

Studi Pemilihan Jenis *Skin* Struktur Panel Sandwich Car Body Monorail Berdasarkan Analisis Kekuatan Impak

Kuncoro Diharjo

Jurusan Teknik Mesin FT UNS, Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126

Telp. (0271) 632163

Email: kuncorodiharjo@uns.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemilihan jenis *skin* struktur panel sandwich berdasarkan analisis kekuatan kekuatan impak. Penampang patahan dilakukan pengamatan untuk mengidentifikasi mekanisme kegagalannya. Jenis *skin* alternatif yang diteliti terdiri dari *skin* komposit GFRP, aluminium (Al), dan zink-aluminium (ZnAl). Komposit GFRP yang digunakan adalah komposit serat E-gelas anyam 2 lamina dan 5 lamina, dengan matrik poliester dan epoxy. Core yang digunakan adalah Divinycell PVC H 60 dengan ketebalan 10 mm. Pembuatan panel sandwich dilakukan dengan mempersiapkan komponen *skin*-nya terlebih dahulu. Proses penggabungan *skin* dan core dilakukan dengan metode *dry vacuum* pada tekanan kerja 1 bar. Dimensi sampel uji dibuat dengan mengacu pada standar ASTM D 5942 dan pengujian impak dilakukan dengan uji impak *charpy*. Panel sandwich yang memiliki serapan energi dan kekuatan impak tertinggi adalah panel sandwich sandwich dengan *skin* komposit GFRP 5L – GFRP 5L bermatrik epoxy. Penggunaan plat Al sebagai *skin* panel sandwich dipandang lebih menguntungkan dibandingkan dengan *skin* ZnAl. Berdasarkan pertimbangan kekuatan dan harga, panel sandwich yang memiliki kekuatan impak tinggi dengan harga yang murah adalah *skin* GFRP- GFRP, *skin* Al-Al, dan kombinasi *skin* GFRP – Al. Penampang patahan menunjukkan kegagalan tekan core, geser core, dan delaminasi antara *skin* dengan core. Penggunaan komposit serat gelas sebagai *skin* atas mampu memperbaiki kekuatan ikatan interface antara *skin* komposit dengan core.

Kata kunci : panel sandwich, energi patah, kekuatan impak

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan sarana transportasi di kota besar selalu terus bertambah, baik jumlah maupun kualitasnya. Akibatnya, kemacetan menjadi permasalahan rutin sehari-hari. Untuk mengantisipasi persoalan tersebut maka dibutuhkan *smart transportation*, seperti Busway dan Monorail. Persiapan fisik sarana transportasi monorail yang sedang dilakukan ada 2 bagian yaitu persiapan sarana fisik (jalur monorail) dan rekayasa kereta api monorailnya. PT. INKA, sebagai satu-satunya industri kereta api di Indonesia, telah mempersiapkan diri untuk menyongsong realisasi monorail di DKI. Konsep disain kereta monorail ini dirancang berbeda dengan kereta dua rel (kereta biasa). Monorail didisain dengan meminimalkan penggunaan komponen berat. Salah satu alternatif material yang saat ini sedang dipertimbangkan sebagai struktur car body monorail adalah panel struktur sandwich. Aplikasi panel ini diharapkan akan dapat mereduksi stiffener, karena panel sandwich tersebut sudah juga berfungsi sebagai struktur (bukan hanya sekedar *cover*).

Analisis pemilihan komponen alternatif panel sandwich meliputi komponen *skin* dan core. Jenis core yang sudah biasa dipakai di beberapa struktur car body kendaraan adalah core *divinycell* PVC, *honeycomb*, balsa, dan polyurethane [www.diabgroup.com]. Jenis core alternatif yang akan digunakan dalam disain monorail ini direncanakan *divinycell* PVC. Namun, jenis *skin* yang akan digunakan sebagai dalam struktur sandwich ini belum ditentukan. Beberapa alternatif jenis *skin* yang sedang dipertimbangkan antara lain komposit GFRP (*glass fiber reinforced plastic*) berpenguat serat gelas anyam dengan matrik polyester atau epoxy, plat aluminium, plat zinkalum (ZnAl), dan

