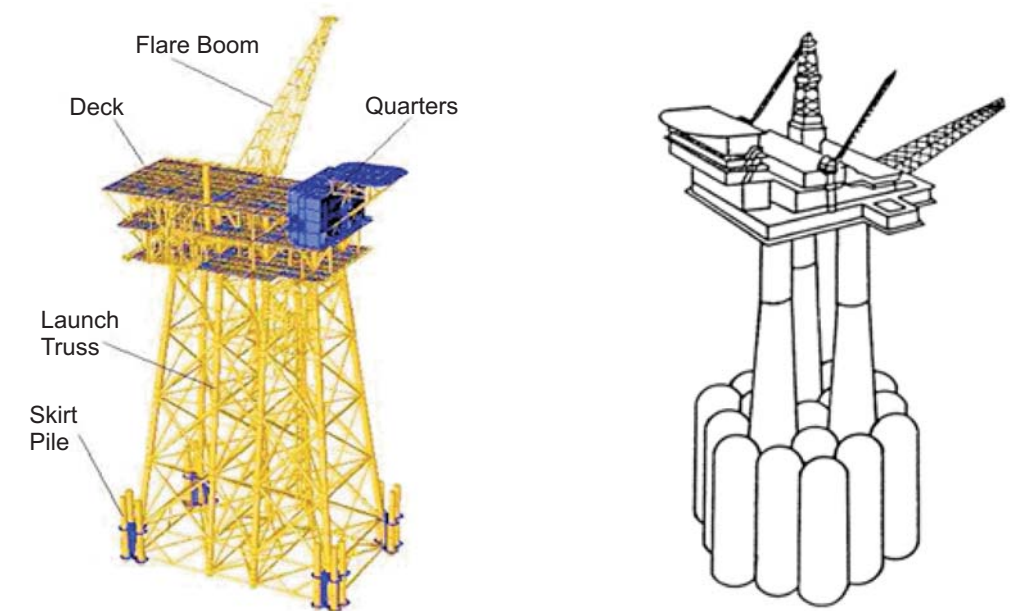
a. Steel Template (Jacket) Structures

Baja pengusung struktur terdiri dari tubular baja yang berdiri vertikal dengan ditopang oleh tiang pancang yang dipancangkan ke dasar permukaan laut bersamaan dengan penempatan *deck* di atasnya, untuk menyediakan ruang bagi tempat tinggal pegawai, tempat alat-alat pengeboran, dan tempat fasilitas untuk produksi. Struktur tipe *fixed platform* ini memiliki nilai yang ekonomis untuk kedalaman perairan sampai 500 meter.

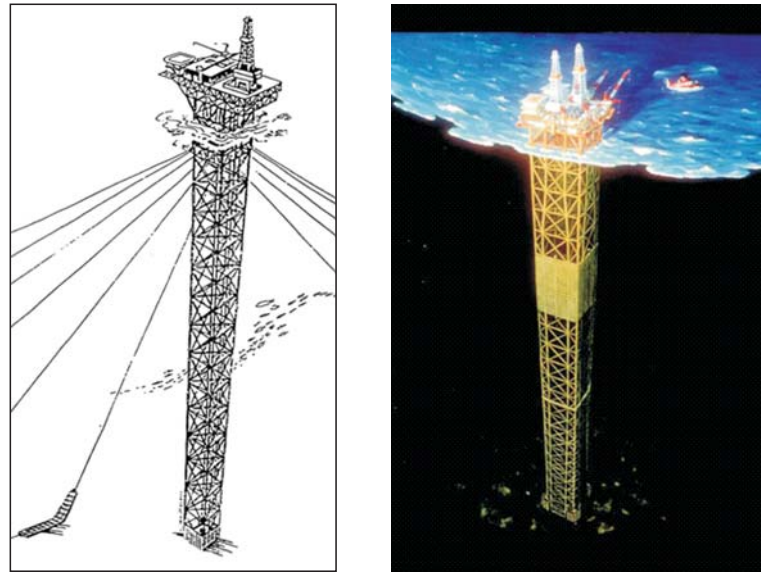
b. Concrete Gravity Platforms

Struktur tipe ini banyak digunakan di area yang memiliki kondisi

geologi permukaan dasar lautnya sangat keras baik itu tanah berbatu ataupun tanah berpasir. Struktur ini dapat ditemui di ladang minyak yang berada laut utara dan perairan Australia. Struktur tipe ini sesuai dengan namanya menggunakan kekuatan gravitasi untuk kestabilan arah horizontalnya terhadap gaya-gaya lingkungan dengan menggunakan berat dari struktur tersebut. Pada dasarnya struktur ini terdiri dari selongsong beton yang dirangkaikan secara melingkar dengan suatu poros berupa kolom untuk menahan *deck* dan fasilitas lainnya. Jenis struktur ini telah dibangun pada kedalaman sampai 350 meter.



Gambar 3: Struktur tipe Fixed Platform



Gambar 4: *Compliant Structures*.

Compliant Structures

a. Compliant Tower

Compliant Tower terdiri dari menara yang menjulang tinggi, fleksibel, dan pondasi tiang pancang yang menyangga *deck* konvensional untuk tempat beroperasinya kegiatan produksi dan pengeboran. Tidak seperti jenis *fixed platform*, *compliant tower* ini dapat bertahan dari beban lateral yang besar dengan mendukung defleksi lateral yang signifikan, biasanya struktur ini digunakan pada kedalaman perairan antara 300 meter sampai dengan 600 meter (gambar 4)

b. Guyed Tower

Guyed tower adalah perluasan dari struktur *compliant tower* yang

menggunakan tali bubut yang diikatkan pada dasar permukaan laut sebagai tiang pancang atau jangkar. Tali bubut ini akan meminimalkan perpindahan lateral yang terjadi pada bagian atas struktur.

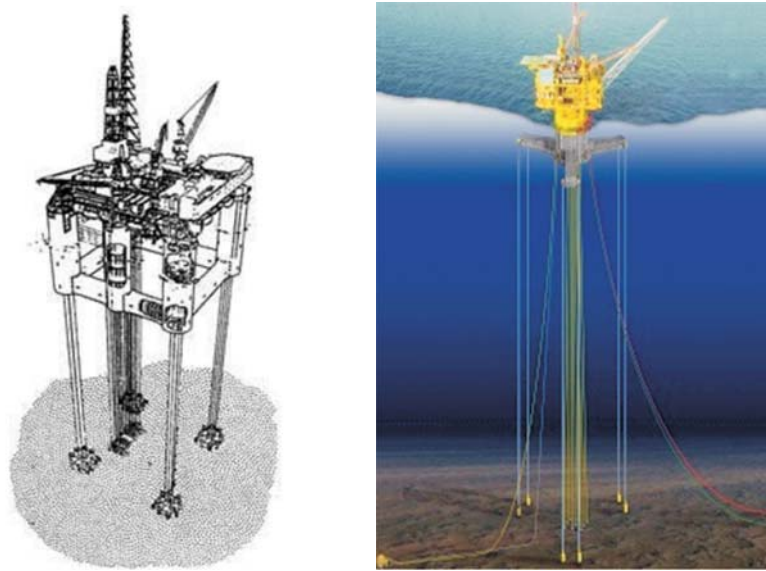
Floating Structures

Sebagai penerapan teknologi baru yang digunakan untuk eksplorasi dan produksi minyak dan gas, timbul berbagai konsep baru untuk sistem perairan laut dalam sebagai pemicu untuk merealisasikan proyek *ultra-deepwater*. Dengan pengeboran sumur yang mencapai 3000 meter, struktur lepas pantai jenis *fixed platform* yang tradisional akan digantikan oleh *state-the-art* dari teknologi *deepwater production facilities*. *Tension Leg Platforms*, *Spars*, *Subsea Systems*, *Floating Production Systems*, dan *Floating Production, Storage dan Offloading Systems* akan digunakan di perairan yang melebihi kedalaman 500 meter. Teknologi ini adalah teknologi yang telah terbukti kehandalannya dan telah digunakan di berbagai *offshore production* di seluruh dunia.

a. Tension Leg Platform

Tension Leg Platform adalah struktur terapung yang ditambatkan secara vertikal yang biasanya digunakan untuk produksi lepas pantai dan cocok untuk tipe perairan antara 1000 meter sampai dengan 1500 meter. Struktur ini ditambatkan secara permanen dengan menggunakan tali atau serabut pada tiang pojok struktur. Sekelompok tali atau serabut itulah

yang disebut *tension leg*. Keistimewaan desain tali atau serabut itulah yang menjadikan struktur tersebut memiliki kekakuan aksial yang relative tinggi, sehingga berbagai pergerakan vertikal dari struktur dapat dikurangi atau dieliminasi (gambar 5).



Gambar 5: *Tension Leg Platform*

Tension Leg Platform (TLP) terdiri dari struktur terapung yang ditempatkan secara vertikal pada *tensioned tendon* yang dihubungkan pada dasar tanah dengan tiang pancang. *Tensioned tendon* menyediakan kegunaan TLP untuk perairan dengan interval yang lebih luas dengan gaya vertikal yang terbatas. Struktur TLP yang paling besar telah sukses tersebar di perairan yang mencapai kedalaman 1450 meter. *Mini Tension Leg Platform* (Mini-TLP) adalah anjungan yang dapat mengakomodasi

biaya produksi yang relatif kecil untuk proses produksi pada cadangan minyak yang lebih kecil. Struktur ini dapat digunakan juga sebagai sarana, satelit, atau produksi awal untuk penemuan lahan minyak yang lebih besar.

b. SPAR

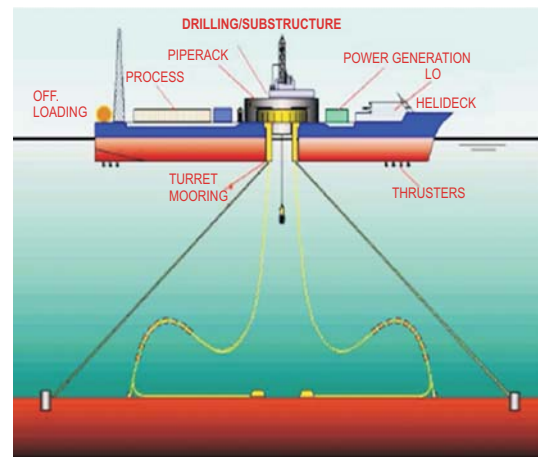
SPAR Platform terdiri dari sebuah silinder vertikal yang besar sebagai penopang deck. SPAR memiliki topside yang tipikal dengan anjungan tipe tetap (*deck* dengan perlengkapan pengeboran dan produksi), tiga jenis riser (produksi, pengeboran, dan ekspor) dan sebuah lambung (*hull*) yang ditambatkan dengan menggunakan sistem catenary antara 6 sampai 20 tali jangkar ke dasar laut (gambar 6). Saat ini, SPAR digunakan di perairan dengan kedalaman sampai 1700 m, meskipun teknologi yang ada mampu mencapai perairan dengan kedalaman mencapai 2500 m.



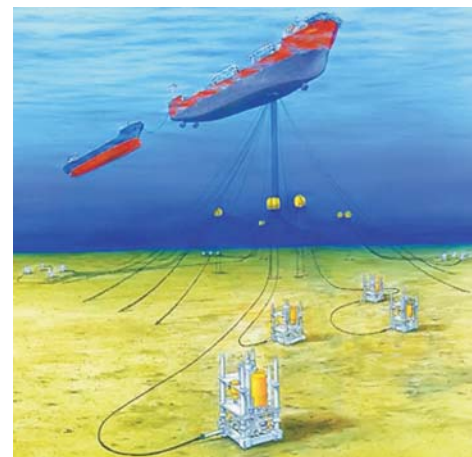
Gambar 6: *SPAR Platform*.

c. *Floating Production, Storage and Offloading System (FPSO)*

FPSO terdiri dari sebuah kapal tanker besar yang ditambat ke dasar laut seperti pada gambar 7 dan gambar 8. Sebuah FPSO didisain untuk proses produksi dan penyimpanan dari *subsea wells* yang berada disekitarnya dan secara periodik melakukan bongkar muat minyak ke kapal tanker pengangkut yang lebih kecil. Kapal tanker akan mengangkut minyak ke fasilitas di darat untuk proses produksi lebih lanjut. Sebuah FPSO sesuai untuk lokasi laut dalam dimana fasilitas *pipeline* tidak tersedia.



Gambar 7: *Floating Production, Storage and Offloading System (FPSO)*



Gambar 8: *Subsea system* yang dihubungkan dengan FPSO.

Wellhead Platform

Wellhead platform ditujukan untuk pengeboran dan mendukung peralatan *wellhead*. Anjungan ini mendukung beberapa peralatan seperti

wellhead control panel dan *piping*. Kadang-kadang anjungan ini memiliki landasan helikopter sebagai angkutan kru dan evakuasi darurat.

Process Platform

Process platform digunakan sebagai fasilitas produksi dan mampu mendukung peralatan-peralatan produksi seperti *power generator*, mesin-mesin, dan akomodasi.

Riser Platform

Anjungan ini adalah jenis lain yang khusus dibangun untuk mendukung seluruh *riser* yang masuk dan keluar pada suatu anjungan yang kompleks. Anjungan ini dihubungkan ke anjungan utama dengan menggunakan *bridge*.

Living Quarter Platform

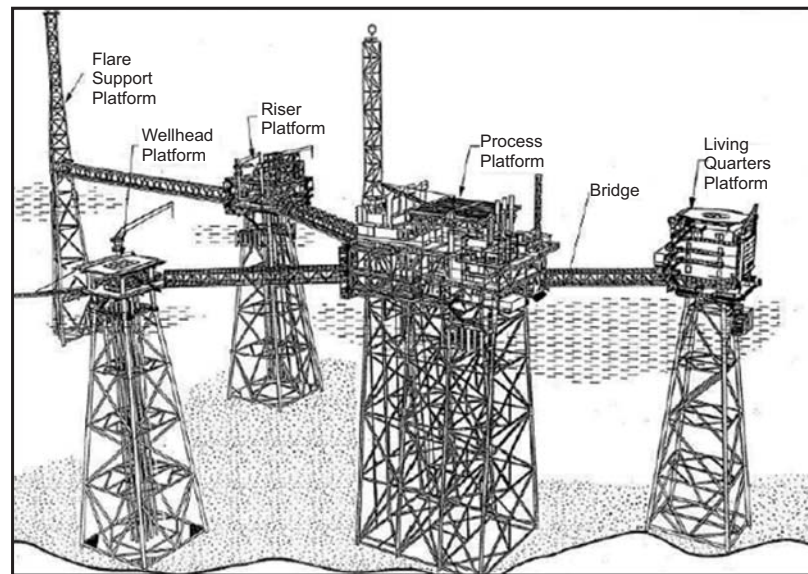
Kadang-kadang berdasarkan alasan keselamatan, anjungan *living quarter* dibangun pada sebuah anjungan yang terpisah jauh dari anjungan *wellhead* dan *process*. Jenis anjungan ini ditempatkan dengan jarak minimal 50m dari anjungan *process* dan dihubungkan dengan menggunakan *bridge*.

