



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Bambang Kismono Hadi

**TANTANGAN DAN PELUANG
PENGUNAAN BAHAN KOMPOSIT
UNTUK STRUKTUR PESAWAT TERBANG**

21 Desember 2019
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
21 Desember 2019

Profesor Bambang Kismono Hadi

**TANTANGAN DAN PELUANG
PENGUNAAN BAHAN KOMPOSIT
UNTUK STRUKTUR PESAWAT TERBANG**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: TANTANGAN DAN PELUANG PENGGUNAAN BAHAN KOMPOSIT
UNTUK STRUKTUR PESAWAT TERBANG
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 21 Desember 2019.

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

Bambang Kismono Hadi
TANTANGAN DAN PELUANG PENGGUNAAN BAHAN KOMPOSIT
UNTUK STRUKTUR PESAWAT TERBANG
Disunting oleh Bambang Kismono Hadi

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2019
vi+28 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-6624-38-3
1. Struktur Ringan 1. Bambang Kismono Hadi

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami haturkan kepada Allah SWT yang dengan karunia dan rahmatNya membuat saya dapat menyelesaikan tulisan ini.

Saya ucapkan terima kasih kepada Pimpinan dan Staf Forum Guru Besar (FGB) – ITB yang telah menyelenggarakan acara ini. Orasi ini berjudul “TANTANGAN DAN PELUANG PENGGUNAAN BAHAN KOMPOSIT UNTUK STRUKTUR PESAWAT TERBANG”, sebagai pertanggungjawaban saya atas bidang Ilmu Struktur Ringan yang saya tekuni selama ini.

Secara singkat, tulisan ini berisi berbagai tantangan dan peluang yang diberikan oleh bahan komposit untuk penggunaannya dalam struktur pesawat terbang masa kini maupun masa depan.

Semoga tulisan pendek ini berguna bagi kita semua, terutama bagi saya sendiri.

Bandung, 21 Desember 2019

Bambang Kismono Hadi

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. STRUKTUR SANDWICH	5
3. STRUKTUR PEJAL DAN STRUKTUR BENTUK LAINNYA	12
4. TANTANGAN DAN PELUANG	15
5. PENUTUP	17
6. UCAPAN TERIMA KASIH	18
REFERENSI	20
BIODATA	23

TANTANGAN DAN PELUANG PENGGUNAAN BAHAN KOMPOSIT UNTUK STRUKTUR PESAWAT TERBANG

1. PENDAHULUAN

Bahan komposit sering didefinisikan sebagai 'bahan yang terdiri dari dua atau lebih yang dicampur secara makroskopis'. Ini adalah definisi umum yang sering dikemukakan oleh berbagai buku-buku standar bahan komposit. Berdasarkan definisi ini, maka bahan komposit telah dipakai manusia sejak ribuan tahun lalu. Bangsa Israel membuat dinding-dinding rumah dari campuran tanah liat dan jerami; suatu teknologi yang sampai saat ini masih dipakai oleh suku-suku bangsa di Afrika, bahkan di negara maju seperti Inggris. Struktur-struktur yang ada di alam pun merupakan bahan komposit: daun, kayu, kulit binatang, tulang, otot dan struktur-struktur alami lainnya. Daun pisang merupakan contoh bahan komposit serat satu arah (unidirectional), sehingga kuat dalam arah longitudinal, tapi lemah di arah transversal. Karena itu, tidak mengherankan daun pisang mudah robek serah transversal. Daun mapple mempunyai banyak lekukan yang menimbulkan konsentrasi tegangan; meskipun demikian tidak mudah robek, karena sistem serat yang melingkupinya. Bambu mempunyai struktur yang mirip dengan fuselage; dan efisien dengan aspect ratio yang tinggi. Gambar 1 menunjukkan struktur-struktur tersebut. Struktur-struktur tersebut terbukti efisien, sebagai hasil dari evolusi jutaan tahun. Dengan demikian dapat dikatakan secara gamblang,

bahwa struktur yang optimum dan efisien hanya bisa dibuat dengan bahan komposit.



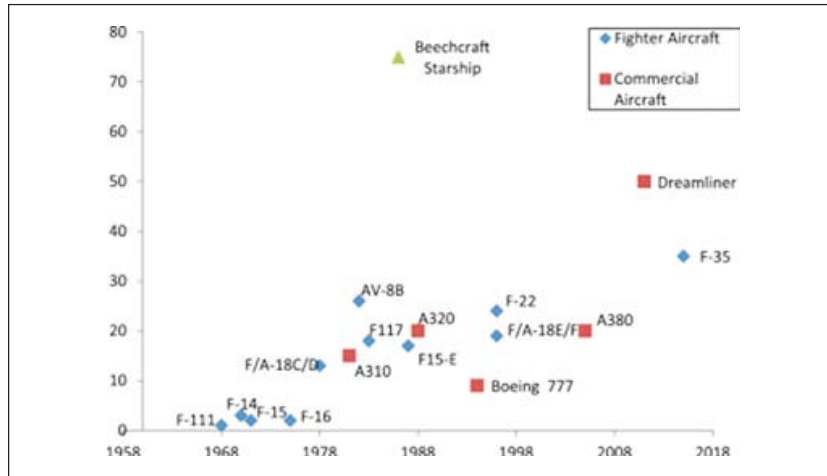
Gambar 1. Struktur alami yang dibuat dengan bahan komposit (dari berbagai sumber)

