



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor IGN Wiratmaja Puja

**PERANCANGAN TEKNIK BERBASIS RISIKO:
PERAN DAN PENGEMBANGANNYA DALAM
PENINGKATAN KESELAMATAN SERTA
KELESTARIAN LINGKUNGAN**

29 Oktober 2010
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
29 Oktober 2010

Profesor IGN Wiratmaja Puja

**PERANCANGAN TEKNIK BERBASIS RISIKO:
PERAN DAN PENGEMBANGANNYA DALAM
PENINGKATAN KESELAMATAN SERTA
KELESTARIAN LINGKUNGAN**



**Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**

PERANCANGAN TEKNIK BERBASIS RISIKO: PERAN DAN
PENGEMBANGANNYA DALAM PENINGKATAN KESELAMATAN
SERTA KELESTARIAN LINGKUNGAN

Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,
tanggal 29 Oktober 2010.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis persembahkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa - Tuhan Yang Maha Esa, atas anugrah kasih dan karuniaNYA yang berkelimpahan. Berkat kasihNYA dan sayangNYA, memungkinkan penulis mampu menyelesaikan dan menyampaikan orasi ini sebagai bentuk komitmen dan pertanggungjawaban akademik penulis yang mendapat amanah jabatan Guru Besar di Institut Teknologi Bandung.

Terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyampaikan orasi pada hari ini, Jumat tanggal 29 Oktober 2010.

Sesuai dengan bidang keilmuan yang penulis dalami selama ini, orasi yang mengambil judul "**Perancangan Teknik Berbasis Risiko: Peran dan Pengembangannya Dalam Peningkatan Keselamatan Serta Kelestarian Lingkungan**" akan membahas tentang perkembangan dan implementasi teknologi risiko dalam perancangan dan pembangunan peralatan mesin di industri untuk meningkatkan keselamatan dan menjaga kelestarian lingkungan di Indonesia. Dalam orasi ini juga akan disampaikan rekam jejak penulis dalam bidang pendidikan, penelitian, dan pengabdian pada masyarakat sehubungan dengan perancangan berbasis risiko. Selanjutnya akan disajikan tentang rencana berbagai kegiatan untuk pengembangan

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

IGN Wiratmaja Puja

**PERANCANGAN TEKNIK BERBASIS RISIKO: PERAN DAN
PENGEMBANGANNYA DALAM PENINGKATAN KESELAMATAN
SERTA KELESTARIAN LINGKUNGAN**

Disunting oleh IGN Wiratmaja Puja

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2010

vi+80 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-26-8

1. Teknik 1. IGN Wiratmaja Puja

bidang perancangan dan teknik risiko dimasa mendatang.

Besar harapan penulis, kesempatan untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman ini dapat memberikan manfaat dan dapat menjadi pendorong pengembangan bidang perancangan teknik pada khususnya dan kemajuan teknologi pada umumnya.

Bandung, 29 Oktober 2010,

IGN Wiratmaja Puja

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
I. PENDAHULUAN	1
II. PERANCANGAN TEKNIK DAN SIKLUS KEHIDUPAN PRODUK	4
III. KEGAGALAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KESELAMATAN DAN LINGKUNGAN	8
IV. KAJIAN RISIKO DALAM DUNIA TEKNIK	12
V. PERANCANGAN BERBASIS RISIKO	19
VI. KONTRIBUSI RISET DAN PENGEMBANGAN	29
VII. RENCANA KEGIATAN MENDATANG	48
VIII. KESIMPULAN	50
UCAPAN TERIMA KASIH	52
DAFTAR PUSTAKA	54
CURRICULUM VITAE	63

**PERANCANGAN TEKNIK BERBASIS RISIKO:
"PERAN DAN PENGEMBANGANNYA DALAM
PENINGKATAN KESELAMATAN SERTA KELESTARIAN
LINGKUNGAN"**

I. PENDAHULUAN

Peran ilmu pengetahuan dan teknologi dalam kemajuan peradaban manusia, saat ini telah membawa masyarakat pada tingkat kesejahteraan yang tinggi ditinjau dari sisi kesejahteraan materi dan kesehatan fisik masyarakat. Perkembangan teknologi dengan penemuan baru, inovasi, dan perancangan yang berkelanjutan telah memunculkan berbagai produk dan jasa untuk menunjang kebutuhan manusia. Peran dan kontribusi produk teknologi ini telah membantu meringankan beban kehidupan manusia yang kebutuhannya semakin kompleks.

Produk teknologi yang merupakan hasil rancangan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dapat merupakan peralatan yang sangat sederhana sampai dengan peralatan yang kompleks. Berdasarkan aplikasinya, produk teknologi yang merupakan hasil dari perancangan teknik ini dapat diklasifikasikan sebagai peralatan yang langsung digunakan untuk meringankan beban dan meningkatkan kenyamanan manusia, dan produk yang berfungsi untuk mengasilkan hal-hal untuk mendukung kebutuhan manusia. Produk teknologi yang memberikan

begitu banyak kemudahan dan kemajuan bagi peradaban, disisi lain juga menimbulkan risiko yang bisa berdampak negatif besar jika terjadi kegagalan. Dengan demikian peralatan atau sistem dalam teknologi modern ini dapat juga dikategorikan ke dalam produk dengan risiko rendah dan risiko tinggi (Gambar 1).

Dalam usaha untuk mencegah terjadinya kegagalan, sejak dalam tahap perancangan selalu dipertimbangkan adanya faktor keamanan yang dihitung secara deterministik untuk mengatasi adanya ketidakpastian baik dari sisi kesetabilan proses, kualitas, dan homogenitas material. Disamping itu ketidakpastian dari faktor eksternal seperti fluktuasi beban, serta kesalahan manusia (*human error*) baik pada saat manufacturing, konstruksi, operasi, dan aktivitas maintenance juga menjadi pertimbangan. Tetapi sejarah menunjukkan bahwa kegagalan masih saja terjadi dalam berbagai produk teknologi yang risikonya harus ditanggung masyarakat dan lingkungan.

Dari berbagai kegagalan yang telah terjadi, perkembangan dalam dunia perancangan teknik mulai mempertimbangkan data-data statistik yang didapat dari pengalaman, sehingga teknologi perancangan modern mulai memasukkan aspek probabilistik secara terintegrasi. Perancangan tradisional sangat bergantung pada metode perancangan empiris dan pengalaman para insinyur. Kekurangan dari pendekatan empiris adalah bahwa teknik penilaian dan panduan perancangan empiris mungkin tidak memadai bila diterapkan dalam situasi baru, dalam situasi di luar

pengalaman para insinyur atau dasar panduan perancangan.



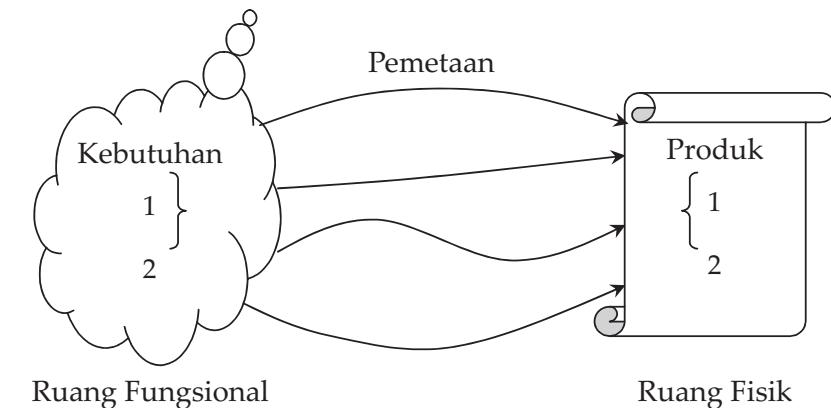
Gambar 1.: Produk Teknologi dalam memenuhi kebutuhan manusia, ada yang berisiko rendah dan ada yang berisiko tinggi (www.infrastructurist.com)

Pada akhir-akhir ini metoda perancangan mengalami pergeseran ke arah pendekatan probabilistik dengan melibatkan data-data statistik dan

pengalaman dalam jangka waktu yang lama. Obyektif dari perancangan yang semula menekankan faktor keamanan juga berkembang dengan lebih menekankan aspek reliabilitas dan bahkan yang terbaru dengan mengutamakan aspek risiko. Dengan demikian saat ini terdapat dua stream besar metodologi perancangan teknik yang mempertimbangkan aspek probabilistik ini yaitu “perancangan berbasis reliabilitas (*reliability based design*)” dan “perancangan berbasis risiko (*risk based design*)”.

II. PERANCANGAN TEKNIK DAN SIKLUS KEHIDUPAN PRODUK

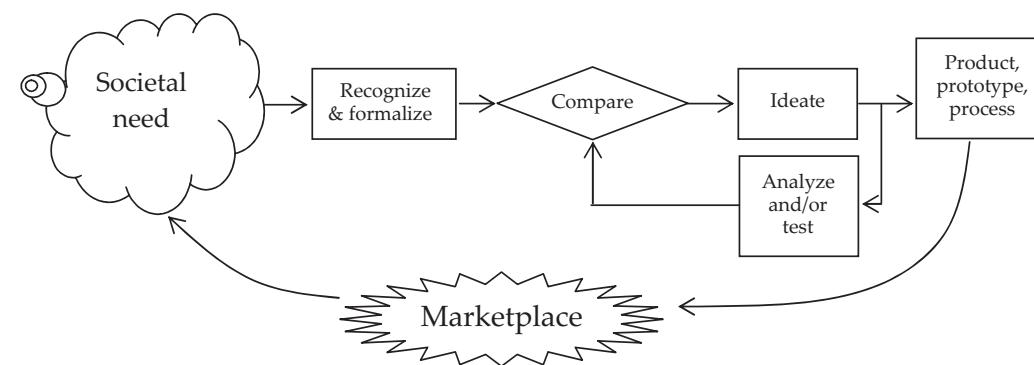
Perancangan adalah merupakan bagian dari tahapan awal dalam munculnya sebuah produk atau sistem. Produk yang dimaksud dapat berupa sebuah komponen sederhana, atau peralatan sederhana, sampai dengan sistem yang kompleks. Beberapa referensi mendefinisikan perancangan sebagai sebagai formulasi suatu rencana untuk memenuhi kebutuhan manusia (Suh, 1990). Sehingga secara sederhana perancangan dapat diartikan sebagai kegiatan pemetaan dari ruang fungsional yang imajiner kepada ruang fisik yang kelihatan dan dapat diraba/dirasa, untuk memenuhi tujuan-tujuan akhir perancang secara spesifik atau obyektif. Ilustrasi sederhana definisi perancangan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2.: Perancangan merupakan kegiatan pemetaan dari ruang fungsional yang imajiner kepada ruang fisik yang nyata (Suh, 1990)

Dalam prosesnya, perancangan adalah kegiatan yang bersifat iteratif seperti ditunjukkan pada Gambar 3, sesuai dengan definisi (Norton, 1998), bahwa perancangan dalam bidang teknik atau *engineering design* adalah rangkaian kegiatan iteratif yang mengaplikasikan berbagai teknik dan prinsip-prinsip scientific yang bertujuan untuk mendefinisikan peralatan, proses, atau sistem secara detail sehingga dapat direalisasikan. Kegiatan perancangan umumnya dimulai dengan didapatkannya persepsi tentang kebutuhan masyarakat, kemudian dijabarkan dan disusun dengan spesifik, selanjutnya dicari ide dan penuangan kreasi. Ide dan kreasi selanjutnya dianalisis dan diuji. Kalau hasilnya sudah memenuhi kemudian akan dibuat prototipe. Prototipe ini perlu diuji secara teknis sebelum dibuat produk sebenarnya yang siap untuk dipasarkan. Pasar akan memberikan tanggapan apakah kebutuhan telah terpenuhi serta masukan-masukan dari konsumen. Sedangkan untuk produk berupa

instalasi besar seperti anjungan minyak lepas pantai, pipa penyalur minyak/gas, pabrik, dan sebagainya maka kegiatan perancangan harus didahului dengan tahap studi kelayakan dan survey lingkungan seperti misalnya topografi, geoteknik, *bathimetry* dan sebagainya.



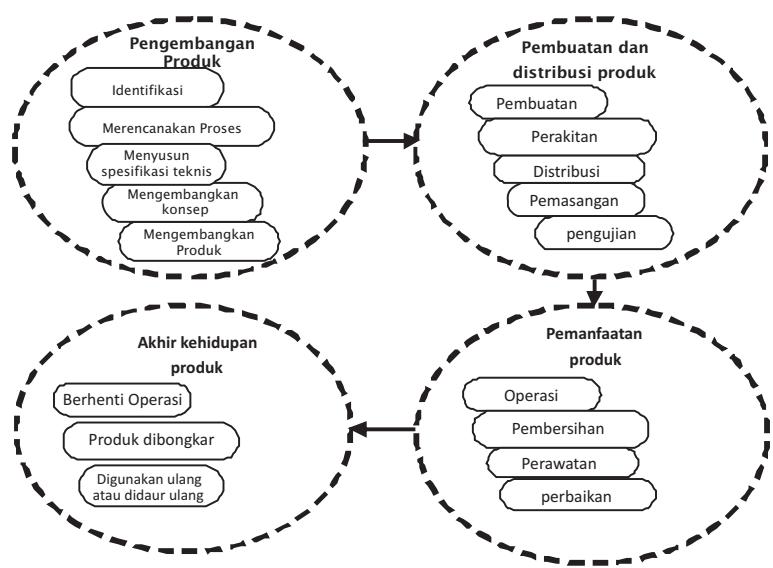
Gambar 3.: Proses iteratif dalam perancangan teknik (Suh, 1990)

Metodologi perancangan telah berkembang menjadi suatu cabang ilmu tersendiri. Sebagai contoh metodologi perancangan yang saat ini banyak digunakan antara lain dipublikasikan oleh (Pahl, 1996), mengusulkan “systematic approach” dalam perancangan dengan empat fase yaitu: (1) perancangan dan penjelasan tugas, (2) perancangan konsep produk, (3) perancangan bentuk produk (*embodiment design*), dan (4) perancangan detail. Ullman dan David, (2003), juga membagi proses perancangan dalam 5 fase yaitu fase definisi proyek dan perencanaan, definisi spesifikasi, perancangan konsep, mengembangkan produk, dan dukungan produk. Sedangkan Persatuan Insinyur Jerman (VDI)

membuat metodologi perancangan dalam 7 fase yaitu: penjelasan dan definisi tugas, penetapan fungsi dan struktur produk, pencarian prinsip-prinsip solusi, membagi solusi utama menjadi modul-modul, mengembangkan layout modul, layout lengkap, pembuatan instruksi produksi dan operasi.

Khusus untuk instalasi yang besar tahap perancangan biasanya dibagi menjadi dua tahap yaitu (1) Perancangan konseptual atau sering disebut Front End Engineering Design (FEED), dan (2) perancangan detail yang biasanya pelaksanaannya terintegrasi dengan tahap pengadaan dan konstruksi (EPC). Tahap FEED tujuannya adalah untuk menjawab pertanyaan yang berhubungan dengan “kenapa ?” seperti misalnya penentuan proses, dimensi, pemilihan material, spesifikasi sistem, dan lain-lain. Sedangkan pada tahap perancangan detail, dilakukan perancangan berbagai aspek untuk mendukung bagaimana fabrikasi, konstruksi dan instalasi akan dilakukan.

Hasil perancangan selanjutnya akan diteruskan dengan tahapan-tahapan berikutnya yaitu proses pembuatan seperti manufacturing, fabrikasi, konstruksi maupun instalasi sampai dengan tahap operasional. Biasanya siklus kehidupan produk atau peralatan teknik dapat dibagi menjadi empat bagian besar yaitu (1) pengembangan produk, (2) pembuatan & distribusi, (3) pemanfaatan atau operasional, dan (4) akhir kehidupan produk (Harsokoesemo, 2004). Secara skematis siklus kehidupan sebuah produk dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4.: Siklus kehidupan produk/peralatan teknik (Harsokoesoemo, 2004)

III. KEGAGALAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP KESELAMATAN DAN LINGKUNGAN

Sepanjang sejarah teknologi modern, kegagalan sistem atau peralatan telah terjadi hampir dalam setiap bidang keteknikan yang memiliki risiko tinggi. Walaupun perancangan dan konstruksi telah dilakukan sesuai metodologi yang ada, dengan faktor keamanan yang memadai, kegagalan teknis masih saja terjadi dan telah menimbulkan dampak negatif yang sangat luas terhadap keselamatan dan kerusakan lingkungan. Contoh kegagalan sistem yang dirancang dan dikonstruksi dengan sangat canggih juga dapat mengalami kegagalan yaitu pesawat Challenger (STS-51) yang meledak 73 detik setelah lift-off pada 28 Januari 1986. Hasil investigasi menunjukkan bahwa sebuah segel tekanan di bagian belakang

dari *Solid Rocket Booster* kanan gagal berfungsi. Hal ini menimbulkan kebocoran gas panas yang cepat terbakar dan menyebabkan ledakan pada pesawat. Kecelakaan itu telah berakibat fatal bagi keselamatan tujuh astronot (Rogers Commission report, 1986).