Flare Support Platform

Dengan alasan keselamatan, struktur *flare boom* yang digunakan sebagai tempat pembuangan gas dari proses produksi dibangun secara terpisah baik sebagai *tripod* maupun *jacket 4 kaki*. Hal ini untuk menghindari kelebihan panas terlalu banyak pada peralatan *wellhead* dan

proses. Biasanya anjungan ini berada jauh dengan jarak tertentu sesuai hitungan berdasarkan kondisi panas yang keluar selama *flaring*.

Ilustrasi kompleks anjungan lepas pantai yang terdiri dari masing-masing jenis struktur berdasarkan fungsi di atas dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9: Kompleks anjungan lepas pantai.

1.2.2 Pipa Penyalur Bawah Laut

Indonesia sebagai negara yang terdiri dari banyak pulau mengakibatkan banyaknya proses pendistribusian minyak dan gas bumi melalui jalur laut. Untuk itu, diperlukan metode yang efektif dan efisien dalam hal pendistribusian minyak dan gas bumi, baik dari tempat pengeboran maupun tempat produksi ke tempat lainnya. Terdapat beberapa metode

yang umum digunakan untuk memindahkan minyak dan gas, yaitu dengan menggunakan kapal tangker, dengan menggunakan jaringan pipa penyalur bawah laut (*subsea pipeline*) ataupun kombinasi dari keduanya.

Penggunaan jaringan pipa penyalur bawah laut untuk mengalirkan minyak dan gas semakin berkembang dan banyak digunakan karena dianggap lebih efektif dan efisien. Selain keunggulannya dalam mengalirkan minyak atau gas lebih banyak dalam waktu yang relatif lebih cepat, *pipeline* juga mampu melewati lokasi yang tidak mungkin untuk dilewati oleh kapal tangker, misalnya untuk daerah yang terlalu dangkal untuk kapal tangker.

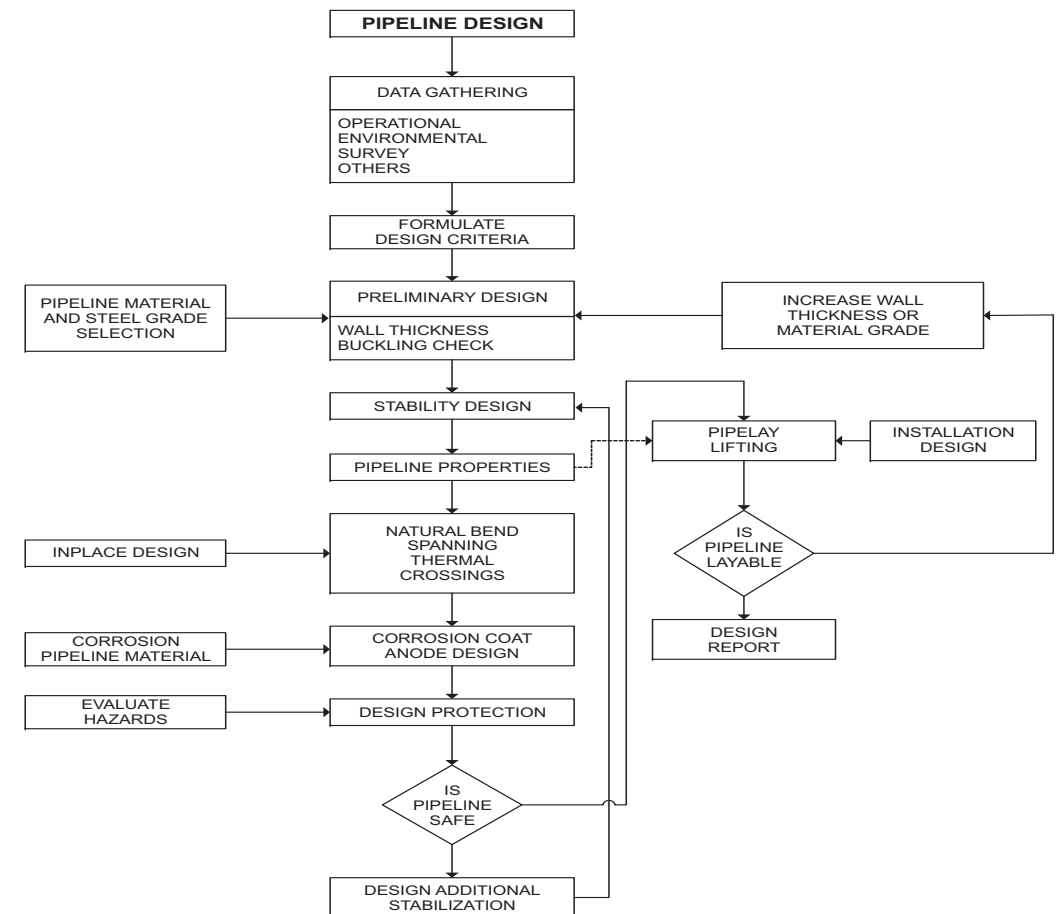
Jaringan pipa penyalur bawah laut pertama kali digelar di *Gulf of Mexico* (Teluk Meksiko). Sejak saat itu, ribuan kilometer *pipeline* dengan berbagai diameter dan berbagai kedalaman telah dibangun di berbagai penjuru dunia seperti Laut Mediterania, Australia, Asia Tenggara, Amerika Latin, dan tempat lainnya.

Suatu jaringan pipa penyalur bawah laut yang dibangun harus didesain sedemikian rupa untuk mempertahankan keutuhannya pada saat instalasi dan pada masa operasinya. Pada saat instalasi, pipa akan mengalami tegangan lentur yang cukup besar ketika diturunkan dari kapal ke laut. Setelah pipa berada di dasar laut, pipa-pipa ini akan menerima beberapa hal yang berpotensi menyebabkan kerusakan, yaitu keadaan gelombang dan arus, ketidak-stabilan tanah, jangkar-jangkar, jaring ikan, dan bahaya lainnya. Oleh karena itu, pemasangan jaringan

pipa bawah laut harus didesain dengan baik dan benar sehingga mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada pipa, baik selama masa instalasi, pengujian, maupun pada masa operasinya. Desain pipa bawah laut mencakup diameter dan tebal pipa, kestabilan pipa di dasar laut (*on-bottom stability*), bentang bebas (*free span*), penyekat panas (*thermal insulation*), dan lain-lain. Setelah pipa didesain, pipa akan dipasang menurut metode yang telah ditentukan. Adapun metode yang biasa digunakan dalam proses instalasi pipa yaitu: *S-Lay*, *J-Lay*, *Reel Lay* dan *Tow Method*. Pemilihan metode instalasi tersebut biasanya berdasarkan pada kedalaman area perairan/laut tempat instalasi pipa tersebut.

Proses desain pipa bawah laut pada dasarnya bertujuan agar pipa yang akan dibangun kuat dan aman sehingga tidak menimbulkan kerugian bagi semua pihak. Kekuatan dan keamanan pipa sangat dipengaruhi oleh daerah yang akan dilewatinya, oleh karena itu perlu dilakukan pengumpulan data-data pada daerah tersebut. Data-data ini antara lain data permukaan dasar laut (*bathymetry*), data tanah, data oseanografi dan data lainnya. Untuk menjamin terlaksananya proses konstruksi pipa bawah laut dengan baik dan pipa yang didesain tidak mengalami kegagalan, maka diperlukan suatu standar yang telah diakui secara internasional. Beberapa standar tersebut telah dikeluarkan oleh beberapa pihak, antara lain DNV (*Det Norske Veritas*), API (*American Petroleum Institute*), ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), ASTM (*American Society for Testing and Materials*), dan lain-lain.

Sebelum mendesain pipa perlu diperhatikan hal-hal yang berpotensi menyebabkan risiko, baik untuk pipa itu sendiri, lingkungan maupun pihak lainnya. Hal-hal tersebut dapat berupa gangguan alami yang diakibatkan oleh beban lingkungan serta aktifitas manusia di sekitar jalur pipa. Oleh karena itu, perlu dilakukan beberapa analisa, antara lain mengenai faktor keamanan, jalur pipa yang terbaik, dan jenis pipa yang tepat. Bagan alir perancangan pipa penyalur bawah laut bisa dilihat pada gambar 10.



Gambar 10: Diagram alir desain pipa penyalur bawah laut.

2. PENGKAJIAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI DI INDONESIA

Indonesia yang merupakan salah satu penghasil minyak bumi dan gas alam dunia mempunyai ratusan anjungan lepas pantai dan pipa penyalur bawah laut yang tersebar di seluruh wilayah perairan Indonesia. Sebagian besar dari anjungan lepas pantai yang ada, umumnya berjenis tetap (*fixed platform*) tipe *jacket* karena perairan di Indonesia umumnya termasuk perairan yang tidak dalam dan kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi didahulukan di perairan yang tidak dalam.

Struktur *jacket* telah digunakan sekian lama pada kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi di perairan lepas pantai di Indonesia. Sebagian besar struktur *jacket* ini digunakan untuk kondisi perairan dangkal dan menengah (kedalaman <150 m). Akibat perkembangan teknologi eksploitasi minyak dan gas bumi atau pemanfaatan gas didalamnya telah memberikan suatu alternatif penggunaan anjungan yang telah melewati umur layannya. Dari segi ekonomi, penggunaan kembali anjungan lepas pantai akan memberikan biaya yang lebih rendah dibandingkan membangun yang baru meskipun harus dilakukan rekonstruksi, perbaikan, dan inspeksi. Namun demikian anjungan lepas pantai yang akan digunakan kembali umumnya mengalami perubahan kapasitas akibat adanya korosi, *damage member*, *blasting* atau perubahan beban yang bekerja, personil, letak *equipment*, modikasi, dan lain-lain. Berkaitan dengan hal tersebut, dibutuhkan prosedur untuk pengkajian struktur yang memenuhi standar/kriteria yang ada.

2.1 Pengkajian Ulang Struktur Berdasarkan Standar API

Sejarah perkembangan standar API

Pembangunan struktur anjungan lepas pantai dimulai pada akhir tahun 1940an di Teluk Meksiko dan berkembang dengan pesat pada tahun 1960an. Banyak perusahaan minyak bersama kontraktornya mengembangkan prosedur untuk perencanaan, pembangunan dan pemasangan, dan pengoperasian fasilitas/infrastruktur yang diperlukan untuk kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak berdasarkan prosedur yang digunakan untuk bangunan di darat dan mencontoh keberhasilan sebelumnya. Cara tersebut terus dilakukan sampai terjadinya topan Hilda pada tahun 1964 dan topan Betsy pada tahun 1965 di Teluk Meksiko yang menyebabkan kerusakan parah dan bahkan keruntuhan pada struktur anjungan lepas pantai yang ada. Dari kejadian tersebut, para pemimpin industri melakukan pertemuan untuk membahas masalah perencanaan struktur anjungan lepas pantai. Salah satu topik utama yang dibahas dalam pertemuan tersebut adalah mengenai perioda ulang dari tinggi gelombang rencana yang hingga saat itu bervariasi antara 25 tahun hingga 100 tahun. Pertemuan lebih dari 60 orang tersebut kemudian menjadi awal dari diterbitkannya aturan perencanaan struktur anjungan lepas pantai yang pertama, yaitu *API Recommended Practice for the Planning, Design, and Construction Fixed Offshore Platform* pada tahun 1969, setebal 16 halaman.

Selama 20 tahun kemudian, seiring dengan pengalaman pengoperasian, penelitian, dan perkembangan teknologi komputer, industri

anjungan lepas pantai berkembang dengan pesat. Sampai pertengahan 1980an, ribuan anjungan lepas pantai telah dibangun di Amerika. Sebagian besar dari anjungan tersebut dipasang di Teluk Meksiko dan tersebar mulai dari anjungan sederhana dengan satu sumur di laut dangkal sampai dengan anjungan kompleks dengan beberapa sumur di laut dengan kedalaman 400 m. Fokus utama dari kegiatan pengembangan adalah untuk memahami dengan lebih baik mengenai kondisi lingkungan dan kekuatan dari struktur anjungan di lingkungan yang sangat ekstrim, metoda perencanaan, metoda pembangunan dan pemasangan struktur anjungan. Sejalan dengan perkembangan teknologi selama 20 tahunan tersebut, API RP2A yang ditujukan untuk kondisi di perairan Amerika dirubah sebanyak 15 kali dan prosedur menjadi setebal 150 halaman. API RP2A edisi ke-7 diterbitkan pada tahun 1976 dimana 100 tahun perioda ulang gelombang rencana direkomendasikan untuk perencanaan struktur anjungan lepas pantai.

Di saat industri mulai memperhatikan struktur anjungan yang telah lama dioperasikan, topan Juan menghantam Teluk Meksiko pada musim panas tahun 1985. Angin topan yang tergolong ringan tersebut (klasifikasi 1) terjadi secara tiba-tiba dan menyebabkan kerusakan yang cukup parah bahkan keruntuhan beberapa struktur anjungan lepas pantai. Saat kejadian topan Juan, banyak personal yang tidak sempat diungsikan sehingga terperangkap di perairan Teluk Meksiko karena angin topan yang datang secara tiba-tiba. Selain itu, kejadian gempa *Loma Prieta* yang terjadi pada bulan Oktober tahun 1989 di Utara Kalifornia yang

menyebabkan runtuhnya Cypress Expressway di Oakland yang dibangun berdasarkan prosedur perencanaan tahun 1960an, membuat banyak kalangan industri mempertanyakan struktur anjungan lepas pantai lama yang dibangun berdasarkan prosedur perencanaan tahun 1960an. Untuk menjawab pertanyaan dari kalangan industri tersebut, sub-komite API untuk *Fixed System* meminta Wilfred Iwan dari California Institute of Technology memimpin panel ahli gempa terkemuka di Amerika untuk mengkaji prosedur terkini dalam pengkajian gempa dan syarat kekuatan struktur yang bisa diterima untuk struktur yang sudah dibangun. Panel para ahli gempa tersebut juga diminta untuk menyiapkan prosedur untuk penelaahan struktur anjungan lepas pantai yang telah dibangun. Panel yang terdiri dari Charles Thiel, George Housner, Wilfred Iwan and C. Allin Cornell tersebut kemudian disebut panel THIC. Laporan THIC kemudian tidak hanya menjadi dasar pengkajian bangunan di daerah gempa tetapi juga menjadi bahan pengembangan API selanjutnya yang akhirnya diterbitkan sebagai *Chapter 17* sebagai tambahan pada API RP2A edisi ke-20.

