

Dinamika Teknik Mesin



Dinamika Teknik Mesin

Journal home page: <http://dinamika.unram.ac.id/index.php/dinamika>



PENGARUH BESAR SUDUT PENYISIPAN Z-PIN BAMBUN TERHADAP KEKUATAN TEKAN TEPI DAN GESER KOMPOSIT SANDWICH

Gisap Fatoni¹, Agus Dwi Catur², Paryanto Dwi Setyawan^{3*}

¹Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62 Mataram Nusa Tenggara

²Barat Kode Pos : 83125, Telp. (0370) 636087; 636126; ext 128 Fax (0370) 636087.

*Email: gisapfatoni034@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:
Received
Accepted
available online

Keywords:
Composite Sandwich
Z-Pin
Pin bamboo
Resin

ABSTRACT

Composite sandwiches have been developed and produced for various aspects of life today. Unsaturated polyester content combined with pin from plants such as the pin of bamboo plants that grows around us and polyurethane rigid foam as the core. The method of sandwich composite joints is very important when applied to construction such as window panels, walls, roofs, floors, and others.

The method of angular spacing between pin and core Z-pin model is the discussion in this study. This study takes one models of research method that is the angle pins. to be calculated in two tests also the shear tensile and edge press tests. Composite sandwiches are made by vari method. The skins are made from a thin polyster resin reinforced with glass fiber fibers, while the cores are made of polyurethane rigid foam and added Z-pins from bamboo materials. Core cores are bonded between two outer skin layers. Z-pins made of bamboo will be stuck on a polyurethane rigid foam core with varying angles 60°, 75°, 90° and spacing between pins in each 10mm test with each pin length different according to the angle be variations.

The results showed that the composite sliding strength of the sandwich composite tends to increase with the smaller aple of inclination. The largest load strength and shear stresses of sandwich composites are found in variations of the 60° insertion angle, which average loads reach a maximum of 3346,787 N and an average average voltage of 189,0003 kPa at the same angle. The variation of pinching angle did show a significant effect on the strength of composite sandwich sliding strength. As for the edge press testing the maximum load strength and voltage is

influenced by the insertion angles that have the appropriate slope. In edge press testing the largest load was found with an average of 8654,794 N and the largest voltage at 4921,109 kPa with an angle of 60°.

PENDAHULUAN

Saat ini ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang rekayasa material serta berkembangnya isu lingkungan hidup menuntut terobosan baru dalam menciptakan material material berkualitas tinggi serta ramah lingkungan. Pemakaian akhir material logam dan keramik akan menyisakan residu di alam, karena material tersebut sulit di hancurkan oleh alam dalam waktu singkat. Oleh karena itu, pemakaian material ramah lingkungan, mampu didaur ulang serta mampu dihancurkan sendiri oleh alam merupakan tuntutan teknologi saat ini.

Akibat dari pengembangan penggunaan bahan, pada penelitian sebelumnya telah dicoba digunakan *polyurethane rigid foam* sebagai *core* pembuaatan perahu. Namun keberadaannya masih dipengaruhi oleh banyak faktor lainnya sehingga perlu dipertimbangkan. Kekuatan mekanik bahan yang pada dasarnya dipengaruhi oleh kerapatan atau *density* material. Akibatnya improvisasi sturktur penyusun bahan material komposit *sandwich* masih perlu dikembangkan lagi. Bambu yang dimasa ini juga mengalami peningkatan dalam jumlah pemakaian selain menjadi perabotan atau furnitur kebutuhan rumah tangga dan lainnya, Bambu merupakan alternatif yang menarik karena bambu mempunyai pertumbuhan yang cepat, dan dapat dipanen 3-4 tahun (Amada et al., 1997). Ketersediaan bambu di Indonesia (terutama di Nusa Tenggara Barat) melimpah dan tersebar hampir di sebagian wilayah. Sesuai SK Menteri Kehutanan RI No.598/Menhut-II/2009 tanggal 2 Oktober 2009 menyatakan, bahwa luas daratan kawasan hutan Propinsi NTB mencapai 1.035.838 ha yang menghasilkan produk kayu maupun nonkayu.

Polyurethane Foam mempunyai kekuatan tekan yang dapat dikatakan rendah, dan mempunyai beban jenis yang sangat ringan. Perihal beban massa yang dimiliki, *polyurethane* juga mempunyai berat jenis yang tidak membebani suatu bangunan. Sebab, *polyurethane* sangat ringan. Berat jenis yang dimilikinya hanya sekitar 36 Kg/m³. Akibatnya komposit *sandwich* dengan *core polyurethane foam* mempunyai kekuatan tekan yang sangat rendah pula. Untuk mengatasi

permasalahan tersebut maka dibuatlah tulangan yang menghubungkan antara kulit atas dan kulit bawah atau yang biasa disebut *Pin*. Dengan harapan kekuatan mekanik bambu mampu mempengaruhi kekuatan mekanik komposit sandwich.

DASAR TEORI

Definisi Komposit

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat.

Adapun kata dasar komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih material berbeda, yang digabung atau dicampur secara *makroskopis*. Penggabungan secara *makroskopis* inilah yang membedakan komposit dengan paduan atau *alloy* yang penggabungan unsur-unsurnya secara *mikroskopis*. Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas yang pada paduan sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan bahan komposit disini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut.

Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength / weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young / density*) yang lebih tinggi dari pada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat

listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi. Kelebihan komposit dibandingkan dengan material lain adalah rasio antara kekuatan dan densitasnya cukup tinggi, tahan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan, dan proses pembuatannya relatif mudah.

Unsur Penyusun Komposit

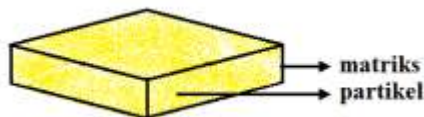
Pada umumnya bahan komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat tersebut yang disebut *matriks*.