Dalam industri pembangkit nuklir, sejarah juga mencatat kegagalan peralatan atau sistem yang menimbulkan dampak luas terhadap keselamatan dan kelestarian lingkungan. Pada 26 April 1986, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Chernobyl yang terletak di Uni Soviet di dekat Pripyat di Ukraina mengalami kegagalan yang menimbulkan kebakaran dan kebocoran radioaktif. Walaupun beberapa prosedur operasi telah dilanggar sehingga memicu kegagalan, tetapi ditemukan juga bahwa design belum mempertimbangkan semua aspek risiko seperti misalnya reaktor yang tidak stabil pada daya rendah sehingga daya reaktor bisa naik cepat tanpa dapat dikendalikan (IAEA Report INSAG-7, 1991).

Kegagalan yang menimbulkan dampak terhadap keselamatan terbesar tercatat pada Pabrik Pestisida Union Carbide yang terletak di kota Bhopal, di India, 2-3 Desember 1984. Kegagalan ini telah menewaskan ribuan jiwa dan melukai hingga 600.000 jiwa. Penyebabnya adalah dimasukkannya air ke dalam tangki-tangki berisi MIC. Reaksi yang kemudian terjadi menghasilkan banyak gas beracun dan memaksa pengeluaran tekanan secara darurat, 40 metrik ton meyl isosianat (MIC). Gas keluar sementara chemical rubber yang seharusnya menetralisir gas tersebut sedang dimatikan untuk perbaikan (Grazia, 1985) dan (Browning, 1993).

Kegagalan produk teknologi yang menimbulkan dampak lingkungan sangat luas, salah satunya adalah kebocoran minyak dan terbakarnya platform pengeboran laut dalam di Gulf of Mexico, 20 April 2010. Tumpahan minyak sebesar 300.000 barel per hari telah mencemari lingkungan yang sangat luas. Kejadian ini tercatat sebagai pencemaran lingkungan terbesar di lepas pantai dalam sejarah AS (Gambar 5), (Robertson dan Krauss, 2010).



Gambar 5.: Kegagalan dalam aktivitas pengeboran lepas pantai di Gulf of Mexico, dan pencemaran lingkungan yang terjadi.
(www.oregonlive.com dan www.freshnessmag.com)

Di Indonesia, berbagai kejadian atau kegagalan di industri yang menimbulkan dampak negatif terhadap keselamatan dan lingkungan juga pernah terjadi. Seperti misalnya kasus pipa gas yang meledak didekat semburan lumpur Lapindo, kebakaran tangki timbun di depot Plumpang, pada 18 Januari 2009 (www.nusantara-news.com); ledakan tabung gas LPG yang terjadi berulang kali (www.kompas.com), tumpahan minyak disekitar kepulauan seribu (www.kepulauanseribunews.multiply.com), serta berbagai kecelakaan transportasi (Gambar 6) (www.word-press.com).



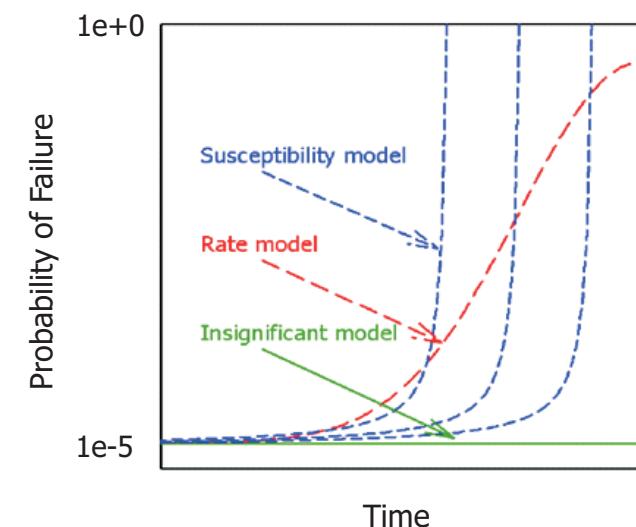
Gambar 6.: Berbagai kejadian di dalam negeri yang menimbulkan dampak terhadap keselamatan dan pencemaran lingkungan: kabakaran fasilitas migas, kecelakaan transportasi kebocoran minyak mentah, meledaknya tabung gas(gasag.com)

IV. KAJIAN RISIKO DALAM DUNIA TEKNIK

Risiko (*Risk*) adalah merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari aktivitas manusia memanfaatkan produk teknologi sehari-hari. Setiap kegiatan yang dilakukan manusia selalu memiliki risiko tersendiri dan berbeda-beda. Begitu pula dalam hal penentuan keputusan dari masalah yang dihadapi secara langsung selalu dipengaruhi tingkat risiko yang ada. Secara umum, risiko didefinisikan sebagai hasil perkalian antara kemungkinan terjadinya suatu kegagalan (*Probability of Failure - PoF*) dan konsekuensi dari kejadian kegagalan tersebut (*Consequence of Failure - CoF*) (API 580, 2002 dan DNV RP-G101, 2002). Contoh ilustrasi sederhana adalah tingkat risiko yang dialami oleh pengendara mobil dan sepeda motor. Kemungkinan terjadinya kecelakaan antara pengendara mobil dan sepeda motor di jalan raya adalah hampir sama, tetapi konsekuensi yang dialami berbeda. Pengendara mobil apabila mengalami kecelakaan mungkin mobilnya saja yang rusak, sedangkan orangnya selamat karena berada di dalam mobil dan memakai sabuk pengaman. Sedangkan pengendara motor apabila mengalami kecelakaan mungkin akan cedera atau bahkan berakibat fatal. Dari hal tersebut dapat terlihat bahwa antara pengendara motor dan mobil walaupun mempunyai kemungkinan kecelakaan yang sama tetapi konsekuensi "keselamatan" yang dialami berbeda.

Kemungkinan Terjadinya Kegagalan

Pemodelan kemungkinan terjadinya kegagalan (PoF) harus mempertimbangkan dua parameter utama yaitu (1) mekanisme terjadinya kerusakan yang dapat menjadi penyebab kegagalan, (2) frekuensi kemungkinan terjadinya kegagalan. Gambar 7 menunjukkan salah satu model PoF sehubungan dengan mekanisme degradasi yang menggambarkan kerusakan yang dialami oleh suatu peralatan (DNV RP-G101). Pemodelan degradasi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *rate model*, *susceptibility model*, dan *insignificant model*. Contoh mekanisme kerusakan dalam wujud fisik yang dapat meningkatkan nilai PoF adalah korosi, fatigue, retak, *overload*, dll. Gambar 8 menunjukkan beberapa contoh mekanisme kerusakan yang mempengaruhi PoF.



Gambar 7.: Model kemungkinan terjadinya kegagalan vs waktu berdasarkan mekanisme degradasi (DNV G101,2002)



Gambar 8.: Contoh bentuk mekanisme kerusakan yg mempengaruhi PoF dengan model *rate* dan *susceptibility*: *crevice corrosion*, *galvanic corrosion*, *pitting corrosion*, *crack* yang merambat, dan *fatigue*, (www.dnv.us dan www.corrosionlab.com)

Konsekuensi Terjadinya Kegagalan

Konsekuensi didefinisikan sebagai dampak negatif yang ditimbulkan “kejadian (event)” jika terjadi kegagalan pada peralatan atau sistem. *Kejadian* yang dimaksud dapat berupa ledakan, kebakaran, penyebaran zat beracun, dan sebagainya. Konsekuensi yang timbul jika terjadi kegagalan (CoF) dihitung berdasarkan dampak yang terjadi untuk

merepresentasikan perhitungan *risk* secara spesifik dari setiap peralatan sesuai dengan mekanisme kegagalannya. Pada umumnya, *konsekuensi* dibedakan ke dalam tiga golongan utama, yaitu konsekuensi terhadap (1) keselamatan jiwa manusia (*safety consequence*), (2) kelestarian lingkungan (*environmental consequence*), dan (3) kerugian biaya atau bisnis (*economic consequence*).

Konsekuensi keselamatan dinyatakan dalam jumlah *potential loss of life* (PLL) manusia akibat terjadinya suatu kegagalan. Contohnya adalah cedera, keracunan, atau *fatality*. Konsekuensi terhadap lingkungan dihitung berdasarkan jumlah massa atau polutan yang dilepaskan ke lingkungan, kerusakan lingkungan yang terjadi, atau dalam segi *financial* merupakan biaya yang dikeluarkan untuk membersihkan tumpahan termasuk di dalamnya biaya kompensasi atas efek yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Sedangkan konsekuensi ekonomi menyatakan dampak dari sisi *financial* yang harus ditanggung akibat kegagalan yang terjadi. Dampak dari sisi *financial* ini berupa jumlah atas biaya perbaikan komponen dan kerusakan fasilitas akibat kegagalan komponen dan produksi yang hilang selama proses perbaikan. Gambar 9 menunjukkan beberapa contoh konsekuensi terhadap keselamatan, ekonomi, dan lingkungan yang diakibatkan oleh kegagalan peralatan atau sistem di bidang migas.



Gambar 9.: Konsekuensi kegagalan pipa migas di China yang berdampak pada keselamatan, lingkungan, dan ekonomi (www.foxnews.com)

Presentasi Risiko

Dengan kombinasi antara *kemungkinan terjadinya kegagalan* dan *konsekuensi yang ditimbulkan* maka dapat ditentukan level risiko dari peralatan atau instalasi yang ditinjau. Terdapat dua metoda yang umum dalam merepresentasikan risiko yaitu dengan metoda indeks dan tampilan dalam bentuk matriks. Presentasi risiko dalam bentuk matriks lebih populer digunakan karena lebih representatif dalam menampilkan tingkat risiko suatu sistem. Gambar 10 menunjukkan contoh matriks

risiko untuk konsekuensi keselamatan dan lingkungan, dimana konsekuensi lingkungan dinyatakan dalam biaya yang diperlukan untuk mengembalikan kelestarian lingkungan. Warna hijau menyatakan objek dalam tingkat risiko rendah (*low risk*), warna kuning menyatakan tingkat risiko menengah (*medium risk*), warna oranye menyatakan tingkat risiko menengah-tinggi (*medium-high risk*), dan warna merah menyatakan objek memiliki risiko tinggi (*high risk*).

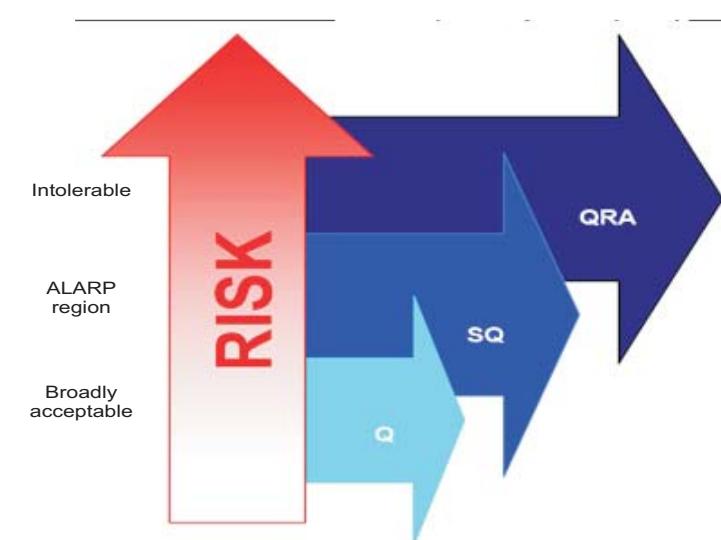
CAT	ANNUAL PROBABILITY OF FAILURE						
	$> 10^{-2}$	failure expected					
5	$10^{-3} - 10^{-2}$	high					
4	$10^{-4} \text{ to } 10^{-3}$	medium					
3	$10^{-5} \text{ to } 10^{-4}$	low					
2	$< 10^{-5}$	virtually nil					
	Consequence Category		A	B	C	D	E
	Consequence of Failure						

Gambar 10.: Matriks presentasi risiko (DNV G101,2002)

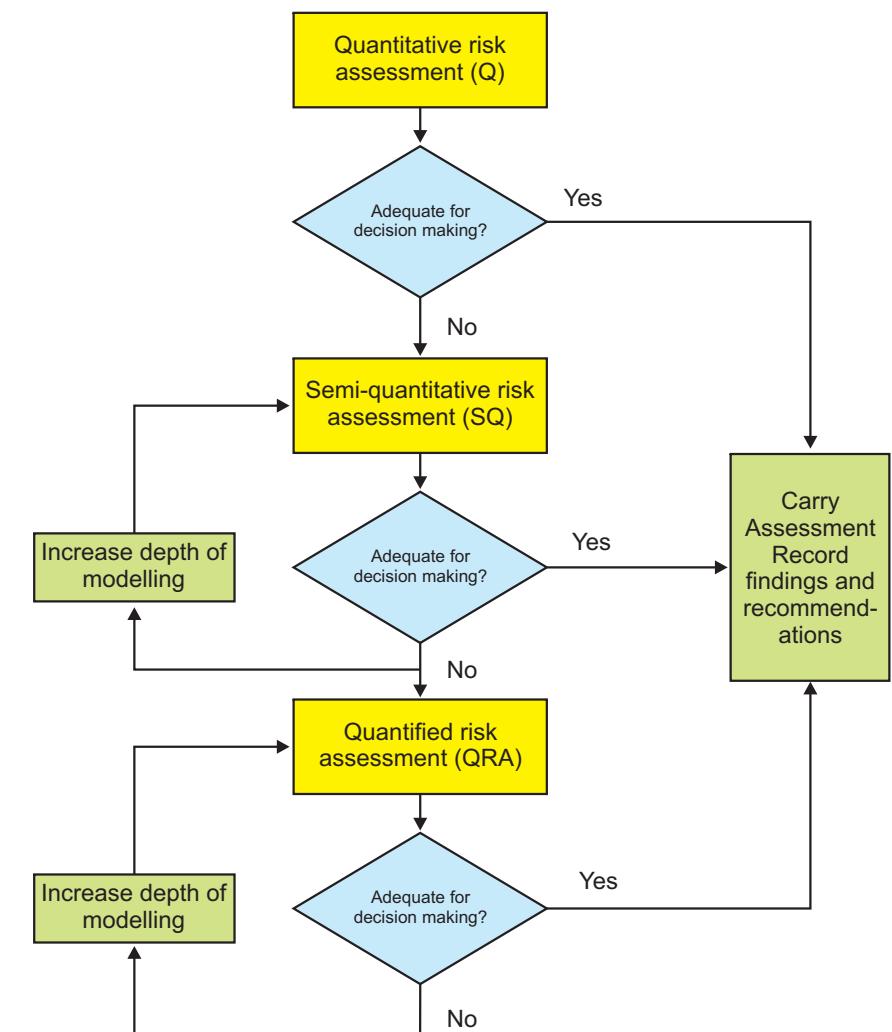
Metodologi Penilaian Risiko

Dalam kenyataan, pelaksanaan kajian risiko memerlukan data yang sangat banyak dan juga keahlian serta pengalaman yang mumpuni. Supaya pelaksanaan dapat lebih efektif, efisien dan penggunaan waktu yang tepat, maka analisis risiko biasanya dibagi menjadi 3 tingkatan yaitu *Level-1 qualitative (Q); Level-2 semi- quantitative (SQ);* dan *Level-3 quantitative*

(QRA)(API 580). Masing-masing level memiliki kelebihan dan kekurangan. *Level-1 kualitatif* dapat dilakukan dengan cepat dan tidak memerlukan data terlalu banyak, tetapi hasil analisis sifatnya masih umum, kualitatif serta diperlukan ahli yang sangat berpengalaman. Level-2 semi-kuantitatif sifatnya lebih detail dibandingkan level-1 dan memerlukan data-data yang lebih lengkap. Sedangkan level-3 kuantitatif adalah metoda yang paling rumit dan kompleks serta membutuhkan data yang sangat detail, tetapi akan memberikan hasil yang memiliki akurasi tinggi. Gambar 11 dan 12 berikut menunjukkan flowchart metodologi analisis risiko dan lingkup aplikasinya.



