

## PEMANFAATAN LIMBAH SERAT KELAPA DAN BAGAS SEBAGAI PENGISI PALANG PINTU PERLINTASAN KERETA API DARI KOMPOSIT BERSTRUKTUR SANDWICH

### UTILIZATION OF WASTE COCONUT AND BAGASSE FIBER AS A FILLER OF RAILWAY CROSSING BARRIER FROM SANDWICH STRUCTURE COMPOSITE

**Kuntari Adi Suhardjo dan Ariyadi Basuki**

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Kementerian Perindustrian

Jl. Sangkuriang No.14, Bandung - Indonesia

*e-mail: koentariadisoehardjo@gmail.com*

diajukan: 17/06/2014, direvisi: 14/07/2014, disetujui: 27/08/2014

#### ABSTRACT

*Railway crossing barrier is made of wood, often hit by a vehicle that cause short lifetime. For wood substitution has done a research railway crossing barrier of composite sandwich structure using coconut /bagasse fiberboard as fillers, which aims to substitute wood. The experiment used WR200 and stichbonded fiberglass. Preliminary experiments have been done by making glass fiber and polyester resin composite test specimens with three variations: First 4WR200 + 4Stitchbonded + polyester resin with a total thickness of 10 mm, second 2WR200 + 6Stitchbonded + polyester resin with a total thickness of 14 mm and third 6WR200+ 2Stitchbonded resin with a total thickness of 6 mm. The best results are the first variation. Furthermore, the experiment of making railway crossing barrier with the first variation [(2WR200+2Stitchbonded) + polyester resin] + coconut/bagasse fiber board + [(2WR200 + 2Stich bonded) + polyester resin]. From the calculation of Techno Economics: Price of wooden railway crossing barrier is Rp 7.589.500,-/unit with investment in equipment and price is Rp 2.532.000,-/unit without investment in equipment, Price of crossing barrier sandwich composite is Rp 12.811.430,-/unit with investment in equipment and price is Rp 2.419.180, - / unit without investment in equipment. The overall weight of wooden railway crossings product 52.62 kg, product of railway crossing barrier sandwich composites using coconut fiberboard filler 57.71 kg, and using bagasse fiberboard filler 54.25 kg*

*Keywords: railway crossings barrier, composites, fiberglass, polyester resin, coconut fiberboard and bagasse fiberboard.*

#### ABSTRAK

Palang pintu perlintasan kereta api terbuat dari kayu, pada umumnya sering tertabrak kendaraan sehingga umur pakai menjadi pendek. Telah dilakukan penelitian pembuatan palang pintu dari komposit berstruktur *sandwich* dengan menggunakan pengisi *fiberboard* serat kelapa atau bagas yang bertujuan untuk substitusi kayu. Percobaan ini menggunakan serat gelas WR200 dan *Stichbonded*. Tahapan percobaan pendahuluan membuat spesimen komposit serat gelas dan resin poliester dengan tiga variasi yaitu pertama 4WR200 + 4Stitch Bonded + resin poliester dengan total tebal 10 mm; kedua 2WR200 + 6Stitch Bonded + resin dengan total tebal 14 mm dan ketiga 6WR200 + 2Stitch Bonded+ resin dengan tebal total 6 mm yang hasil terbaik adalah variasi pertama. Selanjutnya dilakukan percobaan pembuatan palang pintu kereta api menggunakan variasi pertama, hal ini percobaan yang pertama memberikan hasil terbaik Proses pembuatan meliputi *layup* serat gelas dan resin poliester dengan menyisipkan *fiberboard* serat kelapa/serat bagas pada *molding* [(2WR200 + 2Stitch bonded) +resin poliester] + *fiber board* serat kelapa/ bagas + [(2Stich bonded + 2WR200) + resin poliester,kemudian pengepresan, serta pengeringan.Hasil perhitungan Tekno Ekonomi: Harga palang pintu kayu dengan investasi peralatan Rp 7.589.500,-/unit, Harga palang pintu kayu tanpa investasi alat Rp 2.532.000,-/unit, harga palang pintu komposit dengan investasi peralatan Rp 12.811.430,-/unit, Harga Palang Pintu Komposit tanpa investasi alat Rp 2.419.180,-/unit. Berat keseluruhan palang pintu perlintasan kereta api dari kayu 52,62 kg dari *sandwich* komposit mempergunakan *sandwich* pengisi serat kelapa 57,71 kg, dari *sandwich* komposit mempergunakan *sandwich* pengisi bagas 54,25 kg

Kata Kunci: Palang pintu perlintasan kereta api, komposit, serat gelas, resin poliester, *fiber board* serat kelapa dan *fiberboard* serat bagas

## PENDAHULUAN

Palang pintu perlintasan kereta api yang ada saat ini umumnya terbuat dari kayu dengan proteksi permukaan menggunakan cat, umur pakai pendek karena pengendara yang kurang disiplin sehingga kendaraan sering menabrak palang pintu yang mengakibatkan rusak atau patah. Selain hal tersebut juga prasarana kereta api yang tidak memadai yaitu kurangnya sarana palang pintu di persimpangan lintasan kereta api dengan jalan raya ataupun perlintasan kereta api liar didaerah yang mengakibatkan kecelakaan, diperlukan palang pintu kereta api lebih banyak (Kuntari 2012). Atas dasar inilah maka dilakukan percobaan pembuatan palang pintu kereta api dari bahan komposit berstruktur *sandwich* dengan pengisi menggunakan limbah dari serat kelapa atau serat bagas yang dibuat menjadi *fiberboard*, serat bagas adalah ampas tebu bekas penggilingan dipabrik gula (Vilay 2007).

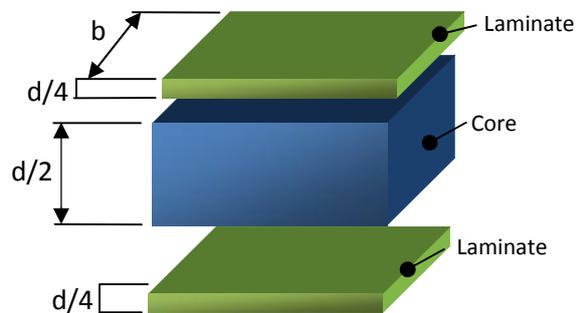
Kelebihan yang ditawarkan dari palang pintu dari komposit berstruktur *sandwich* ini adalah kuat, tahan cuaca, tahan lama dan relatif murah dengan menggunakan bahan komposit yang banyak tersedia di pasar dalam negeri. Selain hal tersebut apabila palang pintu tersebut rusak akibat tertabrak mudah diperbaiki dengan dicetak kembali.

