



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Andi Isra Mahyuddin

**DINAMIKA BENDA JAMAK
UNTUK KESEJAHTERAAN BANGSA:
DARI REKAYASA KENDARAAN HINGGA
BIOMEKANIK**

13 April 2013
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
13 April 2013

Profesor Andi Isra Mahyuddin

**DINAMIKA BENDA JAMAK
UNTUK KESEJAHTERAAN BANGSA:
DARI REKAYASA KENDARAAN HINGGA
BIOMEKANIK**



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: DINAMIKA BENDA JAMAK UNTUK KESEJAHTERAAN BANGSA:
DARI REKAYASA KENDARAAN HINGGA BIOMEKANIK
Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,
tanggal 13 April 2013.

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

Andi Isra Mahyuddin

DINAMIKA BENDA JAMAK UNTUK KESEJAHTERAAN BANGSA:
DARI REKAYASA KENDARAAN HINGGA BIOMEKANIK
Disunting oleh Andi Isra Mahyuddin

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2013

vi+54 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-64-0

1. Teknologi Rekayasa 1. Andi Isra Mahyuddin

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT Yang Maha Pencipta dan Maha Memiliki, karena atas rahmat dan kasih sayangNya penulis dapat menyelesaikan naskah pidato ilmiah ini. Terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan pidato ilmiah pada Sidang Terbuka Majelis Guru Besar pada tanggal 13 April 2013.

Pidato ilmiah berjudul "Dinamika Benda Jamak untuk Kesejahteraan Bangsa: dari Rekayasa Kendaraan hingga Biomekanik" merupakan salah satu bentuk pertanggungjawaban akademik dan komitmen penulis atas jabatan sebagai Guru Besar dalam bidang Dinamika Benda Jamak.

Penulis membahas secara ringkas sejarah dan perkembangan bidang dinamika benda jamak serta aplikasinya. Selanjutnya dipaparkan sebagian kegiatan penulis dalam bidang dinamika kendaraan dan biomekanika. Pada bagian akhir disampaikan secara singkat rencana kegiatan yang akan dilaksanakan di masa datang.

Semoga tulisan sederhana ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 13 April 2013

Andi Isra Mahyuddin

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. DINAMIKA BENDA JAMAK	3
2.1. Sekilas Perkembangan Dinamika	3
2.2. Sistem Benda Jamak	5
3. DINAMIKA KENDARAAN	8
3.1. Kendaraan Rel	8
3.2. Kendaraan Penumpang	11
4. BIOMEKANIK	13
4.1. Analisis Gerak Berjalan (<i>Gait Analysis</i>)	14
4.2. Pengembangan Sistem Penganalisis Gerak dengan Harga Terjangkau	17
4.3. Kegiatan Lainnya	25
4.3.1. Alat Fiksasi Internal dan Eksternal	25
4.3.2. Distribusi Tegangan pada Implan Gigi	27
5. CATATAN PENUTUP	29
6. UCAPAN TERIMA KASIH	30
7. DAFTAR PUSTAKA	33
CURRICULUM VITAE	39

**DINAMIKA BENDA JAMAK
UNTUK KESEJAHTERAAN BANGSA:
DARI REKAYASA KENDARAAN HINGGA BIOMEKANIKA**

1. PENDAHULUAN

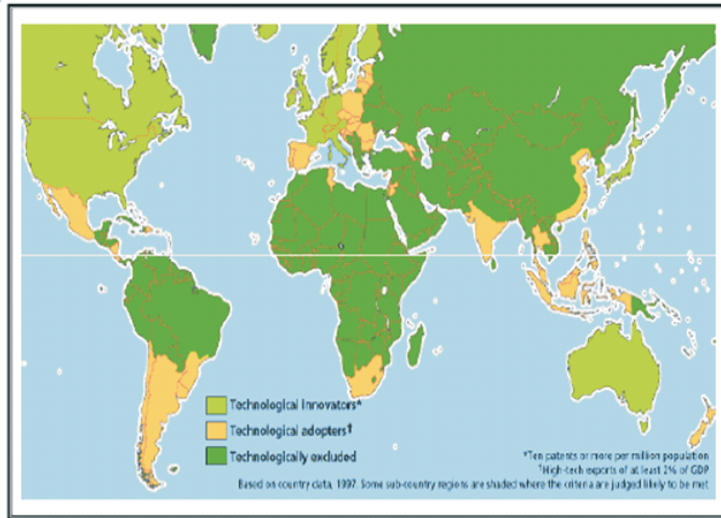
Sebagai bagian dari ITB yang mengemban amanah sesuai dengan Visinya untuk meningkatkan kesejahteraan bangsa Indonesia dan dunia, seyogyanya seorang anggota civitas academica ITB berkarya dalam menunjang terwujudnya Visi tersebut.

Sejarah menunjukkan bahwa kesejahteraan manusia ternyata terkait erat dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (Pedju, 2009). Penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi oleh suatu bangsa, berdampak pada perubahan tata kehidupan masyarakat serta memberi mereka keunggulan atas bangsa lain yang tidak menguasai ilmu pengetahuan dan teknologi tersebut.

Pada zaman keemasannya peradaban Yunani, Romawi erat kaitannya dengan penguasaan ilmu dan teknologi saat itu. Sejarah berulang pada zaman keemasan Islam, dimana penguasaan iptek berperan dalam mewujudkan kemakmuran dan peradaban yang dinamis.

Jeffry Sachs (2000) mengklasifikasikan negara berdasarkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi (Gambar 1). Dapat dilihat bahwa, negara dengan kategori *technological innovators* masyarakatnya

hidup sejahtera, sementara kawasan dengan kategori *technologically excluded*, hidup miskin dan berdesakan. Indonesia termasuk kategori *technological adapters*, namun demikian, hingga saat ini pasar domestik masih dikuasai oleh produk impor.



Gambar 1. Peta dunia berdasarkan penguasaan teknologi (Sachs, 2000)

Dalam beberapa dasawarsa terakhir kita melihat kaitan erat kemajuan ekonomi suatu negara sebagai dampak kebijakan pembangunan berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi. China, India dan Korea yang dengan konsisten menjalankan kebijakan tersebut mengalami kemajuan ekonomi dan industri yang pesat serta mencapai tingkat kemakmuran yang tinggi.

Pada kesempatan ini akan disampaikan bagaimana penguasaan ilmu dan teknologi dinamika benda jamak, yang penulis tekuni, dapat berkontribusi untuk meningkatkan kesejahteraan bangsa serta peningkatan daya saing industri nasional.

Penulis menyadari bahwa bidang tersebut hanya merupakan bagian kecil dari khazanah keilmuan dan kompetensi yang dimiliki oleh civitas academica ITB. Dengan penguasaan serta sinergi antara berbagai pihak yang berkepentingan, penulis yakin bidang tersebut dapat berkontribusi bagi kesejahteraan bangsa.

2. DINAMIKA BENDA JAMAK

Dinamika adalah salah satu ilmu dasar bidang rekayasa yang merupakan cabang ilmu mekanika yang berhubungan dengan benda yang bergerak dan gaya penyebabnya. Salah satu cabang dari ilmu dinamika adalah dinamika benda-jamak (*multibody dynamics*) yang sangat bermanfaat bagi kajian perilaku dinamik berbagai sistem mekanik, termasuk kendaraan, mesin dan mekanisme serta biomekanik.

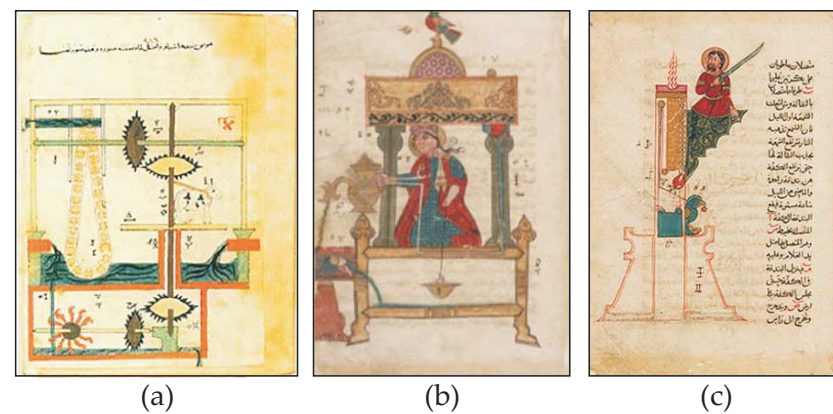
2.1 Sekilas Perkembangan Dinamika

Ketertarikan manusia akan gerak telah dimulai sejak Aristoteles mengamati benda bergerak bebas maupun paksa pada tahun 330 SM menyatakan bahwa benda yang lebih berat akan jatuh lebih cepat dibanding dengan yang lebih ringan (Ross, 2009).

Pandangan Aristoteles banyak dikembangkan oleh ilmuwan dari Arab seperti Averrous dan Avempace pada pertengahan abad ke-13. Pada masa yang sama, Al-Jazari (1136-1206) seorang ilmuwan dan penemu dari

Turki berhasil mengembangkan berbagai mekanisme, seperti poros bubung (*camshaft*), pompa (*saqiya chain pumps, double-action suction pump with valves*), *automata* (salah satunya adalah mekanisme *flush* untuk bersuci), dan jam (*candle clocks, elephant clocks, weight-driven clocks*) seperti pada Gambar 2 (Al-Jazari, 1974).

Pada awal abad ke-14, kelompok *Oxford Calculators* berhasil menjelaskan fenomena gerakan suatu obyek dalam percepatan seragam secara kuantitatif. Mereka juga mengemukakan konsep pemisahan gerak (kinematika) dan penyebabnya (dinamika) (Ross, 2009).



Gambar 2. Hasil pengembangan Al-Jazari: (a) Mekanisme *flush* untuk bersuci, (b) *Saqiya chain pumps*, (c) *Candle clocks* (Hill, 1991)

Penyebab gerak masih belum bisa dijelaskan dengan baik hingga akhir abad ke-16. Diantara ilmuwan yang mempelajari penyebab suatu gerak adalah Galileo Galilei (1564–1642) dan Sir Isaac Newton (1643–1728). Publikasi Newton yang berjudul *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* atau biasanya disingkat *The Principia* yang

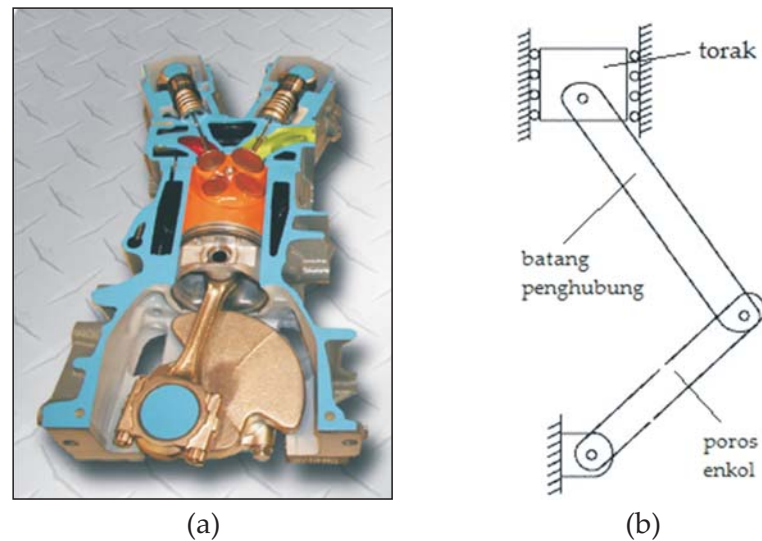
diterbitkan pada tahun 1687 sangat berpengaruh dalam bidang mekanika klasik (Ross, 2009). Newton mendefinisikan terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan massa, momentum, inersia, dan gaya baik pada saat kontak maupun tidak, sebelum kemudian menyatakan tiga hukumnya mengenai gerak.