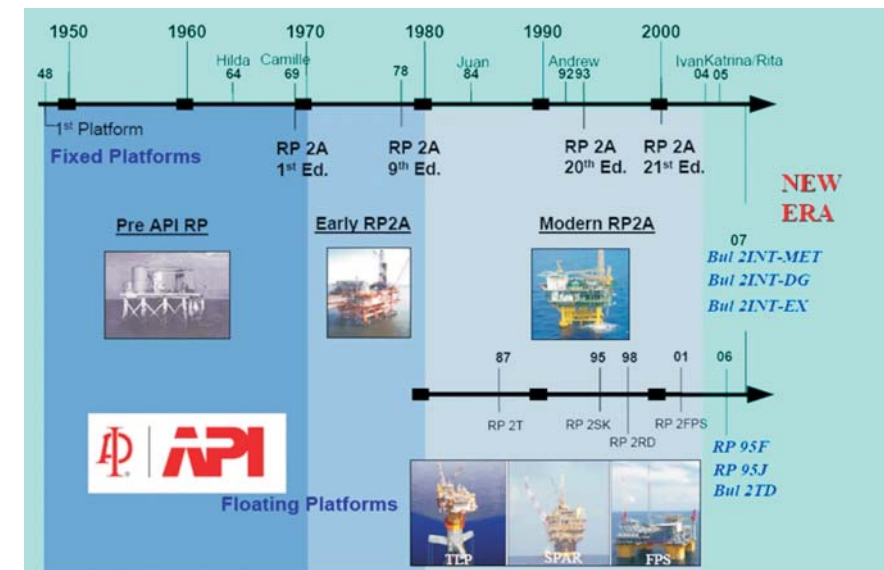
Konferensi standarisasi API segera diadakan pada bulan Juni tahun 1992 setelah laporan THIC dikeluarkan pada bulan Juni 1992. Pembahasan dalam konferensi tersebut kemudian membentuk tim untuk membuat prosedur tentang pengkajian dan syarat kekuatan struktur anjungan yang telah lama beroperasi. Tidak lama setelah konferensi, yaitu pada bulan Agustus tahun 1992, topan Andrew melanda Teluk Meksiko dan menghantam sekitar 2000 anjungan atau setengah dari jumlah anjungan

yang ada di Teluk Meksiko. Dari semua anjungan yang terhantam topan Andrew, ada sekitar 800 anjungan dibuat sebelum tahun 1972 dimana rekomendasi perioda ulang gelombang rencana 100 tahun belum diterapkan. Hasil pengamatan kerusakan pada struktur anjungan akibat topan Andrew menunjukkan bahwa kecenderungan keruntuhan struktur "toppled" terjadi pada anjungan yang dibuat berdasarkan gelombang rencana dengan perioda ulang 25 tahun. Hal ini menunjukkan terjadinya "wave on deck" dimana gelombang menghantam struktur bagian atas ("deck"). Tetapi, tidak ada korban jiwa akibat topan Andrew karena seluruh personal sudah di evakuasi sebelum topan menghantam. Selain itu, tidak terjadi kerusakan lingkungan yang parah karena anjungan sudah *totally shut-in* sebelum topan menghantam atau dilengkapi dengan peralatan keselamatan otomatis di bawah permukaan. Kebocoran minyak yang terjadi umumnya diakibatkan oleh kerusakan pada pipa penyalur yang bukan merupakan bagian dari struktur anjungan. Dari hasil pengamatan kerusakan akibat topan Andrew, pihak industri kemudian melakukan berbagai program penelitian dan pengembangan gabungan (*Joint Industrial Research and Program*) yang kemudian banyak memberikan kontribusi pada pengembangan standar API berikutnya.

Tim yang kemudian dibentuk oleh API setelah kejadian topan Andrew kemudian mengembangkan RP2A Chapter 17 mengenai Kajian Struktur Anjungan yang telah dibangun (*Assessment of Existing Platform*). Prosedur tersebut menyediakan metoda evaluasi struktur anjungan yang telah dibangun untuk memastikan apakah anjungan masih layak

digunakan dan memenuhi kriteria "fit for purpose". Prosedur yang dikembangkan akhirnya diadopsi ke dalam API RP2A pada tahun 1996. Untuk memastikan penerapan rekomendasi API Section 17 di Teluk Meksiko, Mineral Management Services (MMS) mengeluarkan Notice to Leases (NTL) No. 2003-G16 yang mensyaratkan setiap operator lebih dari 3500 anjungan memahami katagori konsekuensi setiap anjungan mereka dan memastikan perlu atau tidaknya dilakukan kajian "fitness for purposes". Kajian dan perbaikan yang diperlukan pada setiap anjungan tidak harus dilakukan secara serentak, tetapi dilakukan secara bertahap sampai paling lambat November 2006.

Ilustrasi perkembangan standar API RP2A dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11: Ilustrasi perkembangan standar API RP2A.

METODA WSD

Menurut standard API RP 2A, metoda pembebanan struktur bisa berdasarkan Metoda *Working Stress Design* (WSD) atau *Load and Resistance Factor Design* (LRFD). Perbedaan kedua metoda ini terletak pada nilai koefisien terfaktor yang digunakan untuk kondisi beban yang berbeda. Nilai koefisien terfaktor ini merupakan nilai faktor keamanan struktur tersebut. Secara umum, persamaan untuk persyaratan untuk keamanan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots\dots\dots (1)$$

dimana ruas kiri persamaan diatas mewakili resistensi, atau kekuatan dari komponen atau sistem; sedangkan sisi kanan mewakili beban yang diharapkan akan ditanggung. Pada sisi kekuatan, harga nominal resistensi R_n dikalikan dengan faktor resistensi ϕ (reduksi kekuatan) untuk mendapatkan kekuatan desain. Pada sisi beban persamaan di atas, berbagai efek beban Q_i (seperti beban mati, dan beban hidup) dikalikan dengan faktor-faktor kelebihan beban γ_i untuk mendapatkan jumlah $\sum \gamma_i Q_i$ dari beban-beban terfaktor. Subskrip i menunjukkan bahwa harus ada isian untuk masing-masing tipe beban Q_i yang bekerja, seperti beban mati, beban hidup dan beban lingkungan. Faktor γ_i mungkin saja berlainan untuk masing-masing tipe beban.

Untuk metode WSD, faktor γ_i tidak berbeda-beda untuk masing-masing tipe beban, sehingga perubahan-perubahan dalam berbagai faktor kelebihan beban dan faktor resistensi dilakukan dengan mengubah

tegangan ijin. Fokus metoda WSD terletak pada kondisi beban layanan yang harus memenuhi persyaratan keamanan bagi struktur tersebut. Untuk metoda WSD, persamaan (1) dapat ditulis kembali sebagai berikut:

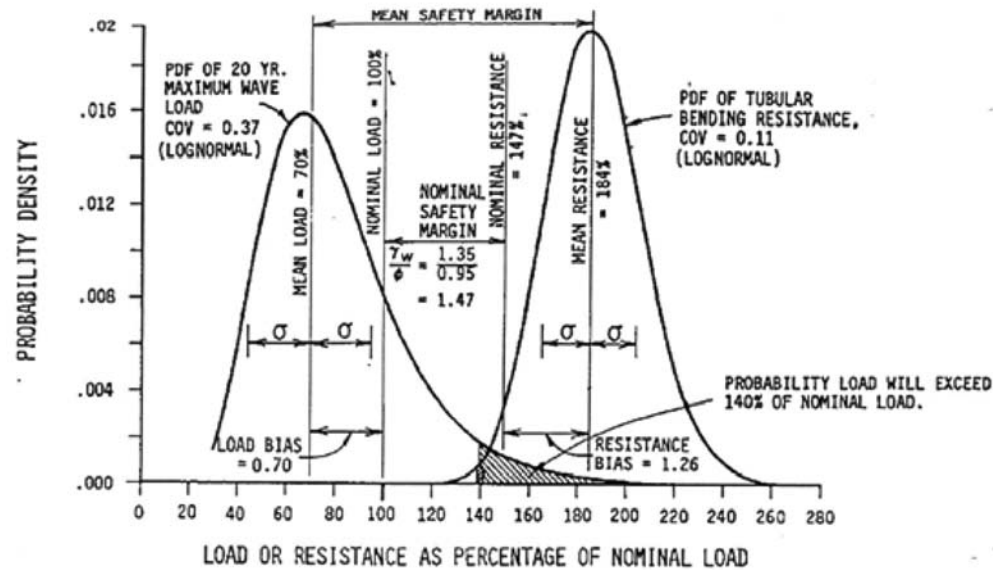
$$\frac{\phi R_n}{\gamma} \geq \sum Q_i \dots\dots\dots (2)$$

Dalam filosofi WSD, semua beban diasumsikan sebagai memiliki variabilitas rata-rata yang sama. Keseluruhan variabilitas beban-beban dan kekuatan-kekuatan yang ditempatkan pada ruas kekuatan dalam persamaan tersebut. Untuk analisa suatu struktur balok, ruas kiri mewakili kekuatan nominal balok M_n yang dibagi oleh suatu faktor keamanan FS sedangkan ruas kanan mewakili momen lentur beban layanan yang bekerja sebagai total dari semua beban. Dengan demikian, persamaan (2) dapat dituliskan menjadi

$$\frac{M_n}{FS} \geq M \dots\dots\dots (3)$$

METODA LRFD

Konsep faktor keamanan klasik seperti WSD (*Working Stress Design*) menghasilkan desain sistem struktur anjungan dengan kehandalan tinggi tanpa mempertimbangkan ketidakpastian dan sifat probabilitas di dalam tahanan maupun efek bebannya secara eksplisit. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya pengembangan desain yang mempertimbangkan sifat probablilitas dari tahanan maupun beban yang bekerja pada struktur (gambar 12).



Gambar 12: Grafik fungsi kerapatan probabilitas terhadap tahanan dan beban.
(Sumber: API RP2A – LRFD)

Upaya pengembangan ini menghasilkan sebuah format desain LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) yang menggunakan analisis kehandalan berdasarkan pendekatan faktor tahanan-beban. Dimana beban dan tahanan keduanya memiliki sifat variabel yang tidak pasti, akibatnya faktor keamanan juga menjadi suatu variabel yang mengandung ketidakpastian. Untuk struktur anjungan lepas pantai, API RP2A juga mengembangkan konsep LRFD dan menghasilkan rekomendasi kombinasi pembebanan untuk analisis struktur anjungan lepas pantai. API RP2A-LRFD diterbitkan pada tahun 1993. API RP2A-LRFD ditujukan untuk digunakan oleh industri di Amerika. Tetapi, seiring berjalannya waktu, kalangan industri di Amerika tetap memilih menggunakan API

RP2A-WSD untuk perencanaan anjungan di perairan Amerika. Di lain pihak, API RP2A-LRFD segera diadopsi untuk pembangunan anjungan di perairan Inggris di Laut Utara. Bahkan, setelah perioda transisi dimana *load factor* disesuaikan dengan kondisi setempat, sebagian besar anjungan yang dibangun di perairan Inggris setelah 1995 menggunakan standar LRFD.

Format umum dari spesifikasi LRFD diberikan dengan persamaan (1). Secara umum persamaan tersebut berarti bahwa kekuatan (ϕR_n) yang disediakan dalam desain harus lebih besar atau sama dengan beban-beban terfaktor yang bekerja ($\sum \gamma_i Q_i$). Subskrip *i* menunjukkan bahwa harus ada isian untuk masing-masing tipe beban Q_i yang bekerja, seperti beban mati, beban hidup dan beban lingkungan. Faktor γ_i mungkin saja berlainan untuk masing-masing tipe beban.

Beban-beban yang akan ditanggung oleh suatu struktur atau elemen struktur tidak selalu dapat diramalkan dengan tepat sebelumnya. Bahkan apabila beban-beban tersebut telah diketahui dengan baik pada salah satu lokasi tertentu, distribusi bebannya dari elemen yang satu ke elemen yang lain pada keseluruhan struktur biasanya masih membutuhkan asumsi dan pendekatan. Beban hidup dan beban mati yang akan ditanggung oleh struktur berdasarkan API RP2A didefinisikan sebagai berikut:

- *Dead Load 1*, D_1 merupakan berat sendiri struktur meliputi berat struktur di udara termasuk berat dari *piles*, *grout* dan *solid ballast*, berat peralatan dan objek lain yang ditempatkan secara permanen

dan tidak akan berubah selama kondisi operasional, gaya hidrostatis termasuk tekanan internal dan external, dan hasil gaya apung, berat dari air tertutup pada struktur.

- *Dead Load 2, D₂* merupakan beban pada anjungan akibat peralatan dan objek lain. Beban ini dapat berubah sesuai dengan kondisi operasional namun bernilai konstan untuk jangka waktu yang cukup lama. Beban D₂ meliputi berat peralatan pengeboran dan produksi yang dapat diletakan atau dipindahkan dari anjungan, berat tempat tinggal, landasan helikopter, dan peralatan pendukung untuk hidup, peralatan menyelam dan perlengkapan lain yang dapat diletakan atau dipindahkan dari anjungan.
- *Live Load 1, L₁* meliputi berat makanan dan berat fluida di dalam pipa dan tanki, berat dari transportasi kapal dan kontainer yang digunakan untuk pengangkutan makanan, berat dari orang dan efeknya. Harga nominal L₁ diperoleh dari beban material terberat dan kapasitas terbesar pada saat kondisi operasional.
- *Live Load 2, L₂* merupakan beban hidup yang diterima struktur dalam periode waktu yang singkat pada kondisi operasional seperti pengangkatan dengan menggunakan crane, operasi mesin, penambatan vessel dan pendaratan helikopter. Harga nominal L₂ merupakan nilai rata-rata maksimum kapasitas dari peralatan.
- W_e merupakan gaya pada struktur yang terjadi akibat beban

lingkungan, yaitu kombinasi gelombang ekstrim, arus dan angin (periode ulang 100 tahun).