Struktur *Sandwich* adalah struktur komposit yang tersusun dari minimum tiga bagian, yaitu *lamine* bagian atas; inti atau *core*; *lamine* bagian bawah.

Pada struktur *sandwich*, *core* berguna untuk mempertebal struktur dengan cara menyisipkan diantara dua *lamine* yaitu *lamine* atas dan *lamine* bawah. Selain meningkatkan kekakuan lentur (*flexural rigidity*) dengan susunan yang berlapis tersebut secara mekanik struktur menjadi lebih tahan terhadap laju kerusakan.

Pada struktur *solid*, jika terjadi retak awal di satu sisi maka retak tersebut akan merambat sampai ke sisi lainnya dan akhirnya struktur patah total. Namun pada struktur berlapis jika terjadi retak pada satu sisi maka rambatan retak akan tertahan, retak akan berhenti paling jauh sampai pada sisi lapisan lain di lapisan yang sama. Untuk melanjutkan kerusakan perlu usaha lagi

untuk membuat retak awal di lapisan berikutnya



Gambar 1. Struktur *Sandwich*

.Berdasarkan perhitungan dengan asumsi penggunaan bahan *sandwich* dapat menurunkan nilai defleksi hingga 8 kali lebih kecil dari bahan *solid*. Penggunaan struktur komposit/*sandwich* akan meningkatkan nilai kuat lentur dari model hingga 8 kali lebih besar bila dibandingkan memakai struktur bahan *solid*. Struktur *lamine* tersusun dari lembaran-lembaran serat gelas yang ditumpuk-tumpuk sedemikian rupa dicampur resin poliester, pengeras/katalis dan pigmen bila diperlukan pengeras/katalis dengan cara *lay-uping*.

Pada saat penyusunan, orientasi serat diatur sehingga menghasilkan kekuatan optimal pada kuat tarik, kuat tekan dan kuat lentur. Struktur *Core* dalam hal ini digunakan bahan yang lebih ringan dan lentur, dengan tebal yang memadai sesuai dengan perhitungan teoritis kekuatan struktur *sandwich* yang diinginkan. Penggabungan antara *lamine* dengan *core* menggunakan adonan resin yang sama seperti untuk pembuatan *lamine* dengan cara *lay-uping* (Charles E, Knox 2001).

Dalam percobaan ini digunakan komposit dari bahan resin poliester (matriks) dan serat gelas (*reinforcement*) dengan *sandwich* pengisi *fiberboard* serat kelapa/serat bagas (Mulinari 2011). Faktor manufaktur yang berpengaruh terhadap hasil produksi palang pintu perlintasan kereta api antara lain proses *lay up*, *mixing* antara resin epoksi atau serat poliester dengan serat gelas *accelerator agent* (katalis). Selain itu teknik pengepresan, penyusunan orientasi serat ( $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ), jumlah *layer* serat, jenis konstruksi serat

gelas, susunan tumpukan dan fraksi volume serat antara serat dan matriks, sangat mempengaruhi kekuatan produk komposit palang pintu perlintasan kereta api. Tekanan diperlukan untuk mengatur dan mengontrol fraksi volume serat (Ning Pan 1991). Hal lainnya untuk mengurangi udara yang terjebak didalam komposit yang menimbulkan *void* memperlemah struktur.

Void tersebut akan menjadi awal retakan (*crack*) ataupun delaminasi pada struktur jika menerima beban siklik. Oleh karena itu untuk memperoleh produk palang pintu dilakukan percobaan dengan variabel: *Raw material* komposit, penyusunan orientasi serat ( $0^{\circ}.45^{\circ}.90^{\circ}$ ), jumlah *layer*, susunan tumpukan, fraksi volume antara serat dan *matriks* (Fan C.F et al 1989) Diharapkan dari variabel ini dapat diperoleh kondisi optimum manufaktur pembuatan palang pintu perlintasan kereta api.

Oleh karena palang pintu kereta api tidak mendapatkan beban statik dan dinamik tinggi, yang diperlukan adalah kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi maka dipertimbangkan untuk menggunakan *sandwich* komposit, dengan *sandwich* pengisi *fiberboard* dari serabut kelapa atau *fiberboard* dari bagas (serat ampas tebu).

Keunggulan serat gelas adalah mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi, ratio antara kekuatan dan berat lebih kuat dari *steel wire*. Tahan terhadap panas, api, zat kimia dan tidak terpengaruh oleh jamur. Tahan terhadap kelembaban sangat baik, tidak *swelling*, *stretch* atau *disintegrate*. Tahan dan mampu menahan maksimum *mechanical strength* dalam lingkungan lembab. Mempunyai *coefisien thermal linier expansion* yg rendah, serta *coefisien thermal conductivity* yang tinggi, karena itu mempunyai *performance* yang sangat baik pada lingkungan panas, khususnya untuk menghilangkan panas yang sangat cepat bila diinginkan. Sangat ideal digunakan sebagai *electric insulation*, keuntungan dapat diambil pada kekuatan *dielectric* yang tinggi dan *constant dielectric* yang rendah (George lubin, 1981).

Dari Hasil penelitian terdahulu mengenai karakteristik konstruksi serat gelas telah diperoleh hasil bahwa penggunaan serat gelas WR200 dapat memberikan sifat kuat tarik yang tinggi,

serta memberikan permukaan produk lebih halus, sedangkan penggunaan serat gelas *stichbonded* dapat memberikan sifat kuat lentur dan kuat tekan yang tinggi (Kuntari et al 2011). Oleh karena itu pada percobaan pembuatan produk palang pintu perlintasan kereta api pada penelitian ini digunakan WR 200 dan *stichbonded*. Sebagai *sandwich* pengisi digunakan *fiberboard* serat kelapa dan bagas karena berat jenis keduanya lebih ringan dan keduanya adalah limbah yang selama ini belum dimanfaatkan maksimal (Zoi N 2014)