Gambar 11.: Lingkup yang disarankan dalam penerapan metodologi penilaian risiko



Gambar 12.: Diagram alir penyaringan untuk menentukan penerapan tingkat metodologi risiko yang tepat (API 580 & 581,2002)

V. PERANCANGAN BERBASIS RISIKO

Perancangan berbasis risiko (*Risk Based Design - RBD*) adalah pengembangan baru metodologi design formal yang mengintegrasikan secara

sitematis analisis risiko dalam proses perancangan. Tujuan utama metodologi ini adalah untuk mengoptimalkan risiko, dalam arti minimalkan kemungkinan terjadinya kegagalan (Pof) dan konsekuensi (Cof) terhadap keselamatan, lingkungan, dan bisnis untuk komponen atau sistem yang memiliki risiko tinggi. Hal ini mengimplikasikan bahwa perlu diadopsi pendekatan holistik yang menghubungkan pencegahan/penurunan ukuran risiko terhadap performans peralatan dan biaya dengan menggunakan metodologi yang tepat untuk merancang dan mengoperasikan peralatan/sistem. Perancangan berbasis risiko juga memberikan kebebasan kepada perancang untuk memilih dan mengidentifikasi solusi yang optimal untuk memenuhi target keselamatan. Jadi idealnya, metodologi perancangan berbasis risiko sangat tepat dalam implementasi dan pengembangan sistem atau peralatan yang memiliki risiko tinggi seperti misalnya di industri transportasi, industri migas dan industri petrokimia dengan menjamin bahwa:

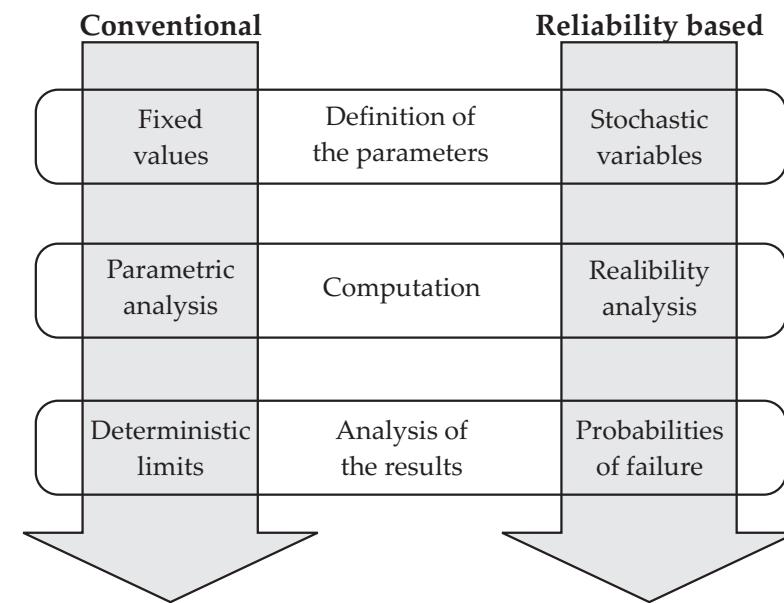
- Semua aspek-aspek kunci dalam hal keselamatan, kelestarian lingkungan harus tercakup dan menjadi tujuan utama
- Implementasi *cost-effective reducing measures*
- Penggunaan sumber daya lebih difokuskan pada peralatan dengan risiko tinggi sehingga lebih *cost-effective*

Integrasi analisis risiko dalam proses perancangan tidak hanya mengembangkan analisis konsekuensi tetapi juga rancangan ukuran/parameter, rancangan sistem, dan pendekatan untuk mencegah dan

menanggulangi risiko. Berbeda dengan metodologi proses perancangan teknik konvensional yang menekankan adanya faktor keamanan yang dihitung secara deterministik, RBD mengintegrasikan data-data statistik dari pengalaman masa lalu sehingga teknologi perancangan mulai memasukkan aspek probabilistik dalam menentukan faktor keamanan.

Perancangan Berbasis Reliabilitas

Perlu dicatat bahwa sebelumnya telah berkembang metodologi design yang mengintegrasikan data-data probabilitik dari aspek reliabilitas atau kehandalan peralatan. Metoda ini disebut *Reliability Based Design* yang mulai berkembang sebagai disiplin ilmu yang terpisah pada awal tahun 1950 (Rao, 1992). Perhatian yang besar terhadap aspek reliability ini tidak terlepas dari kompleksitas masalah dan berbagai kegagalan peralatan perang saat perang dunia II. Standard yang terkait dipublikasikan pada tahun 1965 (MIL-STD-781, 1980). Standard ini mewajibkan integrasi antara kegiatan reliabilitas dengan kegiatan *engineering* tradisional mulai dari perancangan, pengembangan, sampai tahap produksi. Dengan menerapkan hal ini diharapkan potensi masalah terkait reliability dapat dideteksi sedini mungkin pada tahap pengembangan sistem atau peralatan. Secara sederhana perbedaan antara metodologi perancangan konvensional dengan metodologi berdasarkan reliabilitas ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13.: Konsep perbandingan perancangan berbasis *reliabilitas* (Carrarini, 2006).

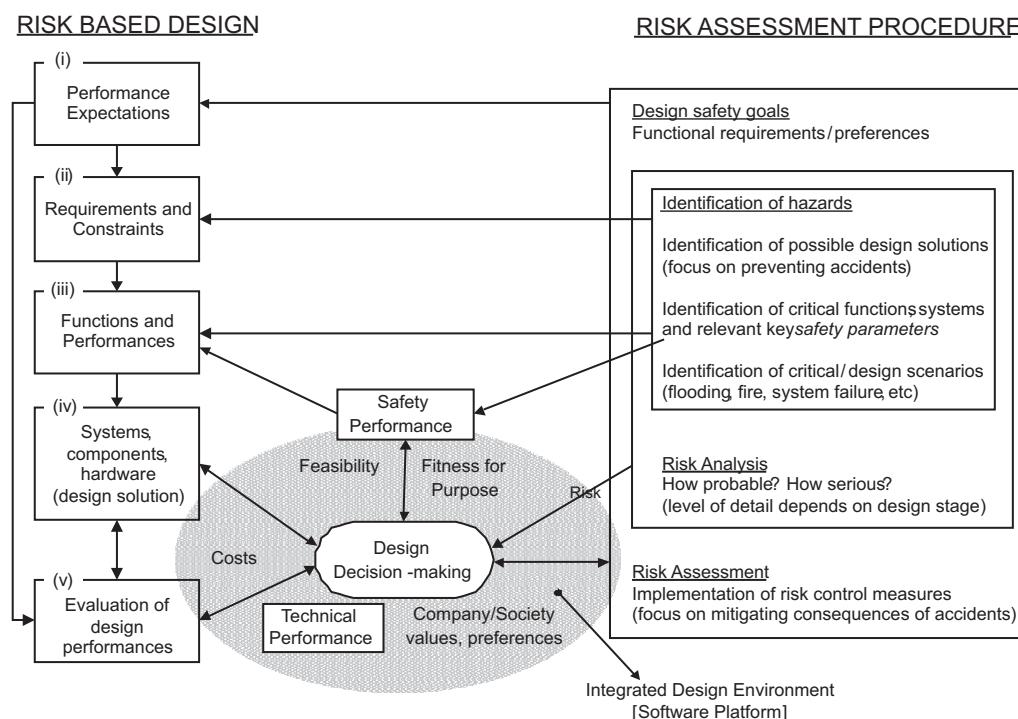
Penelitian dan aplikasi perancangan berbasis reliabilitas akhir-akhir ini telah berkembang luas. Seperti misalnya penelitian Byeng Dong Youn (2001), yang mengembangkan konsep Reliability-Based Design Optimization (RBDO). Kendala probabilistik dilakukan dengan dua pendekatan: Reliability Index Approach (RIA) dan Performance Measure Approach (PMA). Dalam bidang struktur, Vedat TOGAN, 2005 mengaplikasikan perancangan berbasis reliabilitas untuk mengoptimasi rancangan struktur truss. Metode optimasi yang digunakan adalah Sequential Quadratic Programming (SQP), Evolution Strategy (EVOL), and Genetic Algorithms (GA). *Reliability Based Design* juga telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang aplikasi, termasuk

Geotechnical Engineering. Tonon dan Mammino (2004) misalnya mengaplikasikan *Reliability Based Design* dalam merancang tiang pancang untuk pondasi bangunan yang berada pada area tanah yang labil. Selain itu, B.K. Low (2005) mengaplikasikan RBD untuk merancang dinding penahan. Rancangan berdasarkan indeks reliabilitas yang mencerminkan parameter keandalan struktur. Antonio Carrarini (2006) mengaplikasikan konsep reabilitas ini untuk perancangan kereta api. Perlu dicatat bahwa metodologi ini fokus kepada aspek reliabilitas yang berarti meminimalkan probability of failure (PoF), tetapi belum mengintegrasikan aspek konsekuensi didalam perancangan.

Perancangan Berbasis Risiko

Perancangan berbasis risiko (RBD) dapat dikatakan sebagai perkembangan lanjutan metoda perancangan berbasis reliabilitas, yaitu dengan mengintegrasikan aspek probabilistik konsekuensi dari kegagalan. Banyak ahli berpendapat bahwa perancangan berbasis Risiko adalah *elemen kunci* untuk industri dalam meningkatkan tingkat kompetisinya karena fokus kegiatan design diarahkan pada sistem yang memiliki risiko tinggi, dan perhatian minimum pada sistem yang memiliki risiko rendah. Artinya seluruh kegiatan mengarah kepada "*knowledge-intensive products*". Di sisi lain pendekatan ini akan secara langsung menghasilkan produk yang lebih aman, dan cost-effective, karena keselamatan dapat diintegrasikan dalam proses design seperti halnya objektif perancangan yang lain. Secara umum Metodologi RBD

yang dapat digeneralisasikan dari konsep yang telah dikembangkan Vassalos, D., et.al, 2006 , seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Metodologi ini agak berbeda dengan perancangan konvensional yang menempatkan risiko sebagai batasan dalam perancangan, dan biasanya diimpose oleh regulasi yang ada.



Gambar 14.: Metodologi Perancangan berbasis risiko, digeneralisasikan dari konsep Vassalos, (2006)

Perkembangan teknologi risiko termasuk relatif baru karena perhatian sangat serius dan metodologinya baru berkembang pesat pada dekade 1990-an. Sebagai contoh, aspek risiko dan keselamatan di dunia eksplorasi migas mulai menjadi fokus utama setelah terjadinya kegagalan

pipa gas yang menyebabkan kebakaran hebat di platform Piper Alpha, pada 6 Juli 1988, yang terletak di Laut Utara. Kejadian ini telah menewaskan 167 jiwa dan korban selamat hanya 59 jiwa, dengan kerugian sekitar £1.7 Milyar (Gambar 15) (Ross, 2008 dan Duff, 2008).



Gambar 15.: Kegagalan pipa gas di Piper Alpha yang menimbulkan konsekuensi keselamatan, bisnis, dan lingkungan (www.timesonline.co.uk)

Penelitian RBD dalam bidang fasilitas *offshore* misalnya dilakukan oleh Urban Kjellen (1998) dengan memfokuskan pada bagaimana merubah bingkai kerja yang mempengaruhi aplikasi analisis risiko dalam fasilitas *offshore*. Kemudian, Blair, A.N. et.al. (2001) menyediakan metode untuk biaya *fuzzy stochastic* dan jadwal keputusan berdasarkan risiko dari alternatif konstruksi konsep *Mobile Offshore Base*. Selanjutnya, alternatif pendekatan bingkai kerja yang lebih terbuka dilakukan oleh Wolford, A.J. et.al (2001) dimana RBD juga memasukkan parameter regulasi sehingga risiko dijaga pada level yang dapat diterima. Sementara itu, Aven, T., dan Vinnem, J.E. (2005) menyajikan dan membahas regime analisis risiko yang

tidak berdasarkan pada kriteria penerimaan risiko saja, tetapi dengan memasukkan keefektifan biaya sebagai faktor yang lebih berperan. Kemudian, Urban Kjellén (2007) menjelaskan prinsip-prinsip yang digunakan oleh industri selama fase yang berbeda pada perancangan dari dua persepektif yang berbeda. Pertama dipusatkan pada manusianya dan memfokuskan pada meminimalkan *human error* dan mengatasi gangguan. Kedua, fokus diutamakan pada perspektif rintangan energy yang bertujuan untuk fungsi keamanan secara teknis. Jonathan P. dan Ewans K. (2007) mengembangkan pendekatan untuk menerbitkan kriteria *sea state* pada fasilitas *offshore*. Kriteria ini digunakan untuk menentukan arah dan lokasi yang tepat akibat gelombang yang ekstrim. Yang X. dan Mannan M.S. (2010) menampilkan sebuah metodologi asesmen risiko operasional dinamik yang digunakan untuk menganalisis risiko operasional pada industri minyak/gas dan kimia. Metode yang diperkenalkan secara komprehensif dimulai dari konsep bingkai kerja perancangan untuk modelling matematik dan membuat keputusan berdasarkan analisis cost-benefit. Sistem stokastik dimodelkan sesuai dengan kelakuan abnormal atau kegagalan tiap komponen. Metode ini tidak hanya menyediakan bingkai kerja operasional yang bersifat dinamis tetapi juga petunjuk proses perancangan dan optimasi.

Penerapan RBD dalam bidang perkapalan juga bisa dilihat dari pengembangan metode perancangan dengan mengadopsi risiko dan pemanfaatan aspek probabilistik untuk tujuan-tujuan keselamatan dalam

proses perancangan kapal laut (Vassalos, D. et.al., 2006). Usaha-usaha puluhan tahun penelitian dan pengembangan, kontribusinya, menjelaskan motivasi RBD, menempatkan prinsip-prinsip dan unsur-unsur pokok metodologi dan *frame work* untuk memfasilitasi implementasi RBD. Klanac, A. et.al (2007) mengembangkan metoda penilaian risiko dalam peracangan dengan menekankan pada konsekuensi. Dengan menerapkan simulasi numerik untuk memodelkan penyerapan energi pada saat grounding, menghitung semua risiko, ongkos produksi dan biaya operasional sehingga memungkinkan para stakeholder kapal untuk memilih alternatif keputusan yang memuaskan bagi galangan kapal dan pemilik. Guarin, et. al. (2009), mengembangkan metoda RBD lebih detail lagi, dan menerapkan kriteria risiko dalam design model berdasarkan data-data sejarah kecelakaan dan kegagalan. Model dari kriteria tersebut dapat dilihat pada Gambar 16. Metin Celik et.al (2010) mengembangkan model pendekatan RBD untuk meningkatkan proses eksekusi investigasi kecelakaan kapal. Khususnya pengembangan *Fuzzy Fault tree Analysis* yang mengkombinasikan pengaruh kesalahan organisasi dan kegagalan teknis sistem pada geladak kapal dibawah scheme risk assesment yang unik.

Dalam bidang otomotif, perancangan berbasis risiko misalnya dikembangkan ini berkaitan dengan risiko kendaraan terguling dan mengalami berbagai kejadian yang berisiko tinggi terhadap keselamatan penumpang (Cherian, et. al., 2008). Metode yang digunakan adalah

dengan merancang sistem kontrol yang dapat mengurangi efek rolling pada kendaraan. Sistem kontrol ini bekerja secara otomatis pada saat kendaraan menerima beban rolling. Metode optimasi digunakan pula agar parameter controller dapat memenuhi spesifikasi keselamatan serta stabilitas kendaraan.