1. Serat

Salah satu unsur penyusun bahan komposit adalah serat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik lainnya. Serat inilah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit.

a. Komposit partikel (*Particulate Composite*)

Komposit partikel yaitu penguatnya berbentuk partikel. Komposit partikel terdiri dari matrik yang berukuran kecil dengan bentuk butiran atau serbuk.



Gambar 1 Komposit Partikel

b. Komposit berpekuat serat (*Fiber Composite*)

Komposit serat yaitu penguatnya berbentuk serat. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum.

Secara umum, jenis komposit serat dibagi menjadi 4 macam yaitu *Continuous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat panjang), *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyam), *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek / acak), dan *Hybrid Composite* (komposit diperkuat serat panjang dan serat acak)

c. Komposit Struktur (*Structural Composite*)

Komposit struktur adalah cara pembuatan komposit dengan menggabungkan beberapa lapis komposit. Komposit struktur dibagi menjadi

dua yaitu *Komposit Laminat dan Komposit Sandwich*.

2. Matriks (Resin)

Matriks (resin) dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Matriks harus bisa meneruskan beban dari luar ke serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan yang lunak dan liat. *Polymer* (plastik) merupakan bahan umum yang biasa digunakan. Matriks juga umumnya dipilih dari kemampuannya menahan panas. *Polyester*, *vinilester* dan *epoksi* adalah bahan-bahan *polymer* yang sejak dahulu telah dipakai sebagai bahan matriks.

3. Pengisi (*Filler*)

Pengisi adalah bahan yang banyak digunakan untuk ditambahkan pada bahan polimer untuk meningkatkan sifat-sifatnya dan pemerosesan untuk mengurangi ongkos produksi (Surdia, 2000). *Filler* dalam komposit digunakan sebagai penguat matrik resin polimer. Mekanisme *filler* dalam meningkatkan kekuatan adalah dengan membatasi pergerakan rantai polimer. Beberapa jenis *filler* ditambahkan dengan alasan meningkatkan stabilitas dimensi, anti oksidan, penyerap UV dan pewarna.

Komposit sandwich

Material komposit *sandwich* disebut juga dengan panel *sandwich*. Material komposit *sandwich* terdiri dari panel kulit yang kuat pada sisi atas dan bawah, keduanya dipisahkan oleh lapisan bagian dalam material dalam densitas kecil yang disebut dengan *core* (inti). Lapisan ini memiliki karakteristik mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan kulitnya. Lapisan kulit berfungsi sebagai penahan utama dari gangguan berupa gaya dan tekanan dari luar. Material yang biasa digunakan sebagai lapisan kulit adalah campuran aluminium *alloy*, plastic berpekuat serat, titanium, besi, dan kayu lapis. Sedangkan bagian inti memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antar kedua permukaan sehingga memiliki ketebalan tertentu dan sebagai penahan deformasi dari tegangan geser yang dialami material saat berhadapan dengan gaya dari luar.



Gambar 2 Komposit sandwich

Komposit *sandwich* secara umum terdiri dari tiga bagian utama komponen penyusun yaitu :

1. Kulit (*Skins*)

Skins merupakan bagian terluar atau kulit dari komposit *sandwich*. Bagian ini berfungsi untuk menahan *tensil* dan *compressive stress*. *Skins* biasanya mempunyai tingkat kekakuan yang rendah. Material-material konvensional seperti aluminium, baja, titanium bisa digunakan untuk bagian ini. Material berbentuk plastic yang diperkuat serat gelas dan fiber menjadi pilihan yang baik karena bahan-bahan ini memiliki keunggulan seperti mudah untuk digabungkan.

2. Inti (*Core*)

Core merupakan penyusun komposit *sandwich* yang terletak diantara *skin*. Secara mekanis, *core* pada komposit *sandwich* berfungsi untuk mendistribusikan beban aksial menjadi beban geser pada seluruh luasan yang terjadi akibat pembebanan gaya dari luar. Salah satu faktor utama dari material komposit adalah *core* yang ringan, sehingga memperkecil berat jenis dari komposit. Terdapat beberapa jenis *core* yang biasa digunakan dalam struktur *sandwich* seperti kayu, *polyurethane* (PU) *polyvinyl chloride* (PVC), struktur *honeycomb*, dan lain-lain.

3. Perekat (*Adhesive*)

Perekat adalah zat yang digunakan untuk mengikat *skin* dengan *core*. Daya ikat dari perekat harus kuat guna meminimalisir delaminasi antara *skin* dengan *core*. Perekat harus mampu mentransfer gaya geser antara *skins* dan *core* agar kekuatan dari *sandwich* tetap terjaga. Perekat juga harus memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan panas, agar dalam keadaan tersebut daya rekatnya tidak mudah lepas (rusak).

Serat gelas (*Fiber Glass*)

Serat gelas (*Fiberglass*) merupakan paduan atau campuran beberapa bahan kimia yang bereaksi dan mengeras dalam waktu tertentu. Bahan ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan bahan logam, diantaranya ringan, mudah dibentuk dan murah. *Fiberglass* juga sangat resisten terhadap suhu tinggi, asam, basa, dan minyak.