Penggunaan bahan komposit di struktur buatan manusia (man made structures) bermula di tahun 1930-an, dengan ditemukannya serat gelas. Adalah peneliti muda di Corning Glass, Dale Kleist, secara tidak sengaja menyemprotkan gas ke glass cair, menyebabkan terbentuknya serat gelas [1]. Karena itu, pada tahun 1935, Corning Glass mematenkan serat gelas (disebut Fiberglas, dengan '1' s). Penggunaan bahan komposit serat gelas/poliester pertama dilakukan oleh Ray Greene, seorang pegawai Corning, di tahun 1937 dengan membuat kapal kecil dengan komposit glass/poliester. Saat ini, serat gelas telah menjadi akrab di berbagai

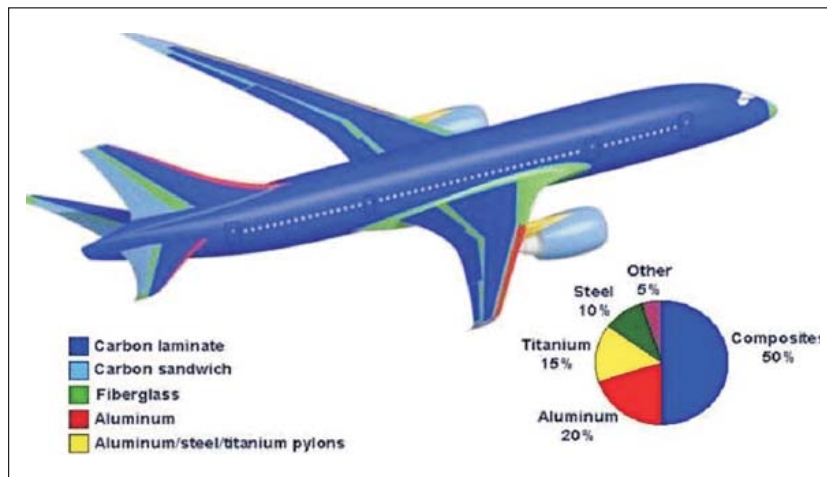
peralatan rumah tangga dan ada di sekitar kita. Enam puluh persen penggunaan bahan komposit di dunia ini terbuat dari serat gelas.

Penemuan serat karbon yang jauh lebih kuat, kaku dan ringan, membuka peluang baru di bidang struktur pesawat. Roger Bacon menemukan serat karbon berbasis pitch di tahun 1958, dan Dr. Akio Shindo menemukan serat karbon berbasis polyacrylonitrile (PAN) di tahun 1960-an. Segera setelah itu, Rolls-Royce di tahun 1968 menggunakan komposit carbon untuk membuat carbon-fiber-compressor-blades [2]. Saat ini, Toray Industries, Jepang, menguasai 40% produksi serat karbon dunia.

Sebagaimana rintisan teknologi baru yang lain, teknologi militer menjadi pembuka pemanfaatan serat karbon ini. Dimulai dengan pesawat militer, pelan-pelan kemudian dimanfaatkan oleh pesawat transport, dan memuncak pada pesawat Boeing-787 dan Airbus-350, yang menggunakan bahan komposit hingga 50% berat strukturnya. Diperkirakan, angka 50% merupakan angka tertinggi penggunaan bahan komposit di struktur pesawat. Tidak ada lagi bagian yang tersisa. Menarik bahwa bahan komposit telah dipakai pada struktur fuselage, yang merupakan struktur dengan pembebanan multi-aksial (bending, torsi, geser dan internal pressure), yang menyebabkan struktur fuselage ini merupakan struktur yang kompleks.



a



b

Gambar 2. Prosentase penggunaan bahan komposit di pesawat militer dan sipil (a) dan Boeing 787 Dreamliner (b)

Dengan penggunaan bahan komposit yang semakin membesar, nilai pasar struktur komposit di sektor kedirgantaraan pun meningkat pesat. Nilai pasar struktur komposit di sektor kedirgantaraan dunia pada tahun 2015 telah mencapai angka US\$11,5 bn, dengan pertumbuhan per tahun sebesar 9,1 %. Diperkirakan pada tahun 2025, pasar ini telah mencapai angka US\$ 24,8 bn [3]. Ini tentu pasar yang besar dan menjadi peluang bagi Indonesia. Negara tetangga kita, Malaysia, dengan perusahaan CTRM, pada tahun 2018 telah membukukan revenue sebesar MYR 922,8 jt; atau setara dengan US\$ 221 jt. Ini menunjukkan bahwa sektor struktur komposit kedirgantaraan terus berkembang di masa-masa mendatang.

Sektor kedirgantaraan sendiri hanya mencakup sekitar 17% dari penggunaan bahan komposit dunia. Sektor lain adalah sektor mobil dan peralatan industri lainnya. Sektor di luar kedirgantaraan pun ternyata berkembang dengan kuat.

Dalam struktur pesawat terbang, struktur komposit diberikan dalam dua bentuk: struktur sandwich dan struktur pejal (solid). Keduanya mempunyai karakteristik yang berbeda.

2. STRUKTUR SANDWICH

“What is your PhD all about?”, tanya Valerie Mindlin, warden di Nansen Village tempat saya tinggal selama kuliah di London, dalam suatu pesta.

“Sandwich structures”, jawab saya. Mata Mindlin tampak terbelalak.

“Oh.. It must be nice to be able to taste sandwiches everyday”, katanya.

“Yes, indeed”, jawab saya tersenyum, sambil melihat Mindlin pergi dengan terheran-heran. Mungkin dia bingung, meneliti sandwich saja bisa mendapat PhD.

Tetapi, struktur sandwich memang enak diteliti dan perlu. Struktur ini ringan dan mempunyai kekakuan yang tinggi, yang cocok untuk persyaratan struktur kedirgantaraan, atau pun struktur-struktur alami di sekitar kita. Daun, batang bambu, se-sel otot, bahkan tengkorak kepala kita pun terbuat dari struktur sandwich. Kepala kita akan menjadi sangat berat, bila terbuat dari struktur pejal.