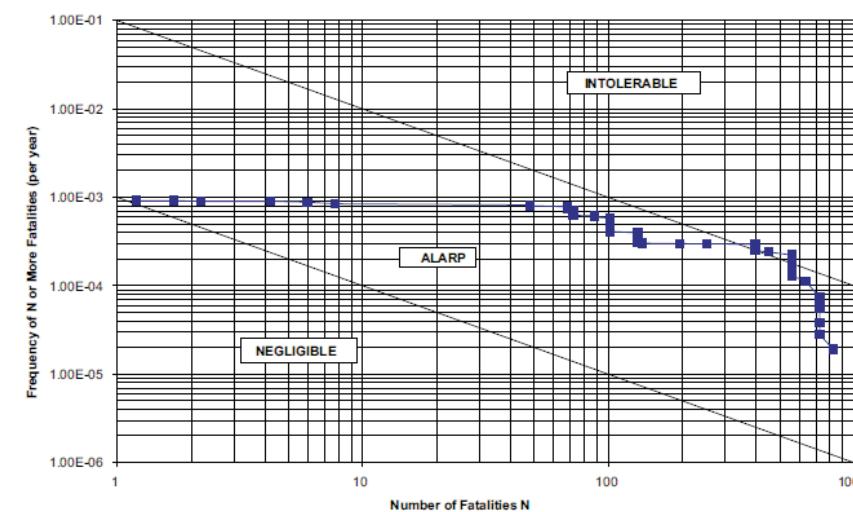


Fig. 6. RoPax F-N curve (Risk Model).

Gambar 16.: Model risiko & acceptance criteria dalam peracangan berbasis risiko
(Guarin, 2009)

Penelitian RBD dalam berbagai bidang keteknikan juga dilakukan dengan intensif seperti misalnya dalam *hydraulic engineering* (Schoustra, 2004), pemantauan lingkungan (Preston dan Shackelford, 2002) dan (Chen et.al., 2007), instalasi penukar panas dan petrokimia (Demichela, 2004 dan Shilling, 2009), dan bidang-bidang lainnya.

Melihat pentingnya integrasi apek risiko dalam proses perancangan,

konstruksi, operasi dan perawatan peralatan/sistem maka kedepan sangatlah diharapkan bahwa:

- Pengembangan metoda dan *tools* untuk mengakses operasi, kondisi ekstrim, *accidental and catastrophic skenario*, terhadap keselamatan manusia dan lingkungan serta mengintegrasikan hal ini dalam aktivitas perancangan sehingga menjadi sikap dasar perancang
- Pengembangan teknologi inovatif untuk *safety-critical equipment* dalam mendukung operasi yang aman terhadap keselamatan dan lingkungan
- Menetapkan Code, standard dan regulasi yang berdasarkan risiko untuk memfasilitasi prinsip “keselamatan yang paling utama”.

VI. KONTRIBUSI RISET DAN PENGEMBANGAN

Penulis yang tergabung dalam KK Perancangan Mesin sangat bersyukur dapat terlibat dan menjadi *team leader* dalam beberapa penelitian, pengembangan bidang keilmuan perancangan dan risiko teknik. Kontribusi penelitian dan pengembangan yang ditekuni selama ini berada dalam dua stream utama yaitu berhubungan dengan sarana atau fasilitas (1) industri transportasi, dan (2) industri minyak dan gas (migas).

Penelitian dan Pengembangan di Industri Transportasi

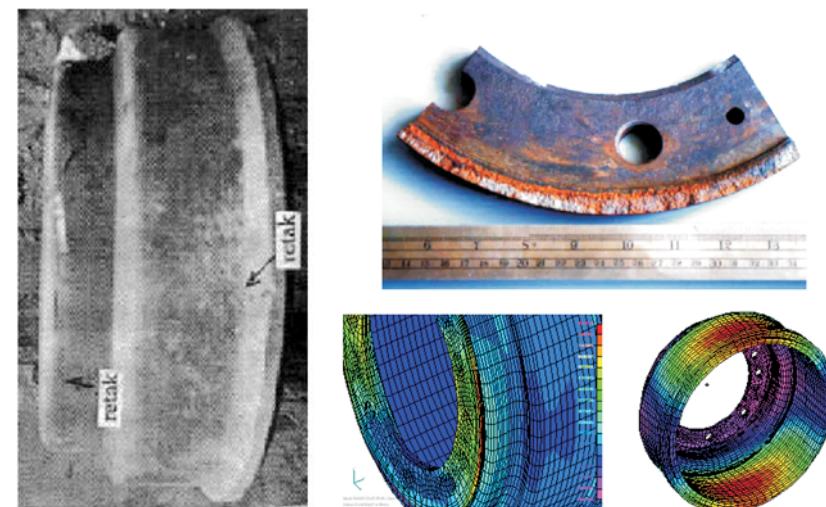
Penelitian dan pengembangan yang telah dan sedang dilakukan

dalam industri transportasi antara lain adalah terkait dalam elemen-elemen utama (*key elements*) yang berhubungan dengan risiko keselamatan penumpang. Sarana transportasi jalan raya dengan daya angkut barang yang besar adalah truk, sedangkan untuk angkutan massa adalah bus. Aspek keselamatan penumpang dan masyarakat berlalu lintas sudah seharusnya menjadi objektif utama dalam perancangan. Hasil observasi menunjukkan bahwa banyak sekali kecelakaan yang disebabkan oleh rem bus dan rem truk yang blong, seperti contohnya ditunjukkan pada Gambar 17. Di mana, sebuah bus jurusan Surabaya-Madura N 7140 US menabrak pohon di Jalan Perak Timur karena remnya blong [www.beritajatim.com]. Data-data statistik menunjukkan bahwa di wilayah jawa tengah saja, setiap tahun terjadi puluhan kecelakaan akibat rem bus/truk blong. [Puja et.al, 2001,2002]



Gambar 17.: Kecelakaan bis yang disebabkan rem kendaraan blong
(www.beritajatim.com)

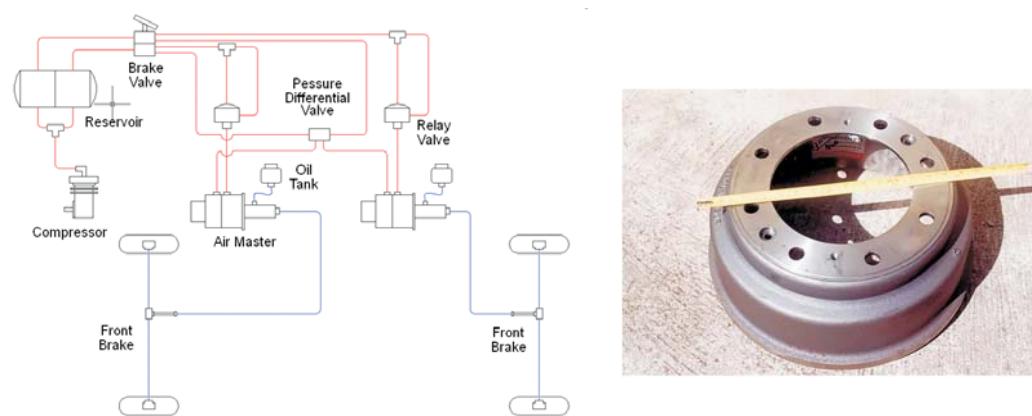
Berbagai penelitian dilakukan untuk investigasi elemen kunci terjadinya kegagalan dan inovasi serta pengembangan sistem pengeaman untuk diaplikasikan pada bus, truk dan kendaraan besar lainnya. Hasil investigasi dalam penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tromol rem kualitas rendah adalah salah satu elemen utama yang menurunkan performansi dan keandalan sistem rem. Dalam hal ini berarti rem dapat mengalami kegagalan berfungsi pada saat kendaraan beroperasi. Kegagalan tromol sistem rem dapat terjadi dalam bentuk (Puja et.al, 2001): (1) koefisien gesekan yang rendah sehingga menyebabkan rem blong, (2) temperatur yang tinggi melewati batas yang diijinkan sehingga menurunkan kekuatan tromol dan menurunkan koefisien gesekan, (3) mengalami laju keausan yang tinggi sehingga mengganggu fungsi rem dan harus diganti sebelum waktunya, (4) mengalami retakan atau pecah yang menyebabkan rem tidak berfungsi sama sekali (Gambar 18). Kegagalan



Gambar 18.: Kajian kegagalan drum rem untuk bus/truk

sistem rem secara langsung akan menaikkan risiko terjadinya kecelakaan di jalan raya. risiko ini semakin bertambah dengan kebiasaan pengemudi di Indonesia memacu kendaraan dan mengangkut muatan melebihi ketentuan.

Penelitian dan pengembangan perancangan berbasis risiko telah dilakukan bersama dengan PT. Suyuti Sido Maju (UKM di Ceper, Klaten) dan Metal Industries Development Centre (MIDC)/Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Logam dan Mesin (BBLM), Departemen Perindustrian dan Perdagangan. Kegiatan ini telah mendapat pendanaan dari Riset Unggulan Kemitraan (RUK). Hasil penelitian adalah dalam berupa sistem pengereman “anti blong” dan “drum rem” untuk truk/bus yang saat ini sudah dipasarkan oleh mitra industri (Gambar 19).



Gambar 19.: Rancangan RBD sistem pengereman “anti blong” & prototype hasil penelitian

Kereta api yang merupakan salah satu moda angkutan massa terpenting di Indonesia mengangkut rata-rata 190 juta orang-trip setiap tahunnya (www.bps.go.id). Angkutan kereta api memiliki keunggulan dalam beberapa hal dibandingkan moda angkutan lain yaitu: (1) kapasitas penumpang yang mampu diangkut dalam satu kali perjalanan sangat tinggi, (2) kelancaran perjalanan karena tidak mengalami kemacetan seperti di jalan raya, (3) efisiensi yang tinggi dimana jumlah energi yang diperlukan untuk mengangkut penumpang per kilometer pejalanan relatif sangat kecil, (4) ramah lingkungan untuk kereta jenis KRL. Keunggulan yang belum mampu dicapai secara optimum oleh sistem perkeretaapian di Indonesia, adalah **perlindungan keselamatan penumpang** jika terjadi kecelakaan, dan kenyamanan dalam perjalanan. Kecelakaan kereta api masih sangat sering terjadi di Indonesia. Data kecelakaan kereta api sepuluh tahun menunjukkan bahwa setiap tahun rata-rata terjadi 196 kecelakaan dengan korban penumpang maupun materi yang sangat besar. Jadi program meminimalkan risiko keselamatan penumpang sudah seharusnya menjadi tujuan transportasi kereta api. Penelitian menunjukkan bahwa Kecelakaan kereta api yang umumnya menimbulkan resiko tertinggi terhadap keselamatan penumpang KA adalah jenis kecelakaan (1) anjlogen/terguling (Gambar 20) dan (2) tabrakan KA vs KA (tabrakan primer). Sedangkan tabrakan dengan kendaraan bermotor lain umumnya tidak menimbulkan korban pada penumpang KA tetapi pada penumpang kendaraan bermotor.



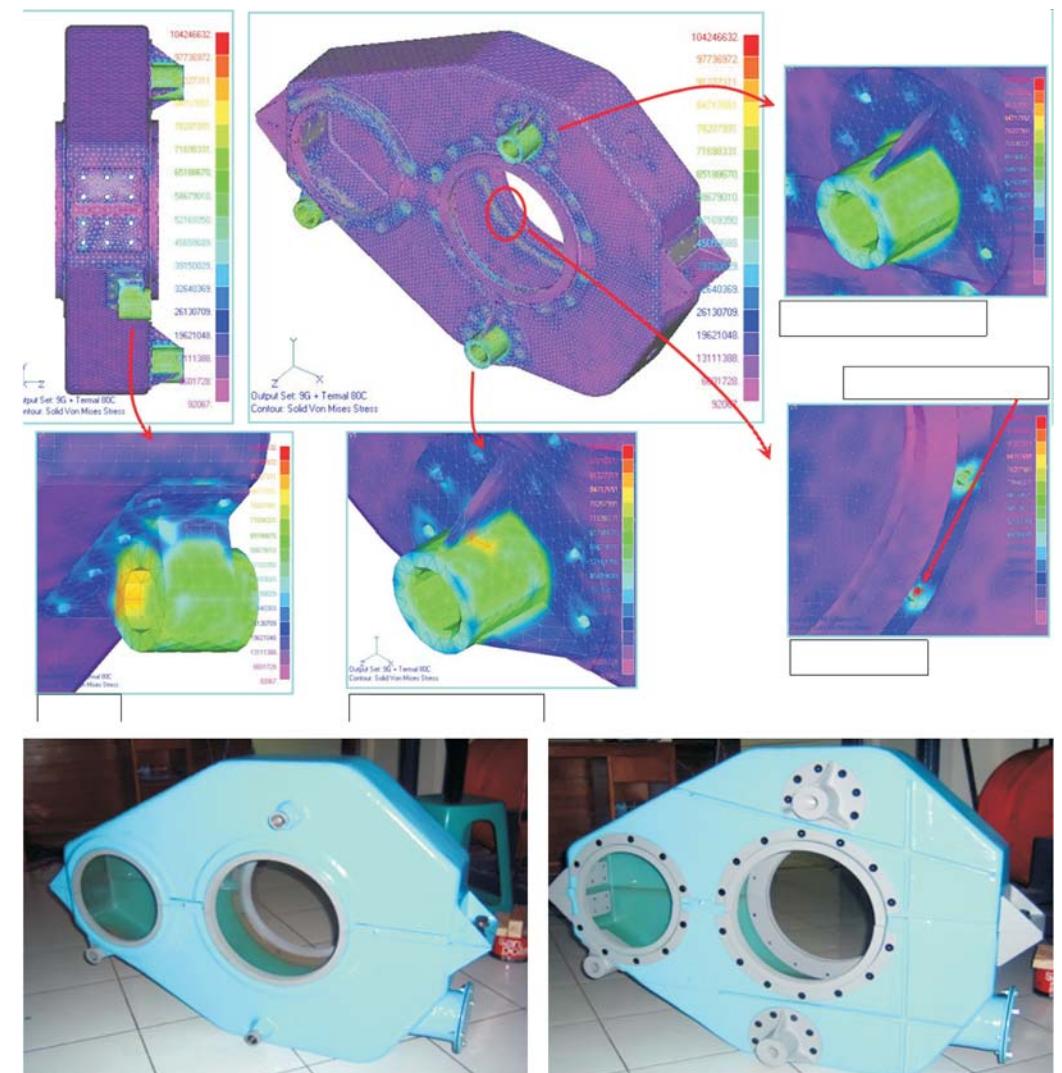
Gambar 20.: Anjlogen/terguling adalah mode kecelakaan kereta api yang menimbulkan risiko tinggi terhadap keselamatan penumpang

Penelitian dan pengembangan terkait RBD di KK-PM difokuskan pada hal-hal yang berhubungan dengan PoF yang menyebabkan kereta terguling. Elemen kunci jenis PoF ini pada bidang sarana antara lain adalah “gearcase baja” yang gagal dan terjatuh terus dilindas roda (Gambar 21); kegagalan axle pada bagian kontak dengan bearing (axle lining), roda yang pecah karena penggunaan rem blok komposit yang kurang tepat, dan lain-lain. Penerapan RBD telah dilakukan dengan mengembangkan



Gambar 21.: Gearcase yang merupakan salah satu elemen kunci risiko kereta terguling dan bentuk kegagalannya.

jenis *gearcase* yang ringan, tahan beban dinamik, dan memiliki sifat “fail-safe” karena jika terjatuh maka tidak akan menyebabkan kereta terguling. Gambar 22 menunjukkan prototype *gearcase* komposit jenis *fail safe* yang telah teruji dilapangan.



Gambar 22.: Prototype gear-case yang telah teruji bersifat “fail-safe” dalam mengatasi PoF kereta terguling

Elemen kunci yang juga secara probalistik sangat tinggi menimbulkan kemungkinan anjlokan dan kereta terguling adalah kegagalan pada *axle lining*, *axle panas*, dan *axle patah* seperti ditunjukkan pada Gambar 23. Penerapan RBD telah dilakukan dan memberikan beberapa alternatif solusi termasuk prototipe *axle lining*. Hasil pengembangan axle lining ini telah dilakukan uji performansi baik di lab maupun di lapangan. Saat ini *axle lining* yang telah dikembangkan sudah diproduksi di BY Jogja dan digunakan oleh PT Kereta Api.