Keuntungan pemakaian serat gelas adalah harganya murah, kekuatan tarik tinggi, tahan terhadap bahan kimia dan mempunyai sifat isolasi yang baik. Sedangkan kekurangan serat gelas adalah modulus tariknya rendah, massa jenis relatif tinggi dan sensitif terhadap gesekan.

jenis-jenis serat gelas antara lain sebagai berikut:

a. *E-Glass*

Serat *E-Glass* adalah salah satu jenis serat yang dikembangkan sebagai penyekat atau bahan isolasi. Jenis ini memiliki kemampuan bentuk yang baik.

b. *S-Glass*

Serat *S-Glass* adalah jenis serat yang mempunyai kekakuan dan modulus elastisitas yang tinggi, juga tahan terhadap temperatur yang tinggi. Pada dasarnya serat jenis ini memiliki karakteristik yang hampir sama dengan *E-Glass*, namun memiliki kemampuan mekanik yang lebih baik dari *E-Glass*. Serat *S-Glass* harganya relatif lebih mahal dari *E-Glass*.

c. *C-Glass*

C-Glass adalah jenis serat yang memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan korosif yang tinggi. Namun memiliki kekuatan yang lebih rendah dari *E-Glass*. Harganya pun lebih mahal dari *E-Glass*.

Resin *Unsaturated Polyester* (UP)

Unsaturated polyester (UP) adalah jenis resin *thermoset* atau lebih populer disebut *polyester* saja. *Polyester* berupa resin cair dengan viskositas relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas sewaktu pengesetan seperti banyak resin *thermoset* lainnya.

Sifat resin ini adalah kaku dan rapuh. Mengenai sifat termalnya karena banyak mengandung monomer stiren, maka suhu deformasi thermal lebih rendah dari pada resin *thermoset* lainnya dan ketahanan panas jangka panjangnya adalah kira-kira 110-1400 C. Ketahanan dingin adalah baik secara relatif. Sifat listriknya lebih baik diantara resin *thermoset*. Mengenai ketahanan kimianya, pada umumnya kuat terhadap asam kecuali asam pengoksid, tetapi lemah terhadap alkali. Bila dimasukkan dalam air mendidih untuk waktu yang lama (300 jam), bahan akan pecah dan retakretak. Bahan ini mudah mengembang dalam pelarut, yang melarutkan polimer stiren. Kemampuan terhadap cuaca sangat baik. Tahan terhadap kelembaban dan sinar ultra violet bila dibiarkan di luar, tetapi sifat tembus cahaya permukaan.

Katalis

Katalis ini digunakan untuk membantu proses pengeringan resin dan serat dalam komposit. Waktu yang dibutuhkan resin untuk berubah menjadi plastik tergantung pada jumlah katalis yang dicampurkan. Dalam penelitian ini

menggunakan katalis *Metil Ethyl Katon Peroxide* (MEKPO) yang berbentuk cair, berwarna bening. Semakin banyak katalis yang ditambahkan maka semakin cepat pula proses pengeringannya (*curing*). Tetapi apabila pemberian katalis berlebihan maka akan menghasilkan material yang getas ataupun resin bisa terbakar. Penambahan katalis yang baik adalah 1% dari volume resin. Apabila terjadi reaksi akan timbul panas antara 60-90 °C. panas ini cukup untuk mereaksikan resin sehingga diperoleh kekuatan dan bentuk plastik yang maksimal sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan

Polyurethane

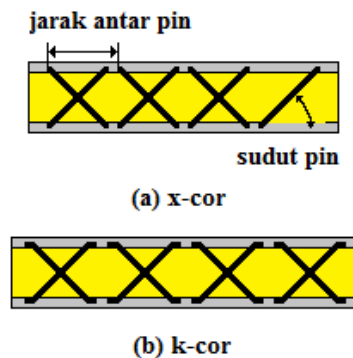
Polyurethane adalah campuran dua jenis bahan kimia, bentuk dari *Polyurethane* terdapat dalam berbagai macam, seperti busa lentur, busa keras, pelapis anti bahan kimia, bahan perekat, dan penyekat, serta *elastomers*. Busa keras *polyurethane* digunakan sebagai bahan penyekat pada gedung, pemanas air, alat transport berpendingin, serta pendingin untuk industri maupun rumah tangga. Busa ini juga digunakan untuk *flotation* dan pengaturan energi. Busa lentur *polyurethane* digunakan sebagai bahan pelembut pada karpet dan kain pelapis furniture, kasur, dan mobil. Busa tersebut juga digunakan sebagai pengepak barang. Perekat dan penyekat *polyurethane* digunakan dalam seperti di bidang konstruksi, transportasi, kapal, dan kegunaan lain yang membutuhkan kekuatan, tahan lembab, serta sifat tahan lama dari *polyurethane* tersebut. Istilah "*polyurethane elastomer*" meliputi produk turunannya antara lain, *thermoplastic polyurethane*, *cast elastomer*, dan produk-produk *Reaction Injection Molded* (RIM). Bahan-bahan ini meliputi banyak ragam kegunaan, dari sepatu dan roda skate sampai perlengkapan rumah, lintasan atletik, serta alat-alat elektronik.

Polyurethane foam ditemukan oleh Bayer pada tahun 1947 dan kemudian mulai diperkenalkan dipasaran pada tahun 1955. *Foam* didefinisikan sebagai substansi yang dibentuk dengan menjebak gelembung gas di dalam cairan atau padatan. Seringkali orang menyebutnya dengan *polyurethane foam*, *rubber foam*, *styrofoam* atau bentuk *foam* lainnya yang sering digunakan. Sejak 20 tahun yang lalu, jenis *foam* padatan mulai digunakan. Rendahnya densitas pada *foam* tersebut yang menjadikannya sebagai insulator dan alat flotasi yang baik. Bentuknya yang padat dan terang membuatnya ideal sebagai pack dan bahan pengisi. Beberapa *foam* cairan

hanya dapat ditemukan pada pemadam api, khususnya api yang disebabkan oleh minyak.

Z-Pin

Di era teknologi yang berkembang pesat seperti saat sekarang, pemenuhan akan bahan baku yang lebih baik juga semakin besar dan berkembang. Seperti halnya dalam bidang *aeronautics* atau yang biasa kita ketahui dengan bidang penerbangan. Karena dalam bidang penerbangan specimen yang digunakan harus memenuhi beberapa persyaratan yang cukup baik dan tinggi. seperti material specimen yang digunakan harus ringan, mempunyai *specific strength* yang tinggi, memiliki ketahanan yang baik serta kestabilan komponen struktur yang tinggi.