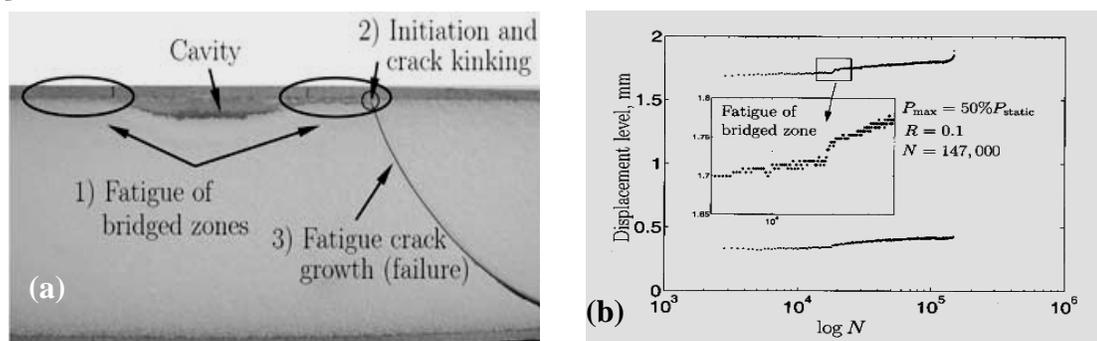
kombinasinya [Sugiharto, 2005]. Untuk menentukan jenis skin yang paling baik perlu dilakukan riset pendahuluan untuk menganalisis jenis skin yang memiliki kekuatan paling optimum.

Beban yang akan diterima oleh sebuah panel car body monorail sangat kompleks. Salah satu jenis beban yang akan dipertimbangkan secara serius adalah beban impact. Penelitian ini akan mengkaji studi pemilihan jenis skin struktur monorail dengan core *divinycell* PVC yang didasarkan pada analisis kekuatan impact. Hasil penelitian ini diharapkan dapat melengkapi hasil studi alternatif pemilihan jenis skin yang akan digunakan dalam disain panel sandwich struktur monorail.

Kajian Riset Pendahuluan

Hasil studi pemilihan jenis skin panel sandwich dengan *core divinycell* PVC untuk car body monorail yang didasarkan pada kekuatan bending menunjukkan bahwa material yang memiliki ketahanan momen tertinggi dan terendah adalah struktur sandwich dengan kombinasi skin komposit GFRP 5 layer bermatrik epoxy dan ZnAl (12580 N.mm) dan struktur sandwich dengan kombinasi skin ZnAl-Al (6915 N.mm). Penggunaan skin komposit GFRP sebagai skin atas dan skin AL atau ZnAl sebagai skin bawah mampu meningkatkan kemampuan menahan momen struktur sandwich. Kekuatan bending (*facing bending stress*) tertinggi dimiliki oleh struktur sandwich dengan skin kombinasi GFRP 5L – ZnAl. Pada struktur sandwich tersebut, penggunaan resin epoxy sebagai matrik mampu memberikan peningkatan kekuatan bending sebesar 6.96% di atas kekuatan bending struktur sandwich yang menggunakan resin polister (54.23 MPa). Berdasarkan pertimbangan kekuatan dan harga, maka urutan struktur sandwich yang memiliki kekuatan bending tinggi dengan harga yang relatif murah adalah sebagai berikut; GFRP-P 2L – Al, GFRP-P 5L – ZnAl, GFRP-E 2L – Al, dan GFRP-E 5L – ZnAl. Kegagalan struktur sandwich menunjukkan adanya mekanisme kegagalan delaminasi antara skin dengan core dan kegagalan core. Penggunaan komposit serat gelas sebagai skin atas mampu memperbaiki kekuatan ikatan interface antara skin komposit dengan core [Diharjo, 2006].

Kegagalan fatik bending pada batang komposit sandwich serat gelas dengan *core foam Rohacell* WF51 terdiri dari 3 tahap yaitu (1) kegagalan leleh cepat pada daerah sekeliling *bridged zone*, (2) retak fatik awal dan (3) perambatan retak fatik pada core dengan sudut penjalaran retak 70° , seperti pada gambar 3. Kegagalan fatik pada daerah sekitar *bridged zone* terjadi pada siklus awal umur leleh sekitar 3-15% dari total jumlah siklus beban (P_{mak}). Pada 20.000 siklus beban, peningkatan *level displacement* mengindikasikan peningkatan kekakuan batang secara tiba-tiba, yang ada kaitannya dengan kegagalan fatik pada *bridged zone*, seperti ditunjukkan pada gambar 1 [Shipsha dan Zenkert, 2003].