Hukum Newton kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Euler untuk rotasi benda kaku. Elemen penting dalam dinamika sistem terkendala, didefinisikan oleh Euler pada tahun 1776 (Schiehlen, 1997). Untuk pemodelan kendala dan sendi, Euler telah menggunakan prinsip gaya reaksi pada benda bebas hingga menghasilkan Persamaan Newton-Euler untuk dinamika benda jamak. Mekanika Lagrange atau mekanika analitik kemudian dikembangkan sekitar seratus tahun setelah Newton memperkenalkan hukum geraknya. Dinamika Lagrange menggunakan konsep perpindahan semu dan persamaan gerak Lagrange dirumuskan dengan memanfaatkan konsep energi. Persamaan Newton-Euler dan dinamika Lagrange menjadi dasar dari dinamika benda jamak yang kemudian berkembang seiring dengan perkembangan komputer sampai saat ini.

2.2 Sistem Benda Jamak

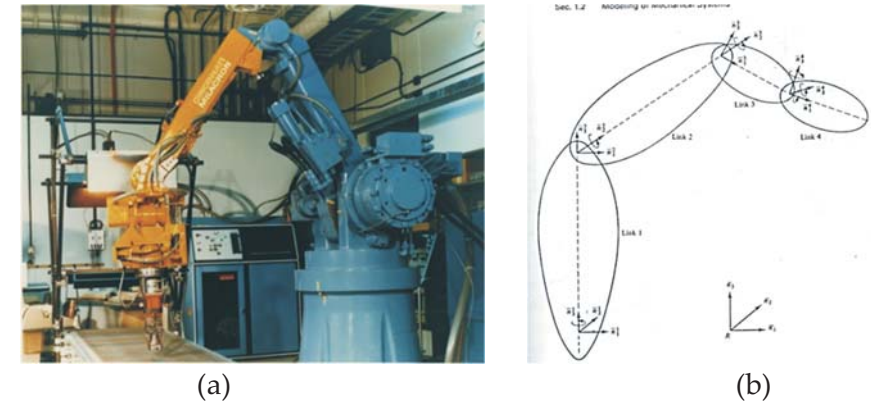
Di sekitar kita banyak sekali dijumpai sistem benda jamak (*multibody system*) yang terdiri dari sejumlah benda (*body*) atau batang yang saling berhubungan melalui sambungan (*joint*) atau interkoneksi yang lalu

membentuk satu kesatuan tunggal. Sebagai contoh, torak (*piston*), batang penghubung (*connecting rod*), poros engkol (*crankshaft*) dan silinder pada motor bakar (Gambar 3), adalah benda yang saling terhubung dan membentuk mekanisme batang-torak (*slider-crank*). Pada sistem ini, tekanan pada ruang bakar mendorong torak yang menggerakkan batang penghubung yang kemudian memutar poros engkol. Terlihat bahwa keberadaan sambungan mengurangi derajat kebebasan tiap benda sehingga mekanisme bergerak secara terkendala (*constrained motion*).



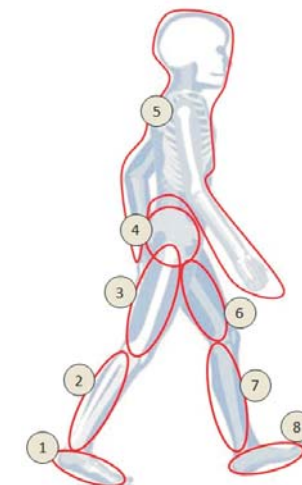
Gambar 3. (a) Mekanisme batang-torak [CalCo Cutaways, 2010] (b) Model sistem benda jamak dari mekanisme batang-torak

Robot Cincinnati T3 pada Gambar 4 merupakan contoh sistem benda jamak yang lebih kompleks karena mempunyai derajat kebebasan dan jumlah benda yang lebih banyak.



Gambar 4. Robot Cincinnati T3: (a) Benda nyata (Anil, 2009), (b) Model sistem benda jamak (Amirouche, 1992)

Setiap benda jamak dapat dikategorikan dalam dua jenis, yaitu sistem rantai tertutup (*closed loop*) atau rantai terbuka (*open loop*). Model tubuh manusia (Gambar 5) adalah contoh sistem benda jamak rantai terbuka.



Gambar 5. Model tubuh manusia sebagai sistem benda jamak rantai terbuka.

Analisis dinamika benda jamak diawali dengan pemberian nomor pada benda seperti pada Gambar 5. Setelah itu, analisis dilakukan dengan

menyelesaikan persamaan gerak sistem benda jamak. Pada sistem kompleks diperlukan perangkat lunak untuk mempermudah perhitungan.

Aplikasi analisis benda jamak berkembang pesat seiring perkembangan teknologi komputasi. Kontribusi Orlandea untuk metodologi penyelesaian masalah dinamik sistem benda jamak melalui program ADAMS (*Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems*), kemudian memicu berbagai perkembangan dan metodologi analisis dinamika benda jamak (Rahnejat, 2000).

Penelitian doctoral penulis tentang ketidakstabilan parametrik pada mekanisme *cam-follower* fleksibel merupakan awal keterlibatan penulis dalam penelitian di bidang dinamika (Mahyuddin, 1993). Penulis kemudian melanjutkan kegiatan penelitian dalam bidang dinamika benda jamak, terutama dinamika kendaraan dan biomekanik.

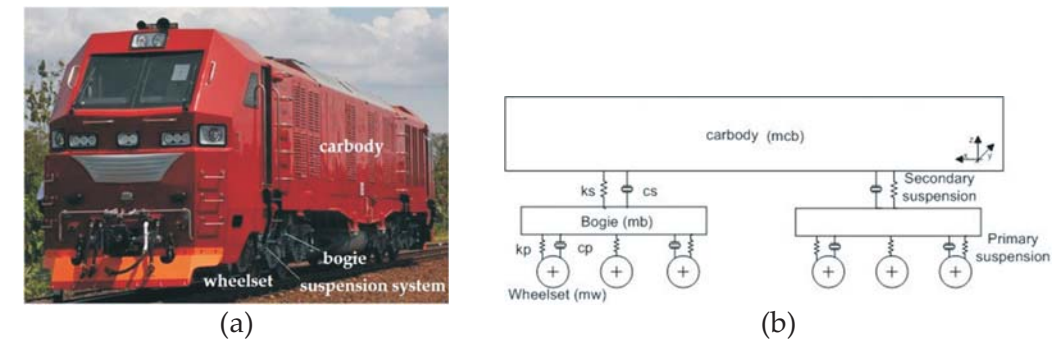
3. DINAMIKA KENDARAAN

3.1 Kendaraan Rel

Kendaraan rel adalah alat transportasi yang memiliki perangkat roda yang bergerak relatif terhadap lintasan (rel) dan arah geraknya mengikuti rel. Kereta api adalah kendaraan rel yang berfungsi sebagai angkutan darat dan mempunyai daya angkut persatuan luas lahan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan kendaraan darat lainnya. Penggunaan kereta

api sebagai sarana transportasi, baik untuk jarak dekat maupun jarak jauh, merupakan solusi yang tepat untuk mengurangi kemacetan jalan raya. Oleh karena itu, penguasaan berbagai teknologi kereta api menjadi penting.

Secara umum kereta api memiliki konstruksi yang terdiri atas badan kereta dan bogie. Perangkat roda terhubung dengan sistem suspensi primer ke bogie yang selanjutnya menumpu badan kereta melalui suspensi sekunder. Sistem suspensi berfungsi menjaga kestabilan kereta serta mengisolasi penumpang dari getaran yang muncul akibat kontak roda dan rel. Gambar 6 menyajikan Lokomotif DH dan model benda jamaknya.



Gambar 6. (a) Lokomotif DH, dan (b) Model benda jamak (Mahyuddin et al., 2011)

Patut dicatat bahwa Lokomotif DH yang dirancang sepenuhnya oleh staf Divisi Teknologi PT INKA pada tahun 2011, merupakan lokomotif pertama karya anak bangsa. Staf dan mahasiswa FTMD beruntung memperoleh kesempatan untuk terlibat dalam proses desain Lokomotif tersebut, mulai dari analisis dinamik, kekuatan struktur serta analisis

termal. Analisis dinamik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Universal Mechanism untuk evaluasi parameter dinamik sistem suspensi (Mahyuddin, et al. 2011).

Dalam pembahasan perilaku dinamik kendaraan rel ada tiga hal penting yang harus diperhitungkan, yaitu stabilitas lateral, kinerja di tikungan, dan kualitas pengendaraan (*ride quality*) (Garg dan Dukkipati, 1984), terkait dengan keamanan, produktivitas dan kenyamanan.

Stabilitas lateral memberikan batasan kecepatan maksimum pada lintasan lurus yang disebut kecepatan kritis. Pengoperasian melampaui batas tersebut akan menyebabkan ketidakstabilan lateral sehingga kereta dapat keluar rel. Sistem suspensi primer yang makin kaku akan meningkatkan kecepatan kritis tapi akan menurunkan kinerja di tikungan berupa penurunan batasan kecepatan maksimum melalui tikungan dan tingkat keausan roda yang lebih besar. Selain itu, kualitas pengendaraan juga dipengaruhi oleh suspensi sekunder. Untuk itu, dalam merancang kendaraan rel diperlukan optimasi parameter dinamik sistem suspensi.

Pengetahuan dan pengalaman dalam pengembangan dinamika benda jamak lokomotif diharapkan dapat membantu penyelesaian masalah keselamatan transportasi massal.

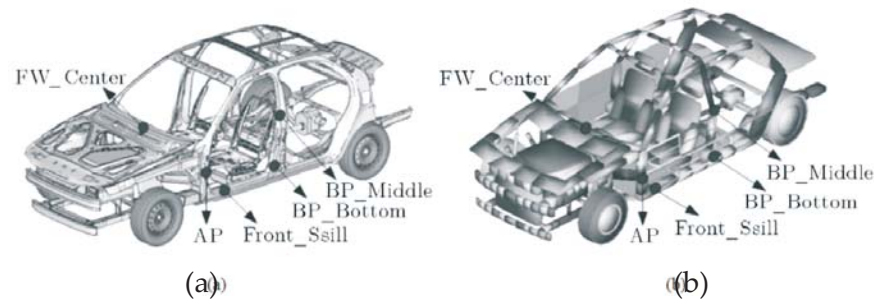
Analisis dinamika benda jamak telah diterapkan pada berbagai permasalahan rekayasa yang dihadapi oleh PT INKA, dan juga pada berbagai jenis kereta api yang dioperasikan oleh PT KAI. Batasan kecepatan, kinerja di tikungan serta kualitas pengendaraan adalah

berbagai parameter yang dapat diperoleh melalui analisis dinamika benda jamak. Tahun 1996 – 1999, penulis terlibat sebagai anggota tim Riset Unggulan Kemitraan (RUK) ITB (Prof. Satryo S. Brodjonegoro, Prof. Komang Bagiasna, Prof. O. Diran dan Prof. Zainal Abidin) bersama PT. INKA dan BPPT dalam pengembangan bogie kereta penumpang kecepatan tinggi. Analisis dinamika benda jamak dilakukan sebagai dasar rancangan dinamik bogie *bolsterless* yang kemudian diproduksi PT. INKA sebagai karya anak bangsa, dan digunakan pada kereta penumpang PT KAI (Satria dan Mahyuddin, 2001). Saat ini, berbagai kegiatan kerjasama industri dalam bidang dinamika kereta api masih berlangsung.