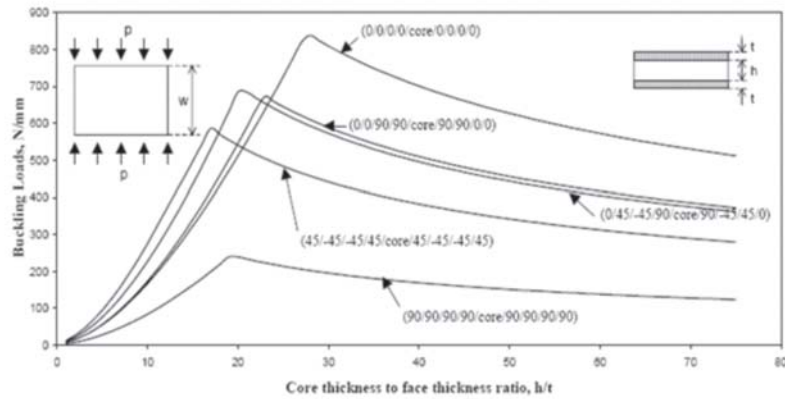
Tetapi masalahnya, struktur ini mengandung struktur inti (core) yang tebal, ringan dan lemah, yang menyebabkan beberapa persamaan seperti Kirchoff-Love tidak dapat digunakan untuk menganalisis deformasi dan buckling. Persamaan deformasinya perlu didekati dengan pendekatan baru seperti “zig-zag” model [4] atau High-Order-Deformation-Theory (HODT). Tentu, pendekatan-pendekatan ini jauh lebih kompleks dibanding teori Kirchoff-Love.

Ketika mendapat beban kompresi, misalnya, struktur sandwich mempunyai dua modus buckling: 1) Overall buckling dan 2) Wrinkling. Peneliti-peneliti sebelumnya seperti Allen dan Plantema telah membahas kasus ini, tetapi terbatas pada pelat isotropik, atau paling tidak

orthotropik. Belum ada yang menyentuh pelat sandwich anisotropik. Persamaan-persamaan overall buckling dan wrinkling diberikan dalam bentuk terpisah.

Saya selalu tertarik untuk menggabungkan berbagai teori, untuk mendapat teori tunggal yang dapat menerangkan fenomena yang berbeda. Pada kasus ini, saya berkeinginan menggabungkan fenomena overall buckling dan wrinkling untuk pelat anisotropik. Akhirnya, setelah perjalanan panjang, saya berhasil menemukan bahwa overall buckling sebenarnya adalah kondisi khusus asymmetric wrinkle, bila nilai setengah gelombangnya adalah satu. Jadi, dengan hanya memecahkan persamaan wrinkle, saya berhasil memperoleh nilai overall buckling dan wrinkling. Saya memecahkan hal ini untuk kasus pelat anisotropik, yang merupakan bentuk umum dari pelat ortotropik maupun isotropik.

Seperti diketahui, pelat sandwich dengan core tipis, akan gagal dalam modus overall buckling, sedang pada core yang tebal, akan cenderung menuju modus wrinkling. Pertanyaannya adalah, seberapa tebal core, hingga pelat menuju ke modus wrinkling? Gambar 3 menunjukkan hal itu. Ketika core tipis, modus kegagalan adalah overall buckling. Beban kritis overall buckling ini meningkat secara kuadratik dengan menebalnya core, hingga suatu titik dimana modus kegagalan wrinkling mengambil alih; dan beban kritis berubah menjadi modus wrinke. Dari kurva tersebut dapat diperkirakan tebal core yang optimum untuk mendapatkan beban kritis buckling yang maksimum [5].

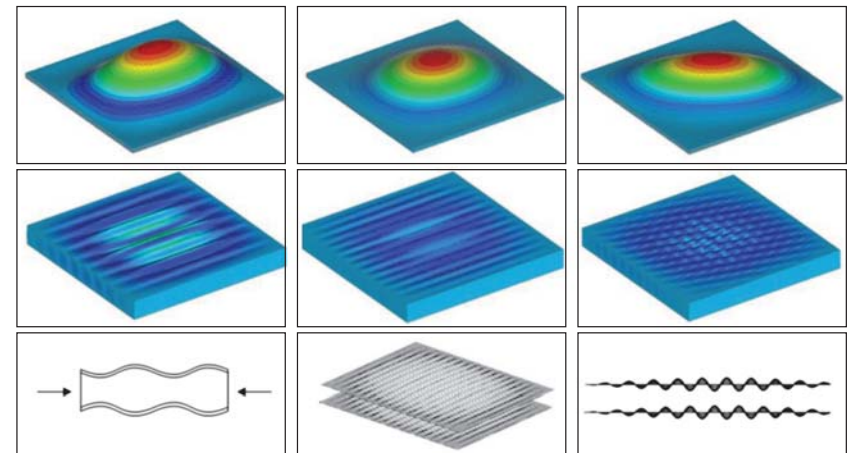


Gambar 3. Perubahan modulus kegagalan pelat sandwich dengan bertambah tebalnya core [5]

Langkah berikutnya adalah menerapkan hal tersebut ke pelat berlubang, untuk mencari nilai overall buckling dan wrinkling-nya. Pelat berlubang misalnya terdapat pada struktur fuselage yang mempunyai jendela. Dengan menggunakan persamaan Lekhnitskii untuk infinite-plate, dan mengembangkannya menjadi kasus finite-plate serta menggabungkannya dengan persamaan wrinkle, saya berhasil memecahkan persoalan overall buckling dan wrinkling untuk pelat sandwich anisotropik berlubang [6, 7, 8]. Dan selesailah disertasi saya !!