Gambar 3 (a) X-Cor dan (b) K-Cor

Pengujian Tekan

Kekuatan tekan adalah kapasitas dari suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Kekuatan tekan dapat diukur dengan memasukkannya ke dalam kurva tegangan-regangan dari data yang didapatkan dari mesin uji. Beberapa bahan akan patah pada batas tekan, beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan, meski belum patah, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (*irreversible*). Pengetahuan mengenai kekuatan tekan merupakan kunci dalam mendesain sebuah struktur. Kekuatan tekan dapat diukur dengan *mesin uji universal*. Pengujian kekuatan tekan, dipengaruhi oleh kondisi pengujian (penyiapan spesimen, kondisi kelembaban dan temperatur ruang uji, dan sebagainya).

Berdasarkan ASTM 2006 Pengujian tekan di bagi menjadi dua pengujian pengujian tekan tepi dan pengujian arah ketebalan.

a. Pengujian tekan tepi (ASTM C 364-99).

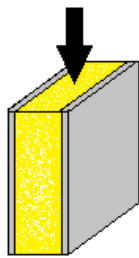
$$\sigma = \frac{P_{max}}{A}$$

Keterangan persamaan (2-1) :

σ = kekuatan tekan tepi (N/mm²)

P_{max} = beban tekan maksimal (N)

A = luas penampang (mm²)



Gambar 4 Sketsa uji tekan tepi komposit sandwich.

Pengujian Geser

Karakteristik konfigurasi dan pengujian spesimen diuraikan dalam standar ASTM C 273 yang diaplikasikan pada mesin uji geser. Tegangan geser rata-rata diseluruh bagian spesimen dihitung dengan menggunakan rumusan :

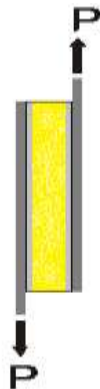
$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan persamaan (2-3) :

P = Kekuatan geser (N/ mm²)

F = Beban yang diterapkan (N)

A = Luasan area (mm²)



Gambar 5 Skema uji geser komposit sandwich.

Metode Vacuum Assisted Resin Infusion

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) adalah metode pembuatan material komposit yang menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Material yang menjadi matriks diletakkan di sebuah cetakan, kemudian dilakukan proses vakum untuk menarik aliran resin ke dalam matriks. Setelah lembaran lembaran antara resin dan matriks terbentuk, maka tabung vakum akan menghisap sisa-sisa resin yang masih tertinggal, sehingga lembaran yang terbentuk mempunyai ketebalan yang sama.

Metode VARI menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio fiber-resin yang tinggi dibandingkan dengan metode hand lay-up. Metode hand lay-up menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode VARI aliran resin dilakukan oleh tekanan vakum yang konstan. Penggunaan tekanan vakum konstan ini yang mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio fiber – resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang lebih kuat dan ringan (Febriyanto 2011).

Beberapa langkah-langkah dasar dalam proses VARI adalah sebagai berikut :

1. Material yang berfungsi sebagai matriks diletakkan dalam suatu cetakan yang dilapisi *vacuum bag*.
2. Resin cair yang berfungsi sebagai filler dituangkan dalam suatu wadah yang terhubung dengan cetakan dan mesin vakum.
3. Tekanan udara yang ada di dalam cetakan diturunkan oleh pompa vakum.
4. Resin dialirkan dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah.
5. Proses *curing* dilakukan setelah resin membentuk lamina.

Metode VARI dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode *surface infusion* dan metode *interlaminar infusion*. Pada *surface infusion*, resin dialirkan melewati bagian permukaan lamina. Pada *interlaminar infusion*, resin dialirkan melalui ruang antar lamina. Pada *surface infusion*, kerugian terbesar terdapat pada biaya yang disebabkan persiapan pengoperasian mesin dan kompleksitas yang meningkat jika metode ini diaplikasikan untuk skala besar. Metode *interlaminar infusion*, memiliki banyak keuntungan jika diaplikasikan dalam skala besar. Resin dialirkan di antara lamina agar ketebalan resin terjaga pada ruang antar lamina.

Selain itu, proses pengaliran resin lebih cepat karena melewati ruang yang sudah dijaga ketebalannya. Proses yang lebih terjaga ini menyebabkan material sisa yang terbuang semakin berkurang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi besar sudut penyisipan z-pin bambu dengan jarak antar pin yaitu 10 mm *composite sandwich*, terhadap kekuatan pengujian tekan tepi dan geser. Berikut ini adalah hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

1. Kekuatan Tekan Tepi

Tabel 1 Data perhitungan kekuatan tekan tepi komposit *sandwich* terhadap sudut penyisipan z-pin.