- W_o merupakan beban lingkungan pada kondisi operasional (periode ulang 1 tahun).

Kombinasi beban-beban terfaktor menurut API RP2A- LRFD, yang diterbitkan tahun 1993, adalah sebagai berikut:

Akibat Beban Gravitasi dan Lingkungan (*in-place analysis*)

Kondisi Ekstrim (*Storm*)

Setiap batang, sambungan, dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam Q yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = 1.1D_1 + 1.1D_2 + 1.1L_1 + 1.35 W_e \dots\dots\dots (4)$$

Kondisi Operasional

Pada kondisi operasional gaya dalam Q dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$Q = 1.3D_1 + 1.3D_2 + 1.5L_1 + 1.5L_2 + 1.2 W_o \dots\dots\dots (5)$$

Namun, dalam penggunaannya di Indonesia harus dikaji kembali dan dilakukan penyesuaian karena konsep API RP2A-LRFD dikembangkan berdasarkan kondisi di Teluk Meksiko yang berbeda dengan kondisi perairan di Indonesia pada umumnya. Karena itu, *load factor* untuk beban lingkungan harus disesuaikan untuk digunakan di

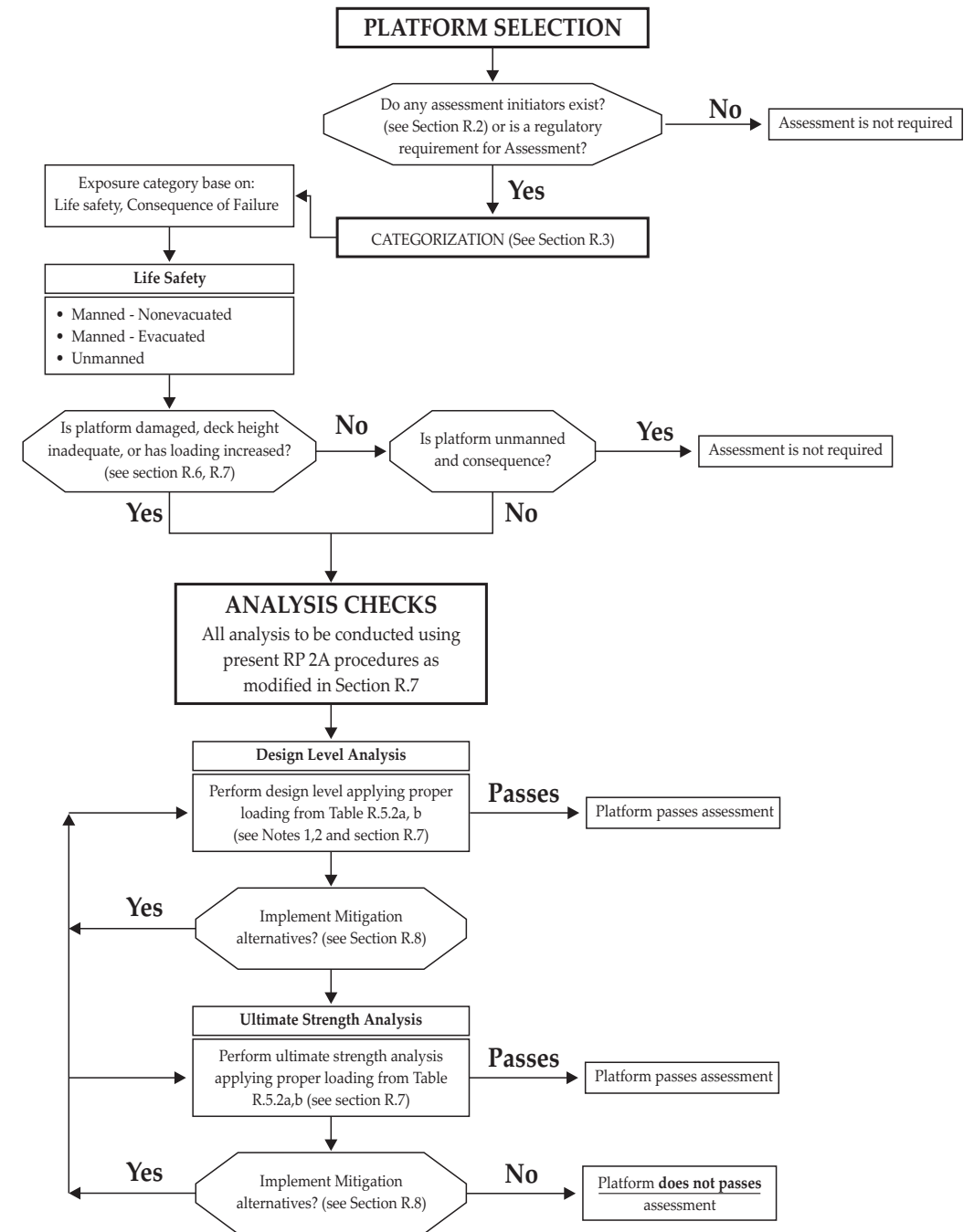
perairan Indonesia dimana parameter statistik dari kondisi perairan di Indonesia berbeda dengan Teluk Meksiko. Adapun *load factor* untuk beban mati, beban hidup dan *equipment* tetap digunakan rekomendasi dari API RP2A-LRFD, dengan asumsi bahwa perilaku statistik dari beban-beban tersebut di setiap lokasi akan sama sehingga tidak perlu dilakukan penyesuaian.

Akibat beban gempa (*seismic analysis*)

Setiap batang, sambungan, dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam F_d yang dirumuskan sebagai berikut:

$$F_d = 1.1 D_1 + 1.1 D_2 + 1.1 L_1 + 0.9 E \dots\dots\dots (6)$$

E adalah gaya inersia ditimbulkan oleh gerakan tanah akibat gempa. Untuk kondisi *strength*, gempa yang diperhitungkan biasanya untuk perioda ulang 100 tahun dan setiap elemen struktur disyaratkan tetap dalam kondisi elastis. Untuk kondisi *ductility*, gempa yang diperhitungkan biasanya untuk perioda ulang 800 tahun dan elemen struktur dibolehkan mencapai kondisi plastis tetapi struktur tidak sampai runtuh (*collapse*). Prosedur pengkajian ulang struktur anjungan lepas pantai berdasarkan API RP2A dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13: Diagram alir pengkajian ulang struktur anjungan lepas pantai berdasarkan API RP2A

2.2 Pengkajian Ulang Struktur Berdasarkan Standar ISO

Untuk memenuhi kebutuhan standar yang diakui secara internasional, International Standard Organization (ISO) mengembangkan standar ISO 19902 untuk perencanaan struktur anjungan lepas pantai tipe tetap. Dalam pengembangannya, API RP2A-LRFD diambil sebagai acuan dasar dari ISO 19902. Setelah mengalami berbagai perubahan berdasar hasil berbagai penelitian dan Joint Industry Projects (JIPs), ISO 19902 kemudian diterbitkan pada tahun 2007. Dalam ISO 19902, setiap negara atau daerah diberi kebebasan untuk menentukan faktor beban dari gaya lingkungan. Hal ini diberikan dalam bagian Annex I Regional Information. Tetapi, apabila tidak tersedia data yang cukup untuk menentukan *load factor* yang sesuai dengan kondisi setempat, maka angka *load factor* dari API RP2A LRFD bisa digunakan sebagai acuan.

Kombinasi beban-beban terfaktor menurut ISO 19902 adalah sebagai berikut:

Akibat Beban Gravitasi dan Lingkungan (*in-place analysis*)

Kondisi Ekstrim (*Storm*)

Setiap batang, sambungan, dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam Q yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = 1.1 D1 + 1.1 D2 + 1.1 L1 + \gamma_{fE} (W_e + \gamma_{fD} D_n) \dots\dots\dots (7)$$

Kondisi Operasional

Pada kondisi operasional gaya dalam Q dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$Q = 1.3 D1 + 1.3 D2 + 1.5L1 + 1.5L2 + 0.9 \gamma_{fE} (W_0 + \gamma_{fD} D_n) \dots\dots\dots (8)$$

dimana definisi D1, D2, L1, L2, W_e , dan W_0 sama seperti pada API RP2A-LRFD.

D_n adalah gaya ekuivalen quasi-statik akibat respon dinamik struktur maksimum. Untuk anjungan dengan perioda natural di bawah 3 detik, D_n bisa diabaikan.

γ_{fE} adalah faktor beban untuk beban lingkungan dalam kondisi ekstrim. API RP2A-LRFD memberikan nilai 1,35 tetapi ISO 19902 menentukan besarnya yang tergantung pada kondisi lingkungan daerah yang ditinjau. Annex I Regional Information, memberikan informasi mengenai kondisi di beberapa daerah tetapi sifatnya tidak mengikat untuk daerah di luar yang diberikan dalam Annex I tersebut.

γ_{fD} adalah faktor beban untuk gaya ekuivalen quasi-statik akibat respon dinamik struktur maksimum.

Akibat beban gempa (*seismic analysis*)

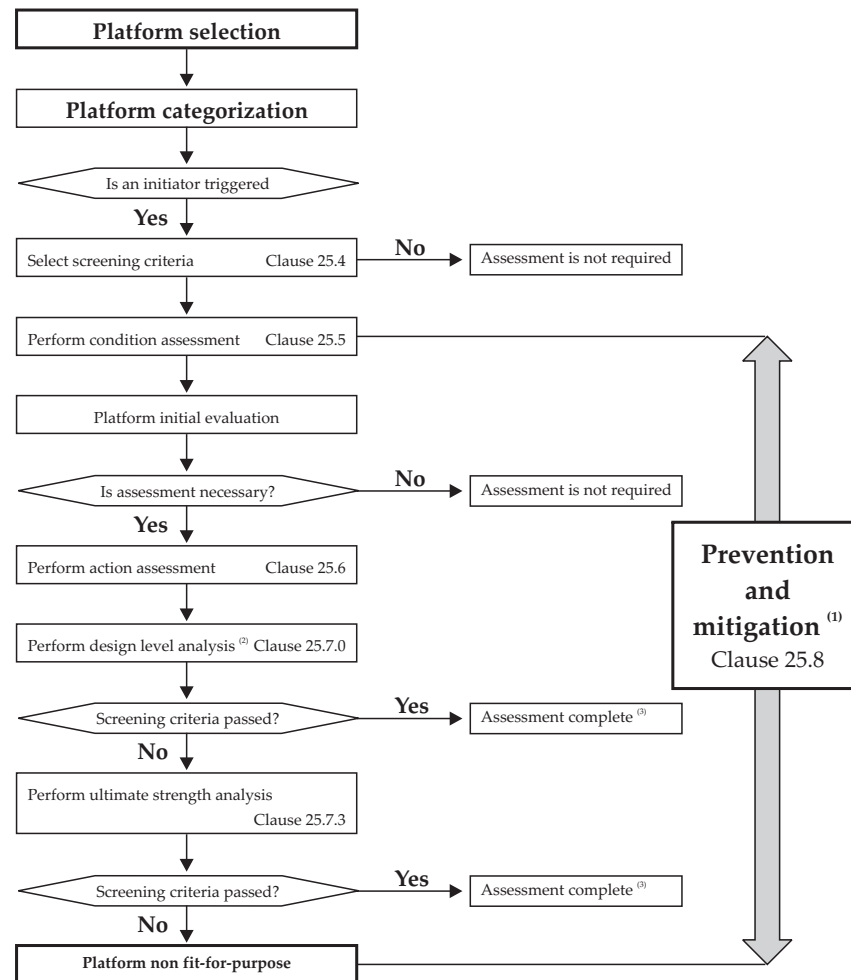
Setiap batang, sambungan, dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam F_d yang dirumuskan sebagai

berikut:

$$F_d = 1.1 D_1 + 1.1 D_2 + 1.1 L_1 + 0.9 E \dots\dots\dots (9)$$

Seperti dalam API RP2A LRFD, E adalah gaya inersia ditimbulkan oleh gerakan tanah akibat gempa.

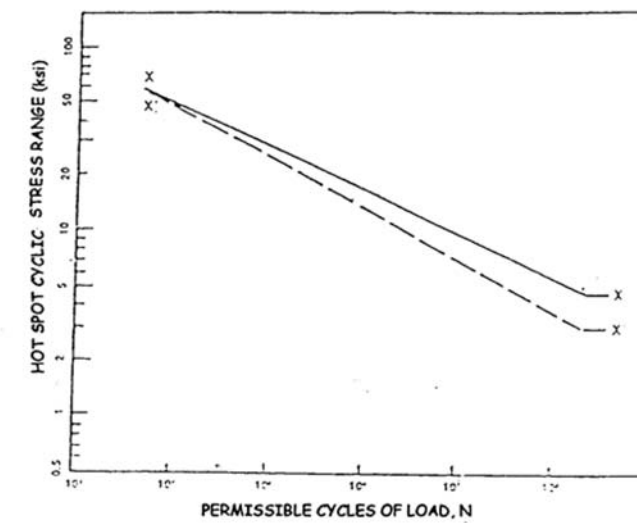
Prosedur pengkajian ulang struktur anjungan lepas pantai berdasarkan ISO 19902 dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14: Diagram alir pengkajian ulang struktur anjungan lepas pantai berdasarkan ISO 19902

2.3 Pengkajian Struktur Berdasarkan Kelelahan (*Fatigue*) Pada Sambungan Tubular

Kelelahan pada sambungan (*fatigue*) secara sederhana dapat diartikan sebagai kelelahan suatu struktur setelah menerima beban yang berulang-ulang (*cyclic loading*). Batas dari *fatigue* (*fatigue limit*) didefinisikan sebagai stress (tegangan) dimana material atau sambungannya dapat menahan beban yang berulang dalam jumlah tertentu, yang nilainya didapat dari kurva S-N (Stress vs Jumlah Siklus Pembebanan yang Diijinkan). Contoh dari kurva S-N pada gambar 15 berikut ini:



Gambar 15: Kurva S-N (API RP2A)

Pertimbangan mengenai kerusakan akibat kelelahan pada sambungan struktur harus diperhatikan dalam proses pengkajian umur layan struktur. Dalam prosedur pengkajian struktur anjungan lepas pantai berdasarkan API RP2A dan ISO 19902, analisa umur layan

berdasarkan kelelahan sambungan lebih lanjut tidak diperlukan apabila kerusakan akibat kelelahan sambungan yang ditemui dalam inspeksi level III dan/atau level IV telah dikaji dan/atau diperbaiki.