Sepulang dari Inggris, saya beruntung memperoleh mahasiswa yang tekun dan brilliant, yaitu Sdr. Arief Yudhanto. Saya minta dia membuat model elemen hingga, untuk memprediksi kasus overall buckling dan wrinkling. Dan dia berhasil membuat gambar-gambar yang menarik

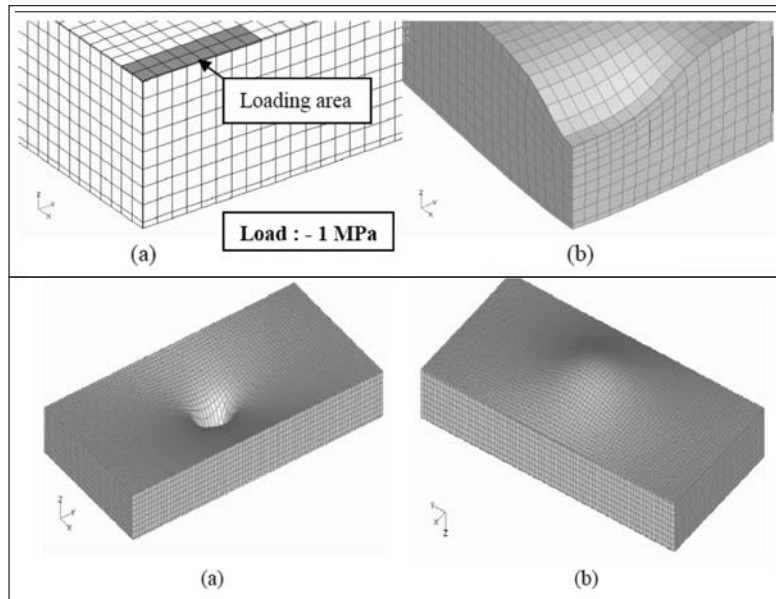
tentang fenomena overall buckling dan wrinkling, untuk kasus pelat orthotropik dan anisotropik. Gambar 4 menunjukkan hal tersebut, baik untuk kasus overall buckling maupun kasus wrinkling. Indah dan mirip karya seni. Sdr. Arief saat ini menjadi peneliti di King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), dan makalah-makalahnya tentang struktur komposit di berbagai jurnal internasional bereputasi telah menambah khasanah struktur komposit dunia.



Gambar 4. Fenomena overall buckling (atas) dan wrinkling (tengah dan bawah) pada pelat sandwich.

Struktur sandwich, bila mendapat beban lokal terpusat, juga akan mengalami deformasi lokal, atau dalam bahasa Jawa disebut dengan 'dhekok'. Artinya, struktur sandwich ini hanya terdeformasi lokal di satu sisi, dan tidak mempengaruhi sisi lainnya. Gambar 5 menunjukkan

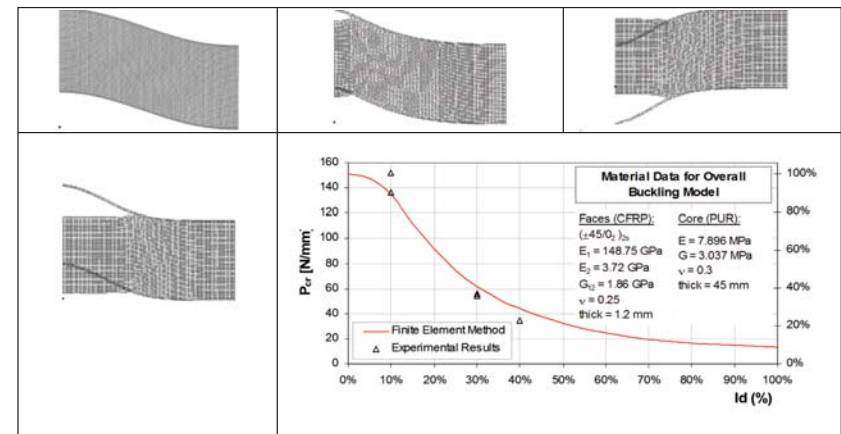
fenomena tersebut [9]. Karena itu, struktur sandwich banyak digunakan untuk struktur penahan beban impak maupun beban ledak (blast loading).



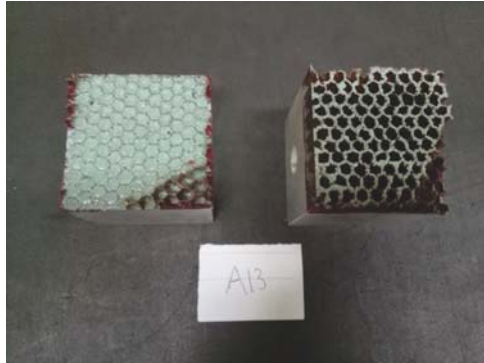
Gambar 5. Deformasi lokal pada pelat sandwich yang mendapat beban terpusat [9]

Salah satu kelemahan struktur sandwich adalah bila terjadi pelepasan ikatan antara bagian faces dan core, atau yang disebut dengan debonding. Terjadinya debonding menyebabkan kekakuan struktur sandwich menurun, karena struktur sandwich tidak lagi menjadi satu kesatuan, tetapi merupakan struktur yang terpisah antara core dan faces. Akibatnya, beban kritis buckling-nya pun turun. Gambar 6 menunjukkan penurunan

beban buckling tersebut, bila luas debonding meningkat. Bila luas debonding lebih besar dari 10% luas total, beban kritis buckling-nya akan menurun cepat [10]. Hasil numerik dengan metode elemen hingga menunjukkan kesesuaian. Debonding ini terjadi, bila struktur sandwich mengalami beban impak selama operasi, maupun terjadi saat manufacturing. Untuk itu, kontrol kualitas perlu diperhatikan dengan seksama agar debonding tidak terjadi, terutama saat manufacturing. Penelitian yang dilakukan saat ini, dilakukan untuk mengetahui kekuatan bonding antara faces dan core, melalui uji drum peel, shear, dll. Gambar 7 menunjukkan hasil uji flatwise tensile test pada struktur sandwich.