Kode spesimen	Crossection al (mm ²)	Load Max (N)	σ (kPa)
TTX60V(1)	1732,21	7769,65	4485,38
TTX60V(2)	1782,06	9437,97	5296,07
TTX60V(3)	1757,72	8756,75	4981,87
Rata-rata		8654,79	4921,10
TTX75V(1)	1728,02	6764,31	3914,48
TTX75V(2)	1754,81	7833,76	4464,16
TTX75V(3)	1685,87	6276,58	3723,04
Rata-rata		6958,21	4033,89
TTX90V(1)	1731,03	6776,55	3914,74
TTX90V(2)	1638,78	6099,63	3722,05
TTX90V(3)	1712,83	7073,00	4129,40
Rata-rata		6649,73	3922,06
TTTTPV(1)	1647,24	5079,68	3083,74
TTTTPV(2)	1680,39	6362,57	3786,34
TTTTPV(3)	1651,39	1386,67	839,69
Rata-rata		4276,30	2569,92

Keterangan spesimen :

1. TTX60V(1): Pengujian tekan tepi model penyisipan *pin X core* dengan sudut 60°, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.
2. TTX75V(1): Pengujian tekan tepi model penyisipan *pin X core* dengan sudut 75°, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.
3. TTX90V(1): Pengujian tekan tepi model penyisipan *pin X core* dengan sudut 90°, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted*

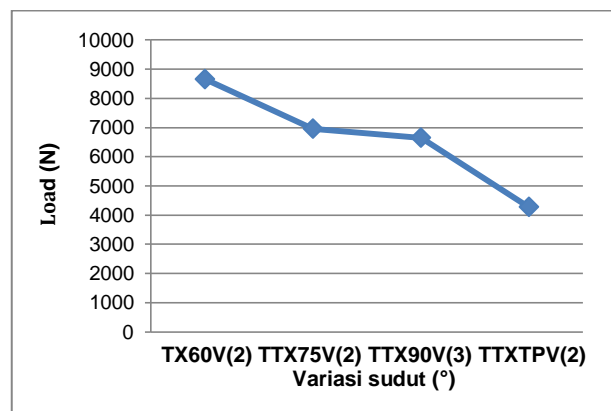
Resin Infusion), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.

4. TTTTPV(1): Pengujian tekan tepi tanpa menggunakan *pin*, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.

Uji tekan tepi komposit *sandwich* dengan *polyurethane* sebagai *core* dan *pin* bambu sebagai penguat serta variasi sudut penyisipan z-pin dilakukan di Laboratorium Logam Teknik Mesin Universitas Mataram dengan menggunakan mesin *UNIVERSAL TEST MACHINE* Model C0820JC 1KN – 200KN dengan standar yang digunakan ASTM C364/C364M – 07 (2012).

Adapun keterangan pada tabel 1 menunjukkan kode dari spesimen yang diuji, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dalam satu ukuran, misalnya pada sudut 60° di lakukan pengujian sebanyak 3 kali guna menghasilkan serta memastikan data yang lebih baik, begitupun untuk semua sudut yang digunakan.

Berdasarkan hasil data tabel 4.1 pengujian tekan tepi diatas didapatkan grafik perbandingan antara *load max* dengan variasi sudut komposit *sandwich* yang menunjukkan sejauh mana perbandingan *load max* antara masing-masing variasi sudut komposit *sandwich*. Adapun grafik yang akan dijabarkan adalah variasi sudut pin 60°, 75°, 90°, dan tanpa *pin*, grafik pada tabel 1 dapat di lihat pada gambar 6.



Gambar 6 Grafik perbandingan *load* dengan variasi sudut pengujian tekan tepi.

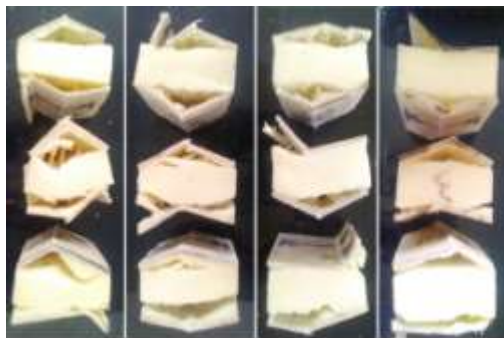
Pada gambar 4.1 menunjukkan kurva perbandingan *load max* pada masing-masing variasi sudut komposit *sandwich* yang terjadi pada pengujian tersebut. Angka yang digunakan pada

kurva diatas adalah *load max* yang terbesar pada pengujian spesimen yang dilakukan, di karenakan *spesiment* yang paling kuat dianggap mewakili masing-masing ukuran sudut *pin* yang digunakan. Terlihat pada kurva 4.1 rata-rata *spesiment* yang di gunakan adalah *spesiment* yang ke 2 diujikan, dapat di lihat pada keterangan gambar 4.1 kurva diakhiri kode *pin* yang menunjukkan kode *spesiment* yang digunakan. Akan tetapi beberapa data yang di gunakan juga dari *spesiment* ke 3 karena memiliki angka yang paling besar.

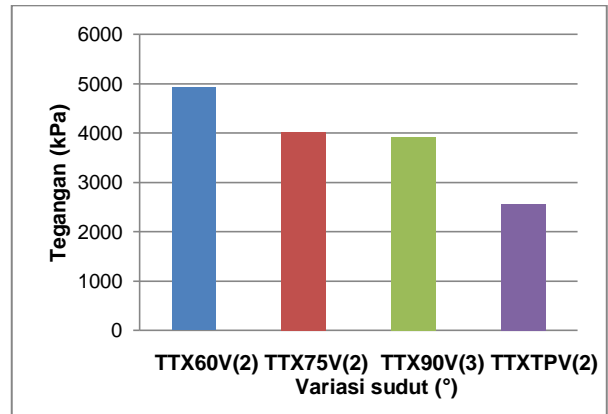
Gambar 6 dapat di lihat bahwa angka yang menunjukkan yang dapat menahan beban paling besar pada tekan tepi adalah pada komposit dengan sudut *pin* 60° dengan rata rata yaitu 8654,794 N sedangkan pada beban terendah yaitu pada komposit dengan sudut *pin* 90° dengan rata rata 6649,731 N Adapun komposit yang tanpa menggunakan pin tentunya paling kecil dalam menahan beban tekan tepi dengan rata rata 4276,307 N.

Adapun kesimpulan yang dapat di ambil pada pengujian tekan tepi kali ini, komposit yang paling kuat dalam menahan beban tekan tepi adalah komposit dengan kemiringan sudut *pin* 60°, sedangkan komposit terlemah adalah pada kemiringan sudut *pin* 90°. Apabila kemiringan sudut semakin kecil maka mengakibatkan semakin kuatnya komposit *sandwich* dalam menahan beban.