Gambar 1. (a) kegagalan leleh batang komposit sandwich dengan kerusakan awal uji impact, (b) Kurva displacement vs Siklus pada kegagalan fatik daerah sekitar *bridged* [Shipsha dan Zenkert, 2003].

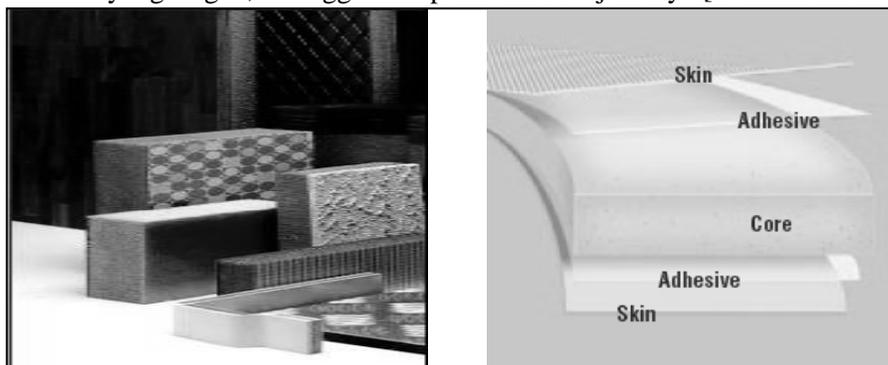
Kekuatan bending komposit *sandwich* yang menggunakan *core divinycell* PVC H 100 adalah sebesar 70,977 Mpa, sedangkan kekuatannya adalah sebesar 0,0718 J/mm². Substitusi penggunaan *core divinycell* PVC H 200 meningkatkan kekuatan bending komposit *sandwich* menjadi 81,92 Mpa, sedangkan kekuatannya adalah 0,0741 J/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa

kekuatan bending dan impak komposit *sandwich* meningkat seiring dengan peningkatan kekuatan *core*nya [Kowangid dan Diharjo, 2003].

Hillger (1998), mengemukakan bahwa ada beberapa macam tipe kerusakan pada pengujian impak yang dapat dideteksi, seperti : retak dan delaminasi pada *skin*, *debonding* antara *skin* dan *core* serta kerusakan di dalam *core*. Sedangkan akibat beban bending kerusakan tergantung pada geometri balok *sandwich* yang diuji dan properti penyusunnya, model kerusakan yang terjadi berupa *core shear*, *micro buckling* pada *skin*, dan *indentation* dibawah *loading rooller* [Steeves dan Fleck, 2005].

Panel Sandwich

Struktur sandwich adalah gabungan material yang terdiri dari 2 buah komponen *skin* sebagai lapisan permukaan dan *core* di bagian tengahnya (gambar 2). Pada umumnya ketebalan lapisan perekat sangat tipis sehingga diabaikan dalam perhitungan. Untuk mendapatkan struktur *sandwich* yang berkualitas maka diperlukan *skin* dan *core* yang tepat. Dalam struktur *sandwich*, fungsi utama *skin* adalah sebagai pelindung bagian dalam dari benturan, gesekan dan juga untuk keperluan penampilan (*performance*). *Skin* yang tepat sangat menentukan kekuatan dan umur struktur *sandwich* [Steeves dan Fleck, 2005]. Jika komponen *skin* pada struktur sandwich menggunakan bahan komposit, maka struktur sandwich tersebut sering dikenal dengan komposit sandwich. Faktor utama dari komposit sandwich adalah *core* yang ringan, sehingga memperkecil berat jenisnya [ASTM C-274-99].



Gambar 2. Struktur komposit *sandwich* [sumber : DIAB Barracuda Technology]

Kesatuan ikatan antara *skin* dan *core* mampu mencegah kegagalan interfasial dan meningkatkan *flexural properties* struktur sandwich. Tidak ada aturan umum tentang hubungan antara ketebalan *skin* dan *core*. Hal ini tergantung pada aplikasi dan sifat-sifat yang dibutuhkan. Keuntungan utama komposit *sandwich* adalah adanya kemungkinan penyesuaian sifat mekanis dengan cara memilih material *skin* dan *core* yang tepat [ASTM C 274-99]