Untuk struktur anjungan lepas pantai yang digunakan lagi (*reused*), harus diperhatikan kerusakan kelelahan sambungan selama anjungan tersebut telah dioperasikan dan umur layan yang diperlukan di lokasi yang baru. Analisa kelelahan sederhana berdasarkan standar API RP2A dan ISO 19902 untuk struktur anjungan yang dioperasikan di perairan dengan kedalaman kurang dari 122 m (400 ft), dibuat dari material yang *ductile*, mempunyai konfigurasi struktur *redundant*, dan mempunyai perioda natural struktur lebih kecil dari 3 detik, maka umur rencana kelelahan sambungan struktur harus memenuhi persamaan berikut:

$$L = SF_1 L_1 + SF_2 L_2$$

dimana:

L_1 = Perioda/lama struktur telah dioperasikan (*Initial in service period*)

L_2 = Umur layan rencana di lokasi yang baru

SF_1 = 2, bila tidak dilakukan pemeriksaan pada sambungan struktur yang telah dioperasikan selama L_1 . Apabila telah dilakukan pemeriksaan NDE (*Non Destructive Examination*) sambungan tubular dan kerusakan sambungan (bila ditemukan) telah diperbaiki, maka nilai SF_1 bisa diambil antara 0 sampai 2.

SF_2 = 2

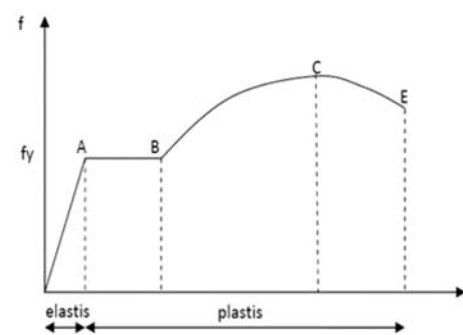
3. ANALISA KEKUATAN ULTIMATE STRUKTUR

Beberapa parameter yang digunakan dalam penentuan kelayakan struktur berdasarkan standar API RP2A WSD, API RP2A LRFD, dan ISO 19902, antara lain usia layan sambungan atau dikenal istilah *fatigue life* dan nilai RSR (*reserve strength ratio*) yang didapatkan berdasarkan *ultimate strength analysis (collapse)*. Alternatif penentuan nilai RSR dilakukan apabila *platform* tidak memenuhi persyaratan *design level analysis*.

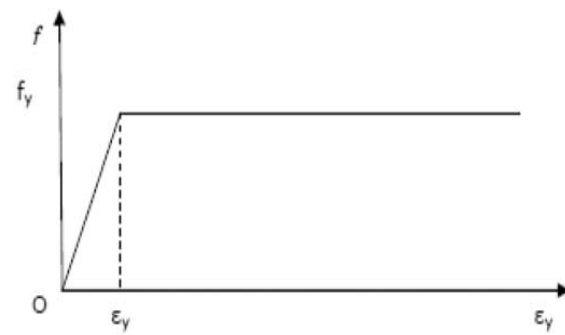
Desain konvensional pada struktur umumnya berdasarkan model linier-elastik dalam menentukan respon akibat gaya luar. Pada pengkajian (*assessment*) struktur anjungan lepas pantai, seringkali ditemukan bahwa komponen struktur tidak memenuhi kriteria desain yang berdasarkan model linier elastik, sehingga dibutuhkan analisis lebih lanjut berkaitan dengan kelayakan anjungan. Analisis tersebut dapat berupa: perkuatan (*strengthening*) pada beberapa bagian struktur, pengurangan beban fungsional, atau evaluasi konsekuensi kegagalan/keruntuhan dalam bentuk resiko terhadap manusia dan kerusakan lingkungan.

Desain plastis sebagai salah satu kriteria/batasan desain menggunakan konsep kekuatan plastis berdasarkan beban maksimum yang dapat diterima struktur atau analisis kekuatan struktur pada wilayah plastis. Munculnya ide dasar desain plastis berdasarkan kenyataan bahwa suatu struktur rangka kaku statis taktentu akan memiliki kapasitas yang lebih besar daripada yang diindikasikan dalam desain tegangan izin. Meskipun konsep tegangan izin sangat memuaskan untuk struktur sederhana, tetapi

aplikasinya pada struktur tak tentu akan membiaskan konsep kekuatan struktur sebagai dasar desain, menjadi konsep tegangan izin. Dalam desain plastis, suatu struktur tidak hanya ditinjau secara lokal tetapi ditinjau juga sebagai suatu sistem yang kompleks, yaitu sistem yang tersusun dari elemen-elemen dengan karakteristik individual yang berbeda-beda. Desain plastis memanfaatkan salah satu kelebihan dari sifat material baja, yaitu daktilitas (*ductility*). Daktilitas adalah kemampuan mengalami deformasi yang besar sebelum mencapai keruntuhan. Hal ini dapat digunakan sebagai *warning* dalam proses keruntuhan suatu struktur. Sifat daktilitas ini dapat dilihat dari kurva hubungan tegangan-regangan (gambar 16) yang didapatkan dari pengujian tarik suatu spesimen baja. Dalam desain plastis dilakukan idealisasi dengan menghilangkan pengaruh tegangan leleh atas, *strain hardening*, dan *necking & fracture*. Diagram Idealisasi dapat dilihat pada gambar 17.

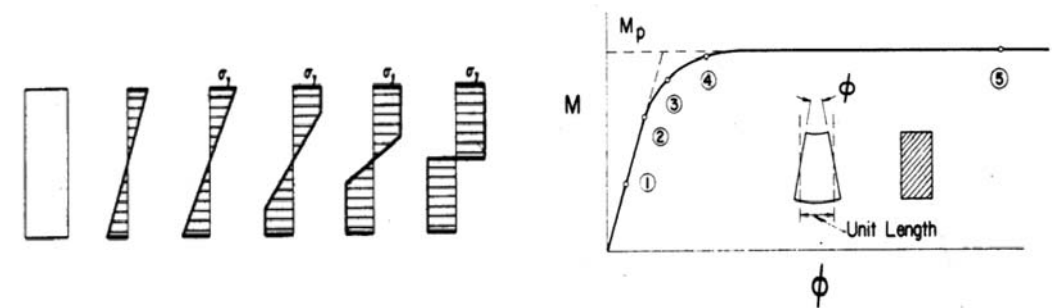


Gambar 16: Diagram tegangan-regangan baja dalam kondisi tarik



Gambar 17: Kurva idealisasi diagram tegangan-regangan baja.

Pada gambar 17, level tegangan leleh adalah batas material bersifat elastis. Setelah material mencapai level tegangan leleh, regangan meningkat dengan besar tanpa adanya penambahan pada level tegangan. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa material tidak runtuh ketika tegangan maksimum pada serat mencapai tegangan leleh atau dengan kata lain material memiliki kapasitas plastis yang tergantung pada bentuk penampang. Gambar 18 menunjukkan lima tahap peningkatan distribusi tegangan yang diakibatkan momen lentur pada suatu penampang *rectangular*. Asumsi yang digunakan adalah semua perilaku serat pada penampang memenuhi gambar 17 dan bentuk penampang tidak berubah. Bentuk hubungan *moment-curvature* balok dapat dilihat pada gambar 19, nomor pada kurva tersebut berhubungan dengan lima tahap peningkatan distribusi tegangan pada gambar 18.



Gambar 18: Tahapan peningkatan distribusi tegangan.

Gambar 19: Hubungan *moment-curvature* untuk balok dengan penampang *rectangular*.

Sumber: American Society of Civil Engineer (1971) *Plastic Design in Steel*.

Pada tahap 2, terlihat serat terluar penampang mulai leleh dengan nilai momen M_y dan pada tahap 5 seluruh serat penampang telah plastis dengan nilai momen M_p . Dalam perhitungan hubungan *moment-curvature* balok diaproksimasi dengan garis putus-putus seperti terlihat pada gambar 19. Proses tahapan melelehnya serat penampang yang diakibatkan peningkatan momen lentur biasa disebut proses *plastification* pada penampang. Pada tahap dimana penampang mulai meleleh, rotasi yang terjadi pada balok akan meningkat dengan nilai momen yang relatif konstan, yaitu mulai terbentuknya sendi plastis.

Adanya sendi plastis akan menyebabkan momen terdistribusi ulang dalam kondisi struktur statis tak tentu pada balok dan rangka kaku. Jadi, peningkatan beban lebih lanjut akan diterima oleh elemen struktur yang menerima tegangan lebih kecil sampai terbentuk sendi plastis yang cukup untuk suatu mekanisme keruntuhan. Pada tahap ini defleksi akan terus bertambah dengan penambahan beban yang relatif konstan, dengan kata lain *plastic limit load* telah tercapai.

Mekanisme keruntuhan yang bisa terjadi pada struktur antara lain adalah:

- a. Mekanisme keruntuhan balok
- b. Mekanisme keruntuhan panel
- c. Kombinasi keruntuhan mekanisme balok dan panel

4. KEHANDALAN STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI

Pada perencanaan anjungan lepas pantai sering dihadapkan pada faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis struktur, ketidakpastian tersebut berkaitan dengan beban, material, geometri, dll. Parameter ketidakpastian ini harus diperhitungkan dalam perencanaan untuk menghindari kegagalan struktur. Suatu cara lama yang digunakan untuk mengakomodir parameter ketidakpastian ini adalah dengan penggunaan "faktor keamanan" yang mengambil batas konservatif untuk suatu angka desain (*Duffy and Hopkins, 1995*).

Anjungan lepas pantai yang ada saat ini umumnya relatif aman berkaitan dengan faktor keamanan pada beban lingkungan. Kurangnya data struktur anjungan lepas pantai (gambar, tipe material, prosedur pengelasan, hasil inspeksi, data perbaikan, dll) akan memberikan ketidakpastian pada kapasitas struktur terhadap beban lingkungan. Permasalahan faktor ketidakpastian akan semakin meningkat jika dihadapkan dengan fenomena alam yang bersifat acak.

Analisis kehandalan struktur digunakan untuk mengevaluasi kegagalan struktur berkaitan probabilitas sistem kekuatan-beban. Dalam analisis ini menggunakan informasi nilai rata-rata dan distribusi variabel ketidakpastian dalam menentukan probabilitas kegagalan struktur. Secara garis besar metoda kehandalan struktur dapat dibagi menjadi 3 level, yaitu:

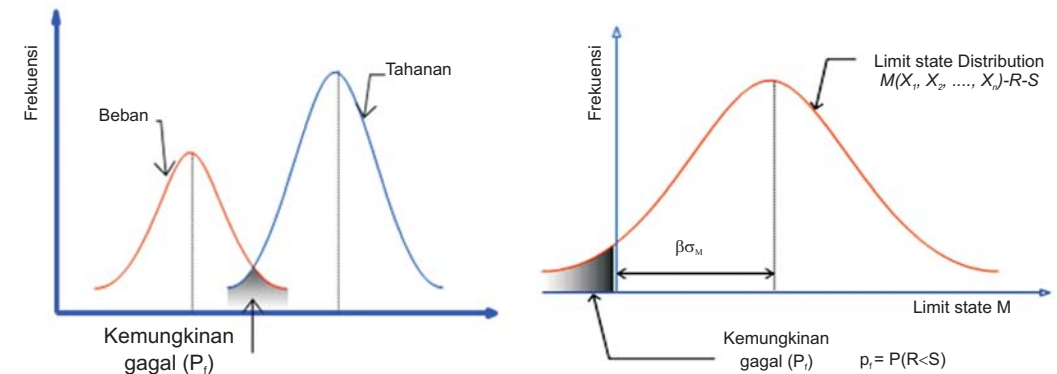
1. Level 1 – Metoda perencanaan yang memberikan tingkat

kehandalan tertentu pada level elemen struktur melalui penggunaan faktor keamanan parsial terhadap variabel-variabel dasar yang telah didefinisikan karakteristik nilainya.

2. Level 2 – Dikenal sebagai *second moment, First Order Reliability Method* (FORM). Metoda ini dalam analisisnya hanya memerlukan parameter statistik berupa mean value dan variance dan variabel-variabelnya berdistribusi normal. Ukuran kehandalan dinyatakan dalam besaran indeks kehandalan (β). Pada metoda *Advanced level 2*, evaluasi dapat dilakukan untuk berbagai tipe distribusi dari variabel-variabel acak.
3. Level 3 – Penggunaan *multi-dimensional joint probability distribution*. Evaluasi dilakukan dengan integrasi numerik dan teknik simulasi.

Kehandalan adalah suatu kriteria keyakinan bahwa komponen sistem akan mampu melaksanakan fungsinya dengan aman. Indeks kehandalan bertujuan memberikan antisipasi karena keberadaan ketidakpastian dalam parameter desain. Konsep indeks kehandalan adalah membandingkan secara langsung besarnya tahanan (R) terhadap beban (S). Dimana kedua variabel tersebut adalah besaran yang bersifat acak. Nilai dari indeks kehandalan sangat bergantung pada distribusi yang diasumsikan. Indeks kehandalan tidak dimaksudkan untuk menghubungkan secara langsung kemungkinan kegagalan, tapi secara kualitatif dapat digunakan untuk menunjukkan ukuran kehandalan.

Model desain kehandalan struktur dapat mendefinisikan beban dan tahanan sebagai probabilitas variabel acak. Gambar 20 menunjukkan bahwa formulasi kehandalan struktur bergantung pada tingkat *overlap* (beririsan) fungsi kerapatan probabilitas antara beban dan tahanan. Dari gambar 20, juga diketahui bahwa tidak ada daerah yang bebas resiko.