3.2 Kendaraan Penumpang

Aplikasi lain analisis sistem benda jamak adalah untuk melakukan evaluasi laik-tabrak (*crashworthiness*) kendaraan penumpang roda empat melalui simulasi komputer. Sistem benda jamak dapat dimodelkan sehingga mempunyai sifat serupa struktur kendaraan yang sebenarnya (Gambar 7). Dampak tabrakan yang terjadi pada kendaraan dapat disimulasikan melalui deformasi yang terjadi pada model, percepatan kendaraan, dan energi yang diserap struktur kendaraan. Ketiga hal ini dapat dijadikan acuan untuk mengevaluasi desain struktur kendaraan dan *biomechanical injury index* (Ambrósio, 2010).

Saat ini sedang berlangsung penelitian mengenai *crash injuries* berbasis aplikasi benda jamak.



Gambar 7. (a) desain kendaraan dan (b) model sistem benda jamak (Carvalho, 2010)

Aplikasi lain adalah kajian karakteristik dinamik kendaraan penumpang yang juga sangat ditentukan oleh parameter dinamik suspensi. Sistem suspensi berfungsi untuk mengisolasi penumpang dan struktur kendaraan dari ketidakrataan jalan serta menjaga kestabilan kendaraan. Dengan demikian, dua hal penting yang harus diperhitungkan adalah stabilitas yang berpengaruh terhadap keterkendalian (*handling*), dan kenyamanan (*ride*).

Setelah krisis ekonomi, pada awal tahun 2000-an penjualan kendaraan roda dua dan roda empat meningkat tajam diiringi pertumbuhan pesat industri komponen otomotif. Namun, juga terjadi pergeseran paradigma. Jika semula fabrikasi otomotif (OEM) memesan dengan spesifikasi komponen secara lengkap pada produsen komponen, bergeser menjadi hanya spesifikasi kendaraan. Selain itu, muncul permintaan suspensi dengan karakteristik khusus pada *after-market*. Hal ini menyulitkan produsen komponen, misalnya sistem suspensi, yang belum mempunyai kemampuan perancangan parameter suspensi kekakuan dan redaman (Mahyuddin dan Nurprasetio, 2005).

Bersama Prof. Indra Nurhadi dan Dr. Pulung Nurprasetio serta rekan dari Jurusan Teknik Mesin, penulis terlibat dalam program peningkatan kemampuan dan kompetensi dalam kerjasama industri dan perguruan tinggi. Dikembangkan prosedur untuk perancangan parameter suspensi. Pada akhir kegiatan, dirancang dan dimanufaktur berbagai sistem suspensi dengan karakteristik tertentu untuk kemudian diujicobakan pada kendaraan roda empat. Hasil uji dinamika di laboratorium menunjukkan kesesuaian dengan parameter desain dan mendukung keabsahan prosedur. Pengembangan kompetensi ini pada gilirannya diharapkan dapat meningkatkan daya saing industri nasional.

Selain kegiatan dalam dua bidang di atas, rancangan dinamik rantai pemukul (*flail*) pada kendaraan penyapu ranjau mekanik yang membutuhkan pemahaman tentang transfer gaya dari pemukul ke tanah dan ranjau, membawa penulis bersama Prof. Djoko Suharto melakukan kajian respon dinamik struktur terkubur. Analisis transfer gaya dikaji dengan menggunakan model mekanik 4 derajat kebebasan dan diterapkan untuk berbagai jenis tanah (Mahyuddin, Sulaiman, Suharto, 2011). Kajian lebih lanjut tentang hal ini akan memerlukan kerjasama dengan berbagai KK lain.

4. BIOMEKANIK

Biomekanik adalah ilmu yang mempelajari peran mekanika dalam

sistem biologi atau makhluk hidup. Aplikasi biomekanik pada bidang olahraga bertujuan untuk peningkatan prestasi atlet, sedangkan pada bidang kesehatan, dapat digunakan untuk menganalisis kondisi kesehatan dan meningkatkan tingkat kesehatan seseorang. Dalam hubungannya dengan dinamika benda jamak, kajian biomekanik meliputi antara lain analisis gerak pada manusia dan hewan.

Berikut akan dibahas gerak berjalan manusia yang penulis tekuni dalam beberapa tahun terakhir.

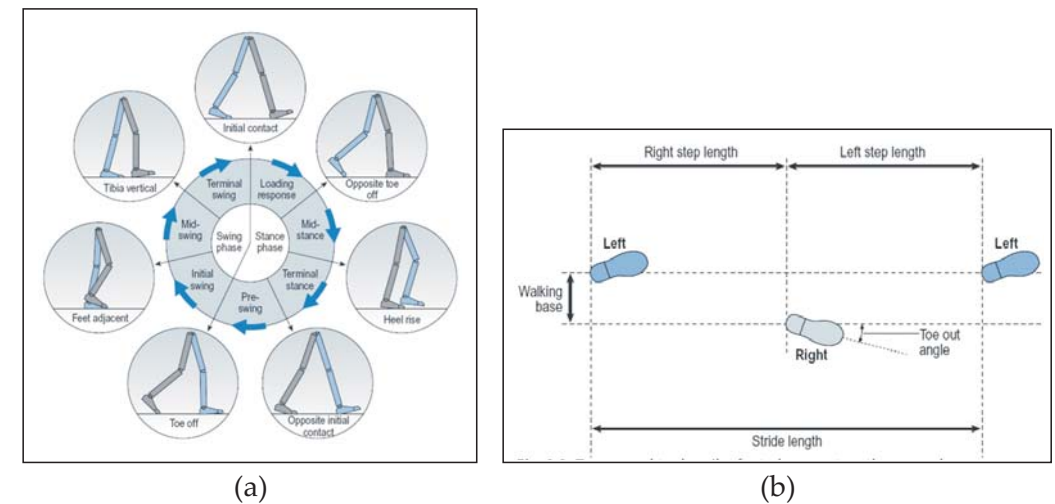
4.1 Analisis Gerak Berjalan (*Gait Analysis*)

Gerak berjalan sebenarnya sangat kompleks karena melibatkan banyak gaya atau momen yang bekerja pada tulang maupun otot. Analisis *gait* adalah suatu studi sistematis mengenai gerakan berjalan makhluk hidup khususnya manusia dengan menggunakan bantuan hasil pengukuran instrumentasi terhadap gerakan tubuh. Aspek yang dipelajari dalam analisis *gait* bisa berupa gerakan tubuh dalam ruang (kinematik) maupun berbagai gaya yang menghasilkan gerak (kinetik). Analisis *gait* paling banyak digunakan dalam bidang kedokteran untuk rehabilitasi medik.

Siklus gerak berjalan (*gait cycle*) terdiri atas fasa menopang (*stance phase*) dan fasa mengayun (*swing phase*), dan didefinisikan sebagai interval waktu antara dua gerakan kaki yang sama dalam kegiatan berjalan yang berulang-ulang (Gambar 8a). Misalnya dari saat kaki kiri menyentuh

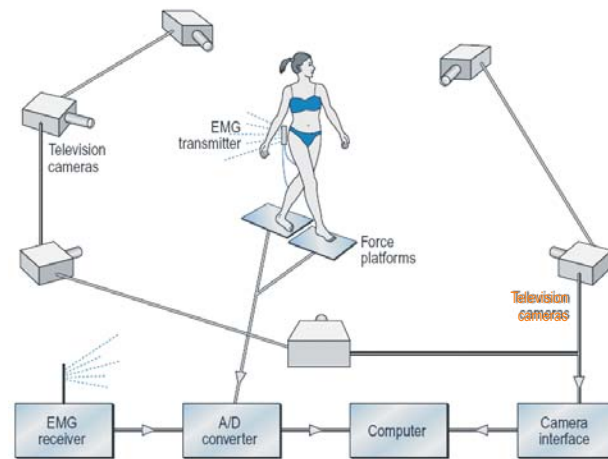
tanah sampai kaki kiri menyentuh tanah kembali (Gambar 8b).

Parameter gerak berjalan biasanya digunakan dalam rehabilitasi medik untuk diagnosis dan pemantauan respon pasien selama proses rehabilitasi medik. Pada umumnya, ada tiga jenis parameter *gait* yang diukur, yaitu parameter spatio-temporal, kinematik, dan kinetik. Parameter *spatio-temporal*, seperti yang ditunjukkan Gambar 8b, merupakan parameter *gait* yang sangat berhubungan dengan ruang dan waktu, seperti panjang langkah (*stride length*), lebar langkah (*walking base*), *toe-out angle*, irama, laju, dan periode berjalan. Parameter kinematik merupakan kumpulan sudut sambungan antara tulang, misalnya sudut lutut. Sementara itu, parameter kinetik terdiri dari *Ground Reaction Force* (GRF) dan berbagai momen untuk tiap sendi.



Gambar 8. (a) Siklus gerak berjalan, (b) Parameter *spatio-temporal* gerak berjalan (Whittle, 2007)

Parameter gerak berjalan dapat diukur menggunakan berbagai instrumen seperti pada Gambar 9. Pengukuran parameter gerak berjalan menggunakan instrument berupa *Electromyography (EMG)* dan *force platform*, dikategorikan sebagai teknik pengukuran langsung. Selain itu, kamera juga dapat digunakan untuk merekam gerakan *marker* yang dipasang pada subyek untuk kemudian dianalisis. Teknik pengukuran demikian disebut dengan teknik pengukuran tidak langsung berbasis optik.



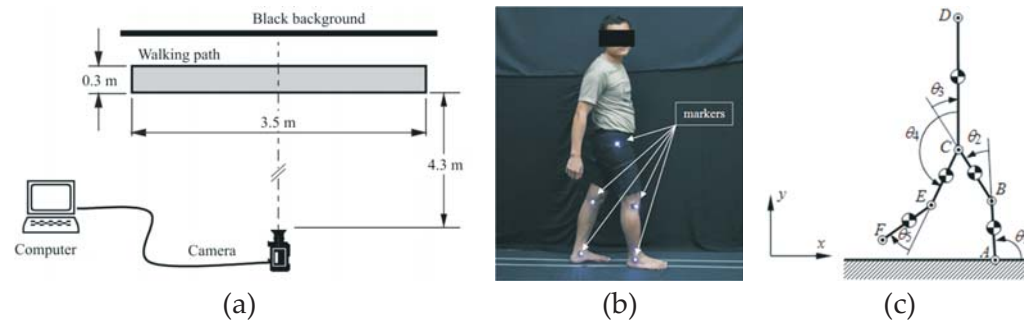
Gambar 9. Teknik pengukuran gerak berjalan manusia (Whittle, 2007)

4.2 Pengembangan Sistem Penganalisis Gerak dengan Harga Terjangkau

Saat ini sebenarnya sudah banyak tersedia sistem penganalisis gerak yang komersil dan mempunyai akurasi tinggi. Akan tetapi, harga sistem sulit terjangkau oleh kebanyakan institusi layanan medis di Indonesia. Selain itu, sampai saat ini belum tersedia basis data gerak berjalan normal orang Indonesia.