Proses Vacuum Panel Sandwich

Teknologi proses manufaktur panel sandwich yang sering dilakukan di industri adalah proses vakum, baik *dry vacuum* maupun *wet vacuum*. Proses *dry vacuum* dilakukan jika komponen penyusun sandwich (*skin* dan *core*) sudah jadi. Penggabungan antara *skin* dan *core* dilakukan dengan menambahkan bahan adesif, yang dioleskan merata pada permukaan *skin* dan *core*. Jenis-jenis struktur sandwich yang menggunakan *skin* yang sudah berbentuk lembaran dapat dilakukan dengan proses *dry vacuum*, seperti *skin* lembaran aluminium dan zinkalum. Kelamahan proses ini adalah ikatannya kurang kuat, karena adhesif tidak dapat mengikat dengan sempurna pada permukaan *skin* dan *core* [Sugiharto, 2005]

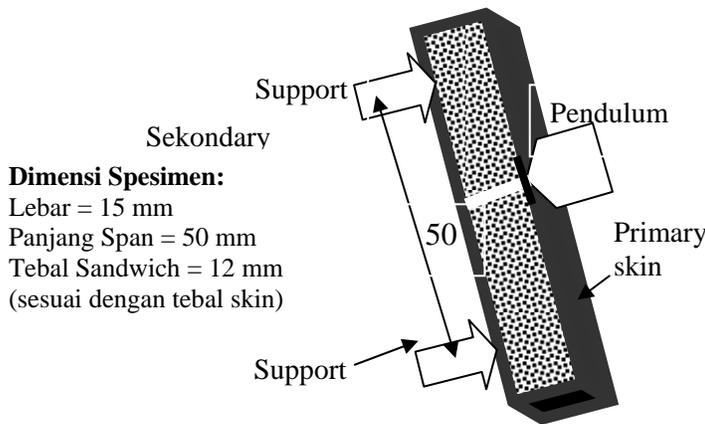
Proses manufaktur panel sandwich dari bahan komposit sandwich dapat dilakukan dengan proses *wet vacuum*. Dalam proses ini, pembentukan lembaran komposit *skin* dilakukan bersamaan dengan pencetakan komposit sandwich. Resin, yang berfungsi sebagai matrik pada komposit *skin*, sekaligus berfungsi sebagai adhesif antara *skin* dengan *core*. Proses ini dipandang lebih ekonomis,

karena tidak membutuhkan lembaran skin dan yang sudah jadi dan tidak memerlukan adhesif. Karena proses pemvakumannya dilakukan ketika komposit skin masih basah, maka matrik dapat meresap ke rongga-rongga *core* dengan sempurna sehingga ikatan antara skin dengan core lebih sempurna.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan adalah serat gelas anyam, plat aluminium (Al), plat zinkalum(ZnAl), resin poliester, resin epoxy, dan adhesif Inapur. Bahan core yang digunakan adalah *divinycell*[®] H 60 dengan ketebalan 10 mm. Core tersebut berupa core segmen berukuran 40 mm x 40 mm yang direkatkan pada strimin serat gelas anyam. Komposit serat gelas anyam dengan matrik epoxy dan polyester (GFRP) dibuat berbentuk lembaran terlebih dahulu dengan metoda vakum. Jumlah layer serat gelas anyam yang digunakan terdiri dari 2 layer dan 5 layer dengan variasi orientasi serat [0/90 dan -45/45]. Besarnya fraksi volume serat adalah 40%. Variasi pasangan skin yang digunakan dalam pembuatan panel sandwich terdiri dari skin-1: GFRP 2L - ZnAl, skin-2: GFRP 5L – GFRP 5 L, skin-3: GFRP 5L – ZnAl, skin-4 = GFRP 2L – GFRP 2L, skin-5: GFRP 5L – Al, skin-6: Al – Al, skin 7: ZnAl – ZnAl, skin-8: GFRP 2 L – Al, dan skin 9: ZnAl – Al. Panel sandwich disuplai oleh PT. INKA dan selanjutnya dipotong menjadi spesimen uji sesuai dengan standar ASTM D-5942. Data sampel uji panel sandwich ditunjukkan pada tabel 1.

Pembuatan komposit sandwich dilakukan dengan menggunakan metoda *dry vacuum*. Perekatan antara core dan skin dilakukan dengan menggunakan adhesif Inapur[®] 9000. Selanjutnya, sampel lembaran struktur sandwich tersebut dipotong secara manual menjadi spesimen uji impak *charpy*, seperti ditunjukkan pada gambar 3. Berhubung spesimen uji memiliki titik terlemah di daerah sambungan *core* (daerah kosong), maka pukulan pendulum diarahkan pada titik tersebut. Hal ini dilakukan agar data yang diperoleh merupakan kekuatan terendah, sehingga jika diimplementasikan struktur *sandwich* tersebut akan tetap aman.