Pemanfaatan limbah serabut kelapa dapat diolah lebih lanjut (Agustian et al 2003) menjadi papan partikel sebagai bahan bangunan struktural/non struktural ataupun sebagai *sandwich* pengisi dari panel komposit yaitu dengan menambahkan material pengikat urea *formaldehyde*, phenolic *formaldehyde* atau *poly urethane* (PU) dan perlakuan kempa panas, maka akan didapat papan partikel dengan *density* sampai  $800 \text{ Kg/m}^3$ . Bagas atau ampas tebu (*bagasse*), yaitu limbah padat berserat sisa penggilingan batang tebu. Pabrik gula rata-rata menghasilkan bagas sekitar 32% bobot tebu yang digiling. Sebagian besar bagas dimanfaatkan sebagai bahan bakar dan untuk pulp kertas. Komposisi kimia dari bagas: Selulosa 45 – 55%, *Hemicellulose* 20 – 25%, Lignin 18 – 24%, Debu 1 – 4%, Lilin (wax) < 1% (Vilay V et al, 2007).. Sebagai bahan konstruksi bangunan, bagas sudah dimanfaatkan sebagai bahan baku papan atau *building board* serta panel kedap suara

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk penerapan teknologi komposit berstruktur *sandwich* pada pembuatan palang pintu perlintasan kereta api mulai dari perencanaan rancangan produk, rancangan *mould*, manufaktur, pengujian spesimen dan mencari kondisi optimum formula dan merupakan teknologi proses tepat guna.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan produk palang pintu perlintasan kereta api berbahan *sandwich composite* dari serat gelas sebagai penguat dan resin poliester sebagai matriks, dengan *sandwich* pengisi memanfaatkan *fiberboard* dari serabut kelapa dan *fiberboard* dari bagas serta menghasilkan metode

manufaktur yang dapat dikerjakan oleh Industri kecil Menengah (IKM).

## METODE

### Bahan dan Peralatan

#### Bahan Utama:

Resin poliester: *Resilient polyester resin hydrogenated bisphenol A* bersifat fleksibel, *Fiber glass*: Jenis *C-glass (sodium borosilica)*/ *S-glass (magnesium aluminosilica)* tahan kimia sangat baik, kekuatan tarik sangat tinggi untuk struktur *aircraft*, *electrical insulation properties* yang sangat baik, **WR200**: *woven roving* tebal 0,2mm *breaking strength* (N/25x100mm) 1256 Warp/1146 Wft **SB**: *Stich Bonded glassfiber fabric*, kain di *bending* dengan *filament*, *breaking strength* (N/25x100mm) 2650 Warp/2150 Weft, *density* 1250 g/m<sup>2</sup> (Justus Sakti Raya PT, 2012)

Bahan Pembantu adalah *thinner* pembersih, *gel coat*, majun, *mirror tape*, *double tape* dan *glass film*.

Peralatan utama yang digunakan adalah cetakan palang pintu kereta api

Peralatan pembantu yang digunakan adalah timbangan, gunting, jangka sorong (untuk mengukur ketebalan), mistar, kape, kuas, gelas ukur, cawan, kaos tangan panjang

### Cara Kerja

#### Percobaan pendahuluan

Desain struktur konstruksi bertujuan untuk menemukan kondisi sifat mekanik yang optimal berupa kuat tarik, kuat tekan, kuat lentur dan kekerasan pada struktur komposit serat gelas sebagai penguat dan resin poliester sebagai matriks melalui percobaan pendahuluan dengan variasi jumlah *layer*, konstruksi, susunan tumpukan dan fraksi volume serat gelas sebagai berikut : Pembuatan spesimen uji proses *lay-uping* dengan variasi sesuai kode percobaan:

1. 4WR200 + 4*Stich Bonded* + resin poliester dengan total tebal 10 mm.

2. 2WR200 + 6*Stich Bonded* + resin dengan total tebal 10 mm,  
3. 6WR200 + 2*Stich Bonded* + resin dengan tebal total 6 mm.

Selanjutnya dilakukan pengeringan dan pemotongan spesimen uji sesuai ukuran.

#### Pembuatan *Fiberboard* Serat Kelapa

Limbah serabut kelapa masuk mesin *carding* jarum kasar untuk menguraikan seratnya, serbuk dipisahkan dari seratnya. Masuk mesin *carding* dengan jarum yang lebih halus. Penyaringan untuk memisahkan serbuk, serat panjang dan serat pendek. Selanjutnya pengeringan *Fiberboard* yang digunakan percobaan adalah serat pendek

Penimbangan serat pendek: 90% *Poly Urethane* (PU): 10% dan MC pengencer 10% PU dan MC di *blender*, selanjutnya dimasukkan dalam tanki *mixer* dicampur dengan serat pendek kelapa. Masuk dalam *moulding* dengan penataan, di *press* 2 menit dengan pemanasan uap 170<sup>o</sup>C untuk mendapatkan *density* 200kg/m<sup>3</sup>, pelepasan dari cetakan, *curing* dengan *blower* 26<sup>o</sup>C 2 hari, pemotongan *packing*, siap pakai (Polatique PT 2012)

#### Pembuatan *Fiberboard* Serat Bagas

Limbah bagas masuk mesin *carding* disaring dipisahkan antara bagas halus dan bagas kasar. *Poly Urethane* (PU) 13% dan MC 10% di *blender*. Membuat adonan serat bagas dan *binder* resin PU dan MC sesuai dengan jenis *layer*. *Molding* dibuat *sandwich layer* I adonan bagas halus 15%, *Layer* II adonan bagas kasar 70%, *layer* III adonan bagas halus 15% selanjutnya di *press* 3 menit dengan *steam* 170<sup>o</sup>C untuk mendapatkan *density* 250 kg/m<sup>3</sup>, pelepasan dari cetakan, *curing* dengan *blower* 26<sup>o</sup>C 2 hari, pemotongan *packing*, siap pakai (Polatique PT 2012)

#### Pembuatan Palang Pintu Kereta Api

Persiapan cetakan, cetakan untuk palang pintu dengan dimensi ≠ 20 x 180 x 3000 (mm) 2 pcs; ≠ 20 X 140 X 3500 (mm) 2 pcs dan ≠ 20 x 100 x 1500 (mm) 1 pcs,

pembersihan dengan *thinner*. Perekatan cetakan dengan *release film* dan pelapisan dengan *mirror grase* (3 lapisan) supaya produk mudah dilepas

Persiapan bahan, pemotongan serat gelas, *fiberboard* serat kelapa dan *fiberboard* bagas sesuai ukuran. Penimbangan resin poliester dan *powder*. Pengadukan resin poliester dan *powder* untuk *gelcoat* dengan perbandingan 1:1, serta resin poliester dan katalis perbandingan 9:1.