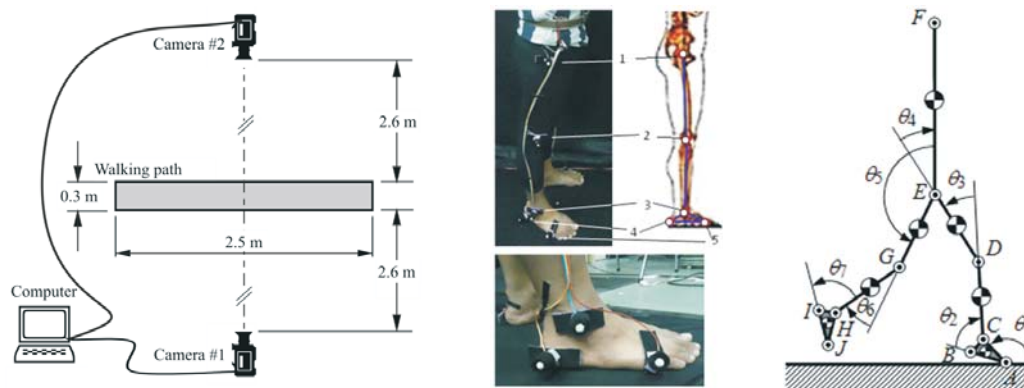
Untuk itu, bersama Dr. Tatacipta Dirgantara, KK Struktur Ringan FTMD, Prof. Tati L.R. Mengko, KK Teknik Biomedika, STEI, dan Dr. Sandro Mihradi beserta tim, penulis mengembangkan sistem analisis gerak berjalan manusia, berbasis kamera video dan PC, untuk memperoleh karakteristik *gait* dengan harga terjangkau, namun dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan, dimulai dari sistem 2D dan dilanjutkan dengan sistem 3D. Sistem analisis gerak berjalan tersebut merupakan integrasi sistem pengolahan citra digital dan sistem analisis kinematika dan kinetik gerak berjalan. Meskipun sederhana, sistem yang dikembangkan mempunyai keandalan yang baik dan cukup memadai untuk menjadi acuan bagi dokter.

Pengembangan sistem pengolahan citra digital untuk akuisisi data 2D dimulai dengan penggunaan kamera video 25 *fps* yang kemudian ditingkatkan sampai 90 *fps* pada pengembangan berikutnya untuk meningkatkan akurasi. Pengambilan data dilakukan pada ruang dengan pengaturan seperti pada Gambar 10a. Kamera dikalibrasi menggunakan DLT (*Direct Linear Transformation*) dan digunakan untuk menghasilkan koordinat kartesius *marker* yang ditempelkan pada kaki subyek (Gambar 10b). Data posisi *marker* tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan parameter kinematik dan kinetik menggunakan model sistem benda jamak. Untuk tahap awal, tubuh manusia dimodelkan sebagai benda jamak sederhana yang terdiri atas 5 segmen seperti pada Gambar 10c.



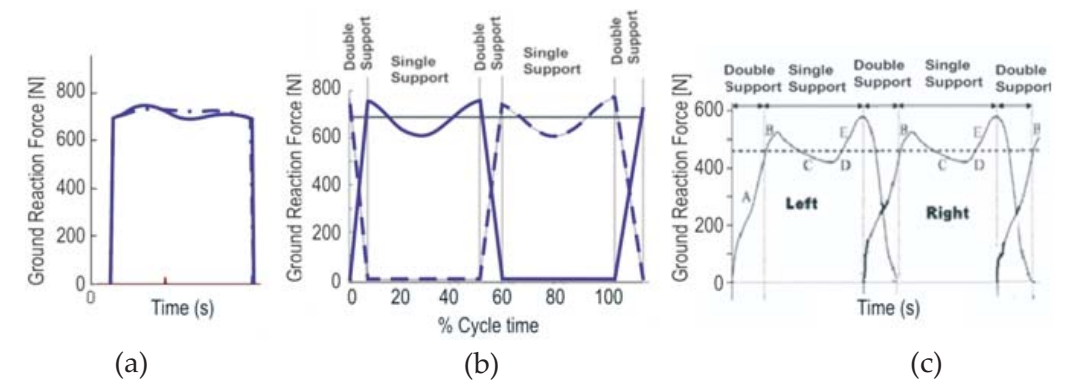
Gambar 10. Pengembangan sistem penganalisis gerak 2D tahap awal: (a) Set-up ruangan pengambilan data, (b) Penempatan marker, dan (c) Model tubuh manusia 5 segmen

Untuk dapat menghasilkan parameter *gait* yang lebih banyak, sistem penganalisis gerak 2D dikembangkan dengan menambahkan telapak kaki sehingga menjadi model benda jamak dengan 7 segmen. Pada tahap ini digunakan 2 kamera 90 *fps* untuk merekam gerakan *marker* dari kedua sisi subyek (Gambar 11a). Analisis kinematika dan kinetik kemudian dilakukan berdasarkan data posisi *marker* dalam koordinat kartesius.



Gambar 11. Pengembangan sistem penganalisis gerak 2D tahap II: (a) Pengaturan ruangan pengambilan data, (b) Penempatan marker, (c) Model tubuh manusia 7 segmen

Sebagai contoh disajikan hasil analisis kinetik gerak berjalan berupa gaya reaksi tanah dalam arah sumbu-*y* seperti pada Gambar 12a dan 12b untuk kedua model di atas. Perbandingan antara hasil yang diperoleh dengan referensi (Gambar 12c) menunjukkan kesesuaian yang baik sehingga algoritma yang dikembangkan untuk kedua model di atas dapat digunakan dalam analisis gerak berjalan.



Gambar 12. Gaya reaksi tanah arah sumbu-*y*: (a) 5 segmen, (b) 7 segmen, (c) Hamill, 2009

Bersama dr. Marina Moeliono, Sp. RM, dan tim, Bagian Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi, RS Hasan Sadikin, sistem analisis gerak 2D diimplementasikan untuk mengumpulkan basis data *gait* normal orang Indonesia berdasarkan jenis kelamin dan kelompok umur. Sebelum proses pengukuran, postur tubuh dan *Body Mass Index* (BMI) tiap subyek dievaluasi untuk memeriksa kenormalan (Gambar 13).



Gambar 13. Pemeriksaan postur dan BMI subyek

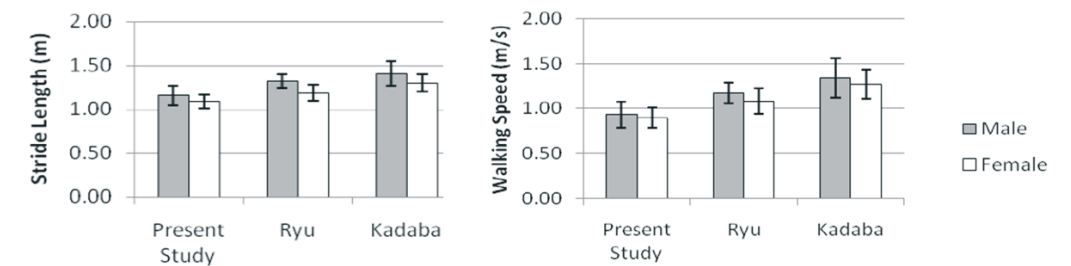
Penyusunan basis data gerak berjalan normal orang Indonesia sangat diperlukan untuk kuantifikasi parameter gerak berdasarkan anatomi orang Indonesia, yang diharapkan dapat dijadikan rujukan dalam melakukan diagnosis dan merancang protokol terapi rehabilitasi medik, antara lain untuk penderita *stroke*, *cerebral palsy*, dan *scoliosis*.

Hasil pengukuran 300-an subyek ini merupakan awal kontribusi bagi pengembangan basis data gerak berjalan normal Indonesia dan merupakan basis data yang pertama kali tersedia.

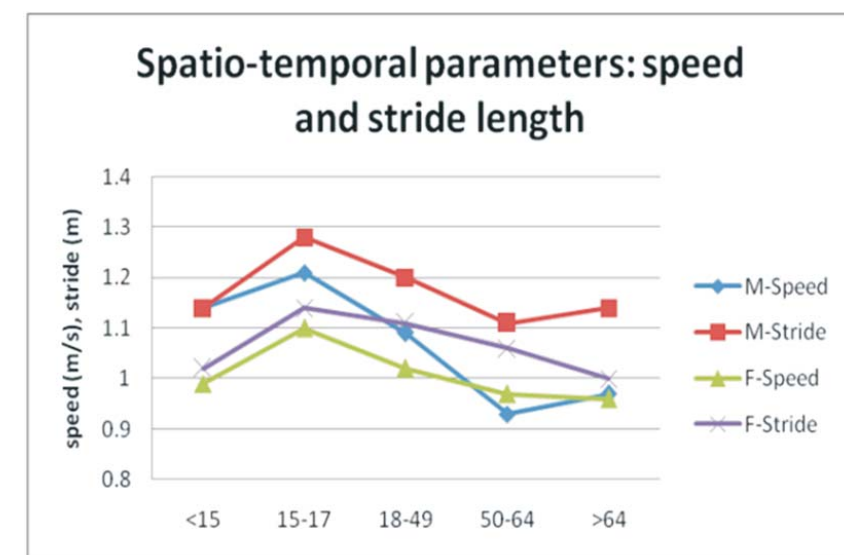
Basis data yang diperoleh menunjukkan rata-rata orang Indonesia mempunyai panjang langkah yang lebih pendek dan laju berjalan yang lebih lambat dibandingkan basis data orang Korea (Ryu, 2006) dan Amerika (Kadaba, 1990) seperti terlihat pada Gambar 14.

Gambar 15 menunjukkan perbandingan panjang langkah dan laju berjalan berbagai kelompok umur. Terlihat pada Gambar 15 bahwa

panjang langkah pria lebih besar. Panjang langkah untuk kelompok umur 15 – 17 tahun lebih besar jika dibandingkan dengan kelompok umur <15 tahun. Namun, panjang langkah menjadi lebih kecil seiring bertambahnya umur. Dari basis data gerak berjalan tersebut, teramati juga bahwa proses degenerasi orang Indonesia terjadi relatif lebih awal dibandingkan orang di negara maju.