Gambar 20: Konsep indeks kehandalan (β)

Dari gambar 20, fungsi kegagalan didefinisikan sebagai:

$$M = g(R,S) = R-S \dots\dots\dots(10)$$

dimana $M = g(R,S) =$ fungsi performansi

$R =$ fungsi resistansi/tahanan

$S =$ fungsi beban

Probabilitas kegagalan didefinisikan sebagai:

$$p_f = P(R < S) \dots\dots\dots(11)$$

Definisi indeks kehandalan sebagai

$$\beta \frac{\mu_M}{\sigma_M} \dots\dots\dots(12)$$

dimana:

μ_M = nilai rata-rata M

σ_M = standard deviasi M

4.1 Kehandalan Struktur Anjungan Berdasarkan *Fatigue*

Analisis *fatigue* akibat gelombang pada anjungan lepas pantai secara umum merupakan suatu prosedur perhitungan, yaitu dimulai dengan analisis gaya gelombang yang menimbulkan range tegangan pada wilayah *hot-spot* dan diakhiri dengan estimasi kerusakan akibat *fatigue*. Hubungan antara gelombang dan kerusakan *fatigue* dibentuk oleh model matematis dari gaya gelombang, perilaku struktur, dan perilaku material.

Pada analisis kehandalan *fatigue* dibutuhkan evaluasi model probabilitas variabel acak yang membentuk sistem kapasitas-kerusakan *fatigue* pada suatu sambungan. Hasil dari analisis ini berupa indeks kehandalan atau probabilitas kegagalan yang dapat dijadikan acuan dalam meninjau kapasitas sambungan selama masa layan struktur atau alternatif penggunaan kembali suatu anjungan.

Diagram kurva S-N digunakan untuk menyatakan kapasitas *fatigue* dari suatu sambungan yang dikenai beban uniaksial dengan amplitudo konstan. Untuk sambungan yang di las, kurva S-N tidak tergantung pada

tegangan leleh material. Hal ini disebabkan sambungan las memiliki cacat retak dan umur *fatigue* akibat pertumbuhan *crack* yang hanya tergantung pada tegangan siklis lokal yang terjadi pada ujung retakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fenomena *fatigue* sangat dipengaruhi oleh perubahan geometri yang menyebabkan adanya konsentrasi tegangan pada daerah sambungan.

Akumulasi Kerusakan *Palmgren- Miner*

Untuk perhitungan akumulasi kerusakan *fatigue* dilakukan berdasarkan distribusi tegangan dan model kapasitas kurva S-N. Besarnya kerusakan ini tergantung pada jumlah dan besar tegangan yang bekerja dan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d = \frac{N}{N_{SN}} \dots\dots\dots(13)$$

dimana d adalah kerusakan (*damage*), N adalah jumlah aktual siklus tegangan, dan N_{SN} adalah jumlah siklus tegangan yang menyebabkan kegagalan (didapatkan dari kurva S-N). Formula diatas merupakan akumulasi kerusakan *fatigue* berdasarkan pendekatan *Miner-Palmgren*. Pendekatan ini mendefinisikan bahwa kriteria kegagalan *fatigue* dinyatakan sebagai derajat akumulasi kerusakan *fatigue*. Untuk variasi amplitudo tegangan yang konstan, kegagalan akan terjadi jika $d \geq 1.0$. Sedangkan untuk amplitudo beban yang bervariasi, nilai akumulasi kerusakan d akan bernilai acak.

Berdasarkan akumulasi kerusakan *Miner* untuk beberapa *sea-states*,

total kerusakan dihitung dengan persamaan berikut:

$$d_{Tot} = \sum_i \frac{N_i}{N_{SN} S_{eq,i}} \dots\dots\dots (14)$$

Notasi i menunjukkan untuk semua *sea-state*.

Probabilitas *Fatigue* Spektral

Beban gelombang dalam analisis spektral *fatigue* dimodelkan sebagai gelombang acak yang direpresentasikan oleh spektrum energi gelombang. Berdasarkan persamaan respon stokastik linier dapat ditentukan respon berupa spektrum energi tegangan *hot spot* pada sambungan. Spektrum energi tegangan *hot spot* ini akan merepresentasikan beban stokastik *fatigue* pada sambungan yang sekaligus akan menentukan usia dari sambungan tersebut.

Untuk suatu range tegangan yang diberikan s , jumlah siklus tegangan yang menyebabkan keruntuhan, $N_F(S)$, dapat ditentukan dari kurva S-N yang akan digunakan. Sehingga persamaan kerusakan dD , untuk range tegangan antara s dan $s+ds$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$dD = \frac{N}{N_F} \frac{1}{s} p(s) ds \dots\dots\dots (15)$$

dimana $p(s)$ adalah probabilitas dari range tegangan antara s dan $s+ds$.

Berdasarkan asumsi awal, bahwa proses acak elevasi muka air adalah *Gaussian* dan *narrow band*, maka bentuk spektrum respon tegangan pun akan mengikuti *Gaussian* serta *narrow band* juga. Berdasarkan kondisi ini dapat disimpulkan bahwa range tegangan merupakan variabel acak dengan berdistribusi *Rayleigh*. Fungsi kerapatan probabilitas *Rayleigh*

untuk range tegangan diberikan oleh persamaan berikut ini:

$$p(s) = \frac{s}{\sigma_{RMS}^2} \exp \left(-\frac{s^2}{2 \sigma_{RMS}^2} \right) \dots\dots\dots (16)$$

dimana:

s = range tegangan

σ_{RMS} = harga RMS untuk range tegangan

Dengan mensubstitusikan persamaan (16) kedalam persamaan (15), maka persamaan ekspektasi kerusakan untuk suatu spektrum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$D = \int_0^{\infty} \frac{N}{\sigma_{RMS}^2} \frac{1}{s} \frac{s}{\sigma_{RMS}^2} \exp \left(-\frac{s^2}{2 \sigma_{RMS}^2} \right) ds \dots\dots\dots (17)$$

Total ekspektasi kerusakan untuk seluruh *sea state* dalam rentang waktu umur rencana merupakan jumlah kerusakan yang diakibatkan oleh masing-masing *sea state*. Ekspektasi umur *fatigue* ditentukan dengan membagi umur rencana dengan total ekspektasi kerusakan.

Formulasi Fungsi Performansi

Formulasi fungsi performansi untuk analisis kehandalan *fatigue* kurva S-N dapat dituliskan sebagai berikut:

$$g(\Delta, D) = \Delta - D \dots\dots\dots (18)$$

Fungsi performansi yang baru untuk analisis kehandalan *fatigue* dengan pendekatan kurva S-N adalah:

$$g(\Delta, D) = \Delta \sum_{j=1}^n \frac{a_j T}{A_j T_{z,j}} \cdot 2 \cdot St_j \cdot \sigma \sqrt{2}^m \Gamma \left(\frac{m}{2} \right) \dots\dots\dots (19)$$

Karena kerusakan *fatigue* merupakan hasil dari analisis tegangan lokal

maupun global, *JCSS (Joint Committee fo Structural Safety)* merekomendasikan untuk mengikutsertakan faktor ketidakpastian analisis tersebut pada perhitungan kerusakan akibat beban *fatigue*.

$$g \Delta \sum_{j=1}^n \frac{a_j T}{A \cdot T_{z,j}} 2 \cdot St_j \sigma \sqrt{2}^m \Gamma \frac{m}{2} 1 B_{scf}^m B_{glob}^m \dots\dots\dots (20)$$

atau

$$g \Delta B_{scf}^m B_{glob}^m T \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n \frac{a_j}{T_{z,j}} 2 \cdot St_j \sigma \sqrt{2}^m \Gamma \frac{m}{2} 1 \dots\dots\dots (21)$$

dimana:

- Δ = variabel ketidakpastian kapasitas fatigue
- B_{scf} = variabel ketidakpastian analisis tegangan lokal pada sambungan
- B_{glob} = variabel ketidakpastian analisis tegangan global pada struktur
- T = umur desain sambungan
- $St_j(\sigma)$ = standar deviasi proses ke j atau besaran $\sigma_{RMS,j}$
- Γ = Fungsi gamma
- m, A = parameter kurva S-N
- a_j = fraksi umur desain dari spektrum j
- $T_{z,j}$ = *zero crossing period*

Parameter m dan A pada persamaan diatas adalah parameter untuk kurva S-N standar yang diekspresikan dengan persamaan berikut ini:

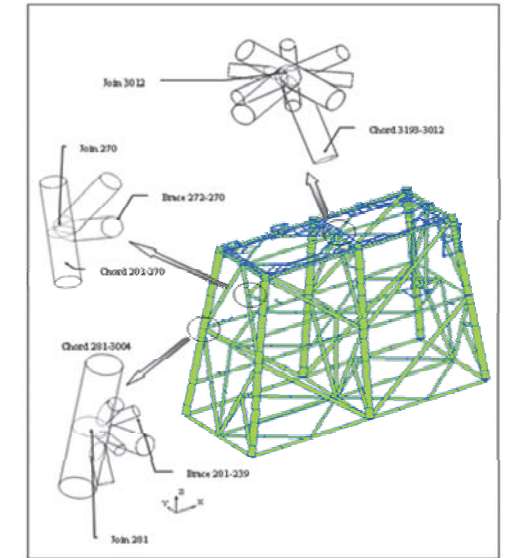
$$N_{SN} \frac{A}{S^m} A \cdot S^m \dots\dots\dots (22)$$

Contoh perhitungan kehandalan dilakukan pada model struktur

anjonagan lepas pantai yang diperlihatkan pada gambar 21 dan 22. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 23.



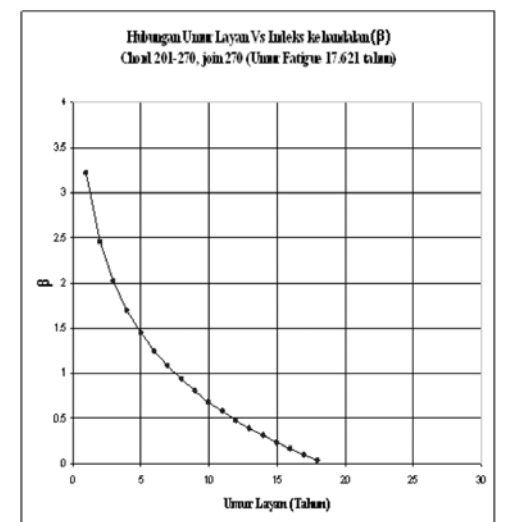
Gambar 21: Model struktur anjonagan tipe *jacket* 6 kaki.



Gambar 22: Lokasi komponen sambungan untuk analisis kehandalan.

Tabel 1: Indeks kehandalan *fatigue* komponen *chord* 201-270, joint 270.

No	Masa Layan T (tahun)	Indeks kehandalan β	Probabilitas Kegagalan Pf
1	1	3.22	6.44E-04
2	2	2.45	7.10E-03
3	3	2.01	2.21E-02
4	4	1.69	7.40E-02
5	5	1.45	7.40E-02
6	6	1.24	1.07E-01
7	7	1.08	1.41E-01
8	8	0.93	1.76E-01
9	9	0.80	2.12E-01
10	10	0.68	2.48E-01
11	11	0.58	2.82E-01
12	12	0.48	3.15E-01
13	13	0.39	3.49E-01
14	14	0.31	3.78E-01
15	15	0.23	4.08E-01
16	16	0.16	4.36E-01
17	17	0.10	4.62E-01
18	18	0.03	4.89E-01



Gambar 23: Kurva indeks kehandalan komponen *chord* 201-270, joint 270.

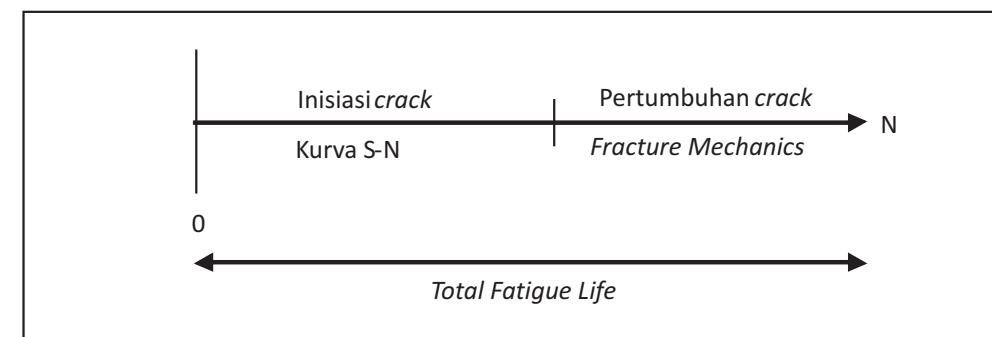
4.2 Keandalan Struktur Anjungan Berdasarkan Perambatan Retak

Pada tanggal 27 Maret 1980 terjadi peristiwa runtuhnya anjungan lepas pantai *Alexander Kielland* yang beroperasi di perairan Laut Utara dan menelan korban jiwa. Peristiwa ini kemudian diselidiki oleh suatu badan resmi *the Norwegian Commission*. Hasil investigasi menyebutkan bahwa runtuhnya anjungan lepas pantai diawali adanya *fracture/patah* di daerah pengelasan salah satu *main brace* yang kemudian diikuti *failure/kegagalan* pada *brace* lain yang terhubung dengan *main brace* tersebut. Secara lebih spesifik, hasil investigasi menyebutkan bahwa timbulnya patah diawali dengan retak inisial (*crack initiation*) pada *main brace* yang telah ada sejak tahap manufaktur anjungan lepas pantai. Retak ini disebabkan proses pendinginan yang cepat setelah pengelasan atau dikenal dengan istilah *cold crack*. Retak yang timbul pada tahap ini diperparah dengan buruknya kualitas pengelasan. Setelah anjungan lepas pantai diinstalasi di laut dan beroperasi, retak semakin bertambah (*crack propagation*) dengan adanya beban *fatigue* pada *platform* meskipun masih dalam level beban yang diprediksi sebelumnya. Dan pada akhirnya dari retak yang terus bertambah ini berujung patah pada *main brace* dalam waktu yang singkat.

Belajar dari peristiwa di atas dan diperkuat dengan adanya suatu penelitian yang menyebutkan bahwa kenyataannya komponen-komponen struktur yang menggunakan sambungan las akan memiliki retak mikro inisial pada ujung sambungan las yang terbentuk selama proses pendinginan las, maka adanya fenomena pertumbuhan retak dan

beban *fatigue* menjadi hal penting yang mendasari perlunya metode *fracture mechanics* dalam menilai kelayakan suatu anjungan lepas pantai. Terlebih pada anjungan lepas pantai tipe *jacket*, dimana komponen strukturnya dihubungkan dengan pengelasan pada *joint/sambungannya*.