Gambar spesimen tekan tepi setelah pengujian dapat di lihat pada gambar 7 terlihat awal kegagalan terjadi di tengah spesimen, yaitu tepatnya diantara *core* dan *skins* yang diawali dengan tidak kuatnya pin dalam mengikat antara *skins* atas dengan *skins* bawah lalu diikuti terlepasnya *skins* dan *core* sehingga terjadi kegagalan.



Gambar 7 Foto spesimen setelah pengujian tekan tepi (A) sudut 60°, (B) sudut 75°, (C) sudut 90°, dan (D) tanpa menggunakan pin.



Gambar 8 Grafik perbandingan tegangan dengan variasi sudut pengujian tekan tepi

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada komposit *sandwich* dengan penyisipan *pin* sudut 60°, 75°, dan 90° akan mempengaruhi kekuatan tegangan pada pengujian tekan tepi ini, dimana *pin* yang berfungsi sebagai tulangan komposit *sandwich* akan bekerja dengan baik seiring semakin kecil kemiringan sudut penancapan *pin*.

Selain itu pada komposit dengan sudut *pin* 60° rata-rata tegangan tekan tepi yaitu 4921,109 kPa, pada komposit *sandwich* ini merupakan yang memiliki tegangan paling besar dibandingkan dengan komposit dengan variasi sudut *pin* yang lain.

Adapun pada spesimen yang tanpa menggunakan *pin* pastinya memiliki kekuatan paling rendah. Nilai rata-rata pengujian tekan tepi tanpa menggunakan pin adalah 2569,928 kPa.

Berdasarkan hasil pengujian tekan tepi dengan variasi sudut penyisipan *pin* menggunakan anova satu arah dapat di lihat pada tabel 2

Tabel 2 Hasil pengujian tekan tepi dengan variasi sudut penyisipan *pin* anova satu arah.

Sumber keragaman	JK	db	KT	F hitung	F tabel
Sudut pin	17977 34	2	89886 7	7,5617 77	5,14 34
Galat	71321 8,9	6	11886 9,8		
Total	25109 53	8			

Berdasarkan perhitungan uji geser dengan menggunakan anova satu arah pada tabel 4.4

didapatkan Fhitung > F 0.05, 2, 6 = 7,561777. Berarti Fhitung lebih besar dibandingkan Ftabel atau H1 diterima, Dan dapat disimpulkan bahwa rata-rata hasil pengujian tekan tepi dengan variasi sudut penyisipan *pin* anova satu arah berpengaruh pada setiap spesimennya.

2. Kekuatan Geser

Uji geser komposit *sandwich* dengan *polyurethane* sebagai *core* dan *pin* bambu sebagai penguat serta variasi sudut penyisipan *pin* di lakukan di Laboratorium Fisika MIPA Universitas Mataram dengan menggunakan mesin UNIVERSAL TEST MACHINE Model C082001C 1KN – 200KN dengan standar yang di gunakan ASTM C 273. Adapun kecepatan yang di gunakan yaitu 2,5 mm/menit.

Tabel 3 Data perhitungan kekuatan geser komposit *sandwich* terhadap sudut penyisipan *z-pin*.

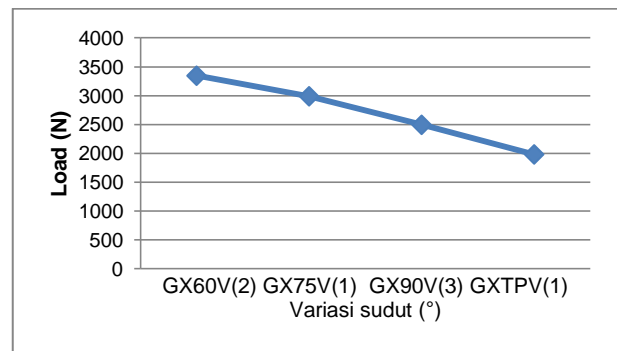
Kode spesimen	Crossection al (mm ²)	Load Max (N)	τ (kPa)
GX60V(1)	17192	3001,816	174,6054
GX60V(2)	18240	3594,791	197,0828
GX60V(3)	17632	3443,753	195,3127
		3346,787	189,0003
GX75V(1)	17748	3315,238	186,7950
GX75V(2)	18113	2874,996	158,7256
GX75V(3)	17442	2780,865	159,4350
		2990,366	168,3185
GX90V(1)	17748	2105,485	118,6322
GX90V(2)	18113	2392,610	132,0935
GX90V(3)	17748	2269,922	127,8973
		2496,154	126,2077
GTPV(1)	17748	2040,737	114,9840
GTPV(2)	18420	1687,256	91,59912
GTPV(3)	17442	2221,728	127,3780
		1198,324	111,3204

Keterangan spesimen :

1. GX60V(1): Pengujian Geser model penyisipan *pin X Core* dengan sudut 60°, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.
2. GX75V(1): Pengujian Geser model penyisipan *pin X Core* dengan sudut 75°, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.

3. GX90V(1): Pengujian Geser model penyisipan *pin X Core* dengan sudut 90°, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.
4. GTPV(1): Pengujian Geser Tanpa menggunakan *pin*, menggunakan metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*), 1 menunjukkan pengulangan spesimen uji.

Adapun keterangan diatas menunjukkan kode dari spesimen yang diuji, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dalam satu ukuran. Misalnya pada sudut *pin* 60° dilakukan sebanyak 3 kali pengujian guna menghasilkan serta memastikan data yang lebih baik. Grafik pada tabel 3 dapat dilihat pada gambar 9.