Gambar 23.: Mode kegagalan axle lining dan axle kereta api, serta prototype axle lining yang sedang dipasang.

Elemen keselamatan yang sangat penting dalam operasional kereta adalah sistem pengereman. Data probabilistik juga menunjukkan bahwa

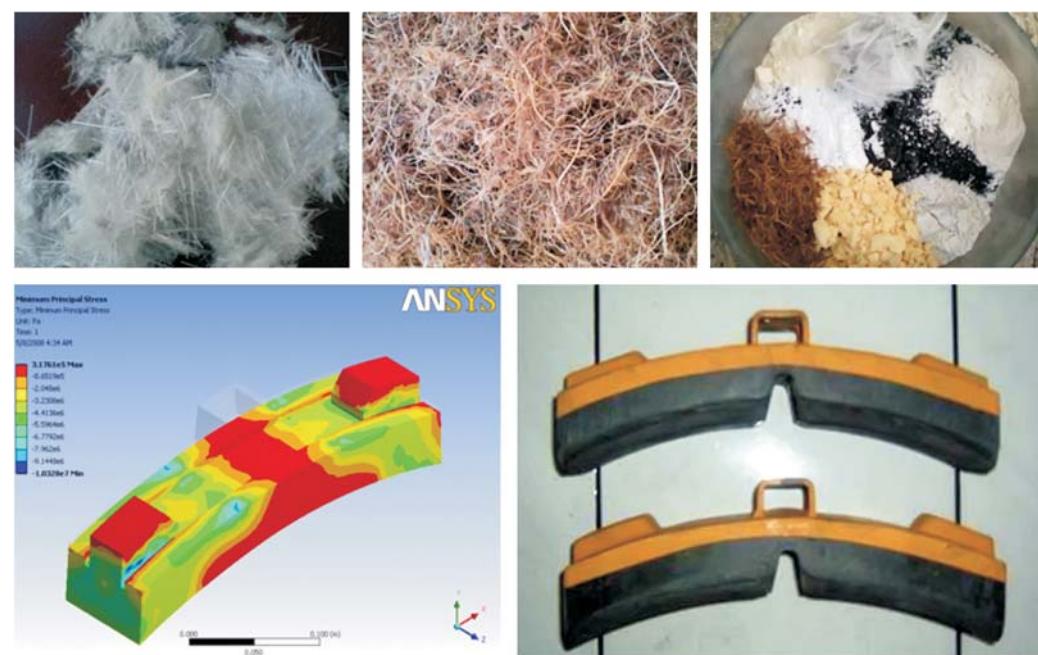
kereta sering anjlog atau terguling karena roda yang pecah. Berdasarkan investigasi KNKT, 2003 disimpulkan bahwa penggunaan rem komposit yang karakteristiknya kurang tepat telah memicu adanya *heat-crack* pada permukaan roda. *Heat-crack* ini dapat merambat dan menyebabkan roda pecah yang akhirnya menyebabkan kereta mengalami anjlog (Gambar 24).



Gambar 24.: Mode kegagalan rem blok komposit, permukaan roda yang mengalami heat crack, dan roda pecah karena heat-crack yang merambat. (KNKT 2003).

Mengingat material penguat rem blok komposit adalah dari serat gelas, maka penelitian dan pengembangan telah kami lakukan dengan memanfaatkan material alami (Gambar 25). Prototype hasil penelitian saat ini sedang dalam pengujian lapangan dan pengembangan skala industri.

Produk industri rem blok komposit ini sangat diperlukan mengingat saat ini seluruh produk rem komposit ini berasal dari produk impor. Hasil penelitian dan pengembangan menggunakan konsep RBD ini juga telah diadopsi oleh PT Kereta Api Indonesia dalam "Kriteria Spesifikasi Teknis Rem Komposit KA". Dokumen ini adalah acuan standard yang harus dipenuhi *vendor* blok rem kereta api.



Gambar 25.: Material alami penyusun serta model analisis dan prototype rem blok komposit ramah lingkungan yang dikembangkan dengan konsep RBD.

Risiko keselamatan yang langsung akan dialami penumpang kereta api jika terjadi tabrakan primer KA vs KA seperti ditunjukkan pada Gambar 26. Terlihat bahwa struktur gerbong penumpang akan menyerap semua energi tabrakan ke dalam bentuk deformasi atau kerusakan

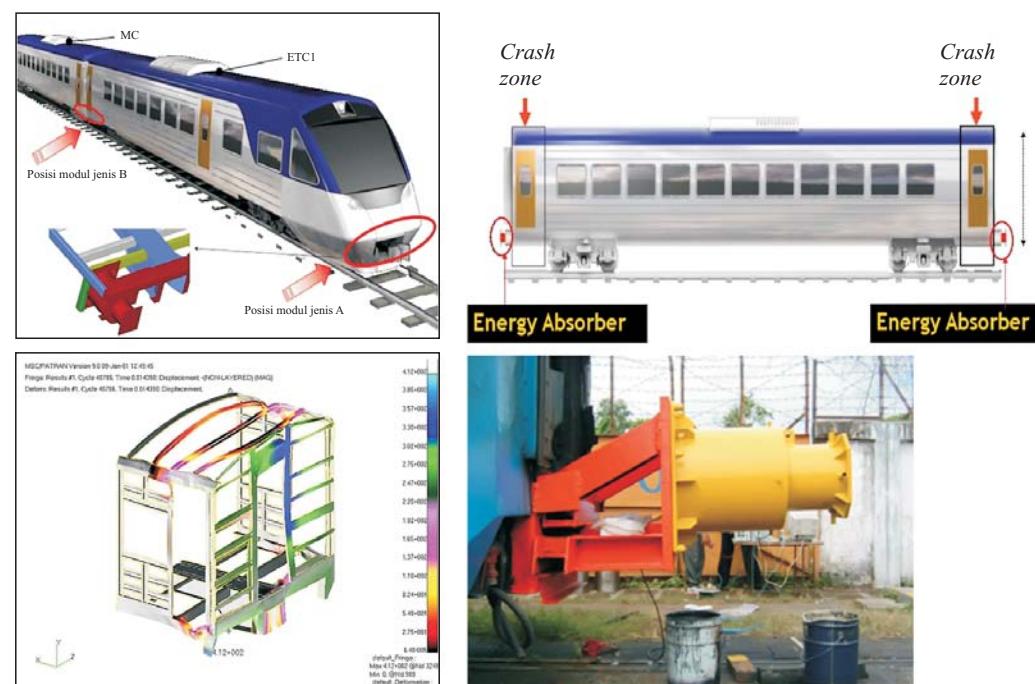
struktur tanpa terarah. Mengingat seringnya terjadi tabrakan kereta api di Indonesia, maka perlindungan terhadap keselamatan penumpang adalah aspek yang mutlak perlu diperhatikan pada transportasi kereta api. Energi tabrakan yang merupakan energi impak yang sangat besar perlu diserap sedemikian rupa sehingga efeknya terhadap penumpang dapat diminimalisasi. Saat ini belum semua sarana kereta api dilengkapi dengan sistem penyerapan energi impak yang memadai. Terlepas dari berbagai aspek yang menyebabkan terjadinya tabrakan, perlindungan terhadap penumpang dengan menyerap energi tabrakan adalah benteng terakhir untuk melindungi keselamatan penumpang, baik akibat efek primer maupun efek sekunder tabrakan.



Gambar 26.: Kondisi struktur kereta setelah tabrakan yang berisiko langsung terhadap keselamatan penumpang.

Penelitian dan pengembangan RBD untuk menurunkan tingkat risiko keselamatan penumpang jika terjadi tabrakan telah kami lakukan dengan memperkenalkan struktur kereta yang "*crashworthy*" dan modul penyerap energi tabrakan (Gambar 27). Penelitian dan pengembangan ini

didanai oleh Kementerian Ristek, PT Inka, dan PT Kereta Api Indonesia. Program penelitian ini telah menghasilkan prototype modul penyerap energi tabrakan yang dapat diintegrasikan dengan mudah pada rangka dasar kereta. Modul penyerap energi tabrakan kereta api sudah diuji langsung dilapangan dan mampu menyerap energi tabrakan sampai kecepatan 40 km per jam. Jika tabrakan terjadi melewati batas kemampuan modul penyerap energi, maka bagian “*crash zone area*” yang akan menyerap energi lebih lanjut. Hasil penelitian ini telah mendapatkan Paten no. ID P 0024719 dan rencananya akan diimplementasikan untuk kereta KRDE.

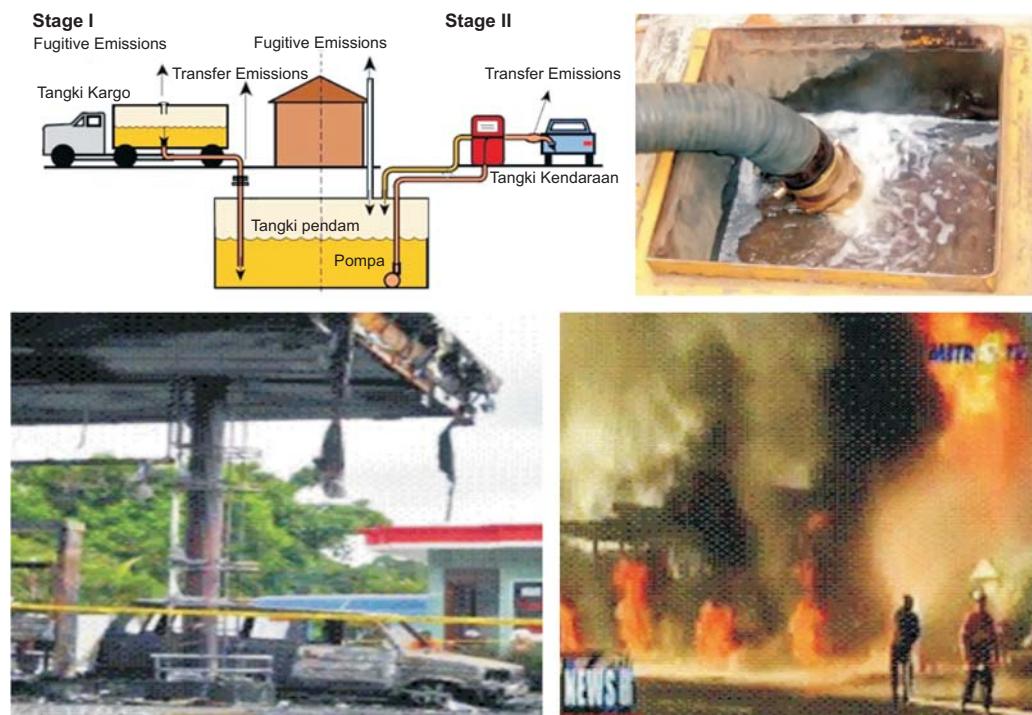


Gambar 27.: Penerapan RBD dalam pengembangan Kereta yang “crashworthy”, yang dilengkapi dengan modul penyerap energi tabrakan dan crash zone area.

Penelitian dan Pengembangan di Industri Migas

Industri dalam bidang energi termasuk migas (minyak & gas) adalah merupakan aktivitas industri yang memiliki risiko sangat tinggi baik terhadap keselamatan maupun terhadap kelestarian lingkungan. Kami di KK-PM telah melakukan penelitian, pengembangan, dan implementasi terkait dengan perancangan berbasis risiko di industri migas yaitu: (1) *pavor Recovery* dan peralatan keselamatan SPBU, (2) sistem perpipaan dilingkungan padat penduduk, (3) sistem perpipaan di laut dalam, (4) risiko tambang batubara dan PLTU dilingkungan explorasi migas, (5) risiko beban accidental terhadap pipa disekitar platform, (6) risiko sistem perpipaan yang mengalami subsidence baik di fasilitas laut maupun darat, (7) kajian risiko tangki timbun, dan lain-lain.

Konsumsi premium nasional perhari adalah sekitar 63 juta liter per hari (Surya, 2010) dan jumlah SPBU yang saat ini sudah mencapai 4663 buah (Waspada, 2010). Penelitian Lemigas menyatakan bahwa jumlah penguapan di SPBU adalah rata-rata sekitar 0,76% atau setara dengan sekitar 2,2 miliar rupiah per hari. Kerugian penguapan ini disamping menimbulkan kerugian ekonomi juga memiliki potensi bahaya terbakar. Kondisi penguapan di SPBU serta contoh kejadian kebakaran SPBU ditunjukkan pada Gambar 28. Jadi risiko SPBU sangatlah tinggi, mengingat SPBU adalah fasilitas migas yang berinteraksi langsung dengan masyarakat umum, disamping lokasinya dilingkungan masyarakat umum.



Gambar 28.: Penguapan di SPU serta kejadian kebakaran di SPBU di Jawa Timur dan SPBU di kawasan Krapyak, Kota Semarang, Jawa Tengah (<http://www.alatpemadamapi.com/kebakaranpombensin.html>).

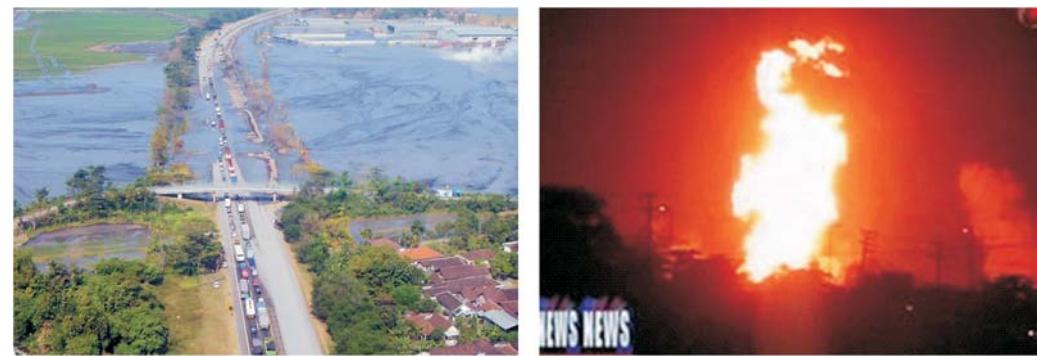
Penelitian dan pengembangan RBD ini bekerjasama dengan PT. IMEI, lab Proses Hilir di PAU Biotek, dan lab Pemisahan di Teknik Kimia, dengan pendanaan didukung oleh Kementerian Ristek, telah menghasilkan produk pavor recovery system yang mampu menyerap penguapan sampai 60%. Beberapa komponen produk penelitian saat ini telah masuk pasar industri SPBU, sedangkan sistem lengkapnya masih dalam pengembangan (Gambar 29).



Gambar 29.: Penelitian *pavor recovery system* dan prototipe produk.

Kajian risiko untuk pipeline di lingkungan yang mengalami *geohazard* tinggi perlu mendapat perhatian khusus seperti misalnya disekitar gunung lumpur, Sidoardjo. Lingkungan pipa penyulur gas milik PT PGN mengalami subsidence yang cukup tinggi baik dalam arah vertikal maupun dalam arah horisontal. Jika batas risiko terlewati, maka dapat terjadi kebocoran gas atau kebakaran/ledakan. Gambar 30 menunjukkan ledakan pipa gas disekitar lumpur Lapindo pada November 2007. Hasil

implementasi asesmen risiko menunjukkan bahwa *offtake* Porong sudah berada dalam *medium high risk*, sehingga segera harus dilakukan mitigasi. Ringkasan kajian risiko untuk pipa-pipa gas milik PT PGN disekitar lumpur Lapindo dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 30.: Geohazard disekitar gunung lumpur (*mud volcano*) Sidoardjo dan pipa gas yang meledak November 2007 [<http://hotmudflow.wordpress.com>].



Gambar 31.: Kajian Risiko pipa penyalur gas milik PT PGN disekitar lumpur Lapindo, Sidoardjo, dan Offtake porong yang mengalami risiko tinggi.

Kegiatan menerapkan RBD untuk modifikasi fasilitas produksi migas di offshore juga kami lakukan untuk wilayah ONWJ (Offshore North West Java). Dengan adanya subsidence yang mencapai 2,8 meter, telah membuat platform bergerak dan menimbulkan overstress, crack di beberapa lokasi kritis (Gambar 32). Rekomendasi untuk inspeksi, mitigasi dengan menerapkan menerapkan RBD telah dilaksanakan untuk dapat menurunkan tingkat risiko dari *high* menjadi *medium*.