### Proses lay-up

Proses *lay-up* serat gelas dengan resin poliester, *layer* demi *layer* serat gelas WR200 dan *stichbonded* dan ditengah diisi *fiberboard* serat kelapa/bagas kemudian dilapisi lagi serat gelas *stichbonded* dan WR200 pada cetakan, selanjutnya cetakan ditutup, serta dilakukan pengepresan, proses *curing* pada suhu kamar waktu 8 jam, pembukaan cetakan dan produk dilepas.

### Proses Finishing dan Assembling

Pemeriksaan perapihan bilah-bilah palang pintu, pemotongan, pengampelasan dan pengecatan selanjutnya dilakukan proses penyetelan dan *assembling*

### Pengujian Mekanik

*Tensile strength Testing, acc. to Test Method of Tensile Properties of Plastics, ASTM D638-02a,*  
*Compression Testing, acc.to Test Method of Compressive Properties of Rigid Plastics, ASTM D695-02a,*  
*Flexural Testing, acc.to Test Method of Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics, ASTM D790-02a,*  
*Hardness Testing, acc.to Test Method of Rockwell Hardness Properties of Plastics and Insulating Material, ASTM D785-02a.*

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian terdahulu mengenai karakteristik komposit dari serat gelas dengan variasi kontruksi yaitu WR200,

WR400, WR600, WR800 dan *Stich Bonded* telah diperoleh informasi bahwa penggunaan serat gelas WR200 dapat memberikan sifat kuat tarik yang tinggi, serta memberikan permukaan produk lebih halus, sedangkan penggunaan serat gelas *stichbonded* dapat memberikan sifat kuat lentur dan kuat tekan yang tinggi (Kuntari et al 2011). Oleh karena itu pada percobaan pembuatan produk palang pintu kereta api pada penelitian ini digunakan WR 200 pada bagian luar supaya permukaan produk halus, rata dan mempunyai kuat tarik tinggi, serta digunakan serat gelas *stichbonded* pada bagian dalam untuk memudahkan proses dan mendapatkan sifat kuat lentur dan kuat tekan yang tinggi.

### Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang telah dilakukan susunan *layer* pada spesimen uji sesuai dengan ilustrasi gambar layer sesuai dengan kode percobaan berikut ini:



1. 4WR200 + 4*Stichbonded* + resin poliester, total tebal 10 mm



2. 2WR200 + 6*Stichbonded* + resin poliester, total tebal 14 mm



3. 6WR200+2*Stichbonded*+ resin Poliester, total tebal 6 mm

Spesimen uji dari penelitian pendahuluan tersebut diuji terhadap sifat mekanik yaitu kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan kekerasan, hasil pengujian sifat

mekanik percobaan pendahuluan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Mekanik percobaan pendahuluan

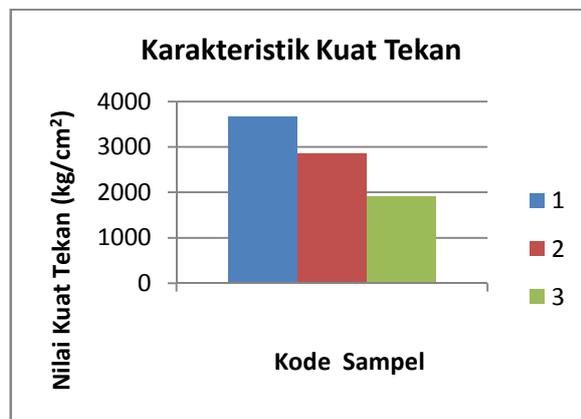
Kode	Kuat Tekan (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kuat Lentur (kgf/cm <sup>2</sup> )	Keke- rasan HRR
1A	3529,249	2600,42	0,586	116,7
1B	3293,621	2331,37	0,582	117,2
1C	3859,401	2439,26	0,541	112,7
1D	3933,241	2595,40	0,489	118,3
1E	3658,249	2471,33	0,566	114,7
	<b>3654,753</b>	<b>2487,56</b>	<b>0,553</b>	<b>115,9</b>
2A	2865,665	1680,23	0,474	105,2
2B	2943,512	2139,04	0,574	104,3
2C	2773,532	2399,17	0,661	103,5
2D	2861,341	1367,83	0,701	105,7
2E	2797,245	2028,03	0,678	104,8
	<b>2848,259</b>	<b>1922,86</b>	<b>0,608</b>	<b>104,7</b>
3A	1952,442	1691,16	0,651	95,4
3B	1879,347	2209,26	0,587	96,3
3C	1889,568	2485,99	0,543	97,5
3D	1934,761	4285,71	0,643	96,7
3E	1893,852	2391,90	0,616	94,9
	<b>1909,994</b>	<b>2612,81</b>	<b>0,608</b>	<b>96,2</b>

### Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Kekerasan

Karakteristik kain ditentukan oleh konstruksi kain. *Stitchbonded* merupakan kain dari *roving* serat gelas yang dilapisi oleh serat panjang dan ditabur secara tidak beraturan selanjutnya di *bending* dengan benang *filament* dengan ketebalan 1,6 mm, hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan sifat fisik kain. WR200 adalah kain dari benang *roving* serat gelas yang mempunyai penampang *roving* lebih halus dari penampang *roving stichbonded* dengan ketebalan 0,2 mm, sehingga dipakai sebagai lapisan luar komposit untuk menghasilkan permukaan yang halus. WR200 karena terdiri dari beberapa benang *filament* yang dipuntir dan kuat kalau sudah menjadi kain akan saling mendukung mempunyai kekuatan yang tinggi, sedangkan *stichbonded* karena terdiri dari *roving* acak, maka kalau ditarik menjadi kurang kuat (Charles E Knox, 2001).

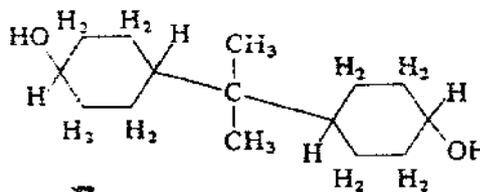
Pada Tabel 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa ada kesamaan korelasi antara pengujian kuat tekan dan kekerasan, artinya mempunyai kecenderungan yang sama. Pada variasi 1 komposit 4WR200, 4SB + resin poliester mempunyai kuat tekan dan

kekerasan tertinggi, variasi 2. komposit 2WR20, 6SB + resin poliester mempunyai kuat tekan dan kekerasan lebih kecil dari variasi 1 dan variasi 3: 6WR200, 2SB + resin poliester mempunyai kuat tekan dan kekerasan terkecil.