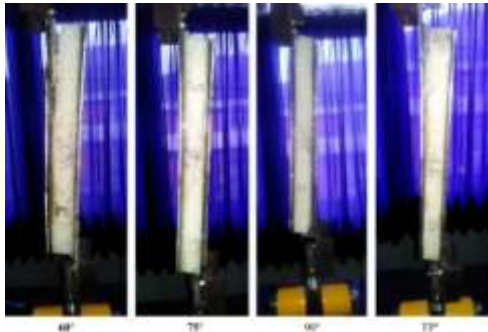


Gambar 9 Grafik perbandingan *load* dengan variasi sudut pengujian geser.

Pada gambar 4.4 terlihat kurva perbandingan antara *load max* dengan masing-masing variasi sudut komposit *sandwich* pada pengujian tersebut. Angka yang di gunakan juga sama seperti pada pengujian tekan tepi yaitu *load max* yang terbesar, dikarenakan spesimen yang paling kuat di anggap mewakili masing-masing sudut yang digunakan. Terlihat pada kurva spesimen yang digunakan adalah spesimen pertama, kedua serta ketiga diujikan, dapat dilihat pada gambar 4.5 kurva diakhiri kode *pin* yang menunjukkan kode spesimen yang di gunakan.

Adapun pada pengujian geser ini komposit *sandwich* yang paling kuat adalah pada komposit dengan sudut *pin* 60° yaitu dapat menahan beban (*load*) rata-rata 3346,787 N, sedangkan yang paling lemah menahan beban adalah pada komposit dengan sudut *pin* 90° yaitu dapat menahan beban dengan rata-rata 2496,154 N. Dan pada komposit yang tanpa menggunakan *pin* tentunya memiliki angka yang paling kecil di

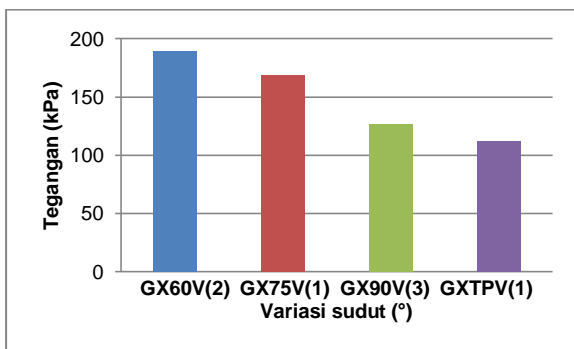
bandingkan dengan komposit yang menggunakan pin yaitu dengan rata-rata 1198,324 N.



Gambar 10 Foto spesimen dengan sudut pin 60°, 75°, 90°, dan tanpa menggunakan pin saat diuji geser.

Kegagalan yang terjadi paling cepat pada komposit yang disisipkan pin adalah pada komposit dengan sudut pin 90° yaitu dengan beban (*load*) rata-rata 2496,154 N. Dikarenakan berbagai macam faktor, salah satu diantaranya adalah pada saat *bonding* yang tidak merata pada *skins* dengan besi uji geser, selain itu faktor penyebab kegagalan uji geser pada komposit dengan sudut pin 90° dikarenakan pada komposit dengan sudut kemiringan pin ini mengakibatkan terjadinya kegagalan dini pada *core*.

Komposit yang tanpa menggunakan pin memiliki beban pengujian yang paling rendah, dengan rata-rata beban 1198,324 N. Beberapa faktor rendahnya beban geser pada spesimen yang tanpa menggunakan pin, salah satunya tidak adanya pin sebagai perekat antara *core* dengan *skins*, yang mengakibatkan rendahnya gaya geser yang diujicobakan tersebut sehingga terjadi pada tepi *skins* diikuti dengan terkoyaknya *core* hingga terjadi kegagalan.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan tegangan dengan variasi sudut pengujian geser.

Adapun pada komposit dengan sudut pin 60° memiliki besar tegangan dengan rata-rata yaitu 189,0003 kPa dibandingkan dengan komposit dengan sudut 75° dengan rata-rata tegangan yaitu 168,3185 kPa dikarenakan komposit pada sudut pin 60° kemiringan pin mempengaruhi distribusi tegangan kekuatan geser, ditambah dengan jarak antar pin yaitu 10 mm juga memberikan tegangan semakin besar dan baik pula.

Komposit dengan kemiringan sudut pin 60° dibandingkan dengan 75° dan 90° menunjukkan bahwa nilai beban yang dapat di tahan spesimen lebih besar dikarenakan pada sudut pin 60° memiliki kemiringan yang ekstrim sehingga puncak tegangan maksimum yang dapat ditahan semakin besar ditambah dengan jarak antar pin yang begitu dekat yaitu 10 mm mengakibatkan distribusi tegangan uji geser lebih merata.

Adapun pada komposit dengan sudut pin 90° menunjukkan nilai tegangan yang paling rendah dengan rata-rata 126,2077 kPa, dikarenakan oleh beberapa faktor yaitu besarnya sudut yang membentuk tegak lurus mempengaruhi distribusi kekuatan pin sebagai tulangan pada *core* yang berbahan *polyurethane*. Sehingga tegangan kekuatan geser pada komposit sudut pin 90° dikatakan rendah seiring dengan sudut yang membentuk tegak lurus tersebut. Dan spesimen yang tanpa menggunakan pin tentunya memiliki nilai tegangan yang paling rendah yaitu dengan rata-rata 111,3204 N.

Tabel 4.4 Hasil pengujian geser dengan variasi sudut penyisipan pin anova satu arah.

Sumber Keragaman	JK	d b	KT	F hitung	F tabel
Sudut Pin	6143,975	2	3071,988	20,04356	5,1434
Galat	919,5933	6	153,2655		
Total	7063,569	8			

Berdasarkan perhitungan uji geser dengan menggunakan anova satu arah pada tabel 4.4 didapatkan $F_{hitung} > F_{0.05, 2, 6} = 20,04356$.