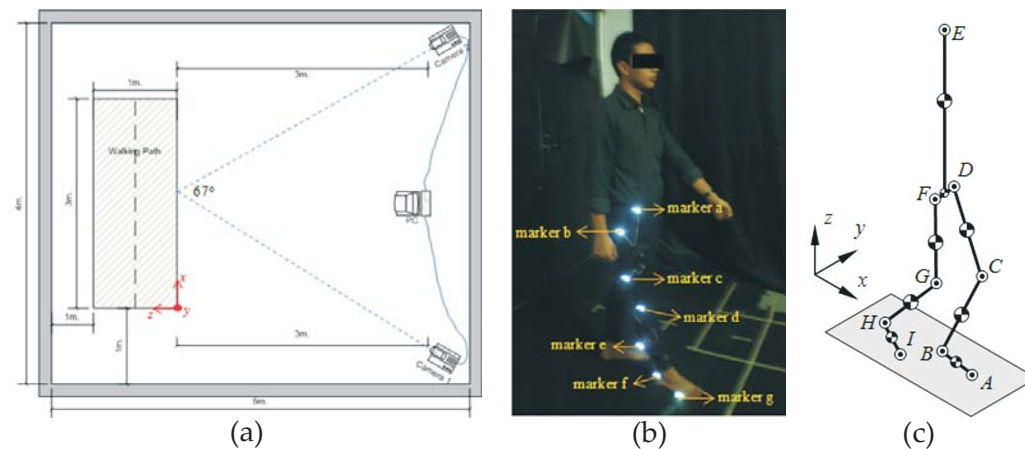
Gambar 14. Perbandingan panjang langkah dan laju berjalan antara orang Indonesia, Korea, dan Amerika



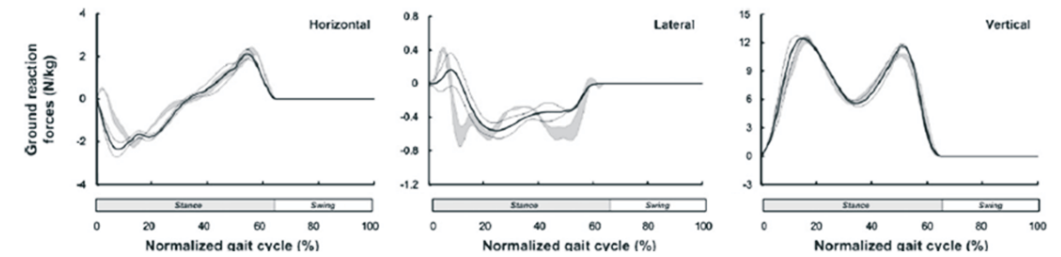
Gambar 15. Perbandingan panjang langkah dan laju berjalan untuk berbagai kelompok umur

Meskipun parameter 2D sudah memberikan informasi utama, model benda jamak 3D tetap diperlukan untuk melakukan analisis kinematik dan kinetik lebih rinci.

Untuk itu, dikembangkan sistem penganalisis gerak berjalan 3D, menggunakan dua kamera 90 fps (Gambar 16a) dan disusun algoritma kinematik dan kinetik menggunakan model benda-jamak 3D 8-segmen (Gambar 16c). Pada sistem ini dilakukan perbaikan akurasi melalui proses kalibrasi berbasis modifikasi metode Zhang (2003) sehingga diperoleh akurasi yang lebih tinggi jika dibandingkan DLT (Ferryanto et al., 2013). Sebagai contoh, hasil berupa kurva gaya reaksi tanah selama berjalan serta kurva gaya reaksi tanah dari referensi disajikan dalam Gambar 17.



Gambar 16. Pengembangan sistem penganalisis gerak 3D: (a) Pengaturan ruangan pengambilan data, (b) Penempatan marker, (c) Model tubuh manusia 8 segmen



Gambar 17. Kurva gaya reaksi tanah hasil analisis kinetik (garis solid) dan referensi (area abu-abu) [Ren et al., 2008].

Perbandingan gaya reaksi tanah hasil pengembangan sistem penganalisis gerak dengan referensi (Gambar 12 dan 17) menunjukkan kesesuaian yang tinggi. Dengan demikian, sistem penganalisis gerak yang dikembangkan dapat menghasilkan parameter *gait* yang cukup akurat walaupun menggunakan instrumen yang sederhana.

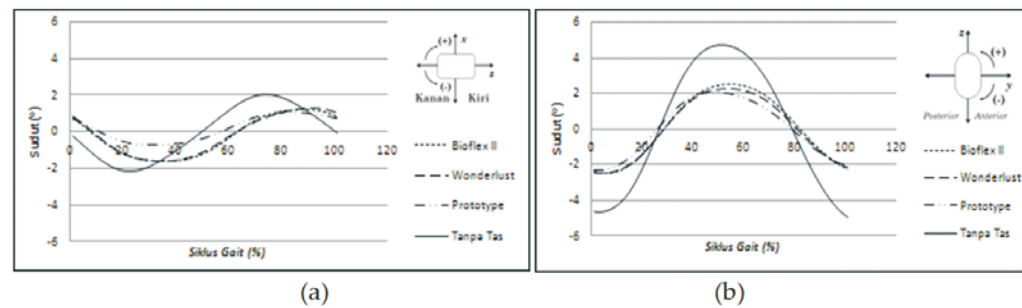
Sistem analisis 3D yang dikembangkan juga telah digunakan untuk mengukur segmen bagian atas tubuh manusia dalam mengevaluasi pengaruh penggunaan beberapa jenis tas punggung terhadap rentang gerak rotasi dada dan panggul, seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



Kegiatan ini merupakan kolaborasi dengan dr. Alwin Tahid, Sp.KFR, FK UNPAD dan PT Eigerindo Multi Produk Industri (Eiger).

Gambar 18. Pengukuran gerak rotasi dada dan panggul

Gerakan subyek direkam dan diolah sehingga didapatkan data gerak *pelvic obliquity*, gerak *pelvic rotation*, gerak *thoracic obliquity*, gerak *thoracic rotation*, gerak *backpack obliquity*, gerak *backpack rotation*, dan kecepatan sudut dan percepatan sudut untuk dada, panggul, dan tas punggung. Hasil pengukuran berupa gerak *thoracic obliquity*, dan *thoracic rotation* disajikan pada Gambar 19.



Gambar 19. Perbandingan gerakan dada, (a) *thoracic obliquity*, dan (b) *thoracic rotation*

Kegiatan ini dapat membantu industri dalam pengembangan desain tas punggung yang berfungsi baik, nyaman digunakan dan tidak menimbulkan cedera.

Saat ini, sistem penganalisis gerak berjalan 3D digunakan untuk memperoleh parameter 3D gerak berjalan orang Indonesia dalam rangka menyusun basis data yang dapat dijadikan rujukan. Kelak, sistem penganalisis yang dikembangkan diharapkan dapat tersedia untuk digunakan oleh institusi layanan medis di Indonesia untuk keperluan rehabilitasi medik dan desain prostetik.

4.3 Kegiatan Lainnya

Beberapa kegiatan penelitian lain terkait dengan biomekanik disampaikan secara ringkas sebagai berikut.

4.3.1 Alat Fiksasi Internal dan Eksternal

Akibat kecelakaan, sering terjadi patah tulang yang dapat menyebabkan cacat permanen jika tidak ditangani dengan serius. Umumnya, penanganan patah tulang melibatkan alat fiksasi tulang internal atau eksternal sebagai penyangga dalam masa pemulihan. Oleh karena itu, alat fiksasi tulang merupakan peralatan medis yang sangat penting, dan memegang peranan besar dalam penanganan patah tulang.

Bekerja sama dengan Dr. dr. Hermawan Nagar Rasyid, Sp.OT(K), MT (BME), FICS, dan tim, Bagian Ortopaedi dan Traumatologi, FK UNPAD/RSHS, dan dr. Ferry D. Trilasto, Sp.OT, dilakukan penelitian dan pengembangan alat fiksasi internal dan eksternal untuk tulang panjang.

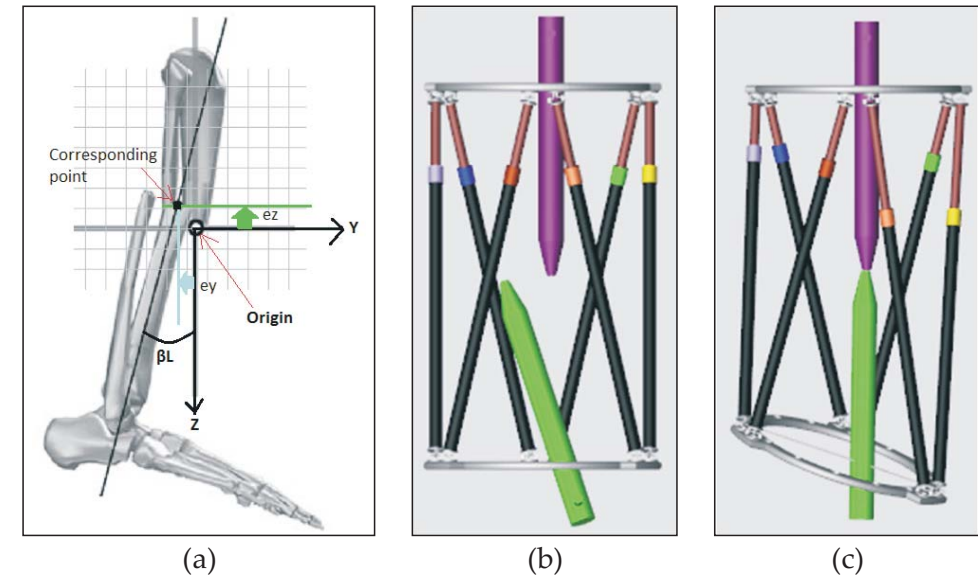
Alat fiksasi eksternal umumnya digunakan pada bagian luar tubuh dalam proses penyembuhan tulang yang patah. Salah satu alat fiksasi eksternal terkini, *Taylor Spatial Frame (TSF)*, telah dikembangkan dengan tujuan untuk memperbaiki patah tulang yang kompleks atau tulang yang mengalami kelainan. *TSF* merupakan alat fiksasi dengan 6 derajat kebebasan, dari 2 cincin yang dihubungkan oleh 6 penyangga (*strut*), yang bisa diatur panjangnya, menggunakan *universal joint*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20 (Southard, 2010).



Gambar 20. Taylor Spatial Frame (Southard, 2010)

Tanpa panduan, akan sulit bagi dokter bedah tulang untuk menentukan panjang penyangga (*strut*) agar diperoleh posisi tulang yang diinginkan. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah perangkat lunak analisis *inverse* kinematika untuk memperoleh panjang penyangga pada tiap tahapan, sampai akhirnya diperoleh posisi tulang yang diinginkan. Diharapkan piranti lunak ini dapat membantu dokter bedah dalam merencanakan protokol pemulihan tulang yang patah.

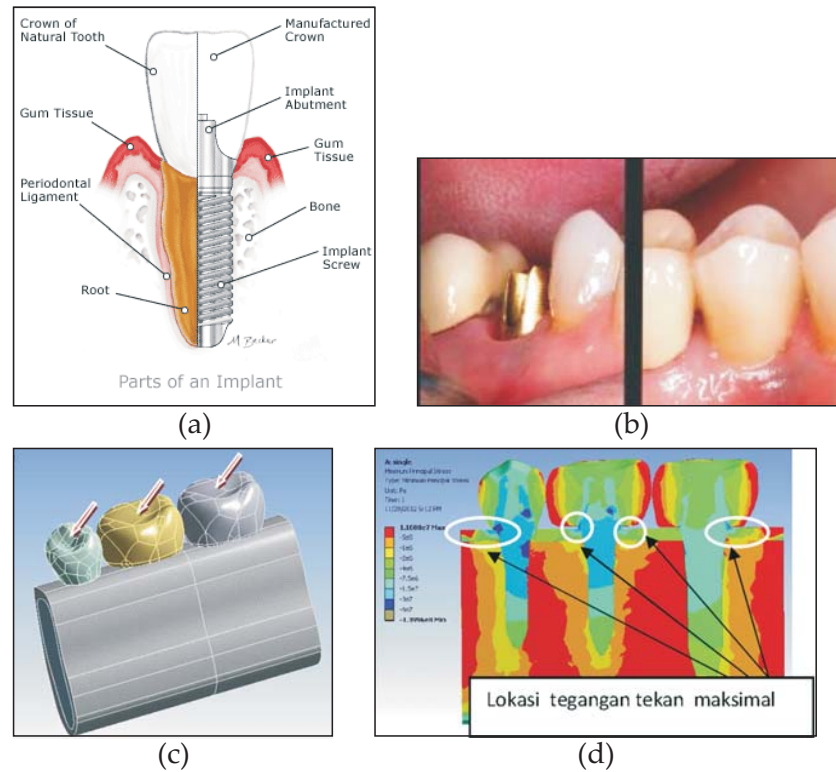
Gambar 21 menunjukkan contoh hasil simulasi perubahan posisi awal cincin menuju posisi akhir dan sekaligus memperbaiki posisi tulang yang berdeformasi.