Gambar 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Pada Percobaan Pendahuluan

Percobaan ini digunakan matriks *resilient polyester resin* adalah tipe *polyester resin* dengan tujuan penggunaan antara kaku dan fleksibel yang mempunyai kandungan *ester linkages* lebih kecil, sehingga lebih tahan terhadap alkali. Jenis resin ini dipakai untuk manufaktur peralatan proses kimia seperti *fume-hood, reaction vessels, tanks dan pipes*. Struktur molekul *Resilient polyester resin* dengan penambahan gugus *hydrogenated bisphenol A*



Gambar 3. Struktur molekul *Resilient polyester resin*

Serat gelas *stitchbonded* (1,6mm) lebih tebal dan lebih bulky dari WR200 (0,2mm), serat gelas lebih solid daripada resin.

Pada saat resin poliester diimpregnasi pada serat gelas, maka pada kain serat gelas jenis *stichbonded*, pada saat *lay-uping* resin poliester akan terdispersi dengan baik

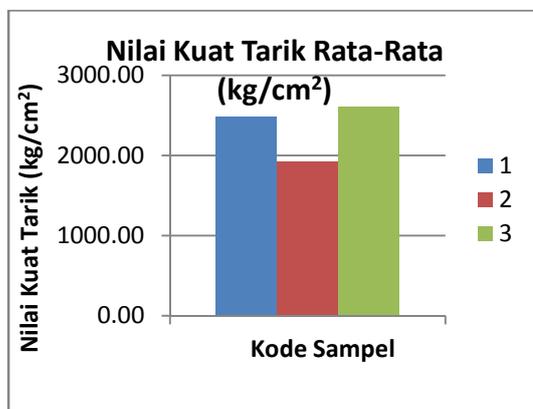
diantara pori-pori mikrofibril serat gelas. Percobaan ini resin mempergunakan resin yang mempunyai fleksibilitas tinggi, terjadinya reaksi polimerisasi pada proses curing pada suhu kamar akan membentuk polimer dengan berat molekul yang lebih besar dan lebih kuat serta fleksibel, sehingga apabila % resin yang lebih banyak, maka akan memberikan nilai kuat tekan dan kekakuan yang lebih rendah (Chiachun Tan 2011).

Oleh karena itu pada variasi 2 menggunakan 6 *stitchbonded*, nilai kuat tekan dan kekakuan lebih rendah daripada variasi 1 yang hanya menggunakan 4 *stitchbonded*. Pada variasi 3 menggunakan 6WR200 dan 2 *stichbonded* untuk menghasilkan tebal yang sama yaitu 10mm, karena WR200 tipis, maka jumlah resin poliester yang digunakan lebih besar (Ning Pan 1991) sehingga nilai kuat tekan dan kekakuan menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan variasi 1 dan 2.

### Hasil Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 4, terlihat bahwa variasi 1 lebih tinggi daripada variasi 2 dan tertinggi adalah variasi 3.

*Stitchbonded* adalah kain serat gelas yang lebih *bulky* dibandingkan dengan WR200 sehingga pada waktu *lay-uping* resin poliester mudah masuk ke dalam pori-pori mikrofibril, sehingga dapat terdispersi kedalam serat gelas, sehingga jumlah resin poliester yang masuk ke dalam serat lebih banyak.

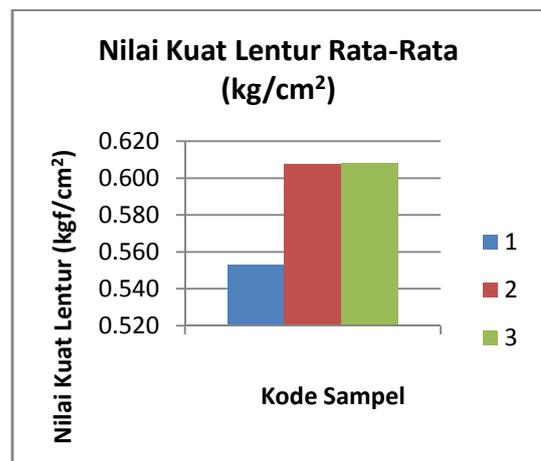


Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Rata-rata Pada Percobaan Pendahuluan

Kain serat gelas sebagai penguat, mempunyai kekuatan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kekuatan resin, maka kandungan serat gelas yang lebih besar mengakibatkan kekuatannya lebih tinggi dari pada resin. Oleh karena itu kekuatan tarik dari komposit serat gelas dan resin poliester sebagai matriks lebih ditentukan oleh jumlah pemakaian WR200. Variasi 3 mempunyai kandungan WR200 terbesar, setelah itu diikuti variasi 1 dan terkecil adalah variasi 2. Wr200 mempunyai konstruksi yang tipis dan halus serta mempunyai kekuatan tarik tinggi. Setelah berpolimerisasi dengan resin polyester sebagai matriks, pada proses *curing* dengan suhu kamar selama 24 jam maka diperoleh kekuatan yang tinggi karena kekuatan serat akan saling mendukung. Tetapi kain dari serat gelas dengan konstruksi tinggi/halus pada saat *lay-uping* harus mendapat tekanan tinggi dan harus merata untuk menghindari *void/buble* udara/gas yang mengakibatkan initial *cracking* (Piotr Pencezek 2005).

