

PENGARUH KEKUATAN STRUKTUR MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH PLATE FIBERGLASS TERHADAP BIRO KLASIFIKASI

Suzdayan¹, Romadhoni²

¹Jurusan Teknik Kemaritiman Politeknik Negeri Bengkalis

²Jurusan Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Bengkalis

Email: suzdayan@polbeng.ac.id,¹ romadhoni@polbeng.ac.id.²

Abstrak

Pada penelitian ini material komposit *sandwich* yang diuji diperuntukkan sebagai bahan lambung kapal *fiberglass*. Komposit *sandwich* dengan core yang dikuatkan dibuat, diuji tekan dan bending untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran penguat core terhadap kekuatan tekan dan bending komposit *sandwich*. Core berupa *polyurethane* yang diperkuat dengan *square cells* menggunakan variasi kertas kardus bekas sedangkan untuk ukuran panjang sisi *square cells* divariasikan: 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm. Komposit *sandwich* ini dibuat dengan metode cetak tangan (*hand lay up*) kemudian diuji bending metode pembebanan tiga titik (*three point bending*) dan uji tekan. Penguatan core dengan sistem *square cells* diharapkan dapat menambah kekuatan tekan dan bending komposit *sandwich*. Dari hasil pengujian kuat lentur rata – rata pada komposit varian cell10 1,03 kg/mm², varian *cells*20 sebesar 4,42 kg/mm², varian cell30 sebesar 3,17 kg/mm², varian *cells* 40 29,54 kg/mm², varian *sandwich* full 20,10 kg/mm², dan varian *single skins* 3,51 kg/mm². Sedangkan dampak rata – rata keuletan pada komposit varian. varian *cells*10 sebesar 1,8 joule/mm², varian *cells*20 sebesar 1,77 joule/mm² varian *cells*30 sebesar 1,80 joule/mm², varian *cells*40 sebesar 2,09 joule/mm² dan varian *full sandwich* sebesar 2,28 joule/mm². Selanjutnya hasil *maximum principal stress* dari model terlihat bahwa titik maksimumnya yaitu sebesar 11,6 MPa yang terjadi Maksimum tegangan terjadi pada gading *bottom* yaitu sebesar 6,9759 kN/m² atau 6,97 kPa. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat beban yang besar dibagian tersebut.

Kata kunci : *fiberglass*, komposit, *sandwich*, core.

Abstract

In this study the sandwich composite material tested is designated as the hull material of fiberglass vessel. Composite sandwiches with corroborated cores are made, tested press and bending to determine the effect of variation of core reinforcement to compressive strength and composite sandwich bending. Core in the form of polyurethane reinforced with square cells using variations of used cardboard paper while for the length of the sides of square cells varied: 10 mm, 20 mm, 30 mm and 40 mm. This sandwich composite is made by hand lay up method and then tested bending of three point bending method and press test. Reinforcement of cores with square cells system is expected to add compressive strength and composite sandwich bending. From the results of the average resilient strength test in the composite cell10 variant 1.03 kg / mm², cell culture variant of 4.42 kg / mm², cell30 variant of 3.17 kg / mm², variant cells 40 29.54 kg / mm², variant sandwich full 20,10 kg / mm², and single skins variant 3.51 kg / mm². While the impact While the average of the ductility on the composite variant. cellphone variants of 1.8 joules / mm², cell culture variants of 1.77 joules / mm² cell variants of 1.80 joules / mm², cellphone variants of 2.09 joules / mm² and a full sandwich variant of 2.28 joules / mm². Furthermore, the maximum principal stress result from the model shows that the maximum point is 11.6 MPa that occurs Maximum voltage occurs at the bottom of the ivory of 6.9759 kN / m² or 6.97 kPa. This happens because there is a large burden in the section.

Keywords : *Fiberglass*, composite, *sandwich*, core.

1. PENDAHULUAN

Material Komposit *Fiberglass* saat ini banyak digunakan sebagai bahan alternatif atau bahan pengganti material logam yang mempunyai keunggulan tersendiri antara lain mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, mempunyai kekuatan dan kekakuan yang cukup baik, tahan terhadap korosi [4]. Komposit telah digunakan secara luas dalam beberapa industri yang membutuhkan suatu

konstruksi yang ringan dan kaku antara lain konstruksi lambung kapal, pesawat terbang, bodi mobil, kereta api, dan lain sebagainya.

Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Banyak variasi definisi dari komposit *sandwich*, tetapi faktor utama dari material tersebut adalah core yang ringan sehingga memperkecil berat jenis dari material tersebut serta kekuatan lapisan skin

yang memberikan kekuatan pada komposit *sandwich* [6]. Menggunakan komposit *sandwich* menguntungkan untuk daya apungnya karena berat jenis komposit *sandwich* sangat kecil bahkan lebih kecil dari berat jenis kayu. Berat jenis komposit *sandwich* berbahan *fiberglass* - strip bambu - polyester dengan *core polyurethane* foam berkisar antara 0,0971 – 0,3921 gr/cc, lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis rata-rata kayu 0,6 gr/cc [2]. Namun penggunaan komposit *sandwich* konvensional tanpa penguatan *core* untuk lambung perahu bukannya tanpa masalah. Problem yang dihadapi ketika memakai bahan komposit *sandwich* tanpa penguatan *core* adalah material ini tidak dapat menahan tekanan, tabrakan dan *impact*. Hal ini disebabkan *core* tidak mempunyai kekuatan dan kekakuan tinggi saat menerima tekanan arah flat.