Gambar 6. Pengaruh debonding pada struktur sandwich [10].



Gambar 7. Debonding pada struktur sandwich pada uji flatwise tensite test.

3. STRUKTUR PEJAL DAN STRUKTUR BENTUK LAINNYA

Berbeda dengan struktur sandwich, struktur pejal, atau disebut solid laminate, tidak mengandung bahan core yang lemah. Karena itu, pendekatan Kircoff-Love, misalnya, dapat digunakan untuk menganalisis struktur ini; kecuali struktur yang sangat tebal, sehingga kekakuan geser dalam arah ketebalan menjadi dominan. Pada kasus ini, pendekatan HODT mesti dilakukan.

Tugas pertama yang kami lakukan dalam struktur pejal ini adalah rancang bangun sayap tegak (vertical stabilizer) pesawat CN-235. Ketika itu saya baru lulus S-1 di tahun 1985. Dengan dibimbing oleh alm. Prof. Mardjono dan Prof. Rochim Suratman, kami tim komposit IPTN, berhasil membuat vertical stabilizer CN-235 versi komposit, yang juga dipamerkan dalam First Indonesian Air Show di tahun 1986. Gambar 8 menunjukkan hal tersebut.



Gambar 8. Vertical stabilizer CN-235 versi komposit (kanan) dan versi aluminium (kiri).

Setelah itu, penelitian terus berlanjut. Penelitian-penelitian yang pernah kami lakukan diantaranya adalah optimasi pelat berpenguat (stiffened panel) dengan kriteria buckling, serta perancangan sayap high-aspect-ratio untuk pesawat HALE dengan kriteria buckling dan flutter [11, 12]. Penelitian-penelitian ini dilakukan untuk menurunkan berat struktur, yang menjadi salah satu tujuan penting dalam struktur pesawat terbang. Dengan metode yang konservatif pun, struktur komposit dapat mengurangi berat struktur aluminium hingga 25%.

Penggunaan bahan komposit yang semakin meluas untuk kendaraan-

kendaraan tempur, mendorong dilakukannya penelitian response struktur komposit ini terhadap beban ledak (blast). Gunaryo [13] melakukan berbagai kaji response pelat glass/epoxy dan carbon/epoxy terhadap beban ledak, baik secara numerik maupun eksperimental. Hasilnya akan menjadi sumbangsih dalam perancangan struktur komposit dalam lingkungan ledakan.

Studi lain yang dilakukan adalah struktur anisogrid, suatu struktur yang menunjukkan struktur jejaring, tidak lagi orthogonal seperti struktur konvensional biasa. Penelitian ini dilakukan oleh Sdr. IGN Sudira dan Ilham, dan disamping berhasil menurunkan berat struktur sayap yang dikaji, juga dapat menaikkan kekakuan torsinya, sehingga menghindari masalah flutter.

Penelitian yang juga tengah dilakukan saat ini adalah biomimetika: suatu kajian struktur yang terdapat di alam dan diterapkan untuk struktur buatan manusia. Hal ini mengingatkan juga bahwa sebagian besar struktur di alam merupakan struktur komposit. Studi pertama adalah struktur bambu yang mempunyai kemiripan dengan struktur fuselage. Bambu mempunyai sifat-sifat yang unik. Mirip dengan komposit serat karbon, bambu mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi dalam arah serat, tetapi lemah dalam arah geser, sehingga modulus kerusakannya mirip dengan komposit serat karbon. Dalam penelitian ini telah dirancang dan dibuat struktur silinder sandwich, dan telah diuji kekuatan tekannya. Studi lanjut perlu dilakukan untuk mendapatkan struktur yang optimum

terhadap beban tekan; yang dapat diterapkan dalam perancangan struktur sandwich fuselage. Studi kedua di bidang biomimetika ini adalah studi struktur internal sayap kumbang. Studi dengan SEM menunjukkan bahwa struktur luar sayap kumbang yang lebih berfungsi sebagai 'protective structures', berbentuk struktur sandwich. Studi-studi ini menunjukkan bahwa banyak hal dapat dipelajari dari alam, untuk mendapatkan struktur buatan manusia yang lebih efisien.

4. TANTANGAN DAN PELUANG

Hambatan penggunaan bahan komposit, terutama yang berserat karbon adalah harga bahan bakunya. Harga serat karbon selalu lebih mahal dibanding aluminium. Sehingga, agar dapat bersaing dengan produk aluminium, struktur komposit haruslah dapat menurunkan ongkos produksi, assembly dan juga operasi. Untuk segi produksi, penelitian banyak dilakukan untuk mengganti proses autoclave, yang masih merupakan proses standar di industri kedirgantaraan, menjadi proses out-of-autoclave (OOA). Berbagai teknik manufacturing, seperti Resin Infusion, VARI, RTM, VARTM dan istilah-istilah eksotis lain mewarnai perkembangan teknologi ini.

Dari proses assembly, ongkos dapat ditekan dengan mengurangi jumlah part. Fuselage Boeing 787 ataupun Airbus 350, dibuat hanya dalam 3 section atau yang disebut barrell, dan kemudian digabung bersama. Sayap pesawat bisnis jet, Beechcraft Starship, dibuat satu satuan tip-to-tip

dan baru kemudian disambung ke fuselage. Ini mengurangi ongkos assembly, dengan meniadakan proses riveting. Kerjasama yang baik antara tim perancang struktur dan produksi menjadi penting di sini.