### Hasil Pengujian Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat lentur diperlihatkan pada Tabel 1 dan Gambar 5, Kuat lentur tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan selisih sekitar 0,055 kgf/cm<sup>2</sup>



Gambar 5. Hasil Pengujian Kuat Lentur rata-rata Pada Percobaan Pendahuluan

Hal ini dikarenakan jumlah *layer* lebih sedikit, dengan jumlah % resin yang ada pada produk lebih besar dari pada variasi 1. Juga didukung didukung oleh orientasi serat pada komposit gabungan antara 0,90 dan 45<sup>o</sup> (arah diagonal) maka apabila diuji kelenturannya (*flexural*) akan mempunyai nilai uji yang tinggi. Selain hal tersebut untuk mendukung kelenturan adalah *stitch bonded* lebih *bulky* dari WR200, sehingga pada saat diimpregnasi dengan *resin polyester jenis Resilient polyester resin hydrogenated bisphenol A yang bersifat fleksibel*, resin dapat terdistribusi diantara pori-pori mikrofibril serat, pada saat proses *curing* akan berpolimerisasi dengan baik, karena serat dan resin lebih kompak, sehingga mempunyai hasil uji *flexural* /kuat lentur yang lebih baik (Piotr Penczek 2005). Hal yang harus diperhatikan adalah pada saat *lay-uping* harus mengontrol fraksi volume dan serat untuk mengejar tebal yang sama dan diusahakan jangan sampai ada udara/gas yang terjebak dalam void yang akan memperlemah struktur (*initial crack*)

### Hasil Pengujian sifat Mekanik Sandwich pengisi *Fiberboard* Serat Kelapa dan Serat Bagas

Hasil pengujian sifat mekanik *Fiberboard* serat kelapa dan serat bagas dapat diperlihatkan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Mekanik *Fiberboard* Serat Kelapa dan Serat Bagas

Filler	Sam pel	Kuat Tekan (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kuat Lentur (kgf/cm <sup>2</sup> )
Serat kelapa	1	2,40	10,42	11,34
	2	3,11	8,32	11,85
	3	3,20	4,70	7,79
	4	3,07	4,70	10,15
	5	4,06	4,86	8,86
		<b>3,17</b>	<b>6,59</b>	<b>10,00</b>
Serat bagas	1	1,52	3,95	7,67
	2	1,78	3,57	6,83
	3	2,14	5,73	5,95
	4	1,93	2,86	6,89
	5	2,25	2,25	7,57
		<b>1,93</b>	<b>3,67</b>	<b>6,98</b>

Dari Tabel 2 terlihat bahwa *fiberboard* serat kelapa mempunyai nilai kuat tekan,

kuat tarik dan kuat lentur yang lebih tinggi dari pada *fiberboard* serat bagas. Serat kelapa mempunyai kekuatan tarik dan kuat lentur yang lebih tinggi dari serat bagas karena serat kelapa mempunyai penampang yang lebih besar, lebih ulet dan kandungan selulosa dan ligninnya lebih besar dari serat bagas, oleh sebab itu *fiberboard* serat bagas mempunyai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur yang lebih rendah dari *fiberboard* serat kelapa (Mulinari 2011, Vilay 2007).

### Hasil Percobaan Pembuatan Prototype Palang Pintu Perlindungan Kereta Api

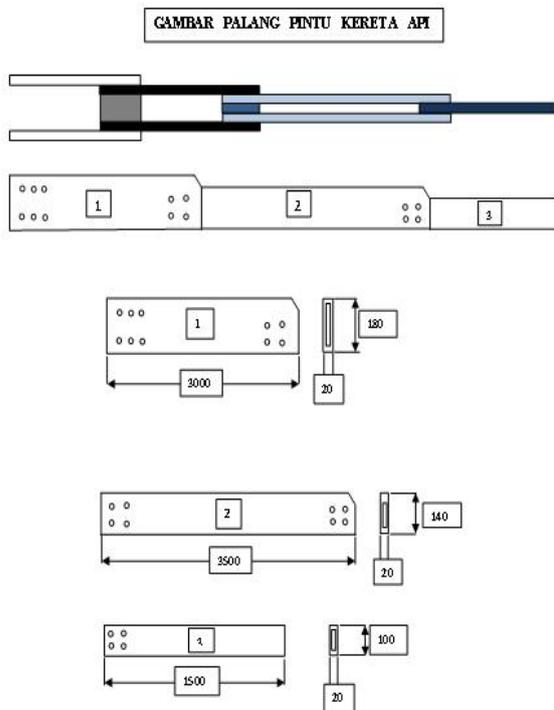
Kondisi optimum percobaan diambil pada kondisi percobaan pada komposisi 1 dengan urutan *layup* 2 layer WR200, 2 layer *stich bonded*, *fiberboard* serat kelapa 10mm sebagai central line, 2 layer *stichbonded*, 2 layer WR200. Pemilihan ini dikarenakan Kuat tarik dan kuat tekan tertinggi dan kuat lenturnya hanya sedikit lebih rendah. Dalam pengerjaan lebih mudah dan lebih cepat, serta memberikan *performance* yang lebih baik. Berat palang pintu komposit sedikit lebih berat dari pada kayu, karena resin poliester masuk dalam *fiberboard* serat kelapa, pada proses manufaktur perlu diberi lapisan *gel coat*, supaya resin tidak masuk kedalam *fiberboard*.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Berat Palang Pintu Kereta Api

Palang Pintu KA dari Kayu			
Jumlah (buah)	Panjang (m)	Ukuran (mm)	Berat(kg)
2	3	20x180x3000	23,76
2	<b>3,5</b>	20x140x3500	21,56
1	1,5	20x100x1500	3,30
		asesoris	4,00
		Berat total	52,62
Sandwich komposit filler fiberboard serat kelapa			
2	3	20x180x3000	25,40
2	<b>3,5</b>	20x140x3500	24,54
1	1,5	20x100x1500	3,77
		asesoris	4,00
		Berat total	57,71
Sandwich komposit filler fiberboard serat bagas			
2	3	20x180x3000	25,78
2	<b>3,5</b>	20x140x3500	20,78
1	1,5	20x100x1500	3,69
		asesoris	4,00
		Berat total	54,25

Berat keseluruhan produk palang pintu perlintasan kereta api dari kayu 52,62 kg dari *sandwich* komposit mempergunakan *sandwich* pengisi serabut kelapa 57,71 kg, dari *sandwich* komposit mempergunakan *sandwich* pengisi bagas 54,25 kg. Harga palang pintu *sandwich* komposit lebih murah dari palang pintu kayu, karena lebih kuat umur pakai lebih lama, sehingga secara ekonomi akan lebih menghemat. Investasi peralatan *molding* untuk pembuatan palang pintu kereta api dari *sandwich* komposit lebih mahal dari pada kayu.