Gambar 3. Dimensi dan mekanisme uji impak charpy.



Gambar 4. Alat uji impak charpy

Pengujian dilakukan dengan memberikan sudut ayun pendulum (β) sebesar 90^0 . Untuk mengetahui besarnya energi gesekan maka dilakukan pelepasan pendulum tanpa benda uji sehingga diperoleh sudut pantul sebesar α' (0). Selanjutnya, sampel uji dipasang pada dudukan spesimen dengan jarak span penyangga 50 mm. Pengujian impak spesimen juga dilakukan dengan sudut ayun 90^0 , sedangkan sudut pantulnya adalah α . Besarnya energi serap (patah) sampel uji dapat dilakukan dengan persamaan (Shackelfold, 1992):

$$E_{\text{serap}} = WR[\text{Cos}\alpha - \text{Cos}\alpha'] \dots \dots \dots (1)$$

Besarnya kekuatan impak dapat dihitung dengan persamaan;

$$Kekuatan\ Impak = \frac{E_{serap}}{A} \dots\dots\dots(2)$$

Data yang diperoleh dari hasil pengujian adalah beban dan defleksi, yang selanjutnya diolah untuk menghitung kekuatan impact. Pengamatan foto makro dilakukan untuk mendukung data hasil analisis kekuatan impact.

HASIL DAN PEMBAHASAN

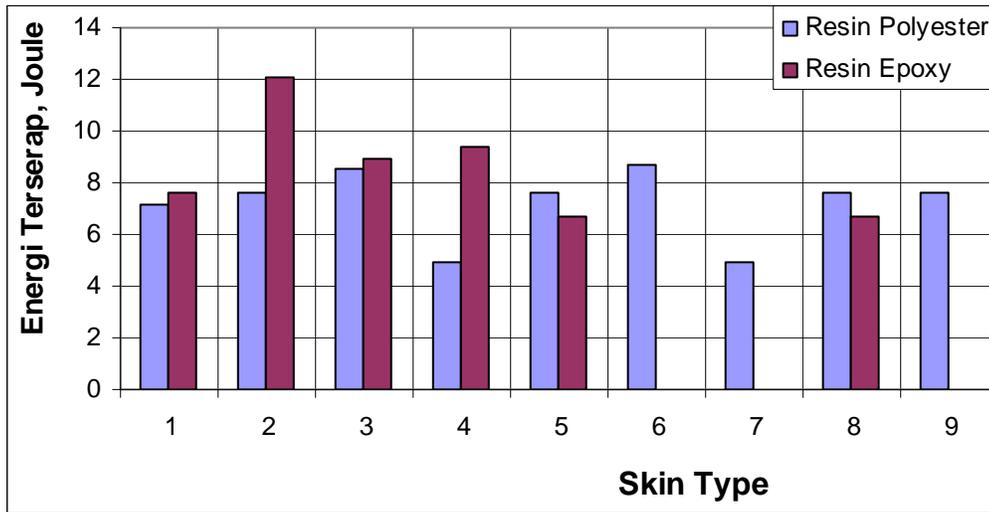
Tabel 1. Data dimensi dan hasil pengujian impact panel sandwich.