Dari segi operasi, stress level pada struktur komposit biasanya lebih rendah dibanding pada struktur aluminium. Ditambah dengan sifat bahan komposit yang tidak sensitif terhadap beban fatigue, masalah fatigue yang biasanya menjadi masalah utama pada struktur aluminium dapat dihindari. Hal ini ditambah dengan teknologi Structural Health Monitoring (SHM), kemungkinan terjadinya kerusakan dapat diprediksi lebih awal, sehingga kemungkinan terjadinya kerusakan katastropik dapat dihindari, serta memperpanjang periode perawatan pesawat.

Teknologi-teknologi di atas dikembangkan untuk menghadapi tantangan struktur komposit di masa depan agar struktur komposit dapat memberikan kinerja yang lebih baik. Hal ini juga untuk menjawab peluang penggunaan struktur komposit di pesawat terbang.

Peluang penggunaan bahan komposit di pesawat terbang masa depan sangat besar. Dengan keberhasilan operasional Boeing 787 dan Airbus 350, tidak disangkal lagi, bahan komposit akan menjadi pilihan menarik bagi industri pesawat terbang. Setiap pesawat Boeing 787 sendiri memerlukan 3920 ton bahan komposit per tahun. Ditambah dengan pesawat Boeing 777, Airbus A380 dan Airbus A350, kebutuhan keempat pesawat tersebut adalah sekitar 23.000 – 24.000 ton per tahun.

Hal ini tentu menjadi peluang industri kedirgantaraan Indonesia,

terutama PT. Dirgantara Indonesia. Dengan gembira dan semangat, kita akan menyambut tantangan dan peluang ini.

5. PENUTUP

Bahan komposit mempunyai peluang besar untuk digunakan secara besar-besaran dalam struktur pesawat terbang. Bahan ini mempunyai kekakuan dan kekuatan yang melebihi bahan aluminium, dan lebih ringan, yang menjadi persyaratan utama dalam rancang bangun struktur pesawat terbang. Karena itu, dari tahun ke tahun, bahan ini semakin banyak digunakan dalam struktur pesawat terbang, dan mencapai puncaknya dalam pesawat Boeing 787 dan Eurofighter, dimana penggunaan bahan komposit telah mencapai angka 50% berat struktur.

Meskipun demikian, berbagai hambatan masih ada, terutama harga bahan komposit yang lebih mahal dibanding bahan aluminium. Karena itu, untuk mengurangi harga produk dengan bahan komposit, tiga hal perlu diperhatikan, yaitu: 1) ongkos produksi yang lebih murah, 2) ongkos assembly yang lebih murah, serta 3) ongkos operasi yang lebih murah juga. Teknologi-teknologi yang berkenaan dengan ketiga hal tersebut perlu terus menerus dikembangkan dan diterapkan dalam struktur komposit.

Tetapi melihat potensi besar yang ada, diperkirakan mencapai US\$ 24,8 bn di tahun 2025, hal tersebut merupakan kesempatan yang tidak

boleh dilewatkan. Perusahaan industri pesawat dalam negeri, PT. DI, perlu menyambut peluang ini.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

- Pimpinan dan staf Forum Guru Besar (FGB) yang menyelenggarakan acara ini.
- Pimpinan dan Staf Senat Akademik ITB
- Pimpinan dan Anggota Senat FTMD
- Pimpinan FTMD: Dekan, Prof. Hari Muhammad; WDA, Prof. Zainal Abidin; WDS, Dr. Ignatius Pulung Nurprasetio, beserta jajaran tenaga akademik, khususnya Kasubbag Kepegawaian.
- Prof. Rochim Suratman dan Prof. Andi Isra Mahyuddin yang membantu di Komisi III, Senat Akademik.
- Prof. Agustinus Purna Irawan, Rektor Universitas Tarumanagara; Prof. Tati Rajab Mengko dari STEI dan Prof. Tatacipta Dirgantara dari FTMD sebagai promotor;
- Guru-guru dan senior saya di FTMD.
- Rekan-rekan dosen di FTMD, terutama di Prodi Teknik Dirgantara ITB.
- Staff non-akademik di Tata Usaha FTMD yang banyak membantu.
- Rekan-rekan di PT. Dirgantara Indonesia yang menjadi partner dan

rekan diskusi selama ini.

- Rekan-rekan dan pihak-pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.
- Saya beruntung, selama karier akademik saya di ITB, saya sempat bersentuhan dengan Program Studi Pertahanan. Dalam usianya yang pendek, hanya empat angkatan, Program ini telah menghasilkan lulusan yang, insya Allah, menjadi insan-insan yang diperhitungkan dalam diskursus pertahanan dan keamanan di Indonesia masa depan. Program ini telah menghasilkan 4 doktor, tiga dari Cranfield dan satu dari ITB. Satu lagi akan segera menyusul lulus dari SBM-ITB dalam waktu dekat. Program ini kemudian berkembang di Universitas Pertahanan Indonesia. Saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Reimund Seidellman dan Prof. Christoph Schuck dari Giessen dan TU-Dortmund, dan sahabat saya Col. (Rtrd) Ivar Hellberg dari Cranfield University yang telah membantu penyelenggaraan program ini. Juga kepada rekan-rekan di Universitas Parahyangan, alm. Prof Bob Hadiwinata, Dr. Pius Prasetyo, dll. Saya terutama berterima kasih kepada alumnus program ini, serta program awal di Unhan, yang telah menjadi teman, rekan dan sahabat yang bersama-sama ingin memperjuangkan Indonesia yang lebih baik. Terima kasih.
- Terima kasih kepada kedua orang tua, alm bapak Sadiran Satrosumardjo dan ibu saya Mardini Sastrosumardjo serta adik-adik saya. Orang tua saya selalu mengajarkan untuk hidup secara jujur,

suatu petuah sederhana yang selalu saya ingat.