Proses *lay-uping fiberboard* serat kelapa diberi lapisan gelcoat supaya resin poliester tidak masuk ke dalam *fiberboard*. Sehingga diperoleh palang pintu KA yang lebih ringan. *Fiberboard* Bagas agak regas jadi untuk mendapatkan kuat lentur yang baik, lebih baik menggunakan *fiberboard* serat kelapa. Pada penelitian pembuatan produk palang pintu kereta api yang terbaik adalah penggunaan resin poliester sebagai matriks dan serat gelas kombinasi jenis WR200 dan *stich bonded* dengan *sandwich* pengisi *fiberboard* serabut kelapa dengan tebal 10 mm,



Gambar 6. Skema Desain Palang Pintu Kereta Api

Keterangan: Palang Pintu KA terdiri dari 3 rangkaian pilah yaitu: Pilah 1 3000 mm,

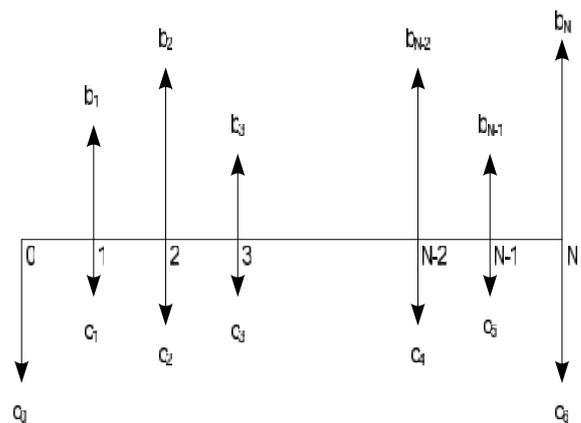
pilah 2 3000mm dan pilah 3 1500 mm dengan dimensi masing-masing pilah sesuai ukuran seperti pada Gambar 6.



Gambar 7. Contoh Palang Pintu perlintasan KA

### TINJAUAN EKONOMI

Untuk memproduksi palang pintu kereta api dapat diproduksi secara komersial oleh IKM industri komposit mitra B4T/PT.KAI. Perhitungan nilai ekonomis didasarkan pada kriteria *Net Present Value (NPV)*, secara matematis, kriteria penilaian tersebut merupakan penjumlahan dari *benefit-cost* yang dikumulatikan (Park et al 1990)

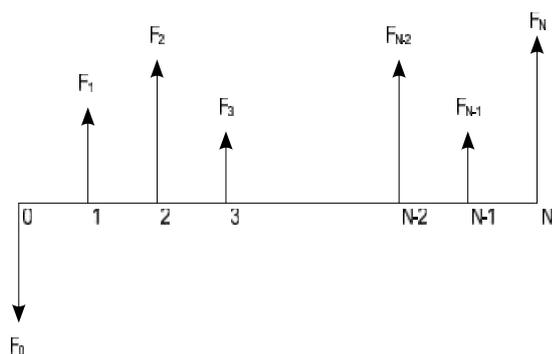


Gambar 8. *Gross Cash Flow (b=benefit c=cost)*

Keterangan:

$F_n$ : adalah *net cash flow*, selisih antara ( $B$ ) *benefit* dengan ( $C$ ) *Cost*  $F_n = B - C$

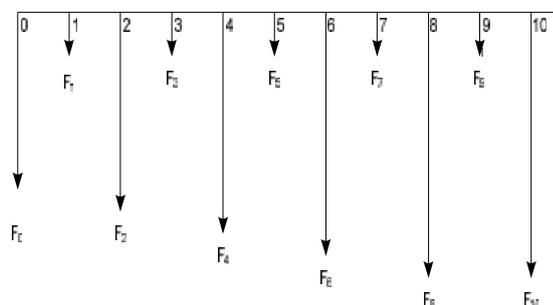
$N$ : adalah waktu tahun ke 1,2,3 dan seterusnya



Gambar 9. Net Cash Flow ( $F=B-C$ )

**Nilai Ekonomis Palang Pintu Kayu**

A = Investasi alat (aset) Rp. 3.557.500,-  
 B1 = Biaya Perawatan Rp. 757.000,-  
 B2 = Biaya Bahan Rp. 1.775.000,-  
 C = Biaya Upah Rp. 1.500.000,-  
 D = Penyusutan Rp 355.750,- (10% dari Investasi awal). Dengan asumsi usia pakai palang pintu kayu = 2 tahun, dan bunga tahunan 9,75%, dan eskalasi kenaikan bahan kayu sebesar 10% per dua tahun, maka untuk usia pakai selama minimal 10 tahun, pada *cash flow* seperti Gambar 8:



Gambar 10. Cash Flow Palang Pintu Kayu Perhitungan NPV:

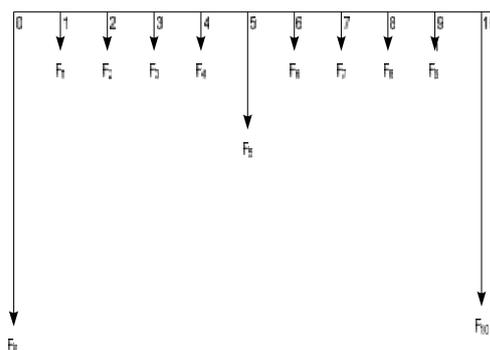
Th	Komponen Biaya	PV <sub>i</sub> (Rp)
0	$F_0 = A+B_1+B_2+C$	7.589.500
1	$F_1 = D$	+324.146
2	$F_2 = A+B_1+(1,1 \times B_2) +C$	6.448.285
3	$F_3 = D$	+269.111
4	$F_4 = A+B_1+(1,2 \times B_2) +C$	5.475.811
5	$F_5 = D$	+223.420
6	$F_6 = A+B_1+(1,3 \times B_2) +C$	4.647.676
7	$F_7 = D$	+185.487
8	$F_8 = A+B_1+(1,4 \times B_2) +C$	3.942.899
9	$F_9 = D$	+153.994
10	$F_{10} = A+B_1+(1,5 \times B_2) +C$	3.343.466
	$NPV_{10} =$	32.603.795

Untuk Palang Pintu Kayu Harga satu unit dengan investasi peralatan Rp 7.589.500,-. Untuk Palang Pintu Kayu Harga satu unit tanpa investasi alat Rp 2.532.000,-

**Nilai Ekonomis Palang Pintu sandwich composit filler fiberboard serat kelapa**

A = Investasi alat (aset) Rp. 8.892.250,-  
 B = Biaya Bahan Rp. 2.419.180,-  
 C = Biaya Upah Rp. 1.500.000,-  
 D = Penyusutan Rp.889.225,-(10% dari Investasi awal)