No	Skin Atas (sa)	Skin Bawah (sb)	Tebal sa (mm)	Tebal sb (mm)	Tebal sandwich (mm)	Lebar sampel (mm)	β (°)	α' (°)	α (°)	Energi Serap (Joule)	Kekuatan Impact (J/mm ²)
1a	GFRP-E 2L WR 45/90	ZnAl	1.71	0.5	11.05	15	90	89	83	7.62	0.047
1b	GFRP-P 2L WR 45/90	ZnAl	1.19	0.5	11.25	15	90	89	84	7.18	0.042
2a	GFRP-E 5L WR 45/90E	GFRP-E 5L WR 45/90	2.13	2.0	13.81	15	90	89	80	12.06	0.054
2b	GFRP-P 5L WR 45/90E	GFRP-P 5L WR 45/90	1.02	0.89	11.70	15	90	89	83	7.62	0.042
3a	GFRP-E 5L WR 45/90	ZnAl	2.31	0.5	12.24	15	90	89	82	8.96	0.047
3b	GFRP-P 5L WR 45/90	ZnAl	1.52	0.5	11.72	15	90	89	83	8.51	0.044
4a	GFRP-E 2L WR 45/90	GFRP-E 2L WR 45/90	1.43	1.7	12.63	15	90	89	82	9.40	0.048
4b	GFRP-P 2L WR 45/90	GFRP-P 2L WR 45/90	0.89	1.34	11.76	15	90	89	85	4.94	0.028
5a	GFRP-E 5L WR 45/90	Al	2.42	0.5	12.85	15	90	89	84	6.73	0.035
5b	GFRP-P 5L WR 45/90	Al	1.10	0.5	11.29	15	90	89	83	7.62	0.045
6	Al	Al	0.50	0.5	11.00	15	90	89	82	8.96	0.052
7	ZnAl	ZnAl	0.50	0.5	10.73	15	90	89	85	5.83	0.037
8a	GFRP-E 2L WR 45/90	Al	1.69	0.5	12.04	15	90	89	84	6.73	0.036
8b	GFRP-P 2L WR 45/90	Al	1.10	0.5	11.47	15	90	89	83	7.62	0.043
9	ZnAl	Al	0.50	0.5	10.90	15	90	89	84	6.28	0.038

Data dimensi sampel panel sandwich dan hasil analisis data pengujian impact charpy ditunjukkan pada tabel 1. Tebal panel sandwich bervariasi tergantung pada jenis skin yang digunakan. Untuk mempermudah menganalisis hasil pengujian, maka data hasil analisis perhitungan pada tabel 1 tersebut di atas diolah menjadi bentuk diagram batang seperti ditunjukkan pada gambar 4, gambar dan gambar 5.

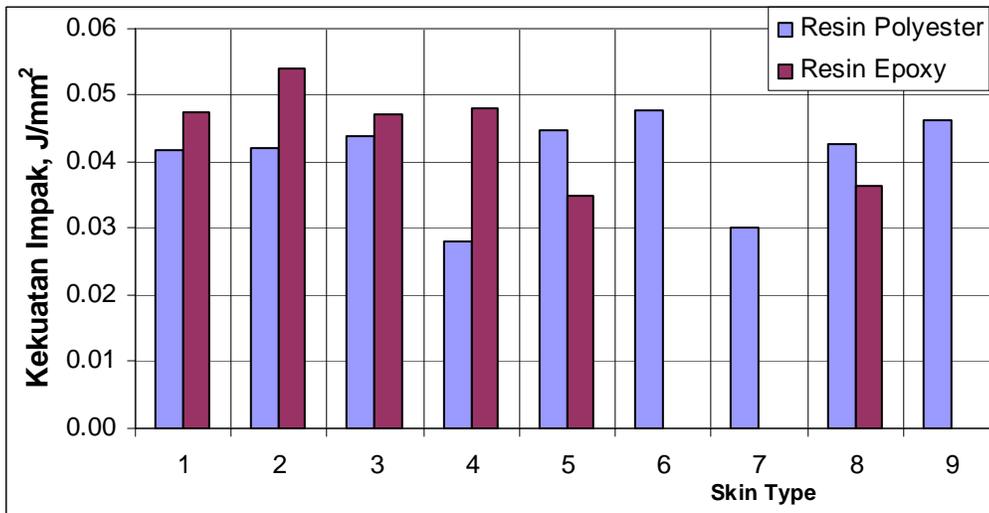
Material yang memiliki energi serap uji impact charpy tertinggi (12.06 joule) adalah panel sandwich skin komposit GFRP 5 layer bermatrik epoxy sebagai skin atas dan bawah, sedangkan material yang memiliki ketahanan momen terendah (4.94 joule) adalah panel sandwich dengan skin GFRP 2 layer bermatrik polyester sebagai skin atas dan bawah. Analisis komparasi panel sandwich yang menggunakan skin aluminium (skin 5, skin 6, skin 8 dan skin 9) menunjukkan bahwa kombinasi antara skin plat Al – Al (skin 6) memiliki energi serap yang paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat aluminium yang lebih elastis sehingga mampu menyerap energi impact yang lebih tinggi. Analisis komparasi energi serap impact panel sandwich yang menggunakan skin ZnAl (skin 1, skin 3, skin 7 dan