Gambar 21. (a) Deformasi tulang, (b). konfigurasi awal TSE, dan (c). Konfigurasi akhir TSE

4.3.2 Distribusi Tegangan pada Implan Gigi

Salah satu cara penanggulangan keompongan adalah dengan pemasangan implan gigi yang bersifat permanen. Namun demikian, pemasangan implan gigi akan mempengaruhi distribusi tegangan yang terjadi di sekitarnya. Bekerja sama dengan drg. Gantini Subrata, M.Kes beserta tim dari Bagian Prostodonti, FKG Unpad, dilakukan penelitian tentang distribusi tegangan yang terjadi dalam kasus pemasangan implan gigi pada pasien, menggunakan teknik rekonstruksi gigi secara digital dan metode elemen hingga, yang contoh hasilnya ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. (a) Implan gigi, (b) pemasangan implan gigi (c) rekonstruksi digital geometri implan gigi beserta tulang rahang (d) contoh distribusi tegangan tekan akibat beban saat mengunyah

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat membantu dokter gigi dalam pengambilan keputusan saat melakukan diagnosis, memilih desain implan dan proses pemasangan yang cocok, agar diperoleh kenyamanan, fungsi kunyah, kecantikan, fungsi bicara dan atau kesehatan secara keseluruhan pada penderita dengan gigi tiruan, serta meminimalkan efek samping yang mungkin timbul dari proses pemasangan implan gigi tersebut.

5. CATATAN PENUTUP

Dari berbagai uraian di atas terlihat bahwa ilmu dinamika benda jamak dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi. Berbagai kegiatan pengembangan bidang keilmuan serta penerapannya untuk menumbuhkan kemandirian industri nasional ke depan diharapkan akan berperan dalam mewujudkan 'visi' ITB untuk menjadi simpul pengembangan teknologi dan industri nasional berkelas dunia. Untuk itu, penulis akan melanjutkan pengembangan pendidikan dan penelitian dalam bidang dinamika benda jamak untuk berbagai aplikasi terutama dinamika kendaraan dan biomekanik, bekerja sama dengan peneliti dari berbagai KK di ITB, maupun dari luar ITB, serta industri.

ITB dengan potensi keilmuan yang sangat luas berpeluang untuk memainkan peran kunci dalam membangun industri nasional.

Keinginan untuk menguasai kemampuan teknologi dan mengurangi ketergantungan pada produk import, memicu pendirian Pusat Pengembangan Teknologi dan Industri sebagai *National Resource Center* di ITB yang dilakukan bersama dengan Kemenperin, Kemenkes, asosiasi industri dan berbagai pihak terkait.

Kesepakatan antara Kementerian Perindustrian dan Institut Teknologi Bandung tentang pendirian *Pusat Pengembangan Teknologi dan Industri (PPTI) untuk bidang Alat Kesehatan dan Mesin Perkakas* telah ditandatangani pada bulan Desember 2011, dan telah dilakukan berbagai aktivitas untuk mewujudkan Pusat tersebut.

Pusat akan berperan dalam pengembangan keilmuan di institusi serta menunjang tumbuhnya industri nasional agar peningkatan penggunaan produksi dalam negeri yang dicanangkan oleh Pemerintah dapat terlaksana. Selain itu, Pusat dapat berperan dalam mewujudkan peran ITB sebagai *technology innovator* dan *incubator* untuk mencapai kemandirian teknologi bangsa. Pertumbuhan dan kemandirian industri nasional pada akhirnya tentu akan berdampak pada peningkatan ekonomi dan kesejahteraan bangsa.

Secara khusus, bersama dengan peneliti dari berbagai KK di ITB dan dari berbagai institusi lain, penulis ingin terus melanjutkan pengembangan keilmuan dan menerapkannya dalam mendukung industri kesehatan nasional.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Arhamarrahimiin, atas segala karuniaNya. Penghargaan dan terima kasih kepada Pimpinan dan Anggota Majelis Guru Besar ITB atas kehormatan dan kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan Pidato Ilmiah di hadapan hadirin sekalian.

Penulis sampaikan takzim dan terima kasih kepada para guru dan pendidik yang dengan tulus ikhlas telah mendidik dan mengajar penulis di SD 8, SMP 4 dan SMA 1 Bukittinggi.

Penulis ingin menyampaikan hormat dan terima kasih kepada Prof. Djoko Suharto, yang telah membimbing dan menginspirasi penulis untuk ikut berkiprah di dunia pendidikan dan tetap tinggal di ITB. Beliau senantiasa memberikan dukungan dan dengan tanpa lelah mengingatkan penulis untuk meraih jabatan Guru Besar serta kemudian memberikan rekomendasi.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Komang Bagiasna, Prof. Wiranto Arismunandar, Prof. Indra Nurhadi, Prof. Tati Latifah R. Mengko dan Prof. Bermawi P. Iskandar atas rekomendasi yang diberikan untuk kenaikan jabatan ke Guru Besar.

Prof. Ashok Midha, pembimbing penulis saat mengikuti program Pascasarjana di Purdue University, USA, berperan dalam membentuk pribadi penulis sebagai peneliti.

Terima kasih pada para pendahulu di Teknik Mesin serta KBK Konstruksi/ KK Perancangan Mesin yang telah memberi bimbingan dan kesempatan bagi penulis untuk berkarya di ITB. Prof. Samudro (alm), Prof. Darmawan Harsokoesoemo (alm), Prof. Satryo S. Brodjonegoro dan Prof. Komang Bagiasna mempersiapkan penulis mengikuti program Pascasarjana sebagai staf Pusat Antar Universitas – Ilmu Rekayasa.

Terima kasih dan penghargaan juga penulis sampaikan kepada rekan anggota KK Perancangan Mesin dan pimpinan FTMD serta seluruh keluarga besar atas bantuan dan dukungannya selama ini.

Terima kasih penulis sampaikan pada rekan peneliti, dari berbagai KK

di ITB, FK dan FKG, Unpad serta industri, atas kerjasamanya. Secara khusus, pada Dr. Tatacipta Dirgantara dan Dr. Sandro Mihradi yang bersama penulis dengan tekun menggeluti bidang biomekanik, serta para mahasiswa bimbingan yang telah bekerja keras. Tanpa kontribusi mereka semua dan banyak pihak lain, semua capaian yang penulis sampaikan tidak akan terwujud.

Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih pada rekan dan semua pihak yang terlibat dalam pendirian PPTI MP dan AK.

Ucapan terima kasih kepada Kakek dan Nenek alm. H. Rapani dan almh. H. Sariamin, beserta seluruh keluarga besar Rapani. Ayahanda Alm. A. Mahyuddin Dt. Nan Gapuak dan ibunda Anizar Rapani untuk segenap kasih sayang dan jerih payahnya. Beliau semua dengan tulus dan penuh kasih sayang membesarkan dan mendidik penulis. Senantiasa mendukung dan mendorong penulis untuk berprestasi sehingga mencapai posisi saat ini.

Terima kasih pada Ayahanda A. Marzoeki Soelaiman Dt. Paduko Sati dan Ibunda R. A. Siti Saleha (almh) beserta seluruh keluarga besar Marzoeki untuk perhatian dan dukungannya.

Kepada isteri tercinta Puti Karin Fatima Marzoeki dan ananda tersayang Puti Aliya Khalida, penulis sampaikan ungkapan kasih untuk dukungan, pengertian dan kesabarannya menghadapi penulis yang sering kurang meluangkan waktu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan tersebut dengan pahala dan kebaikan berlipat ganda serta memberikan rahmat dan berkahNya bagi kita. Aamiin Ya Rabb-al-Alamin.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jazari. (1974). *The Book of Ingenious Mechanical Devices (Kitab fi ma 'rifat al-hiyal al-handasiyya)*. Dordrecht Publishing Company.
- Ambrósio, J., & Silva, M. (2005). Multibody Dynamics Approaches for Biomechanical Modeling in Human Impact Applications. *Solid Mechanics and Its Applications, Volume 124*, 61-80.
- Amirouche, F. (1992). *Computational Methods in Multibody Dynamics*. New Jersey: Prentice Hall.
- Anil. (2009, July 26). *CINCINNATI MILACRON T3 ROBOT ARM*. Retrieved April 5, 2013, from <http://anil89cs.wordpress.com/2009/07/26/cincinnati-milacron-t3-robot-arm/>
- CalCo Cutaways. (2010, Oktober 19). *CalCo NEWS*. Retrieved April 4, 2013, from <http://news.calcocutaways.com/tag/power-cutaway/>
- Claes, L., Heitemeyer, U., Krischak, G., Braun, H., & Hierholzer, G. (1999). Fixation technique influences osteogenesis of comminuted fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 221-9.

- Dirgantara, T., Mahyuddin, A. I., & Mihradi, S. (2012). Development of Affordable Optical Based Gait Analysis System. *ASEAN Engineering Journal, Vol. 2, No. 1*, 12-29.
- Ferryanto, Mihradi, S., Dirgantara, T., & Mahyuddin, A. I. (28 - 29 Agustus 2013). Camera Calibration Technique Improvement for 3D Optical Gait Analyzer System. *International Conference on Advances in Mechanical Engineering*. Melaka, Malaysia. (accepted for presentation)
- Garg, V., & Dukkipati, R. (1984). *Dynamics of Railway Vehicle Systems*. Canada: Academic Press.
- Hamill, J., & Knutzen, K. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement, 3rd Edition*. Massachusetts: Lippincott Williams & Wilkins.
- Hatze, H. (1974). The meaning of the term: "Biomechanics". *Journal of Biomechanics, Vol. 7*, 189–190.
- Henda, A. I. (2012). *Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Analisis Kinematika dan Kinetika Gerak Berjalan Manusia 3D*. Bandung: FTMD ITB.
- Hill, D. (1991). Mechanical Engineering in the Medieval Near East. In *Scientific American* (pp. 64-9).
- J. Charles Taylor, M. (2002). *Correction of General Deformity with The Taylor Spatial Frame FixatorTM*. Memphis, Tennessee.
- Kadaba, M., Ramakrishnan, H., & Wootten, M. (1990). Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking. *Journal of*

- Orthopaedic Research* 8, 383-392.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of Biomechanics, 2nd edition*. New York: Springer.
- Mahyuddin, A. (1993). *Analytical and Experimental Investigations of Dynamic Response and Parametric Instability in Flexible Cam-Follower Mechanisms*. West Lafayette, IN 47907, USA: School of Mechanical Engineering, Purdue University.
- Mahyuddin, A. I., Mihradi, S., Dirgantara, T., Moeliono, M., & Prabowo, T. (2012). Development of Indonesian Gait Database using 2D Optical Motion Analyzer System. *ASEAN Engineering Journal, Vol 2, No. 2*, 62-72.
- Mahyuddin, A. I., & Nurprasetio, I. (May 18 - 20, 2005). Design Calculation of Vehicle Suspension System. *Proceedings 2005 JSAE Annual Congress*, (JSAE Paper No. 20055468). Yokohama, Japan.
- Mahyuddin, A. I., Febriartanto, A., Akbar, A., & Handoko, Y. (2011). Multibody Dynamic Stability Analysis of a Diesel-Hydraulic Locomotive. *Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 3*, 219-226.
- Mahyuddin, A. I., Sulaiman, N., and Suharto, D., 2011, "Dynamic response of shallow buried structures associated with landmine clearing operations", *Journal of Terramechanics, Vol. 48* (2011) 215–224.
- Pedju, A. M., 2009, "University-Led Development Strategy", disampaikan

pada *One Day Seminar on Triple Helix, ITS, Surabaya, 9 Aug 2010*.