Desain *fatigue* berdasarkan pendekatan kurva S-N mengasumsikan bahwa kegagalan *fatigue* terjadi ketika retakan halus (*crack*) telah mencapai ketebalan dari elemen batang. Pendekatan ini umumnya digunakan pada tahap awal desain dimana belum terdeteksi adanya *crack* pada sambungan dan digunakan sebagai inisiasi pertumbuhan *crack*. Setelah adanya inisiasi *crack* yang terdeteksi dalam inspeksi yang dijadwalkan berdasarkan kurva S-N, pertumbuhan *crack* dapat diprediksikan dengan menggunakan pendekatan mekanika fraktur. Perbandingan kedua pendekatan ini dapat dilihat pada gambar 24.



Gambar 24: Perbandingan pendekatan kurva S-N dan mekanika fraktur.

Besarnya tegangan di daerah ujung retak tergantung pada faktor intensitas tegangan ΔK dan geometri retak Y , sebagaimana ditunjukkan

pada persamaan berikut:

$$\Delta K = Y \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots(23)$$

dimana

ΔK = range faktor intensitas tegangan

σ = range tegangan nominal

a = ukuran retak

Y = fungsi geometri

Range faktor intensitas tegangan ΔK berhubungan dengan laju pertumbuhan retak per siklus sebagaimana diekspresikan dengan persamaan **Paris Ergodan** berikut:

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m, \Delta K > 0 \dots\dots\dots(24)$$

Fungsi performansi untuk kehandalan berdasarkan perambatan retak adalah:

$$g(x) = \frac{A}{Y^m} \frac{1}{a_0^{m/2-1}} \frac{1}{a_i^{m/2-1}} C SCF^m T^2 B D_F \dots\dots\dots(25)$$

Dengan,

a_0 = kedalaman retak awal

a_i = kedalaman retak kritis. Beberapa penelitian a_i diambil sama dengan tebal penampang (16 dan 17).

Y = faktor koreksi intensitas tegangan akibat jenis geometri retak, kondisi permukaan, perilaku beban, dsb.

C dan m = parameter penjalaran retak.

SCF = faktor konsentrasi tegangan

T = umur layan

D_F = parameter kerusakan

Jika diambil nilai logaritma naturalnya (16), maka persamaan performansi di atas menjadi

$$g(x) = \ln A - m \ln Y + \ln \frac{1}{a_0^{m/2-1}} - \ln \frac{1}{a_i^{m/2-1}} - \ln C - m \ln SCF - \ln T - \ln B - \ln B D_F \dots(26)$$

Maka berdasarkan persamaan tersebut dapat ditentukan indeks kehandalan.

4.3 Sisa Umur Layan Struktur Berdasarkan Target Kehandalan

Bila dikaitkan dengan penilaian terhadap sambungan, kurva indeks kehandalan dapat digunakan untuk menilai keamanan suatu sambungan dari sisi umur sisanya (*remaining life*). Dalam konteks ini diperlukan parameter atau indikator yang menyatakan bahwa suatu komponen sambungan telah memenuhi kriteria keamanan yang disyaratkan. Indikator ini biasa disebut target indeks kehandalan atau indeks kehandalan minimum suatu komponen sambungan. Berdasarkan target indeks kehandalan ini, *remaining life* sambungan dapat ditentukan yaitu dengan mengaplikasikannya pada kurva indeks kehandalan. *Onoufriou* (1999) dalam penelitiannya telah menentukan target indeks kehandalan yang dapat dijadikan pijakan untuk menilai keamanan suatu platform dalam konteks kehandalan, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2: Target indeks kehandalan.

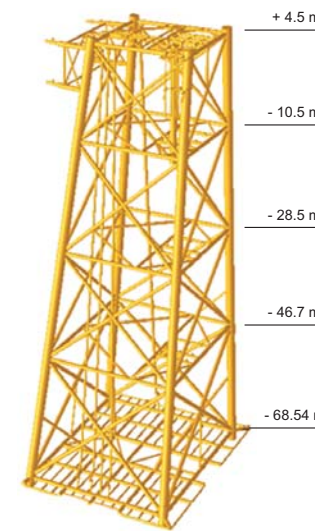
Tipe sambungan	Konsekuensi Kegagalan	Target indeks kehandalan
Main leg	Sangat serius	4.2
Elevation brace	Serius	3.7
Skirt pile brace	Tidak serius	3.1

Tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai indeks kehandalan β tiap komponen sambungan yang dipilih berdasarkan fungsi performansi akhir kehandalan *fatigue*, parameter stokastik yang telah diketahui, dan parameter yang diperoleh dari perhitungan *fatigue* spektral yang terdapat pada sambungan. Salah satu parameter stokastik yaitu retak awal (*crack initiation*) diasumsikan diperoleh dari hasil inspeksi sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.

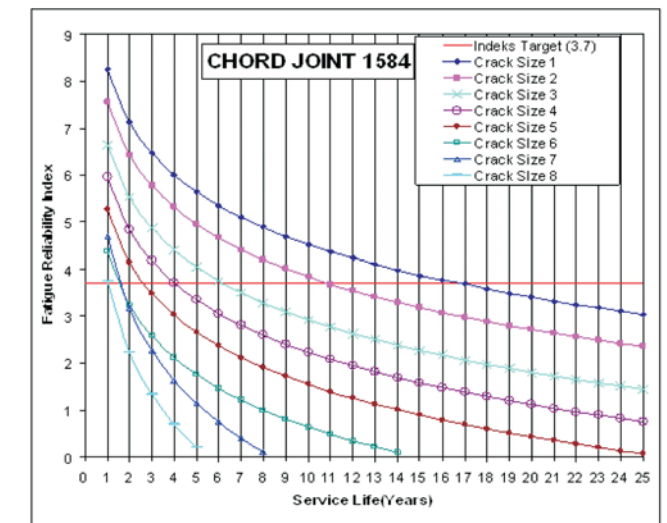
Tabel 3: Asumsi retak awal hasil inspeksi.

Hasil Inspeksi	Distribusi	Mean (mm)	COV
Ukuran Retak 1	Log Normal	0.01	1
Ukuran Retak 2	Log Normal	0.02	1
Ukuran Retak 3	Log Normal	0.05	1
Ukuran Retak 4	Log Normal	0.1	1
Ukuran Retak 5	Log Normal	0.2	1
Ukuran Retak 6	Log Normal	0.5	1
Ukuran Retak 7	Log Normal	1	0.5
Ukuran Retak 8	Log Normal	2	0.5

Sebagai ilustrasi, hasil perhitungan lebih mudah ditunjukkan dalam kurva indeks kehandalan yang menggambarkan hubungan antara indeks kehandalan dan tahun layan. Hasil dari perhitungan model struktur jacket 4-kaki dalam Gambar 25 ditunjukkan dalam Gambar 26.



Gambar 25: Model struktur jacket 4-kaki.



Gambar 26: Indeks kehandalan sambungan pada bagian chord.

Dari Gambar 25, untuk sambungan dengan ukuran retak awal 1 pada bagian chord yang berdistribusi log normal dengan rata-rata 0.01 mm dan *coefisien of variance* 100%, dan berdasarkan target indeks kehandalan 3.7 maka *remaining life* sambungan tersebut 17 tahun. Artinya berdasarkan informasi ini, sambungan ini perlu dilakukan inspeksi selanjutnya pada waktu 17 tahun dari saat penilaian. Dengan kata lain, inspeksi selanjutnya dilakukan pada saat nilai indeks kehandalannya mencapai 3.7 yaitu 17

tahun kemudian setelah masa penilaian. Dalam inspeksi selanjutnya ini dapat dilakukan tindakan penanganan terhadap sambungan yang memiliki cacat. Penanganan ini dapat berupa pengelasan retak awal, sehingga retak awal dapat dihilangkan ataupun dikurangi dalam batas toleransi yang diharapkan. Dari tindakan ini kapasitas sambungan bertambah, sehingga indeks kehandalannya dan *remaining life*-nya juga bertambah.

5. PENGEMBANGAN KE DEPAN

Prosedur pengkajian struktur anjungan lepas pantai yang ada dalam standar API RP2A-WSD, API RP2A-LRFD, dan ISO 19902 dapat digunakan untuk pengkajian ulang struktur anjungan lepas pantai di Indonesia dengan memperhitungkan kondisi lokal. Faktor beban lingkungan γ_{FE} dalam API RP2A-LRFD ditentukan berdasarkan kondisi di Teluk Meksiko. Karena itu, harus ditentukan faktor beban lingkungan berdasarkan kondisi di Indonesia untuk kebutuhan pengkajian struktur anjungan lepas pantai di Indonesia. Hasil perhitungan faktor beban lingkungan γ_{FE} tersebut juga bisa dimasukkan dalam Annex I Regional Information dalam standar ISO 19902.

Banyak anjungan lepas pantai di Indonesia yang dibangun pada tahun 1970-an sehingga dirancang berdasarkan API RP2A edisi tahun 70an. Selain itu, anjungan-anjungan tersebut biasanya dirancang untuk

umur layan 10 tahun tetapi tidak memperhitungkan kelelahan sambungan secara rinci. Untuk anjungan yang sudah melampaui umur layan dan masih digunakan, berdasarkan peraturan Dirjen MIGAS (SK No. 21- K/38/DJM/1999), platform tersebut harus dikaji ulang karena sudah melampaui umur perencanaannya. Pengkajian ulang biasanya dilakukan berdasarkan standard yang berlaku saat ini sehingga seringkali struktur anjungan tidak memenuhi kriteria untuk kelelahan sambungan walaupun dalam kenyataannya struktur anjungan tersebut bisa bertahan selama lebih dari 30 tahun tanpa mengalami kerusakan/kegagalan karena kelelahan sambungan. Karena itu, perlu dikembangkan prosedur pengkajian ulang struktur yang lebih sesuai dengan kondisi struktur anjungan yang sebenarnya. Salah satu prosedur yang bisa digunakan dalam hal ini adalah berdasarkan kehandalan struktur. Kehandalan struktur juga bisa digunakan sebagai dasar perencanaan inspeksi anjungan.

Saat ini, indeks kehandalan struktur yang direkomendasikan didapat dari hasil penelitian-penelitian di luar Indonesia. Karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai nilai indeks kehandalan struktur anjungan lepas pantai di Indonesia yang bisa diterima berdasarkan struktur-struktur anjungan yang sudah dibangun dan terbukti bisa bertahan dalam kondisi lingkungan di Indonesia.

Seiring dengan pergerakan bidang industri yang mulai bergerak ke arah perairan dalam untuk mencari cadangan sumber minyak dan gas

yang baru, maka perlu diantisipasi kebutuhan struktur anjungan lepas pantai yang bisa memenuhi kondisi di laut yang lebih dalam di Indonesia. Tetapi, karena banyak juga reservoir minyak dan gas bumi di Indonesia dengan skala yang relatif kecil, maka perlu dikembangkan juga struktur anjungan lepas pantai yang relatif kecil. Dengan kata lain, di Indonesia akan banyak memerlukan struktur anjungan lepas pantai yang memenuhi kriteria “*deeper and smaller*”.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Pimpinan dan Anggota Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung atas kehormatan yang diberikan untuk menyampaikan pidato ilmiah ini di hadapan hadirin sekalian.

Dalam kesempatan yang terhormat ini, saya ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang sangat dalam kepada orang tua kami tercinta, almarhum Nogi Amir Hakim dan almarhumah Rd. Tjutju Tedjaningsih yang selalu mendoakan dan memberikan pengorbanan yang tulus untuk putra-putrinya agar bisa mencapai cita-cita dan mendapatkan kebahagiaan yang diridhoi ALLAH SWT. Terima kasih yang tak terhingga juga saya sampaikan kepada istri tercinta Nina Tiniasih yang dengan semangat dan penuh kesabaran selalu mendorong untuk terus maju menjadi lebih baik, dan telah memberikan kebahagiaan yang tak ternilai

bersama buah hati kami Biyona Rikanti, Riana Rikanti, Jessica Rikanti, dan Rio Lukman Tawekal, dan cucu kami Allegra Afraqeela Andana Sentanu.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada Prof. Hang Tuah Salim yang telah memberikan bimbingan sejak mahasiswa dan selalu memberikan kepercayaan kepada saya untuk bisa menghadapi masa sulit dan terus mendorong untuk mencapai yang lebih baik sampai ke jabatan Guru Besar ini. Ucapan terima kasih yang tulus juga kami berikan kepada Prof. Wiranto Arismunandar, Prof. Amrinsyah Nasution, Prof. Rochim Suratman, dan Prof. Michael M. Bernitsas (The University of Michigan – USA) yang telah bersedia mempromosikan saya untuk maju ke jenjang jabatan Guru Besar. Semoga ALLAH SWT membalas semua amal kebaikan yang telah diberikan dan jabatan yang saya terima ini barokah dan bermanfaat bagi semua.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada rekan-rekan dosen beserta seluruh staf KK Teknik Kelautan dan Prodi Teknik Kelautan, rekan-rekan dosen beserta seluruh staf Prodi Teknik Sipil, pimpinan dan staf Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB, atas bantuan dan dukungan selama kami bekerja di lingkungan Institut Teknologi Bandung. Tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada para mahasiswa dan mantan mahasiswa yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas kerjasama dan kontribusinya dalam pengembangan teknik lepas pantai di ITB.