- Terima kasih kepada istri saya tercinta, Erly Chaeriyah Hadi. Istri saya tahu, suaminya selalu ingin mencoba hal-hal baru, yang barangkali mendatangkan kesulitan baginya. Tidak ada yang bisa saya ucapkan, kecuali mengutip sepenggal sajak yang ditulis oleh Robert Browning (1812–1889): “Grow old along with me; the best is yet to be”...

REFERENSI

- [1] <https://www.pslc.ws/macrog/mpm/composit/fiber/fibeglas/history.htm>, diunduh 26 November 2019.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_fibers, diunduh 26 November 2019.
- [3] Insight_09 – Composite Materials – September 2018.
- [4] B.K. Hadi and F.L. Matthews, Predicting the buckling load of anisotropic sandwich panels: an approach including shear deformation of the faces, *Composite Structures*, Vol 42, Issue 3, July 1998, pp. 245–255.
- [5] B.K. Hadi and F.L. Matthews, Development of Benson-Mayers theory on the wrinkling of anisotropic sandwich panels, *Composite Structures*, Vol. 49, 2000, pp.425–434.
- [6] B.K. Hadi, Buckling of Anisotropic Sandwich Panels with and without Holes, *Ph.D Thesis*, Centre for Composite Materials, Imperial College,

University of London, December 1995.

- [7] B.K. Hadi and F.L. Matthews, Buckling of anisotropic sandwich panels containing holes: Part I – overall buckling, *Composite Structures*, Vol. 52, 2001, pp. 205–216.
- [8] B.K. Hadi and F.L. Matthews, Buckling of anisotropic sandwich panels containing holes: Part I – wrinkling, *Composite Structures*, Vol. 54, 2001, pp. 103-109.
- [9] B.K. Hadi and A. Fajar, Bending and Deformation of Sandwich Panels Due to Localized Pressure, *Proc. ITB Eng. Science*, Vol. 37 B, No.1, 2005, pp. 15–28.
- [10] B.K. Hadi and A. Fajar, Overall Buckling and Wrinkling of Debonded Sandwich Beams: Finite Element and Experimental Results, *Proc. ITB Eng. Science*, Vol. 38 B, No.1, 2006, pp. 37-49.
- [11] B.K. Hadi, M.A. Ghofur and I. Permana, The Design of a High Aspect Ratio HALE Aircraft Composite Wing. Part I: Static Strength Analysis, *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 12, No.2, December 2015, pp. 1-12.
- [12] B.K. Hadi and I. Permana, The Design of a High Aspect Ratio HALE Aircraft Composite Wing. Part I: Buckling and Flutter Speed Analysis, *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 12, No.2, December 2015, pp. 13-26.
- [13] Gunaryo, M.R. Sitompul and B.K. Hadi, A Study of Blast Phenomenon

due to an Explosion of TNT Encapsulated by Steel Casing Shell: Experimental and Numerical Analysis Using LS-DYNA, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 8, No. 2, March 2019, pp. 202–206.

BIODATA



Nama : **BAMBANG KISMONO HADI**
 Tmpt. & tgl. lhr. : Yogyakarta, 4 September 1960
 NIP : 19600904 198903 1 001
 Fak./Sekolah : Fakultas Teknik Mesin dan
 Dirgantara
 Bid. Keahlian : Struktur Ringan

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar	Bidang
1.	S1	ITB	1987	ST	Teknik
2.	S2	Imperial College London	1991	MSc, DIC	Composite Materials
3.	S3	Imperial College London	1995	Dr	Composite Materials

II. RIWAYAT KEPANGKATAN

No.	Pangkat	Golongan	TMT
1.	Penata Muda	III/a	1 Maret 1989
2.	Penata Muda Tk.1	III/b	1 Oktober 1999
3.	Penata	III/c	01 April 2001
4.	Penata Tk.1	III/d	01 April 2003
5.	Pembina	IV/a	1 Oktober 2006
6.	Pembina Tk.1	IV/b	1 Oktober 2008
7.	Pembina Utama Muda	IV/c	1 Oktober 2010
8.	Pembina Utama Madya	IV/d	1 Oktober 2019

III. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jabatan Fungsional	TMT
1.	Asisten Ahli	1 Juni 1997
2.	Lektor Muda	1 Agustus 1999
3.	Lektor	1 Januari 2001
4.	Lektor Kepala	1 Juli 2002
5.	Guru Besar	1 Maret 2019

IV. JABATAN STRUKTURAL DI ITB

(sejak kenaikan pangkat/jabatan terakhir)

No.	Jabatan Struktural	Tahun	Keterangan
1.	Sekretaris Jurusan Teknik Penerbangan	2001 - 2003	
2.	Ketua Jurusan Teknik Penerbangan	2003 - 2005	
3.	Sekretaris Senat FTMD	2013 - 2018	

V. PUBLIKASI (setelah tahun 2010)

5.1 Dalam Jurnal Ilmiah

No.	Judul	Nama Jurnal	Tahun
1.	Rais Zain, Indra Nurhadi, Bambang Kismono Hadi , I Wayan Tjatra, "CAD Based Interaction of Wing Structures and Aerodynamic Loads using Finite Element Model and Transonic Small Disturbance Model".	Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20 No. 2, 2013. p.409-416. ISSN : 1231-4005 e-ISSN : 2354-0133 alamat web : www.kones.eu	2013
2.	Bambang Kismono Hadi , Muhammad A Ghofur, Indra Permana, "The Design of a High Aspect Ratio HALE Aircraft Composite Wing. Part I: Static Strength	Journal of Mechanical Engineering An International Journal, Malaysia, Volume 12 No. 2, pp.1-11, December	2015