Gambar 32.: Implementasi RBD dalam fasilitas *topside piping offshore* yang mengalami subsidence, pipa yang terdeformasi dan *crack* pada konduktor.

Pengalaman yang sangat berharga juga kami dapatkan dari kesempatan berkontribusi dalam perancangan berbasis risiko fasilitas migas seperti FPSO Belanak, TLP & FPU West Seno, LNG Tangguh, pipeline Tempino-Plaju, dan lain-lain. Pengalaman dalam perancangan fasilitas produksi uap Geothermal di Lahendong dan Kamojang juga menambah wawasan yang unik di KK-PM dalam implementasi perancangan berbasis risiko (RBD). Implementasi RBD dan fasilitas produksi uap geothermal 2 x 20 MW yang telah dibangun di Lahendong ditunjukkan pada Gambar 33.



Gambar 33.: Implementasi RBD dalam pembangunan fasilitas produksi uap geothermal di Lahendong.

Pengembangan perangkat lunak

Hasil penelitian dan pengembangan risiko dalam perancangan, inspeksi, termasuk integritas asset juga telah dikembangkan dalam bentuk perangkat lunak yang dapat dimanfaatkan pihak Industri. Bekerjasama dengan KK Material dan KK Fisika Teknik, kami telah mengembangkan perangkat lunak "PROMIA" yang saat ini digunakan oleh Conoco Phillips Indonesia untuk program inspeksi baik untuk fasilitas *offshore* maupun *onshore*. Perangkat lunak "RISK-PRO" juga telah dikembangkan dengan kemampuan khusus untuk *risk based inspection*, *risk assesment*, dan *pipeline integrity*. Saat ini perangkat lunak RISK-PRO sudah diimplementasikan di LNG ARUN, PT. Pertagas, dan beberapa perusahaan lainnya.

Pengembangan Mata Kuliah

Seiring dengan kebutuhan di industri akan tenaga ahli dalam bidang risiko dan keselamatan yang semakin nyata dan meningkat, beberapa mata kuliah baru yang memperkenalkan teknologi risiko dan keselamatan telah diadakan. Mata kuliah baru ini masih diberikan dalam kuliah Kapita Selecta: (1) Kajian Risiko Dalam Perancangan, Konstruksi & Inspeksi; (2) Risiko & Integritas untuk Pipeline. Di dalam pelaksanaan kuliah, beberapa dosen tamu dari industri diundang untuk memberikan kuliah. Mata kuliah ini juga memperkenalkan Code, Standard, dan Recomended Practice, yang berubungan dengan teknik risiko. Mata kuliah tersebut

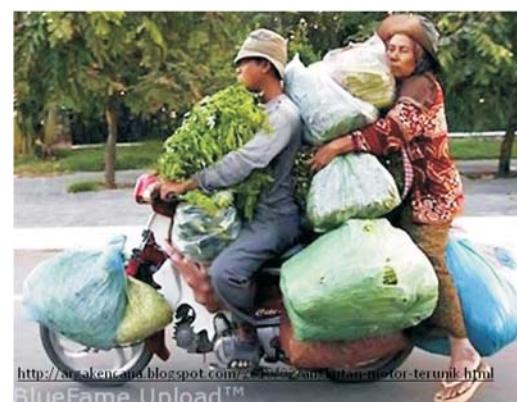
diberikan baik untuk strata pendidikan S1 maupun S2. Disamping pembinaan dalam ruang kuliah, topik-topik tugas sarjana dan thesis magister juga diberikan kepada mahasiswa yang tertarik dengan penelitian maupun implementasi risiko baik untuk perancangan maupun aspek-aspek yang lain seperti assesment, sisa umur, *fitness for services*, dan inspeksi.

V. RENCANA KEGIATAN MENDATANG

Roadmap ke depan kami susun secara terintegrasi antara kegiatan penelitian, kegiatan pembelajaran, pengembangan fasilitas dan organisasi, serta pengembangan kerjasama dengan pihak lain. Penelitian dengan topik-topik dari berbagai aspek yang mendukung bidang ilmu peracangan teknik dan analisis risiko seperti misalnya stress-strain dalam elastic plastic, impact, crashworthiness, risk dan accidental load, risk & safety untuk SPBU, risk dan integrity untuk pipeline, dan lain-lain telah dilakukan dan hasilnya telah dipublikasikan dan dipatenkan. Pengembangan penelitian selanjutnya akan diperluas dalam berbagai aspek terkait Risk-reliability based design antara lain aspek safety, probability of failure, risk consequence, plant reliability assesment, leak impact factor, serta topik-topik applied research untuk *piping & pipeline*, fasilitas produksi migas baik di darat maupun di laut, perlindungan keselamatan dalam industri transportasi, dan lain-lain.

Dari sisi fasilitas, program penambahan dan pembaharuan peralatan dan software yang ada akan terus dilakukan. Sumber dana pengembangan diharapkan dari berbagai grant penelitian, kerjasama dengan industri, lembaga pemerintah dan lembaga internasional. Roadmap pengembangan organisasi akan dilakukan dalam bentuk usulan pengembangan sub-KK Risk-Reliability Based Design. Diharapkan ini akan menjadi embrio pembentukan "**Centre for Risk and Reliability**" di level institut. Kerjasama dalam bidang pendidikan, penelitian, dan afiliasi industri yang telah terjalin selama ini masih perlu ditingkatkan baik dalam skala nasional dan regional.

Dalam aktivitas pengabdian dan pemberdayaan masyarakat, kegiatan kedepan akan lebih difokuskan untuk kontribusi pengembangan regulasi (SNI) dan sosialisasi "budaya sadar risiko". Hal ini sangat penting karena saat ini kesadaran masyarakat akan risiko masih sangat rendah. Gambar 34 menunjukkan beberapa aktivitas masyarakat yang berisiko tinggi, tetapi mereka tidak menyadarinya.





Gambar 34.: Aktivitas masyarakat yang belum menunjukkan budaya sadar risiko: sikap dan kesadaran dalam transportasi, aktivitas diatas pipa migas, membuat jalan di pipa migas.

VIII. KESIMPULAN

Indonesia adalah negara yang memiliki jumlah penduduk no 4 di dunia (230 juta orang), (BPS Sensus, 2010) yang membutuhkan energi, sarana dan peralatan untuk meningkatkan kesejahteraan. Dengan sumber daya alam yang berlimpah dan sumberdaya manusia yang ada, maka potensi perkembangan teknologi untuk meningkatkan kesejahteraan sangatlah mungkin dilakukan. Kesadaran dan sikap para perancang dan operasional peralatan di industri dalam menerapkan aspek risiko & keselamatan adalah merupakan hal mutlak yang harus diterapkan. Sehingga dimasa depan diharapkan kegagalan-kegagalan peralatan dindustri yang menimbulkan kejadian-kejadian yang berdampak negatif besar terhadap masyarakat dan lingkungan dapat ditekan seminimal mungkin.

Penerapan teknologi risiko dalam tahap lanjutan setelah perancangan juga perlu mendapat perhatian dari industri manufacturing, industri konstruksi, dan operator dari sarana-sana di industri. Sehingga implementasi teknologi risiko ini menyentuh semua aspek di industri mulai dari tahap awal perancangan, pembangunan sampai dengan tahap operasional dan perawatan.

Peran pemerintah dalam membuat dan menerapkan regulasi/ peraturan sehubungan dengan aspek risiko yang ketat sangat diperlukan. Hal ini diperlukan terutama untuk industri yang memiliki tingkat risiko tinggi dan berdampak luas terhadap keselamatan & lingkungan. Misalnya adalah industri energi, migas, transportasi, perkapalan, petrokimia, pertambangan dan lain-lain. Beberapa negara maju dan negara tetangga telah menerapkan regulasi terkait aspek risiko untuk industri migas, transportasi, perkapalan dll. Sedangkan di Indonesia saat ini sedang dikaji beberapa regulasi teknis yang terkait dengan keselamatan masyarakat untuk fasilitas migas yang memiliki risiko tinggi. Penulis dan rekan-rekan terkait di ITB juga cukup aktif memberikan kontribusi dalam kajian ini. Ke depan diharapkan hal ini dapat juga diadopsi untuk bidang - bidang yang lain, sehingga perlindungan terhadap masyarakat akan semakin baik.

Dengan sumber daya manusia, fasilitas, dan pengalaman yang dimiliki, diharapkan ITB dapat menjadi ujung tombak dalam penelitian, pengembangan, sumber acuan budaya sadar risiko, serta berkontribusi menyelesaikan permasalahan-permasalahan bangsa dalam melindungi

masyarakat terhadap dampak kemajuan teknologi yang memiliki risiko tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur dan terima kasih kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa - Tuhan Yang Maha Esa atas izin, kasih dan sayangNYA yang telah membawa penulis kepada jabatan guru besar Institut Teknologi Bandung.

Penghargaan dan ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pimpinan dan anggota Majelis Guru Besar ITB atas kehormatan yang diberikan sehingga penulis dapat menyampaikan orasi dihadapan hadirin yang terhormat.

Ucapan terimakasih dan penghargaan yang tulus kami sampaikan kepada guru-guru kami, Prof. Darmawan Harsokoesoemo, Prof. Komang Bagiasna, Prof. Rochim Suratman, Prof. Aryadi Suwono, Prof. Satryo Soemantri, Prof. Wiranto Arismunandar, Prof. Mark T. Hanson (Univ. Kentucky, USA), Prof. Van Groesen (Univ. Twente, Netherland), Prof. Bambang Sutjiatmo, Prof. Mardjono Siswosuwarno, Prof. Djoko Suharto, Prof. Indro Nurhadi, GM Irmansyah Effendi Msc, atas bimbingan, nasehat dan dukungannya sejak kami menjadi mahasiswa sampai saat ini.

Secara khusus ucapan terimakasih kami sampaikan kepada seluruh staf KK Perancangan Mesin yaitu: Dr. Bagus Budiwantoro, Ign. Pulung Nurprasetio, M.Sc., Dr. I Wayan Suweca, Dr. Andi Isra Mahyuddin, Dr.

Zaenal Abidin, Dr. Rahman Setiawan, Dr. Sandro Mihardi, Ir. Kemas Rifian, Msc., dan rekan-rekan atas kerjasama dan persaudaraan yang sangat baik selama ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada seluruh kolega di Dago Engineering yaitu: Putu Suka Narendra, ST., Dody Novianus MT., Malik Ibrohim ST, Selamat Lahardi ST, dll.

Terimakasih dan penghargaan kami tujuhan kepada Dekan FTMD, Dr. Andi Isra Mahyuddin, dan pimpinan FTMD yang telah mendukung kami untuk maju menjadi guru besar. Kontribusi dalam bidang peracangan teknik dan risiko tidaklah terlepas dari sumbangsih para mahasiswa dan mantan mahasiswa bimbingan kami seperti Ir. Made Parwata, Ir. Jamiatul Akmal, Ir. Agus Triyono, Atika, Tessal Maharizky, Fadhil Dewabrata, dan yang lainnya yang tidak dapat disebut satu persatu.

Terimakasih kami sampaikan kepada pimpinan dan teman-teman peneliti di instansi pemerintah dan universitas atas kerjasama yang baik yaitu Kementrian Lingkungan Hidup, Ditjen MIGAS, BP MIGAS, Departemen Pendidikan Nasional, ITS, Universitas Udayana, University of Twente, University of Sidney, Tokyo Institut of Technology.

Terimakasih kami sampaikan kepada pimpinan dan teman-teman di asosiasi profesi dan industri yang selama ini memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengaplikasikan pengetahuan dan keahlian, yaitu: IAP MIGAS, HIKKAPI, PT. Pertamina PHE, PT Pertagas, PT. Chevron Indonesia, PT. Pertamina EPTC, PT. Kereta Api Indonesia, PT. Pertamina

Geothermal, Conoco Phillips Indonesia, PT IMEI, PT ASPAC, PT INKA, serta rekan-rekan dari dunia industri yang tidak bisa kami sebut satu persatu.

Terimakasih yang tak terhingga kami sampaikan kepada orang tua kami I Gusti Made Puja, Ni Kt Padmi (alm), dan kepada mertua kami Gusti Kompyang Gara, dan Ni Jero Sutami. Terimakasih yang tinggi kami sampaikan kepada kakak-kakak kami Dr. IGP Winangun dan GA Diah Wiratnadi, SPd.

Secara husus terimakasih kami sampaikan kepada istri tercinta: GA Sri Lindyawati yang telah mendampingi hidup kami dengan penuh cintakasih yang tulus, kesabaran, dan pengertian. Juga kepada keempat anak terkasih: IGP Ananta Maheswara, IGM Agni Prameswara, IGN Natha Nareswara, GA Diva Nareswari yang selalu berbagi cerita, kebahagiaan, semangat serta selalu menjadi inspirasi bagi penulis dalam berkarya. Semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kasih dan rahmatNYa kepada semua sahabat yang telah membantu penulis selama ini. Amin.

DAFTAR PUSTAKA

1. API, RP 580 & 581 (2002): *Risk-based Inspection & Resource Base Document*.
2. Aven, T., Vinnem, J.E., (2005): On the use of risk acceptance criteria in the offshore oil and gas industry, *Reliability Engineering and System*

3. Badan Pusat Statistika Indonesia (2010): Hasil Sensus Penduduk Indonesia 2010 Data Agregat Perprovinsi
4. Blair, A.N., Ayyub, B.M, dan Bender, W.J. (2001): Fuzzy stochastic risk-based decision analysis with the mobile offshore base as a case study, *Marine Structures*, 14, 69-88.
5. Browning, Jackson (1993): *Union Carbide: Disaster at Bhopal, Inside Stories on Managing Image Under Siege*.
6. Carrarini, A., (2006): *Reliability based analysis of the crosswind stability of railway vehicles*, Dissertation Report, von der Fakultät V–Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin Berlin.
7. Chen, T., Chen, Y., Yik, F.W.H. (2007): Rational selection of near-extreme coincident weather data with solar irradiation for risk-based air-conditioning design, *Energy and Buildings*, 39, 1193–1201
8. Cherian,V., Shenoy, Stothert, Shriven, Ghidella (2008): *Model-Based Design of a SUV anti-rollover control system*, The MathWorks. Inc. & Mechanical Simulation Corporation.
9. Demichela, M., Piccinini, N. (2004): Risk-Based Design of a Regenerative Thermal Oxidizer, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43, 5838-5845
10. DNV G101, (2002): *Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment*.
11. Duff, S. (2008): Remembering Piper Alpha disaster, *BBC News*
12. Folkert Schoustraabc, Ian Mockettad, Pieter van Gelderb, Jonathan Simma, (2004): A new risk-based design approach for hydraulic engineering, *Journal of Risk Research*, 7 (6), 581–597
13. Tonon, F., dan Mammino, A. (2004): Reliability-Based Design and

- Construction Issues for a Micropile Foundation in Costa Rica, *Practice Periodical On Structural Design And Construction*, © ASCE.
14. Grazia, Alfred, (1985): A Cloud over Bhopal-Causes, Consequences and Constructive Solutions, ISBN 0-940268-09-9
 15. Harsokoesoemo, Darmawan, (2004): *Pengantar Perancangan Teknik*, Penerbit ITB
 16. <http://www.kepulauanseribunews.multiply.com>
 17. <http://www.timesonline.co.uk/>
 18. <http://www.alatpemadamapi.com/kebakaranpombensin.html>
 19. http://www.beritajatim.com/detailnews.php/8/Peristiwa/2010-09-12/77185/Rem_Blong,_Bis_Akas_Tabrak_Pohon
 20. <http://www.dnv.us/>
 21. <http://www.foxnews.com/slideshow/2010/07/22/pipeline-explosion-china>
 22. <http://www.freshnessmag.com/2010/06/22/bp-oil-spill-in-the-gulf-two-months-later/>
 23. <http://www.infrastructurist.com/wp-content/uploads/obama-high-speed-rail-plans.jpg>
 24. <http://www.kompas.com/read/xml/2009/11/15/11090591/Suami.Istri.Tersambar.Ledakan.Tabung.Elpiji>
 25. <http://www.nusantara-news.com/>
 26. http://www.oregonlive.com/news/index.ssf/2010/05/bp_concedes_oil_spill_in_gulf.html
 27. <http://www.pewarta-indonesia.com/warta-utama/rem-blong-biang-kecelakaan-ka-di-stasiun-lawang.html>