Terakhir kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh

pimpinan dan staf PT PAL Indonesia, PT Bina Rekacipta Utama (PT BiRU), PT LAPI ITB, tempat saya mendapatkan pengalaman industri sehingga materi karya ilmiah dan pengajaran saya bisa lebih mendekati masalah praktis di industri terkait.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Petroleum Institute, *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform – Working Stress Design*, 21st edition, 2000.
2. American Petroleum Institute, *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed offshore Platform – Load and Resistance Factor Design*, Washington, D.C., 1997
3. International Standard Organisation, *Petroleum and Natural Gas Industries – Fixed Steel Offshore Structures (ISO 19902)*, 2007
4. Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 21-K/38/DJM/1999, *Petunjuk Pelaksanaan Tatacara Pemeriksaan Teknis Atas Konstruksi Platform Yang Dipergunakan Dalam Usaha Pertambangan Minyak dan Gas Bumi*, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 1999.
5. Assakkaf, I.A., Ayyub B.M., “*Reliability-Based Design for Fatigue of Marine Structures*”, University of Maryland, College Park
6. Broek, David., *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, Martinus Nijhoff Publishers Netherlands., 1986
7. Ersdal, Gerhard. *Doctoral Thesis Assessment of Existing Offshore Structures for Life Extension*. Department of Mechanical and Structural Engineering and Material Science University of Stavanger, October 2005.
8. Engineering Dynamic, Inc., *SACS Release 5 Collapse and Fatigue User’s Manual*, Louisiana, 2005
9. Gupta, A., Singh, *Fatigue Behavior of Offshore Structure*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 1986
10. JCSS Probabilistic Model Code, Draft., *Fatigue Model For Metallic Structures*, jcssfat, 2004
11. Kirkemo, F., *Application of Probabilistics Fracture Mechanics to Offshore Structure*, Applied Mechanics Reviews, ASME 41 (2), 1988
12. Mangiavacchi, A., Rodenbusch, G., Radford, A., and Wisch, D.J., *API Offshore Structure Standards: RP 2A and much more*, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 2005
13. Onoufriou, Toula, *Reliability Based Inspection Planning of Offshore Structures*, Journal of Marine Structures 12 521-539, 1999
14. Pillai, Madhavan., Prasad, Meher, *Fatigue Reliability Analysis in Time Domain for Inspection Strategy of Fixed Offshore Structure*, Journal of Ocean Engineering, Vol. 27, 167-186, 1997
15. Puskar, F.J., Westlake, H.S., O’Connor, P.E., and Bucknell, J.R., *The Development of a Recommended Practice for Structural Integrity Management (SIM) of Fixed Offshore Platforms*, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 2006
16. Ranganathan, R., *Reliability Analysis and Design of Structure*, McGraw-Hill, 1990
17. Rodriguez, J. E., Dover, W. D., and Brennan, F., *Castellanos, Fracture Mechanics Analysis of Fatigue Crack Repaired Joints*, Journal of Offshore

18. Salmon, C. G, dan J, E. Johnson, "*Struktur Baja – Desain dan Perilaku Jilid 1 ed. Kedua. Dalam: Wira (Penerjemah)*", Jakarta: Erlangga, 1997
19. Shabakhty, Nazer, Gelder, P.V., Boonstra, H., *Reliability Analysis of Jack Up Platforms Based on Fatigue Degradation*, Proceeding of OMAE '02 21st International Conference on Offshore Mechanics and Art Engineering. Norway, 2002
20. Skjong, R, E.B.Gregersen, E.Cramer, A.Crocker, Ø.Hagen, G.Korneliusen, S.Lacasse, I.Lotsberg, F.Nadim, K.O.Ronold, *Guideline for Offshore Structural Reliability Analysis-General*, DNV:95-2018, 1995
21. Snell, R.O. and Wisch, D.J., *ISO 19900 Series: Offshore Structures Standards*, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 2008
22. Tawekal, R. L. And Iqbal, A., *Fatigue Reliability Index of Jacket Offshore Platform Based on Fracture Mechanics*, The Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Taipei, 19-21 Nov 2008.
23. Tawekal, R. L. and Heriana, R., *Analisis Keandalan Anjungan Lepas Pantai Tipe Jacket Berdasarkan Beban Pushed-Over*, Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 14, No. 2, Semarang, Juni 2007
24. Tawekal, R. L. and Heriana, R., *Analisis Keandalan Anjungan Lepas Pantai Tipe Jacket Berdasarkan Kapasitas Fatigue Sambungan*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 14, No. 2, Bandung, Mei 2007
25. Tawekal, R. L., Fitriany, and Tukuboya, M. Taufan, *Pengembangan Formula SCF untuk Analisa Kelelahan Joint (Sambungan) T pada Struktur Anjungan Lepas Pantai*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 13, No. 1, Bandung,

26. Tawekal, R. L., *Proposed Procedure for Assessment of Existing Platforms in Indonesia*, Dimensi Teknik Sipil – Universitas Kristen Petra, Vol. 7 No. 2, Surabaya, September 2005.
27. Tawekal, R. L., *Perhitungan SCF Untuk Analisa Fatigue Pada Sambungan Struktur Anjungan Lepas Pantai*, Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 13, No. 2, Edisi XXXII, Semarang, June 2005.
28. Wisch, D.J., Puskar, F.J., Laurendine, T.T., O'Connor, P.E., *An Update on API RP2A Section 17 for the Assessment of Existing Platforms*, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 2004
29. Tawekal, R. L., *Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD*, Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 12 No. 3, Edisi XXX, Semarang, Oktober 2004.
30. Tawekal, R. L., Baskara, Aria R., and Adriadi, R., *Studi Keandalan Struktur Anjungan Lepas Pantai Tipe Brace Monopod*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol 11 No. 4, Bandung, October 2004.
31. Tawekal, R. L., *Studi Perbandingan Metoda WSD dan LRFD Dalam Analisa Struktur Tetap Anjungan Lepas Pantai*, Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 12, Edisi XXIX, Semarang, Juli 2004.

BIODATA



Nama : **RICKY LUKMAN TAWEKAL**
Tmpt. & Tgl. lahir : Bandung, 04 September 1959
Fakultas/Sekolah : Teknik Sipil dan Lingkungan
Kelmpk. Keilmuan: Teknik Kelautan
Bidang Keahlian : Teknik Lepas Pantai

I. RIWAYAT PENDIDIKAN:

1. 1983 : Sarjana Teknik Sipil – Institut Teknologi Bandung
2. 1988 : Master of Science in Engineering (MSE) bidang Naval Architecture and Marine Engineering – The University of Michigan, USA
3. 1989 : Master of Science in Engineering (MSE) bidang Aerospace Engineering – The University of Michigan, USA
4. 1991 : PhD bidang Naval Architecture and Marine Engineering – The University of Michigan, USA

II. RIWAYAT KEPANGKATAN:

PANGKAT	GOLONGAN	TMT
1 Penata Muda	IIIA	01-05-1986
2 Penata Muda Tk. I	IIIB	01-04-1992
3 Penata	IIIC	01-04-1994

PANGKAT	GOLONGAN	TMT
4 Penata Tk. I	IIID	01-10-1996
5 Pembina	IVA	01-04-2004
6 Pembina Tk I	IVB	01-04 2007
7	IVC	01-04-2009

III. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL:

NAMA JABATAN	TMT
1 Asisten Ahli Madya	01-05-1986
2 Asisten Ahli	01-02-1992
3 Lektor Muda	01-04-1994
4 Lektor Madya	01-05-1996
5 Lektor	01-01-2001
6 Lektor Kepala	01-04-2004
7 Guru Besar	01-12-2009

IV. JABATAN STRUKTURAL DI ITB:

5. 2003-2005 : Sekretaris Prodi Teknik Kelautan – Departemen Teknik Sipil – ITB
6. 2006-sekarang : Ketua Kelompok Keahlian Teknik Kelautan – FTSL-ITB
7. 2006-Feb 2010 : Direktur – PT LAPI ITB

V. JABATAN DI LUAR ITB:

1. 1992-1995 : Kasubdit Mekanika Struktur dan Hidrodinamika – PT PAL Indonesia
2. 1995-1998 : Vice President of Technology – PT PAL Indonesia
3. 1998-2000 : President Director – PT PALAMEC Indonesia (Joint Venture antara PT PAL Indonesia dengan AMEC Process and Energy-UK)

VI. PENELITIAN/PUBLIKASI:

1. Bernitsas, M.M., Kang, B.S., and **Tawekal, R. L.**, “RESTRUCT 3.0 : A program for Redesign of Structures”, Report to the University of Michigan/Sea Grant/Industry Consortium in Offshore Engineering and Publication No. 312, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, November 1989
2. Bernitsas, M.M. and **Tawekal, R.L.** “Structural Model Correlation Using Large Admissible Perturbations in Cognate Space “, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) Journal, Vol. 29 No. 12, December 1991
3. **Tawekal, R. L.**, “Redisain Struktur Dengan Menggunakan Metoda Perturbasi”, Proceeding Seminar Implementasi CAD/CAM Dalam Kegiatan Rekayasa di Industri, Bandung, Februari 1992.
4. **Tawekal, R. L.** and Bernitsas, M.M., “Finite Element Model Correlation for Offshore Structures”, Journal of Offshore Mechanics

and Arctic Engineering, Vol. 114, No. 3, August 1992.

5. **Tawekal, R. L.**, " Analisis Getaran Struktur Poros Baling-baling Kapal Laut ", Proceeding Seminar Experimental & Theoretical Mechanics, Bandung, Desember 1992
6. **Tawekal, R. L.**, " Disain Optimum Struktur Rangka Batang Dengan Kondisi Fail-Save", Jurnal Teknik Sipil, Tahun II, No. 005, Bandung, Januari 1992.
7. **Tawekal, R. L.**, "Perhitungan Gaya Tahanan Gelombang Pada Kapal Laut", Proceeding Seminar Rekayasa Kelautan, Bandung, Maret 1992
8. **Tawekal, R. L.**, " Analisa Getaran Bangunan Atas Pada Kapal Caraka Jaya Niaga III phase I Dengan Software MSC/NASTRAN", Proceeding Experimental & Theoretical Mechanics, Bandung, 1993
9. **Tawekal, R. L.**, "Analisis dan Disain Ulang (REDESIGN) Struktur Kendaraan Bermesin Motor Dengan Kenyamanan Yang lebih Baik Menggunakan Metoda Perturbasi Struktur", Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian - ITB, Pebruari 1994.
10. **Tawekal, R. L.**, Miharjana, N.P. dan Supriani, H, "Prediksi Karakteristik Getaran Kapal Caraka Jaya Niaga III Dengan Metoda Elemen Hingga", Proceeding Seminar Metoda Elemen Hingga, Bandung, Desember 1994.
11. **Tawekal, R. L.** "Technology Development For Shipbuilding at PT PAL Indonesia", The 7th Conference of the Indonesian Aerospace Students in Europe and 1st Meeting of the Indonesian Marine Technology Students, Manchester UK, July 1995.
12. **Tawekal, R. L.**, "Structural Finite Element Model Updating By Large Admissible Perturbations", Jurnal Teknik Sipil, Volume 3 No. 1,

Bandung, Januari 1996.

13. Wurjanto, A., **Tawekal, R. L.**, and Pasaribu, M., "Metoccean Survey and Analysis in Repsol YPF SES Area", Proceeding Forum Komunikasi Teknologi –IV, Yogyakarta, April 2002.
14. **Tawekal, R. L.** and Pasaribu, M., "Measurement of Relative Motion between Two Platforms", Proceeding Offshore Technology 2002, Bandung, 2002.
15. **Tawekal, R. L.**, "Redisain Struktur Anjungan Lepas Pantai dengan Metoda Perturbasi Struktur", Jurnal Teknik Sipil, Vol. 9 No. 4, Bandung, Oktober 2002.
16. **Tawekal, R. L.**, "Optimasi Disain Struktur Rangka Batang Dengan Metoda Augmented Lagrange Multipliers", Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 10 No. 3 Edisi XXIV, Semarang, Oktober 2002.
17. **Tawekal, R. L.**, "Analisis Kekuatan Struktur Barge Untuk Pengangkutan Struktur Anjungan Lepas Pantai", Prosiding Seminar Metoda Elemen Hingga, Bandung, 31 Oktober 2002.
18. **Tawekal, R. L.**, "Assessment of Existing Platforms in Indonesia", MIGAS Workshop 29-30 January 2004, Bandung.
19. **Tawekal, R. L.**, "Studi Perbandingan Metoda WSD dan LRFD Dalam Analisa Struktur Tetap Anjungan Lepas Pantai", Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 12, Edisi XXIX, Semarang, Juli 2004.
20. **Tawekal, R. L.**, "Studi Mekanisme Upheavel Buckling Pada Pipa Penyalur Bawah Laut", Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 11 No. 3, Bandung, Juli 2004.
21. **Tawekal, R. L.**, "Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD",

- Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 12 No. 3, Edisi XXX, Semarang, Oktober 2004.
22. **Tawekal, R. L.**, Baskara, Aria R., and Adriadi, R., "Studi Kehandalan Struktur Anjungan Lepas Pantai Tipe Brace Monopod", Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol 11 No. 4, Bandung, October 2004.
 23. **Tawekal, R. L.**, "Perhitungan SCF Untuk Analisa Fatigue Pada Sambungan Struktur Anjungan Lepas Pantai", Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 13, No. 2, Edisi XXXII, Semarang, June 2005.
 24. **Tawekal, R. L.**, "Proposed Procedure for Assessment of Existing Platforms in Indonesia", Dimensi Teknik Sipil – Universitas Kristen Petra, Vol. 7 No. 2, Surabaya, September 2005.
 25. **Tawekal, R. L.**, Fitriany, and Tukuboya, M. Taufan "Pengembangan Formula SCF untuk Analisa Kelelahan Joint (Sambungan) T pada Struktur Anjungan Lepas Pantai", Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 13, No. 1, Bandung, Januari 2006.
 26. **Tawekal, R. L.** and Heriana, R., "Analisis Kehandalan Anjungan Lepas Pantai Tipe Jacket Berdasarkan Kapasitas Fatigue Sambungan", Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 14, No. 2, Bandung, Mei 2007
 27. **Tawekal, R. L.** and Heriana, R., "Analisis Kehandalan Anjungan Lepas Pantai Tipe Jacket Berdasarkan Beban Pushed-Over", Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 14, No. 2, Semarang, Juni 2007
 28. **Tawekal, R. L.**, "Reliability Assessment of Aging Offshore Platform", Journal Infrastructure and Built Environment, Vol. 4 No. 2, Desember 2008
 29. **Tawekal, R. L.** and Iqbal, A., "Fatigue Reliability Index of Jacket Offshore Platform Based on Fracture Mechanics", The Eleventh East

Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Taipei, 19-21 Nov 2008.

30. **Tawekal, R. L.**, Turdjai, A. R., and Taufik, A., "Fatigue Analysis of Pipeline Freespan Effect of VIV", The 2nd IPTEC 2008 Conference, Bandung, 24-25 November 2008.
31. **Tawekal, R. L.**, Pratiwi, I.E., and Plane, C. A., "Fatigue Analysis on Subsea Wellhead High Pressure Housing and Low Pressure Housing", International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries, Bandung, November 2009

VII. PENGHARGAAN

1. Satyalancana Pembangunan dari Presiden Republik Indonesia, SK Presiden No. 085/TK/Tahun 1997.
2. Satyalancana Karya Satya 20 Tahun dari Presiden Republik Indonesia, SK Presiden No. 033/TK/TAHUN/2009.