skin 9) menunjukkan bahwa kombinasi antara skin GFRP 5L – ZnAl (skin 3) memiliki energi serap yang paling tinggi. Penggunaan komposit GFRP 5L sebagai skin bawah panel sandwich mampu memberikan energi serap tertinggi. Analisis komparasi energi impact panel sandwich yang menggunakan skin komposit GFRP menunjukkan bahwa skin 2 (GFRP 5L – GFRP 5L) bermatrik epoxy memiliki energi serap yang paling tinggi. kekuatan tertinggi tersebut Panel sandwich dengan skin GFRP bermatrik epoxy memiliki energi serap yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel sandwich dengan skin GFRP bermatrik polyester. Hal ini disebabkan oleh sifat epoxy yang lebih elastis sehingga memiliki serapan energi yang lebih besar. Berdasarkan analisis tersebut di atas maka dapat disimpulkan bahwa panel sandwich dengan skin GFRP 5 L – GFRP 5L bermatrik epoxy memiliki serapan energi impact tertinggi. Kombinasi jenis skin selanjutnya yang potensial digunakan adalah skin 3 (GFRP 5L [Epoxy] – ZnAl) dan skin 6 (Al – Al).



Skin 1: GFRP 2L - ZnAl, Skin 2: GFRP 5L – GFRP 5 L, Skin 3: GFRP 5L – ZnAl, Skin 4: GFRP 2L – GFRP 2 L,
 Skin 5: GFRP 5L – Al, Skin 6: Al – Al, Skin 7: ZnAl – ZnAl, Skin 8: GFRP 2 L – Al, Skin 9: ZnAl – Al.

Gambar 5. Diagram batang hubungan energi serap uji impact terhadap jenis skin panel sandwich.



Skin 1: GFRP 2L - ZnAl, Skin 2: GFRP 5L – GFRP 5 L, Skin 3: GFRP 5L – ZnAl, Skin 4: GFRP 2L – GFRP 2 L,
 Skin 5: GFRP 5L – Al, Skin 6: Al – Al, Skin 7: ZnAl – ZnAl, Skin 8: GFRP 2 L – Al, Skin 9: ZnAl – Al.

Gambar 6. Diagram batang hubungan kekuatan impact terhadap jenis skin panel sandwich.

Analisis komparasi kekuatan impact komposit sandwich yang menggunakan komposit GFRP menunjukkan bahwa kombinasi skin 2 (GFRP 5L – GFRP 5L) bermatrik epoxy memiliki kekuatan impact tertinggi, dan diikuti oleh kekuatan impact panel sandwich dengan skin 4 (GFRP 2 L – GFRP 2L) bermatrik epoxy dan skin 6 (Al-Al). Pada panel sandwich yang menggunakan jenis skin Al, kekuatan impact tertinggi terjadi pada panel sandwich dengan skin 6 (Al – Al), dan diikuti oleh panel sandwich dengan skin 5 bermatrik poliester dan skin 8 bermatrik poliester. Panel sandwich yang menggunakan skin ZnAl (seperti skin 1 (bermatrik epoxy), skin 3 (bermatrik epoxy) dan skin 9 (ZnAl-Al), memiliki kekuatan impact yang hampir sama. Penggunaan skin 7 (ZnAl – ZnAl) memiliki kekuatan yang lebih rendah. Berdasarkan analisis tersebut di atas maka dapat dikatakan bahwa panel sandwich yang menggunakan skin komposit GFRP merupakan jenis skin alternatif yang terbaik untuk dipilih, karena skin komposit GFRP dapat dengan mudah dibuat sendiri di dalam negeri. Sebaliknya, skin Al dan ZnAl merupakan bahan impor jadi sehingga memiliki harga yang lebih mahal.

Kominasi skin komposit GFRP baik 2 maupun 5 layer (skin 2 dan skin 4) mengindikasikan bahwa penggunaan matrik epoxy mampu memberikan peningkatan kekuatan impact panel sandwich. Namun demikian, harga matrik epoxy sangat mahal yaitu sekitar 5 kali lipat harga poliester. Oleh karena itu, pihak industri sebaiknya melakukan analisis pemilihan jenis matrik (epoxy atau poliester) dengan dengan cermat berdasarkan konsep “perlu-tidaknya menggunakan epoxy”, sesuai dengan jenis panel dan beban yang akan diterima.

Penampang Patahan Struktur Sandwich



Gambar 7. Penampang patahan uji impact.