28. IAEA (1991): *Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1*, Report INSAG-7, Safety Series, No.75-INSAG-7, IAEA, Vienna, 73
29. Jonathan, P., dan Ewans K. (2007): The effect of directionality on extreme wave design criteria, *Ocean Engineering*, 34, 1977–1994
30. Kjellen, U. (1998): Adapting the application of risk analysis in offshore platform design to new framework conditions, *Reliability Engineering and System Safety*, 60, 143-151
31. Kjellen, U. (2007): Safety in the design of offshore platforms: Integrated safety versus safety as an add-on characteristic, *Safety Science*, 45, 107–127.
32. Klanac, A., Jalonens, R. dan Varsta, P. (2007): Multi-stakeholder decision-making in the risk-based design of a RO-PAX double bottom for grounding, *J. Engineering for the Maritime Environment*, 221, 1-15.
33. Komite Keselamatan Transportasi (2003): *Laporan Peristiwa Kecelakaan Kereta API (KA 84 Kamandanu)*
34. Low, B.K. (2005): Reliability-based design applied to retaining walls, *Geotechnique*, 55, 63–75
35. Metin Celik, Seyed Miri Lavasani, Jin Wang (2010): A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation, *Safety Science*, 48, 18–27
36. Micaela Demichela, Norberto Piccinini,(2004): Risk-Based Design of a Regenerative Thermal Oxidizer, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43, 5838-5845
37. MIL-STD-781C (1980): *Reliability Program for Systems and Equipment, Development and Production*, Dept of Defense, Wahington D.C.
38. Nielsen, J.J. dan Sørensen J. D. (2010): On risk-based operation and maintenance of offshore wind turbine components, *Reliability*

39. Norton, Robert L., (1998): *Machine Design an integrated approach*, Prentice-Hall, Inc.
40. Pahl, G., and Beitz, W. (1996): *Engineering Design, A Systematic Approach*, Springer-Verlag, Inc., London
41. Preston Benjamin L, Shackelford Jeremiah (2002): Risk-Based Analysis of Environmental Monitoring Data: Application to Heavy Metals in North CarolinaSurface Waters, *Environmental Management*,30, 279–293
42. Pugh, Stuart, Total Design (1995): *Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Wokingham
43. Puja, I . W., Adziman, M.F, (2005): Impact Energy Absorption Characteristics Of Aluminum Tube Spliting Mechanism :A Numerical And Experimental Study, *Proceeding NAE International conference*
44. Puja, I. W., Reza, Ako, H., (2001): Analisis Tegangan dan Modifikasi Tromol Rem Truk Kapasitas Angkut 6 Ton, *Proceeding Elemen Hingga*, pp.50-59.
45. Puja, I.W., Khalid, Weij, S. (2006): Crash Zone Development for Railway Vehicle, *Key Engineering Materials*, 306-308, 321-326
46. Puja, I.W., Andariksyah, F., (2007): Near Platform Pipeline Risk Assessment Due to Accidental Impact Load, *Proceeding Risk Technology Conference*, Bandung
47. Puja, I.W., Kariem, M.A., Khairullah, A.,(2005): Railway Vehicle Impact Energy Absorber Characteristic using Double Tube Mechanism, *Proceeding NAE International conference*
48. Puja, I.W., Pambudi, L.K., (2005): Local Buckling Aspect on Deep Water Pipeline Design, *Proceeding Deepwater Pipeline*, Bandung.
49. Puja, I.W., Suratman, R., Suprihanto, A., (2002): Identifikasi Kegagalan Drum Rem Produk UKM, *Jurnal Teknik Mesin*, XV, 2, 54-62
50. Puja, I.W., Suweca, I.W., Budiwantoro, B., Syarifuddin, Feryadi, B., Yanuar A.F, Chandra, J, Saptadi, M., (2005): Pengembangan Peralatan Terpadu untuk Pengisian BBM Curah di SPBU, *Proceeding Seminar Hasil Riset Unggulan ITB*
51. Puja, IGN W., Atika, dan Abdillah, M., (2010): Quantitative Risk Assessment pada Oil Treating Plant Storage Tank di Central Gathering Station 10 Duri, PT Chevron Pacific Indonesia, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 5*, Universitas Kristen Petra, Surabaya
52. R.L.Shilling, M.P. Rudy, T.M. Rudy (2009): Risk Based Design Margin Selection for Heat Exchangers, *Proceedings of International Conference of Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, VIII
53. Rao, S.S. (1992): *Reliability Based Design*, McGraw-Hill, Inc., New York
54. Robertson, Campbell; Krauss, Clifford (2010): Gulf Spill Is the Largest of Its Kind, Scientists Say, *The New York Times (The New York Times Company)*, Retrieved, 08-12
55. Rogers Commission report (1986): NASA Photo and TV Support Team Report, *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*, Retrieved 2007
56. Rogers Commission report (1986): *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*, Retrieved 2007
57. Ross, P. (2008): *The night the sea caught fire: Remembering Piper Alpha*, Retrieved 2010
58. Schoustra, F., Mockett,I., Gelder, P.V., Simm, J., (2004): A New Risk

- Based Design approach for Hydraulic Engineering, *Journal of Risk Research*, 7 (6), 581-597
59. Shilling,R.L., Rudy, M.P., Rudy, M.T., (2009): Risk Based Design Margin Selection for Heat Exchanger, *Proceedings of International Conference of Heat Exchanger Fouling and Cleaning VIII*
60. Suh, Nam P. (1990): *The Principle of Design*, Oxford University Press, Inc., New York
61. Togan, V. dan Daloglu, A. (2005): Reliability and Reliability-Based Design Optimization, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 30, 237-249.
62. U.S. Department of the Interior (2010): Flow Rate Group Provides Preliminary Best Estimate Of Oil Flowing from BP Oil Well, *Press release*, Retrieved 2010
63. Ullman, David G. (2003): *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill, Inc., New York
64. Vassalos, D., Guarin, L., dan Konovessis, D. (2006): Risk Based Ship Design Concept: Concept, Methodology and Framework, *Proceeding of 3th International ASRANet Colloquium*, Glasgow, U.K.
65. Vinod Cherian, Rohit Shenoy, Alec Stothert, Justin Shriver, Jason Ghidella (1998): *Model-Based Design of a SUV anti-rollover control system*, The MathWorks, Inc. & Mechanical Simulation Corporation
66. Wolford, A.J, Lin, J.C., Liming, J.K., Lidstone, A., Sheppard, R.E., dan EQE International, Inc. (2001): Integrated Risk Based Design of FPSO Topsides, Structural and Marine Systems, *Offshore Technology Conference*, OTC 12948
67. Yang X., dan Mannan M.S. (2010): The development and application of dynamic operational risk assessment in oil/gas and chemical process industry, *Reliability Engineering and System Safety*, 95, 806–815
68. Youn,B.D. (2001): *Advances In Reliability-Based Design Optimization And Probability Analysis*, Dissertation Report, University of Iowa.

CURRICULUM VITAE



Nama : **IGN WIRATMAJA PUJA**
Tmpt. & tgl. lahir: Bali, 21 Desember 1963
NIP : 131835240
Istri dan anak : GA Sri Lindyawati
IGP Ananta Maheswara
IGM Agni Prameswara
IGN Natha Nareswara
GA Diva Nareswari

Alamat Kantor : KK Perancangan Mesin
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia
Phone/fax : (022) 250-0979, 250-4243
Email : iwpuja00@edc.ms.itb.ac.id

I. RIWAYAT PENDIDIKAN:

- 1987 : Ir. Teknik Mesin,
Institut Teknologi Bandung Technology, Indonesia
- 1994 : Master of Science in Engineering Mechanics,
University of Kentucky, U.S.A
- 1996 : Doctor of Philosophy in Engineering Mechanics,
University of Kentucky, U.S.A
- 2000 : Post Doctoral in Materials and Solid Mechanics,

- Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering,
Tokyo Institute of Technology, Japan
- 2002 : Post Doctoral in Design for Smart Material & Structures,
School of Aerospace, Mechanical and Mechatronics Eng., University of Sydney, Australia

II. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya : 1 Februari 1991
- Asisten Ahli : 1 Desember 1994
- Lektor Muda : 1 Juni 1997
- Lektor Madya : 1 Agustus 1999
- Lektor : 1 Januari 2001
- Lektor kepala : 1 Oktober 2003
- Guru Besar : 1 Oktober 2008

III. PENGHARGAAN:

1. Juara Umum I sejak SDN 1 Biaung → SMAN 1 Tabanan - Bali
2. Lulusan Terbaik II dalam bidang akademik, Departemen Teknik Mesin, Wisuda Oktober 1987
3. Award, Graduate Student Representative, Dept. of Engineering Mechanics, Univ. of Kentucky, U.S.A, 1996
4. Makalah Terbaik, Seminar Penelitian Dasar, DP3M, Departmen Pendidikan Nasional, Jakarta, 1999

5. The Hitachi Foundation Postdoctoral Award, 2000
6. Lencana Karya Satya X Tahun, dari Presiden RI, Keppres RI No. 009/TK/Tahun 2002
7. Penghargaan dalam Bidang Pendidikan Khusus, Departmen Pendidikan Nasional, 2008

IV. MATA KULIAH YANG DIBINA:

Wajib

1. MS 2214 Elemen Mesin I
2. MS 3116 Elemen Mesin II
3. MS 4210 Peralatan Mesin di Industri Proses
4. MS 3115 Tugas Perancangan Mesin I
5. MS 3116 Tugas Perancangan Mesin II

Pilihan

6. MS 5017 Perancangan dan Konstruksi Sistem Pipa
7. MS 6018 Material Selection in Mechanical Design
8. MS 5010 Kapita Selekta: Risiko Dalam Perancangan, Konstruksi & Inspeksi;
9. MS 5011 Kapita Selekta : Risiko & Integritas Pipeline.

V. PENUGASAN STRUKTURAL DI ITB

- Kepala Laboratorium Perancangan Mesin, FTMD-ITB, 2009-sekarang
- Ketua KPPS, FTMD-ITB, 2010-sekarang

VI. AFILIASI PROFESI

1. Anggota Dewan Pengurus, Asosiasi Ahli Pipeline Migas Indonesia (IAP-MIGAS)
2. Anggota Dewan Pakar, Himpunan Kontraktor Perkeretaapian Indonesia (HIKAPPI)
3. Anggota Governing Board, Assosiasi Pengelasan Indonesia (IWS-ANB)
4. Anggota, American Society of Mechanical Engineers (ASME)

VII. KOMISI DI TINGKAT NASIONAL:

1. Anggota Komisi AMDAL, Kementerian Lingkungan Hidup, 2004 – sekarang
2. Team Pakar TPSDP, Ditjen Dikti 2005-2008
3. Team pakar reviewer Penelitian di Lingkungan Dikti, 2001-2005
4. Team Pakar Ditjen Migas, 2003-2005

VIII. HIBAH PENELITIAN :

Judul Penelitian	Tahun/Periode, Sumber Dana
1. The Stress field around 3D Crack and Contact for Ceramic Materials	Basic Research Grant No.20/PPIP/DPPM/97/PPIP/1997, Ditjen Dikti, 1997/1998.
2 The Elastic-plastic Field in the Composite Laminate Containing Cracks	Hibah Bersaing, Ditjen Dikti, Grant No. 63/P2IPT/DPPM/98/PHB VII/1/1998, 1998/2000.

Judul Penelitian	Tahun/Periode, Sumber Dana
3 Research on Elastic Plastic Field of an Infinite Anisotropic Solid Containing Crack	The Hitachi Scholarships Foundation, Japan, Grant No. HSF-Y2K077, 2000/2001.
4 Research on Ceramic for Tribological Machine Components	URGE Grant No. 002/IRL/URGE/2000, Directorate General for Higher Education, 2000.
5 Research on Structural Crashworthiness of Indonesian Diesel Electric Train	PT INKA, Grant # 21/B/HK.303/TEK/2000, 2000/2001
6 Design and Material improvement of Brake Drum for small scale industries	RUK, Kementerian Riset & Teknologi, Grant no. 57/AD-MDI/XII/2000, 2001/2002
7 Aplikasi Mekanisme Deformasi Plastis-Hydraulic Untuk Modul Penyerap Energi Tabrakan Rangkaian Kereta Api	Hibah Bersaing, Ditjen Dikti , Grant no. 015/LIT/BPPK-SDM/IV/2002, 2002/2003
8 Penelitian, Pengembangan, dan Implementasi Modul Penyerap Energi Tabrakan kereta Api	RUK, Kementerian Riset & Teknologi, Grant No. 39/BAP-IN/RUK/KRT/III/2003, 2003/2005
9 Pengembangan Peralatan Terpadu untuk Pengisian BBM Curah di SPBU	Riset Unggulan ITB, Grant no. 1582/K01.13/PL2.2.6/2003, 2003/2004
10 Penelitian Dan Pengembangan Journal Bearing Tahan Beban Impak: Aplikasi Pada Lokomotif	Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2005, November 2005

Judul Penelitian	Tahun/Periode, Sumber Dana
11 Studi Peningkatan Mutu, Pembuatan dan Pengembangan Prototipe Axle Lining untuk Lokomotif	PT Kereta Api Indonesia, Grant no. 151/HK/REN/2004, 2004/2005.
12 Pengembangan Gearcase komposit	PT Kereta Api Indonesia, Grant no. 152/HK/REN/2004, 2004/2005.
13 Penelitian dan Pengembangan Sistem Vapor Recovery Terpadu pada Instalasi Pengisian BBM Curah di SPBU	RUK, Grant No. 11/PK-RUK/PPKSI/DEP.PPI/KNRT/III/2005, 2005/2006.
14 Studi Penelitian, Pengembangan dan Implementasi Material Komposit untuk Blok Rem Kereta Api.	PT. Kereta Api Indonesia, Grant No.228/HK/REN/2005, 2005/2006.
15 Theoretical and Experimental Study on Impact and Buckling Characteristics for Pipeline.	AUNSEED-Net, 2005/2006.
16 Development of Risk Based Inspection and Supporting Studies for Topside Facilities.	CONOCOPHILLIPS IND., Grant No. CS70-12261, 2005/2006.
17 Pengembangan Design untuk Meningkatkan Performansi Blok Rem Komposit dengan Memanfaatkan Limbah Tempurung Kelapa.	Riset Fakultas, LPPM, Grant No. 0004/K01.03.2/PL2.1.5/2006, 2006/2007.

Judul Penelitian	Tahun/Periode, Sumber Dana
18 Studi Peningkatan Mutu Pembuatan dan Pengembangan Prototipe Pegas Ulir Produk Balai Yasa Manggarai,	PT. Kereta Api Indonesia, Grant No. 301/HK/REN/2006, 2006/2007.
19 On the Wheel and Rail Contact Problem	Labmath Indonesia & University of Twente., Grant no. LMI & UT-EngTech – 2006/12/18/WheelRail.
20 Excessive Wear Mechanism due to Rail-Wheel Contact in Curve Railway Track, Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Internasional,	Depdiknas, Grant no. 445/SP2H/PP/DP2M/VI/2010 (2009-2010).
21 Penelitian dan Pengembangan Sambungan Adesif pada Pipa Komposit, Hibah Tim,	Depdiknas, Grant no. (ITB) 059/TL-J/DIPA/SPK/2010 (2010-2012).

IX. PRODUK PENELITIAN:

1. Paten:

"Modul Penyerap Energi Tabrakan Mekanisme Plastis Hidrolik". Direktorat Paten, Ditjen HKI, Departemen Kehakiman dan HAM RI, No. ID P 0024719

2. Software:

a. "PROMIA-OFFSHORE: Risk Based Inspection: Offshore Topsides Facilities Application".