- Rahnejat, H. (2000). Multi-body dynamics: historical evolution and application. *Proc Instn Mech Engrs Vol 214 Part C*, 149-173.
- Ren, L., Jones, R., & Howard, D. (2008). Ren, L., JoWhole-body inverse dynamics over a complete gait cycle based only on measured kinematics. *Journal of Biomechanics, Vol. 41*, 2750-2759.
- Ross, A. (2009). A Rudimentary History of Dynamics. *Modeling, Identification, and Control, Vol. 30, No. 4*, 223-235.
- Ryu, T., Choi, H. S., Choi, H., & Chung, M. K. (2006). A comparison of gait characteristics between Korean and Western people for establishing Korean gait reference data. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36, 1023–1030.
- Sachs, J. (2000, June 20). A new map of the world. *The Economist*.
- Satria, I., & Mahyuddin, A. (2001). Analisis Kestabilan dan Respons Dinamik Kereta Penumpang dengan Bogie Bolsterless. *Proceedings of Experimental & Theoretical Mechanics 2001 (ETM 2001)*, (pp. 150-161). Bandung.
- Schiehlen, W. (1997). Multibody System Dynamics: Roots and Perspective. *Multibody System Dynamics 1*, 149-188.
- Schiehlen, W. (2007). Research trends in multibody system dynamics. *Multibody Syst Dyn* 18, 3-13.
- Southard, W. (2010). *Long Bone Orthopedics*. Retrieved April 4, 2013, from

Long Bone Orthopedics:

<http://bme240.eng.uci.edu/students/10s/wsouthar/index.html>

- Steinbock, R. (2006). *Isaac Newton and The Scientific Revolution*. Kentucky: The Mountain Goat Press.
- Whittle, M. (2007). *Gait Analysis: An Introduction (4th ed.)*. Butterworth Heinemann, USA: Elsevier Ltd.
- Zhang, Z. (2003). Camera Calibration. In G. Medioni, & S. B. Kang, *Emerging Topics in Computer Vision* (pp. 5 - 17). California: IMSC Press Multimedia Series.

CURRICULUM VITAE



Nama : **ANDI ISRA MAHYUDDIN**
Tmpt./Tgl Lahir : Bukittinggi, 5 Februari 1959
Nama Istri : Puti Karin Fatima Marzoeki
Nama Anak : Puti Aliya Khalida
Alamat Kantor : KK Perancangan Mesin
Fakultas Teknik Mesin dan
Dirgantara (FTMD), ITB
Jl. Ganesa 10, Bandung 40132
Telp. (022) 2504243

1. RIWAYAT PENDIDIKAN

- 1993 : Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA
- 1988 : MSME, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA
- 1984 : Sarjana Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung

2. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

<i>NO.</i>	<i>JABATAN FUNGSIONAL</i>	<i>TMT</i>
1.	Asisten Ahli Madya	01 Mei 1986, FTI
2.	Asisten Ahli	01 April 1987, FTI
3.	Lektor Muda	01 Mei 1994, FTI
4.	Lektor Madya	01 Juli 1996, FTI

NO.	JABATAN FUNGSIONAL	TMT
5.	Lektor	01 Agustus 2000, FTI
6.	Lektor Kepala	01 Januari 2001, FTI
7.	Guru Besar	01 November 2012, FTMD

3. RIWAYAT KERJA di ITB

- Oktober 2011 – : Ketua KK Perancangan Mesin, FTMD
- Januari 2011 – : Koord. Kerjasama Internasional, FTMD
- 2008 – 2010 : Dekan, FTMD – ITB
- 2006 – 2007 : Wakil Dekan bidang Sumberdaya, FTI – ITB
- 2002 – 2005 : Ketua Departemen Teknik Mesin, FTI – ITB
- 1998 – 2002 : Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, FTI – ITB
- 1996 – 1998 : Sekjurmawa Jurusan Teknik Mesin, FTI – ITB

4. PENGHARGAAN

- a. Medali Ganesa Wira Adiutama dari ITB (2011)
- b. Penghargaan Pengabdian 25 Tahun ITB (2010)
- c. Satyalencana Karya Satya XX Tahun Pemerintah RI (2007)
- d. Satyalencana Karya Satya X Tahun Pemerintah RI (2000)

5. PENELITIAN

- Andi I. Mahyuddin, P. Nurprasetio, D. Suharto, *The Development of Error Control Methods in Stochastic Fatigue-Testing and Design and Manufacturing Method of Servohydraulic Testing Machines*, 1995-1998, Graduate Research Team – URGE, Batch I.

- S.S. Brodjonegoro, O. Diran, K. Bagiasna, A.I. Mahyuddin, Z. Abidin, *The Development of Prototype Bogie for High-Speed Railcar*, 1996-1999, RUK - Ministry of Research and Technology and PT INKA.
- Indra Nurhadi, Andi I. Mahyuddin, *The Development of Vibration Based Diagnostic Technique for Crack Detection in Rotor Systems*, 1997-1999, Graduate Research Team – URGE, Batch III.
- Indra Nurhadi, Andi I. Mahyuddin, *The Development of Vibration Based Diagnostic Techniques for Internal Combustion Engines*, 1996, Hibah Bersaing, DP2M, Dikti
- Indra Nurhadi, Andi I. Mahyuddin, *Studi Parameter Desain Low-Deck Articulated Bus untuk Transportasi Massal dalam Kota*, 2006, LPPM – ITB.
- A.I. Mahyuddin, T. Dirgantara, S. Mihradi, I.S. Putra, Tati R. Mengko, *Pengembangan Sistem Analisis Gerak Manusia Berbasis Citra Digital untuk Keperluan Rehabilitasi Medik dan Desain Prostesa*, 2008, Riset Insentif Terapan, KMNRT.
- S. Mihradi, A.I. Mahyuddin, T. Dirgantara, *Development of an Integrated System for Human Gait Analysis with Application in Medical Rehabilitation and Prosthesis Design*, 2009, Hibah Riset IA ITB.
- A.I. Mahyuddin, T. Dirgantara, S. Mihradi, *Pengembangan Perangkat Analisis 2D Gerak Manusia Siap Pakai pada Institusi Pelayanan Medis untuk Keperluan Rehabilitasi Medik*, 2010, Program Riset KK ITB.
- A.I. Mahyuddin, S. Mihradi, M. Moeliono, T. Prabowo,

Pengembangan Basis Data Gerak Berjalan Manusia Indonesia Menggunakan Perangkat Analisa Berbasis Citra Digital untuk Keperluan Rehabilitasi Medik dan Disain Prostesa, 2010, Program Hibah Kerjasama antara Lembaga dan Perguruan Tinggi, DP2M-Dikti.

- A.I. Mahyuddin, S. Mihradi, T. Dirgantara, Pengembangan Perangkat Analisis 3D Gerak Manusia Siap Pakai Pada Institusi Pelayanan Medis untuk Keperluan Rehabilitasi Medik, 2011, Program Riset dan Inovasi ITB.
- A.I. Mahyuddin, T. Dirgantara, S. Mihradi, Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Sistem Force Platform untuk Pengukuran *Ground Reaction Force*, 2012, Riset dan Inovasi ITB.
- A.I. Mahyuddin, T. Dirgantara, S. Mihradi, Pengukuran Parameter 3D Gerak Berjalan Manusia dalam Pengembangan Basis Data Awal Gerak Berjalan Manusia Menggunakan 3D *Motion Analyzer System*, 2013, Program Desentralisasi DIKTI.

6. PUBLIKASI

a. Buku

1. **Mahyuddin, A. I.**, and Midha, A., 1993, *Modern Kinematics-Development in the Last Forty Years* (Ed.: A. Erdman): "9.3 Parametric Instability in Flexible Cam-Follower Mechanisms", pp. 380-383, John Wiley & Sons, Inc., New York.

b. Dalam Jurnal Internasional

1. Mihradi, S., Ferryanto, Dirgantara, T. , **Mahyuddin, A. I.**, 2013, "Tracking of Markers for 2D and 3D Gait analysis using Home

Video Cameras", *International Journal of E-Health and Medical Communications*, (accepted for publication).

2. Mihradi, S., Henda, A. I., Dirgantara, T. , **Mahyuddin, A. I.**, 2013, "Development of 3D Gait Analyzer Software Based on Marker Position Data", *International Journal of E-Health and Medical Communications*, (accepted for publication).
3. **Mahyuddin, A. I.**, Mihradi, S., Dirgantara, T. , Moeliono, M., Prabowo, T., 2012, "Development of Indonesian Gait Database using 2D Optical Motion Analyzer System", *ASEAN Engineering Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 62–72.
4. Dirgantara, T., **Mahyuddin, A. I.**, Mihradi, S., 2012, "Development of Affordable Optical Based Gait Analysis System", *ASEAN Engineering Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 12–29.
5. **Mahyuddin, A. I.**, Febriartanto, A. N., Akbar, A., Handoko, Y. A., 2011, "Multibody Dynamic Stability Analysis of a Diesel-Hydraulic Locomotive", *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 18, No. 3, pp. 219-226.
6. **Mahyuddin, A. I.**, Mihradi, S., Dirgantara, T., Maulido, P. N., 2011, "Gait Parameters Determination by 2D Optical Motion Analyzer System", *Applied Mechanics and Materials* Vol. 83 (2011) - *Experimental Mechanics and Materials*, pp. 123-129, available online since 2011/Jul/27 at www.scientific.net, © (2011) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.83.123.
7. **Mahyuddin, A. I.**, Sulaiman, N., and Suharto, D., 2011, "Dynamic response of shallow buried structures associated with landmine clearing operations", *Journal of Terramechanics*, Vol. 48 (2011)

215–224.