Penampang patahan hasil uji impact diindikasikan oleh lemahnya core dan kurang kuatnya ikatan antara skin dengan core. Core mengalami dua macam kegagalan yaitu gagal akibat tidak mampu menerima tekanan dan gagal geser (core patah). Ikatan antara komponen skin dengan core juga masih lemah yang ditunjukkan oleh banyaknya kegagalan delaminasi. Skin ZnAl dan Al mengalami defleksi permanen namun tidak patah, sedangkan skin komposit GFRP menunjukkan terjadinya perpatahan pada bagian skin GFRP sisi belakang. Optimasi kegagalan struktur ditunjukkan oleh kegagalan panel sandwich dengan skin GFRP, yaitu adanya kegagalan yang bersamaan antara skin GFRP dan core divinylsall PVC H 60. Dengan demikian, mekanisme kegagalan yang terjadi adalah pada struktur sandwich adalah core terdefleksi dan diikuti oleh delaminasi skin dengan core. Akhir dari mekanisme kegagalan ini adalah core mengalami gagal geser.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan tersebut di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Panel sandwich yang memiliki serapan energi dan kekuatan impak tertinggi adalah panel sandwich sandwich dengan skin komposit GFRP 5L – GFRP 5L bermatrik epoxy.
2. Penggunaan plat Al sebagai skin panel sandwich dipandang lebih menguntungkan dibandingkan dengan skin ZnAl.
3. Berdasarkan pertimbangan kekuatan dan harga, panel sandwich yang memiliki kekuatan bending tinggi dengan harga yang murah adalah sebagai berikut; skin GFRP- GFRP, skin Al-Al, dan kombinasi skin GFRP – Al.
4. Penampang patahan hasil uji impak menunjukkan kegagalan tekan core, geser core, dan delaminasi antara skin dengan core. Penggunaan komposit serat gelas sebagai skin atas mampu memperbaiki kekuatan ikatan interface antara skin komposit dengan core.

DAFTAR NOTASI

A	: luas penampang komposit yang akan dipatahkan	(mm ²)
E _{serap}	: energi terserap	(Joule),
R	: panjang lengan pendulum	(m),
W	: berat pendulum	(N),
α	: sudut pantul pendulum dengan benda uji	(⁰)
α'	: sudut pantul pendulum tanpa benda uji	(⁰)
β	: sudut ayun pendulum	(⁰),

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Divisi Riset dan Pengembangan PT. INKA atas kepercayaan kepada kami, sebagai partner kerja dalam bidang riset.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 1991. ‘*Technical Spesification Divinycell[®] H Grade*’, Available Online at www.diabgroup.com
- [2] Anonim, 1998. ASTM 5942 standards, ‘*Standard Test Methode for Impact Properties of Sandwich Composite*’, New York.
- [3] Anonim, 1998. ASTM D 3878-01, ASTM C 274-99 standards, ‘*Standard Terminology for Composites and Structural Sandwich Construction*’, New York.
- [4] Diharjo K., 2006. “*Pemilihan Jenis Skin Alternatif Rancangan Struktur Panel Sandwich Untuk Car Body Monorail Berdasarkan Analisis Kekuatan Bending*”, Proceeding, SNITM, FTI ITS, Surabaya, 19 September 2006.
- [5] Hillger, W., M., 1998. “*Stress Analysis of Fiber Reinforced Composite Material*”, McGraw Hills Book Company, New York, USA.
- [6] Kowangid M. dan Diharjo K., (2003). “*Karakteristik Mekanis Komposit Sandwich Serat Gelas Dengan Core PVC*”, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin FT-UNS, Surakarta.
- [7] Shipsha A. dan Zenkert D., 2003. “*Fatigue Behavior of Foam Core sandwich beam with Sub-interface Impact Damage*”, Journal of Sandwich Structure Materials, Vol. 5, pp. 147-160.
- [8] Steeves C. A., dan Fleck N.A., 2004. ‘*Collaps Mechanism of Sandwich Beam with Composite Face and Foam Core*’, Loaded in Three Point Bending’, Available Online at www.sciencedirect.com.
- [9] Sugiharto S., 2005. “*Diskusi Studi Pemilihan Panel Sandwich Untuk Stryktur monorail*”, PT. INKA, Madiun.
- [10] Sugiharto S., 2005. “*Diskusi Proses Pembuatan Komposit Sandwcih dengan Metode Dry Vacuum*”, PT. INKA, Madiun.