- b. "RISK-PRO": Risk Assement & Pipeline Integrity.
- 3. Prototype peralatan:
 - a. Hybrid Composite Gear Case
 - b. Particulate composite brake block for railway vehicle
 - c. Vapor recovery System for SPBU (dalam proses Paten)
 - d. Impact energy absorber for Railway vehicle

X. PUBLIKASI ILMIAH

Journal Internasional

- 1. Hanson, M. T., Puja, I. W., 1997, "The Reissner Sagoci Problem for the Transversely Isotropic Half Space", *ASME Journal of Applied Mechanics*, Vol. 64, No. 3, pp.692-694.
- 2. Hanson, M. T., Puja, I. W., 1996, "Love's Circular Patch Problem Revisited : Closed Form Solutions for Transverse Isotropy and Shear Loading", *Quarterly of Applied Mathematics*, Vol. 54, No. 2, pp. 359-384
- 3. Hanson, M. T., Puja, I. W., 1997, "The Elastic Field Resulting from Elliptical Hertzian Contact of Transversely Isotropic Bodies : Closed Form Expressions for Normal and Shear Loading, *ASME Journal of Applied Mechanics*, Vol. 64, No.3, pp.457-465.
- 4. Hanson, M. T., Puja, I. W., 1997, "The Evaluation of Certain Infinite Integrals Involving Products of Bessel Functions : a Correlation of Formula", *Quarterly of Applied Mathematics*, Vol. 55, pp. 505-524.
- 5. Hanson, M. T., Puja, I. W., 1998,"Elastic Subsurface Stress Analysis for Circular Foundations I, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 124, No.5, pp.537-546.
- 6. Hanson, M. T., Puja, I. W., 1998,"Elastic Subsurface Stress Analysis for Circular Foundations II, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 124, No.5, pp.547-555.
- 7. Puja, I.W., Shibuya, T., 2001, "On The Boundary Value Problems of Circular Loading for Transversely Isotropic Piezoelectric Media", *JSME International Journal, Series A*, Vol 44, NO. 4, pp. 462-471
- 8. Puja, I.W., Hardono, T, Khalid, Adziman, M.F., 2004, "The Structural Impact Characteristics of Indonesian Railway Vehicle", *Advance in Fracture and Failure Prevention.*, Trans Tech Publication LTD Vols, 261-263 (2004) pp. 337-344, Switzerland.
- 9. Puja,I. W, Khairullah, A., Kariem, M. A., Saputro, A. H., (2006), "Numerical and Experimental Study on Railway Impact Energy Absorption Using Tube External Inversion Mechanism at Real Scale", *Key Engineering Materials* Vols. 306 pp. 315-320
- 10. Puja, I.W., Khalid, S Weij "Crash Zone Development for Railway Vehicle" (2006) *Key Engineering Materials* Vols. 306-308, pp. 321-326
- 11. Puja, I. W., Hanson, M. T., 2009, "An Upright or Tilted Flat Elliptical Punch Indenting a Transversely Isotropic Half Space : Closed Form Solutions to the Elastic Field for Normal and Shear Loading", *International Journal of Solid and Structures*, (accepted for publication).
- 12. Soemantri, S., Puja, I.W., Budiwantoro, B., Parwata Md., Schipper D.J., "Solutions to Hertzian Contact Problem Between Wheel and Rail For Small Radius of Curvature", *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, pp. 669-677, (2010)

Jurnal Nasional:

13. Puja, I. W., 1998, "Analisis Medan Elastis di Dalam Setengah Ruang Isotropi Melintang Akibat Beban Normal di Permukaannya", *Jurnal Teknik Mesin*, Vol XIII no. 1, pp. 9-19.
14. Puja, I.W., Soemantri, S., Riyanto, B., 1998, "Pengaruh Arah Serat dan Susunan Lapisan Terhadap Faktor Konsentrasi Tegangan pada Komposit Laminate Carbon/Epoxy AS4/3501-6 Berlubang Lingkar dan Ellips", *Jurnal Mesin*, Vol XIII, No. 2, pp.39-47
15. Puja, I.W., Triprasetia, H., 2000, "Kaji Numerik dan Eksperimental Tentang Pengaruh Arah Retakan Terhadap Faktor Ketangguhan Retak Pada Laminate Carbon/Epoxy, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol XV, no. 3, pp.69-79.
16. Puja, I.W., "Sliding Contact Between two elastic geometrically Identical Transversely Isotropic Bodies", *Proceedings ITB*, Vol. 31, no. 2, November 1999
17. Puja, I.W., Supriyadi, Y.S., 2000, "Pengaruh Arah Serat Terhadap Faktor Intensitas Tegangan Pada Lamina Berpenguat Serat yang Mengandung Center Crack", *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. XV, no.2, pp.54-62.
18. Puja, I.W., Rochim Suratman, Agus Suprihanto, Reza, dan Henry Ako "Analisis Kegagalan Drum Rem Produksi UKM Untuk Truk/Bus Daya Mesin 190 HP", *Jurnal Teknik Mesin Volume XVII no 2, Juni 2002*
19. Puja, I.W., Tampubolon H. A., Suhartanto, "Analisis Tegangan Thermal pada Tromol Rem Truk Dengan Kapasitas Angkut 6 Ton", *Jurnal Teknik Mesin Volume XVIII No. 2, Oktober 2003*

20. Puja, I.W., Hidayat, M., Qin, Q. H., "Analisis Percabangan Retak Pada Material Keramik Piezoelektrik", *Jurnal Teknik Mesin Volume XVIII No. 2, Oktober 2004*
21. Parwata, M., Puja, I.W., Budiwantoro, B., Schipper D.J., Soemantri, S., Penyelesaian Pendekatan Untuk penyelesaian Problem Kontak Hertzian Pada Kasus Kontak Antara Roda-Rel, *Jurnal Teknik Mesin* (2009).

Prosidings Seminar Internasional:

22. Hanson, M. T., Puja, I. W., "Some Elliptical Contact Problems for a Transversely Isotropic Half Space", *Proceedings Joint ASME/ASCE/SES Meeting*, June 29 - July 7, 1997, Norris Center, North Western University, Eavaston, Illinois, U.S.A.
23. Puja, I.W., 1999, "Sliding Contact Between two elastic geometrically Identical Transversely Isotropic Bodies", *Asia/Pacific International Cogress on Engineering Computational Modelling and Signal Processing*, pp. 539-548.
24. Pasaribu ,H.R, Puja, I.W., "Multibody Dynamics Analysis of a Train Collision Case Study: Train Collision in Indonesia" *Proceeding of The 7th Indonesia Student's Scientific Meeting*, Oktober 2002, Germany.
25. Puja, I.W., Nugroho, A., 2003, "Bottom Dump Truck Structural Analysis For 57 Metric Ton Truck Capacity", *3rd International Conference on Numerical Analysis in Engineering*
26. Puja, I.W., Saragih, N., Adziman M., 2003, "Railway Vehicle Impact Energy Absorber Using Plastic Deformation And

- Hydraulic Mechanism", 3rd International Conference on Numerical Analysis in Engineering.
27. Puja, I.W., Khalid, Weij, S., 2005, " Crash Zone Development for Railway Vehicle", The 6th International Conference on Fracture and Strength of Solid, pp.318-323
28. Puja,. I.W., Khairullah, A., Kariem, M.A., Saputro, A.H., 2005, "Numerical and Experimental Study on Railway Impact Energy Absorption Using Tube External Inversion Mechanism at Scale", The 6th International Conference on Fracture and Strength of Solid, pp.312-317,
29. Puja, I.W., Narendra, P.S., 2005, "Remaining Strength Analysis For Corroded Pipeline With Complex Shape Defects Under Combined Loading", *Proceeding International Maintenance and Reliability Coference*, 2005
30. Puja, I.W., Irvan Hariadi, Yendra Lubis, Gerhard Indra, Reza, "Remaining Strength analysis for Corroded Pipeline With Complex Shape Defects Under Combined Loading", *Proceedings International Conference on Maintenance & Production Reliability Conference*, May 2006
31. Keong, O. W., Puja, I.W., Reza, Nuryaningsih, "Rehabilitation and Upgrading of Deteriorated Pipes Using FRP (Fibre Reinforced Polymer) Systems", Proceedings International Conference on Maintenance & Production reliability, Mei 2006
32. Puja, I . W., Adziman, M.F., "Impact Energy Absorption Characteristics Of Aluminum Tube Spliting Mechanism : A Numerical And Experimental Study" *Proceeding NAE International conference*, April 2005.
33. Puja, I.W., M Agus Kariem, Aufa Khairullah "Railway Vehicle Impact Energy Absorber Characterictic using Double Tube Mechanism" *Proceeding NAE International conference*, April 2005
34. Kollika, N., Puja, I. W., Suharto, D., "Numerical Study on Impact Characteristics For Pipeline", *Proceeding NAE International conference*, April 2007
35. Triono, A., Puja I. W., Soemantry S., (2010), "The Effect of Penetration Depth On Analyzes Hip Joint Contact Model", *The 4th Indonesian Japan Joint Scientific Symposium*, Bali,
36. Parwata M., Puja, I.W., Budiwantoro, B., Satryo S. Brodjonegoro, (2010): Contact Pressure Behavior Due to Wheel and Rail Contact in Curve Track, Proceeding The 4th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium.
37. Akmal, J., Puja, I. W., Suweca, Soemantri, S.: "Mixed-Adhesive Technique on Joint Strength of Torque Loaded Tube Optimization", Proceeding of The 4nd Indonesia Japan Joint Scientific Symposium, Bali, Indonesia, Sept. 29-Oct 1 2010.
38. Akmal, J., Puja, I. W., Suweca, Soemantri, S., Suratman, R., "Newly Designed Adhesive Joint for Torque Loaded Tube" Seminar Proceeding THE 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRACTURE AND STRENGTH OF SOLIDS (FEOFS 2010), Kuala Lumpur, Malaysia, 7th – 9th June 2010, paper no. A249
39. Puja, I.W., Kariem M.A., Khairullah, A., " Impact Force Analysis on Collision Between Crude Oil Tanker and SPOLS Structure", *Proceeding on Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, 2010

40. Puja, I.W., Hadyansyah, R., Novianus D., "Mechanical Well Integrity Non-Linear Analysis Due to Excessive Subsidence", Proceeding on Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology, Bali, 2010

Prosiding Seminar Nasional:

41. Puja, I. W., 1997, "Stress Field Around Eccentric Loaded Flat Elliptical Punch Indenting Transversely Isotropic Half Space", *Proceedings Computational Methods and Simulation in Engineering*.
42. Puja, I. W., 1997, "Medan Elastis di Dalam Benda Isotropi Melintang yang Berkontak : Solusi Eksak untuk Permukaan Kontak Berbentuk Ellips Akibat Beban Normal", *Proceeding Experimental and Theoretical Mechanics*
43. Puja, I. W., Setiawan, Y.R., 1998, "Reduksi Konsentrasi Tegangan Pada Pelat Berlubang Sirkular dengan Penambahan Lubang Bantu", *Prosiding Metoda Elemen Hingga*
44. Puja, I. W., Sudarlan, E., 1999, "Analisis Konsentrasi Tegangan Disekitar Lubang Circular Pada Dinding Silinder", Prosiding Metoda Elemen Hingga.
45. Puja, I.W., Irfan, M., 1999, "Analisis Kekuatan Struktur Bekas Sambungan Paku Keling yang Diganti dengan Sambungan Las atau Baut Pratekan", *Proceeding Elemen Hingga*, pp.26-32
46. Puja, I. W., Reza, Ako, H., 2001, "Analisis Tegangan dan Modifikasi Tromol Rem Truk Kapasitas Angkut 6 Ton", *Proceeding Elemen Hingga* 2001, pp.50-59.
47. Puja, I.W.,Nazarudin, Dony Syehnul, Hepy Hanifa, 2002,

- "Penyerapan Energi Tabrakan Kereta Api Dengan Mekanisme Deformasi Plastis Stuktur Silinder", *Proceeding Metode Elemen Hingga*
48. Puja, I.W., Aufa Khairulah, "Analisis Statik Struktur Atas TLP-A West Seno Untuk Kasus Pengeboran,", *Proceeding Metode Elemen ITB Hingga*, Desember 2003.
49. Puja, I.W., M Agus Kariem, "Analisis Statik Modul Kompresi FPU Dengan Metode Elemen Hingga,", *Proceeding Metode Elemen Hingga ITB*, Desember 2003.
50. Puja, I.W., 2004, "Teknik Uprating Untuk Sistem Pipa Gas Bawah Laut", *Proceeding Pipeline Technology*, January, 2004
51. Puja, I.W., 2004, "Kegagalan Pada Perpipaan Bawah Laut Akibat Pembebanan Ekstrem Arus Laut Bolak-balik ", *Proceeding Pipeline Technology*, January, 2004
52. Puja, I.W., Pambudi, L.K., 2005, "Local Buckling Aspect on Deep Water Pipeline Design", *Proceeding Deepwater Pipeline*, Bandung, February 2005.
53. Puja, I.W., Suweca, I.W., Budiwantoro, B., Syarifuddin, Feryadi, Yanuar F., Chandra, Saptadi, S., "Pengembangan Peralatan Terpadu untuk Pengisian BBM Curah di SPBU" *proceeding Seminar Hasil Riset Unggulan ITB*, 24 Agustus 2005.
54. Puja, I.W., Satisouk, K., " Plastic Collapse Of Pipe Bends Under Combined External Pressure And In-Plane Bending, *Proceeding SNTTM V*, 2006
55. Puja, I.W., Kolika, N., "Influence Of Internal Pressure To The Pipe Resistance Due To Impact Loading", *Proceeding SNTTM V*, 2006

56. Puja, I.W., Andariksyah, F., "Near Platform Pipeline Risk Assessment Due to Accidental Impact Load", *Proceeding Risk Technology Conference*, Bandung 2007
57. Habil, M., Novianus, D., Puja, I.W., "Subsea Pipeline Risk Based Inspection: Case Study And Application For CNOOC Field At Sunda Strait", *Proceeding Risk Technology Conference*, Bandung, 2007
58. Parwata,M., Satryo S. B., Puja I.W, (2008), "Distribusi Tegangan Kontak Pada Rel Akibat Beban Impact Ketika Roda Melewati Sambungan Rel Dengan Adanya Tonjolan Ujung Rel ke Arah Lateral", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Simulasi IV UGM*, Yogyakarta, Hal.508-514
59. Parwata, M., Schipper D.J., , Puja, I. W., Satryo S. B. (2008), "Distribusi Tegangan Kontak Pada Roda Akibat Beban Impact Ketika Roda Melewati Sambungan Rel Dengan Adanya Pergeseran Ujung Rel ke Arah Lateral, *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*, Kampus IST AKPRIND, Yogyakarta, Hal. 1-8
60. Parwata M., Puja, I. W., Schipper D.J., Satryo S. B. (2009): Pengaruh Variasi Kelengkungan Prinsipal Rel Terhadap Tekanan Kontak Antara Roda dan Rel Dengan FEM, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin IV*, UK. Petra, Surabaya, Hal. 9-16
61. Akmal, J., Puja, I W., Brodjonegoro, S. S., Suratman, R., Suweca I. W., "Perancangan dan Optimasi Sambungan Adesif untuk Pipa Komposit yang Mendapat Beban Torsi", *Prosiding Seminar Nasional KRTM UNS Solo*, 13-14 Okt. 2009, ISBN 978-602-95597-0-5, hal. 136-143
62. Akmal, J., Puja, I W., Brodjonegoro, S. S., Suratman, R., Suweca I. W., "Studi dan Pengembangan Sambungan Adesif pada Pipa Komposit yang Mendapat Beban Kombinasi Internal Pressure dan Puntir, *Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI 5)*, Universitas Tarumanagara, Jakarta, 8 Okt. 2009. No. ISSN:978-979-95752-9-6, hal 353-361
63. Puja, I.W., Atika, Abdillah, M., (2010). "Quantitative Risk Assessment pada Oil Treating Plant Storage Tank di Central Gathering Station 10 Duri, PT Chevron Pacific Indonesia". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 5*, Universitas Kristen Petra. Surabaya
64. Triono, A., Puja, I.W., Soemantri, S., "Analisis Statis Kontak Pada Pemodelan Hip Joint (Sendi Panggul)", *Prosiding Seminar Nasional RITREKA*, UNIKAAtmajaya, 2010.
65. Puja, I.W., Dewabrata, F., Akmal, J., "Studi Parameter dan Kondisi Anomali dalam Analisis Risiko Pipa Penyalur Bawah Laut", *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IX*, Palembang, 2010. Hal 387-397