Berarti Fhitung lebih besar dibandingkan Ftabel atau H1 diterima, Dan dapat disimpulkan bahwa rata-rata hasil pengujian geser dengan variasi sudut penyisipan *pin* anova satu arah berpengaruh pada setiap spesimennya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan pada pengaruh variasi sudut ($60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$) terhadap kekuatan tekan tepi dan geser komposit *sandwich* dengan inti *polyurethane foam* dengan *pin* bambu. Maka dapat di tarik kesimpulan antara lain :

1. Semakin kecil kemiringan sudut penyisipan *pin* pada komposit *sandwich* maka kekuatan tekan tepi dan geser semakin besar.
2. Pada pengujian tekan tepi, semakin kecil kemiringan sudut penyisipan *pin* pada komposit *sandwich* maka semakin baik pula komposit *sandwich* dalam menerima beban tekan tepi. Pada pengujian tekan tepi di dapatkan tegangan tekan tepi terbesar rata-rata 4921,109 kPa pada komposit *sandwich* dengan sudut *pin* 60° dan tegangan terlemah rata-rata 3922,069 kPa pada sudut *pin* 90° .
3. Dalam pengujian geser juga semakin kecil kemiringan sudut penyisipan *pin* pada komposit *sandwich* maka semakin baik pula komposit *sandwich* dalam menahan beban. Adapun pada pengujian geser tegangan terkuat pada komposit *sandwich* dengan sudut *pin* 60° yaitu dengan rata-rata 189,0003 kPa dan tegangan terlemah pada sudut *pin* 90° dengan rata-rata 126,2077 kPa.
4. Pada pengujian tekan tepi dan geser spesimen komposit *sandwich* yang tanpa menggunakan *pin* memiliki tegangan paling kecil yaitu dengan rata-rata tegangan kekuatan tekan tepi 2569,928 kPa dan rata-rata tegangan kekuatan geser 111,3204 kPa.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran-saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut :

1. Untuk generasi selanjutnya di harapkan untuk menggunakan lebih dari satu variasi guna mendapatkan hasil yang maksimal.
2. Penelitian komposit *sandwich* terutama pada proses pemotongan diharapkan memakai alat yang lebih baik
3. Penelitian selanjutnya disarankan agar pembuatan komposit *sandwich* menggunakan

metode VARI di lakukan secara telitidan rapi. Dimaksudkan agar saat pengambilan data nantinya menghasilkan data yang baik dan sesuai hipotesa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang membantu baik berupa materi maupun pikiran yaitu kepada Orang Tua saya, Bpak/Ibu dosen dan teman-teman semuanya sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Dwi Catur, Kahar Musakar, Sinarep, Sukartono, 2015, pengaruh penguatan *polyurethane rigid foam* dengan *square cells* terhadap tegangan bending dan tekan *panel sandwich* sebagai bahan lambung haluan perahu. Jurnal Simposium Nasional RAPI XIV, Fakultas teknik, Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Ariadi Saputra., 2014 , Pengaruh Perendaman Pada Kekuatan Bending *Pasca Impact* Komposit *Sandwich Polyurethane Rigidfoam Sheet* Dengan Penguat Anyaman *Bambu-fiberglass*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Enrico Papa, and Alberto Corigliano., *Mechanical behaviour of a syntactic foam / glass fibre composite sandwich*, Jurnal, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Facoltà di Ingegneria Leonardo, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, I-20133 Milano, Italy
- Fajrin. J., dkk, 2012., *Composite Sandwich Panel*, Jurnal, Universitas Mataram, Mataram.
- FAN XIA, XIAO QING WU., *Work on Impact Properties of Foam Sandwich Composites with Different Structure*, Jurnal, Key Laboratory for Advanced Textile Composite of Ministry of Education, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China.
- Herup, E. J. and Palazatto, A. N. *Low velocity impact damage initiation in graphite / epoxy Nomen honeycomb sandwich plates. AIAA Paper 96-1519 (A96-26976), 37th AIAA/ASCE/ASME/AHS SDM Conference*, pages 1765-1773, 1996.

- Nanayakkara, A., Feih, S. and Mouritz, A.P, 2012. 'Experimental analysis of the throughthickness compression properties of z-pinned sandwich composites', Composites Part A, Volume 42, Issue 11, pp. 1673-1680.
- Rahmad, Agus Dwi Catur, dan Paryanto Dwi Setyawan., Pengaruh Bentuk Gading-Gading Perahu Terhadap Beban *Bending*, Jurnal, Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram ,Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Rifki Nugraha,Wahyu Wijanarko, dan Putu Suwarta., Analisa Karakteristik Bending Komposit Sandwich Dengan Variasi Ketebalan Inti., Jurnal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia.
- Schwartz, P.,1984, *Mechanics of Fiber- Reinforced Composite Materials* , Journal, Mechanical Engineering, Auburn University, United States.
- Yusril Irwan1, Mohamad Arif W., Eksperimentasi Metoda Laminasi dan Metoda Pengujian Kekuatan Pelapisan pada Bambu Laminasi untuk Dijadikan Konstruksi Furnitur, Seminar Nasional, Jurusan Desain Produk, Institut Teknologi Nasional Jl. PKH Mustopha 23 Bandung.
- Wilfried Göttner, Michael Klaus, Hans-G. Reimerdes., *Bending Strength Of Sandwich Panels With Different Cores After Impact*, Jurnal, Institut für Leichtbau, RWTH Aachen Wüllnerstraße 7, D-52062 Aachen, Germany.
- Zaen, U., Sugiman, Setyawan, P.D., 2014, *Investigasi Kekuatan Bending Komposit Laminat Aluminium-Fiberglass-Bambu*, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke 20, UGM Jogjakarta.