No.	Judul	Nama Jurnal	Tahun
	Analysis".	2015. ISSN 1823-5514, eISSN : 2550-164X , Malaysia. https://jmeche.uitm.edu.my . Quartiles Sjr : Q4	
3.	Bambang Kismono Hadi , Indra Permana, "The Design of a High Aspect Ratio HALE Aircraft Composite Wing. Part II: Buckling and Flutter Speed Analysis".	Journal of Mechanical Engineering, An International Journal . Volume 12 No.2, December 2015. ISSN : 1823-5514, Selangor, Malaysia. https://jmeche.uitm.edu.my . Quartiles Sjr : Q4	2015
4.	Bambang Kismono Hadi , Rahmah S Trisolicha, "Experimental Study on the Compressive Strengths of Woven Glass-Epoxy Composites".	Applied Mechanics and Materials. ISSN : 1662-7482, Vol.842, pp.31-35. doi : 10.4028. www.scientific.net/AMM.842.31 , Trans Tech Publications., Material Science & Engineering, Switzerland, Quartiles Sjr : Q4	2016
5.	Syarif Hidayat, Bambang Kismono Hadi , Hendri Syamsudin, Sandro Miharadi, "Stress-Distribution Around Pin-Loaded Hole for Orthotropic Laminates".	Applied Mechanics and Materials, Vol.842, pp.53-60. ISSN : 1662-7482. doi : 10.4028/ www.scientific.net/AMM.842.53 , Trans Tech Publications, Switzerland. Quartiles Sjr : Q4	2016
6.	I Gusti Ngurah Sudira, Bambang Kismono Hadi , Mochammad Agoes Moelyadi, Djarot Widagdo, "Application of Genetic Algorithm for The Design Optimization of Geodesic Beam Structure".	Applied Mechanics and Materials, Vol. 842, pp.266-272, ISSN: 1662-7482, doi :10.4028/ www.scientific.net/AMM.842.266 , Trans Tech Publications, Switzerland. Quartiles Sjr : Q4	2016

5.2 Dalam *proceeding* seminar internasional

No.	Judul	Nama Jurnal	Tahun
1.	Rais Zain, Indra Nurhadi, Bambang Kismono Hadi , I Wayan Tjatra, "CAD Based Integration from Pressure Distribution Loads to Wingbox Model for Preliminary Wing Design".	Proceeding The 5 th AUN/SEED-Net Regional Conference in Mechanical and Aerospace Technology	2013
2.	Lies Banowati, Bambang Kismono Hadi , "The Use of Ramie Fiber in HDPE Matrix Composite for The Rehabilitation of Scoliosis Patients".	International Conference on Engineering of Tarumanagara (ICET 2013)	2013
3.	Lies Banowati, Bambang Kismono Hadi , Rochim Suratman, Aulia Faza, "Tensile strength of ramie yarn (spinning by machine)/HDPE thermoplastic composites".	AIP Conference Proceedings, 1717 (1), 040013	2016

5.3 Dalam *proceeding* seminar nasional

No.	Judul	Nama Jurnal	Tahun
1.	A. A. E. Ifannossa, Bambang Kismono Hadi , Muhammad Kusni, "Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serat Bambu Laminat Helai dan Wooven yang Dibuat Dengan Metode Manufaktur Hand Lay-Up".	Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, hal 35-42,, ISBN : 978-602-97742-0-7.	2010
2.	Danny Eldo, Bambang Kismono Hadi , Muhammad Kusni, "Analisis Kekuatan Lentur Struktur Sandwich Komposit Serat Bambu dengan Core Polyurethane Melalui Uji Three Point Bending dan Metode Elemen Hingga".	Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, hal 221-229, ISBN : 978-602-97742-0-7	2010

No.	Judul	Nama Jurnal	Tahun
3.	Maulana Abduh, Bambang Kismono Hadi , Muhammad Kusni, "Analisis Impact Kecepatan Rendah pada Komposit Struktur Sandwich Serat Bambu dengan Polyurethane Core".	Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, hal. 231-238 MIV-231 - MIV238, ISBN : 978-602-97742-0-7.	2010
4.	Lies Banowati, Rais Zain, Bambang Kismono Hadi , "Rekontruksi Benda 3D Dengan Menggunakan Teknik Digital Fotogrametri, Studi Kasus: Rekontruksi Bentuk Persegi".	Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin X,	2011
5.	Albert Meigo R.E.Y., Romie Oktavianus Bura, Bambang Kismono Hadi , "Perbandingan Simulasi dengan Asumsi Ideal gas dengan Kondisi Real gas Effect pada Kasus Combustion".	Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin X	2011
6.	Syarif Hidayat, Bambang Kismono Hadi , Hendri Syamsudin, Lenny Iryani, Arie Sukmajaya, "Analisa Tegangan di Sekitar Lubang pada Pelat PIN-LOADED dengan menggunakan Metoda Digital Image Correlation (DIC)".	Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV, UGM, Yogyakarta	2012
7.	Lies Banowati, Robby Zieda Hilmi, Bambang Kismono Hadi , Rochim Suratman Uji Sifat Mekanik Bahan Termoplastik HDPE (High Density Polyethylene)	Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII), Bandar Lampung	2013
8.	Syarif Hidayat, Bambang Kismono Hadi, Hendri Syamsudin, " Analisis tegangan di sekitar lubang pada pelat komposit PIN-LOADED dengan pendekatan numerik dan eksperimental".	Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII), Bandar Lampung	2013

No.	Judul	Nama Jurnal	Tahun
9.	Lies Banowati, Rochim Suratman, Bambang Kismono Hadi , Nurhadi Permana, " Charpy Impact Toughness of Ramie Fiber/HDPE Thermoplastic Matrix Composites".	Proceeding Seminar Nasional Metalurgi dan Material VII Tahun 2014 (SENAMM VII)	2014