8. Suharto, D. and **Mahyuddin, A. I.**, 2007, "Toward Research University", *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers*, ISSN 0021-4728, JSME Vol.110, No 1064.

c. Dalam Jurnal Nasional

1. Susilo, D. D., **Mahyuddin, A. I.**, and Nurprasetio, I. P. , 2009, "Analisis Lompat Vertikal Tipe Squat dengan Model Sistem Benda Jamak," *MESIN, Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 24, No. 1, pp. 67-86.
2. Huda, S., dan **Mahyuddin, A. I.**, 2002, "Analisis Ketidakstabilan Parametrik Mekanisme Empat Batang Elastik," *MESIN Jurnal Teknik Mesin*, Vol. XVII, No. 3, pp. 117-125.
3. Nurhadi, I., **Mahyuddin, A. I.**, Ahmaruddin, M., 2001, "Ciri Getaran Mekanik dan Arus Catu pada Motor Listrik Induksi 3-Fasa Akibat Eksentrisitas Celah Udara," *MESIN Jurnal Teknik Mesin*, Vol. XVI, No. 1, pp. 18-26.

d. Dalam Proceedings Seminar Internasional

1. Ferryanto, S. Mihradi, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, "Camera Calibration Technique Improvement for 3D Optical Gait Analyzer System", *International Conference on Advances in Mechanical Engineering*, 28 – 29 August 2013, Melaka, Malaysia, (accepted for presentation).
2. S. Mihradi, T. Dirgantara, R. Pratama, **A. I. Mahyuddin**, "Design of a Six-Component Load-Cell for Single Pedestal Force Platform to Measure GRF in Gait Analysis", *5th Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bangkok, Thailand, 12-13 February 2013.

3. **A.I. Mahyuddin**, S. Mihradi, T. Dirgantara, M. Moeliono, T. Prabowo, P. N. Maulido, "Development of Indonesian Gait Database using 2D Optical Motion Analyzer System," *Proceedings of the 4th AUN/SEED-Net Regional Conference in Mechanical and Aerospace Technology*, Ho Chi Minh, Vietnam, January 10-11, 2012, pp. 232-239.
4. S. Mihradi, Ferryanto, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, "Development of an Optical Motion-Capture System for 3D Gait Analysis," *International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME) 2011*, Bandung, Indonesia, 8-9 November 2011.
5. S. Mihradi, A. I. Henda, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, "3D Kinematics of Human Walking Based on Segment Orientation," *International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME) 2011*, Bandung, Indonesia, 8-9 November 2011.
6. **A.I. Mahyuddin**, S. Mihradi, T. Dirgantara, P. N. Maulido, "Gait Parameters Determination by 2D Optical Motion Analyzer System", *The International Conference on Experimental Mechanics (ICEM2010)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 29 November - 1 Desember, 2010.
7. N. Lilansa, Z. Abidin, D. Suharto, **A. I. Mahyuddin**, "Analysis of FRF Errors Due to Finite Frequency Resolution in Vibration Impact Testing", *The International Conference on Experimental Mechanics (ICEM2010)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 29 November - 1 Desember, 2010.
8. A. Sukmajaya, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, S. Mihradi,

"Robust Algorithms of Marker Image Processing in Automatic Human Gait Analysis", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, Indonesia, 9-10 February 2010.

9. U. M. Purba, S. Mihradi, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, "An Inverse Dynamics of Human Walking Based on Experimental Motion Analysis", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, Indonesia, 9-10 February 2010.
10. N. Juliyad, S. Mihradi, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, "2D Experimental Motion Analysis of Human Gait", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, Indonesia, 9-10 February 2010.
11. N. Lilansa, Z. Abidin, D. Suharto, **A. I. Mahyuddin**, "Error Analysis of Discrete Response Spectrum in Structural Impact Testing", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, Indonesia, 9-10 February 2010.
12. **A. I. Mahyuddin**, S. Mihradi, T. Dirgantara, N. Juliyad, U. Purba, "Development of an Affordable System for 2D Kinematics and Dynamics Analysis of Human Gait," *4th International Conference on Experimental Mechanics*, Singapore, November 2009.
13. Nurhadi, I., Nurprasetio, I. P., and **Mahyuddin, A. I.**, "Preliminary Study Of Articulated Bus Design Based On Standard Bus Chassis," *the 15th Asia Pacific Automotive Conference – APAC 15*, Hanoi, Vietnam, October 2009.
14. **A. I. Mahyuddin**, S. Mihradi, N. Juliyad, U. Purba, and T. Dirgantara, "On The Development of an Integrated System for 2D Gait Analysis," *International Conference on Advances in Mechanical Engineering*, Malaysia, June 2009.

15. Nurhadi, I., **Mahyuddin, A. I.**, and Hamdzan, 2005, "Reverse Engineering in Automotive Component Industry: Collaboration between University and Industry," *Proceedings of the 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering (IPC 13)*, pp. 561-565, 22 – 24 August 2005, Gyeongju, Korea.
16. **Mahyuddin, A. I.** and Nurprasetio, P., "Design Calculation of Vehicle Suspension System", presented at the 2005 JSAE Annual Congress, on May 18 – 20, 2005, at Pacifico Convention Plaza, Yokohama, JAPAN.
17. Rizajana, F., Nurhadi, I., **Mahyuddin, A. I.**, 2001, "Multibody Dynamic Analysis of Vehicle Suspension System," *Proceedings of the 2nd International Seminar on Numerical Analysis in Engineering (NAE 2001)*, Batam, 14-15 March, 2001.
18. Bagiasna, K., **Mahyuddin, A. I.**, and Setyowibowo, D., 2000, "Stress and Dynamic Behavior Analyses of a High-Speed Bogie Design using Finite Element Method," *International Seminar on Numerical Analysis in Engineering (NAE 2000)*, Medan, 2-3 March, 2000.
19. **Mahyuddin, A.I.**, Komara, A. A., and Suharto, D., 1999, " A comparative study of the dynamic behavior and performance of NT-11 and NT-60 bogies", *Proceedings ITB*, Vol. 31, No. 2, 1999, Suplemen, pp. 549-558 - *Asia-Pacific International Congress on Engineering Computational Modeling and Signal Processing (ECM&SP '99)*, Bandung, November 24-26, 1999.
20. Nurhadi, I., and **Mahyuddin, A.I.**, 1999, "Multi Body Dynamics simulation for vehicle system as an undergraduate thesis", *Proceedings of the Tenth International Pacific Conference on Automotive*

Engineering (IPC 10), Ed.: E.J. Colville, pp. 141-145, Melbourne, Australia, 23-28 May 1999.

e. Dalam Prosiding Seminar Nasional

1. T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, S. Mihradi, D. P. Kristianto, "Perancangan, Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Force Plate untuk Pengukuran Ground Reaction Force Pada Analisis Gerak Berjalan Manusia", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, 16-17 Oktober 2012, Yogyakarta, Indonesia, 2012.
2. S.Mihradi, R. Kurniasari, T. Dirgantara, **A. I. Mahyuddin**, "Pengembangan Sistem Optik Pengamat Gerak Berjalan 2D dari Dua Sisi Bidang Sagittal", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, 16-17 Oktober 2012, Yogyakarta, Indonesia, 2012.
3. S. Mihradi, **A. I. Mahyuddin**, T. Dirgantara, A. W. Surya, "Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian *Load Cell 3-Axis* untuk Pengukuran *Ground Reaction Force* pada *Force Platform*," *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin X (SNTTM X)*, Universitas Brawidjaja, Malang, 2 – 3 November 2011.
4. N. Lilansa, Z. Abidin, D. Suharto, dan **A. I. Mahyuddin**, "Analisis Kesalahan Pada FRF Dengan Kecermatan Frekuensi Terbatas Akibat Penggunaan Fungsi Jendela Eksponensial Dalam Pengujian Getaran Dengan Eksitasi Impak" *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) X*, Universitas Brawidjaja, Malang, 2-3 November, 2011.
5. **A.I. Mahyuddin**, D. Suharto, I. P. Nurprasetyo, "Mechanical

Engineering Future at ITB," Seminar Pembaruan Pendidikan Tinggi Teknik Mesin, 8 November 2008, IAM-ITB, Bandung, 2008.

6. Nurhadi, I., **Mahyuddin, A.I.**, Hilmy, I., Saefudin, E., Reifelyna, S., (2004), "Perilaku Dinamik Sistem Poros Rotor Akibat Retak Melintang pada Poros", Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Ujung Pandang, November 2004.
7. **Mahyuddin, A.I.**, Nurhadi, I., Jabir, A., 2002, "Parametric Instability of Cracked Rotor-Shaft System," *Proceedings of Experimental & Theoretical Mechanics 2002 (ETM 2002)*, Sanur, BALI, March 2002, pp. 284-293.
8. Satria, I., dan **Mahyuddin, A.I.**, 2001, "Analisis Kestabilan dan Respons Dinamik Kereta Penumpang dengan Bogie Bolsterless," *Proceedings of Experimental & Theoretical Mechanics 2001 (ETM 2001)*, Bandung, 2001, pp. 150-161.
9. Nurhadi, I., Mahyuddin, A.I., dan Sentana, A., 2001, "Karakterisasi Getaran Mekanik dan Arus Catu pada Motor Listrik Induksi 3-Fasa Akibat Batang Rotor Patah," *Proceedings of Experimental & Theoretical Mechanics 2001 (ETM 2001)*, Bandung, pp. 115-121.
10. Sugiharto, Nurhadi, I., **Mahyuddin, A. I.**, 2000, "Analisa Kinematika dan Dinamika Berdasarkan Sistem Dinamika Benda Jamak," *Proceedings The 2000 FTUI Seminar – Quality in Research*, Depok, Agustus 2000, pp. IV-4-16-1 – IV-4-16-10.
11. Bagiasna, K., **Mahyuddin, A.I.**, Priyatmoko, P., 1999, "Analisis Dinamik Bogie BN Menggunakan Metode Elemen Hingga dan Validasinya secara Experimental", *Proceedings NAE1999, HEDS-JICA*, Medan.

12. Ign. Pulung Nurprasetio, Wahyudi, Waskito, **Andi Isra Mahyuddin** dan Djoko Suharto, 1997, "Penerapan Prinsip Generator Sinyal Pintar-Metode Tunggu Pada Pengendalian Kesalahan Beban Acak di Peralatan Uji Servohidrolik", *Proceedings of the Experimental & Theoretical Mechanics '97*, Bandung, Indonesia.
13. **Mahyuddin, A.I.**, Y. Utomo, I. Nurhadi, M. Bur, dan J. Samudra, 1997, "Respon Dinamik Prototipe Pengayak Getar dan Perangkat Lunak Alat Bantu Perancangan Dinamik", *Proceedings of the Experimental & Theoretical Mechanics '97*, Bandung, Indonesia.
14. **Mahyuddin, A. I.**, E. Adrian, D. Suharto dan I. Wibisono, 1997, "Analisis Stabilitas Dinamik dan Tingkat Kenyamanan Bogi NT-60 pada Kereta JS-950", *Proceedings of the Experimental & Theoretical Mechanics '97*, Bandung, Indonesia.
15. **Mahyuddin, A. I.**, Gunadi, Y., dan Suharto, D., 1994, "Analisis Pengaruh Parameter Dinamik terhadap Kestabilan dan Unjuk Kerja Bogie Kereta Penumpang", *Proceedings of the Experimental & Theoretical Mechanics '94*, pp. IVA3.1-IVA3.13, Bandung, Indonesia.
16. Nurprasetio, I. P., Bahri, S., **Mahyuddin, A. I.**, dan Suharto, D., 1994, "Penggunaan Metoda Parametrik untuk Estimasi Spektra pada Rekonstruksi Beban Uji Lelah", *Proceedings of the Experimental & Theoretical Mechanics '94*, pp. IIA1.1-IIA1.11, Bandung, Indonesia.