Dengan asumsi usia pakai palang pintu komposit *sandwich* = 5 tahun, dan bunga tahunan 9,75%, maka untuk usia pakai selama minimal 10 tahun, pada *cash flow* seperti pada Gambar 9



Gambar 9. Cash Flow Palang Pintu Sandwich Composit Filler Fiberbord Serat Kelapa

**Perhitungan NPV**

Th	Komponen Biaya	PV <sub>i</sub> (Rp)
0	$F_0 = A+B+C$	12.811.430
1	$F_1 = D$	810.228
2	$F_2 = D$	738.249
3	$F_3 = D$	672.664
4	$F_4 = D$	612.906
5	$F_5 = B+C+D$	3.019.801
6	$F_6 = D$	508.844
7	$F_7 = D$	463.639
8	$F_8 = D$	422.450
9	$F_9 = D$	384.920
10	$F_{10} = A+B+C$	5.053.035
	$NPV_{10} =$	25.498.166

Untuk Palang Pintu Komposit Harga satu unit dengan investasi peralatan Rp 12.811.430,-Untuk Palang Pintu Komposit Harga satu unit tanpa investasi alat Rp

2.419.180,-Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa nilai *NPV* untuk palang pintu dari komposit *sandwich* lebih kecil (positif) dibandingkan *NPV* untuk palang pintu kayu, dalam pengamatan usia layan 10 tahun. Secara tekno ekonomi, penggunaan palang pintu berbahan dasar komposit *sandwich* mampu menekan/mereduksi biaya pengeluaran (*cost*) selama masa pemakaian.

## KESIMPULAN

Pada penelitian pembuatan produk palang pintu kereta api dari komposit berstruktur *sandwich* dengan menggunakan resin poliester sebagai matriks dan serat gelas sebagai penguat kondisi optimum pada kombinasi [(2 WR200 + 2 *Stitch bonded*) + resin poliester] + *fiber board* serat kelapa + [(2 *Stich bonded* + 2 WR200) + resin poliester dengan tebal 10 mm. Berat produk palang pintu perlintasan kereta api dari kayu 52,62 kg dari *sandwich* komposit mempergunakan *sandwich* pengisi serabut kelapa 57,71 kg, dari *sandwich* komposit mempergunakan *sandwich* pengisi bagas 54,25 kg Kayu yang biasa dipakai palang Kayu pelawan Merah BJ 1,17, Kayu Kandole BJ+1,12, Kayu Gewayu Hutan BJ 1,09. Dari hasil perhitungan Ekonomi: Harga Palang Pintu Kayu dengan investasi peralatan Rp 7.589.500,-/unit, Harga Palang Pintu Kayu tanpa investasi alat Rp 2.532.000,- /unit, Harga Palang Pintu Komposit dengan investasi peralatan Rp 12.811.430,-/unit, dan Harga Palang Pintu Komposit tanpa investasi alat Rp 2.419.180,-/unit

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai dari Anggaran DIPA TA 2014 Balai Besar Bahan dan Barang Teknik berdasarkan No: 11/Kpts/Bd/BBBT-1/I/2012 Tanggal 06 Januari 2012. Penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada Bapak Ir.Sulaefi Nasserie dan Bapak Suryadi Rachmat atas semua bantuan dan bimbingannya selaku narasumber sehingga terselesainya tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustian et al., 2003," Indonesia negara kepulauan penghasil kelapa terbesar no.2 di dunia,.
- Charles E. Knox, 2001,"*Fiber Glass Reinforcement "Technical Director, Uniglass Industries New York.*
- Chiachun Tan, Ishak Ahmad 2011,Muichin Heng," *Characterization of polyester composites from recycled polyethylene terephthalate reinforced with empty fruit bunch fibers" Materials and Design Elsevier*
- Fan C.F, Hsu S, 1989,"*Effects of Fiber Orientation on The Stress, Distribution in Model Composite", Journal Of Polymer Science: Polymer Physics.*
- George Lubin, 1981,"*Handbook of Composites Van Nostrand. Reinhold Company, New York, Cincinnati, Toronto, London Melbourne*
- Justus Sakti Raya PT, 2002, "*unsaturated Polyester Resin Yukalac and Fiberglass Fabric" Technology From: Showa High Polymer Co< Ltd-Jepang Lonz.*
- Kuntari Adi Suhardjo dkk 2012," Penelitian *Sandwich Composite* Untuk Palang Pintu Perlintasan Kereta Api" Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Nopember 2012,
- Kuntari Adi Suhardjo dkk 2011, "Pembuatan *Insulated Rail Joint* Bertulang Baja Dari Bahan Komposit Sebagai Substitusi Impor" Jurnal Riset Industri Vol V No2 Agustus 2011
- Mulinari, D.R; Baptista, C.A.R.P; Souza, J. V. C; Voorwald, H.J.C 2011," *Mechanical Properties of Coconut Fibers Reinforced Polyester Composites" Elsevier Procedia Engineering 10 (2011) 2074–2079*
- Ning Pan, 1991,"*The Optimal Fiber Volume Fraction and Fiber-Matrix Property Compatibility in Fiber Reinforced Composite", Division of Textile and Clothing, University of California.*
- Park, Chan S, Sharp-Bette, Gunter P, 1990,"*Advance Engineering Economics" John Wiley & Sons Inc*
- Piotr Penczek, Piotr Czub, Pielichowski 2005,"*Unsaturated Polyester Resins" Chemistry and Technology Adv Polym*

- Sci* (2005) 184: 1–95 DOI 10.1007/b136243 Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Published online: 26 July 2005.
- Polatique Serat PT 2012 “Informasi Teknik, Standar Operasional Prosedur, Pembuatan *Fiberboard* serat kelapa dan *Fiberboard* Serat Bagas”.
- Vilay V, Mariatti M, Mat Taib M, Mitsugu Todo 2007. “*Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber–reinforced unsaturated polyester composites*” Elsevier, *Composites Science and Technology* 68 (2008) 631–638.
- Zoi N. Terzopoulou, George Z. Papageorgioua, Elektra Papadopoulou b, Eleftheria Athanassiadou, Efi Alexopoulou, Dimitrios N. Bikiarisa 2014, “*Green composites prepared from aliphatic polyesters and bast fibers*” *Industrial Crops and Products*, Elsevier