Penelitian yang mempelajari karakteristik komposit *sandwich* dengan penguatan yang diberi gaya uniaksial. Dalam kasus tabrakan pada komposit *sandwich* dengan *core* yang belum dikuatkan, gaya penabrak dapat konstan pada rentang displacement yang sangat terbatas. Setelah *core* dikuatkan dengan lapisan tipis tegak graphite fiber – epoxy, gaya yang ditahan oleh komposit menjadi meningkat sangat bervariasi terhadap displacement melintang komposit *sandwich*. Demikian juga jika *core* dikuatkan dengan graphite fiber – epoxy, struktur *sandwich* menyerap energi normal dengan lebih meningkat.

Penggunaan penguat *core* pada komposit *sandwich* merupakan solusi terhadap kekuatan tabrakan, modulus elastisitas dan penguatan energi pasca *impact*. Pengaruh penambahan *square cells* berbahan kertas kardus pada *polyurethane* sebagai *core* komposit *sandwich* merupakan solusi keratif terhadap perkembangan material *sandwich* baru yang kuat terhadap tegangan dan regangan sebagai pendukung material kapal *fiberglass*

2. METODE

2.1 Sandwich Plate System (SPS)

Sandwich Plate System (SPS) merupakan material ringan yang merupakan struktur dua pelat dari material kayu yang dipisahkan oleh material inti *elastomer*. Pelat logam disatukan dengan parameter bar pada bagian tepi pelat, *Polyurethane* inti *elastomer* berada diantara pelat dengan proses injeksi.



Gambar 1 *Sandwich Plate System (SPS) Material* (Welch.D, 2005, Presentation, Glasgow College of Nautical Studies)

2.2 Material polyurethane

Durapospita chemical (Small Medium Industrial Consultant), *Polyurethane* yang pertama kali ditemukan oleh kimiawan asal Jerman, Prof. Otto Bayern pada tahun 1937, berkembang menjadi bahan yang memiliki kelas tersendiri dan memiliki banyak kegunaan. Awal pembentukan material ini menyerupai serat yang didesain untuk menandingi serat nylon. Akan tetapi penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa *Polyurethane* bukan hanya dapat digunakan sebagai serat, tapi dapat juga digunakan untuk membuat busa (foam), bahan *elastomer* (karet/plastik), lem, pelapis (*coating*) dan lain-lain. Salah satu sifat penting dari *polyurethane* adalah fleksibilitas. Sifat ini menonjol hingga *polyurethane* menjadi busa sintetik dan digunakan dalam berbagai aplikasi karet, *coating* dan perekat. Aplikasi praktis *polyurethane* dapat ditemukan dalam bidang otomotif, furnitur, insulasi panas dan industri sepatu.

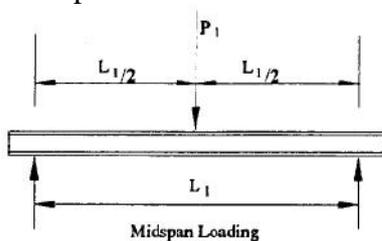
Polyurethane terbentuk berdasarkan reaksi antara *polyols* dan *isocyanate*. *Isocyanate* atau *polyisocyanate* merupakan

senyawa yang sangat reaktif, material ini merupakan bahan dari berbagai macam fiber, resin, karet, busa, coating dan adhesive. Polyols merupakan senyawa *oligomer* atau polimer yang memiliki setidaknya dua gugus hydroxyl. Polyols meliputi beberapa jenis, diantaranya polether polyol, *polyester polyol*, *polyolefin* dan minyak vegetabel yang mengandung hidroksil.

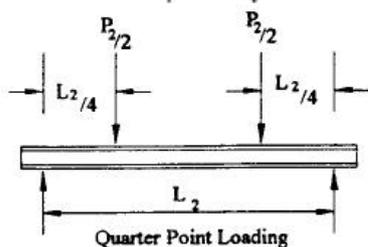
2.3 Pengujian lentur.

Pengujian lentur dilakukan pada spesimen SPS untuk mengetahui kekuatan ikatan dari tegangan geser yang terjadi antara lapisan *core* dan lapisan atas dan bawah. Spesimen benda uji yang dibuat harus dalam bentuk persegi panjang dengan ketebalan SPS berdasarkan hasil perhitungan ketebalan, dengan lebar dari spesimen tidak kurang dari 2 kali total ketebalan atau tidak lebih dari 1,5 panjang bentang. Sedangkan panjang dari spesimen merupakan panjang bentang yang ditambahkan 50 mm. Bentuk pengujian lentur yang diberikan oleh ASTM C393, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut ini[1].

2.a1



2.a2



Gambar 2.a1;a2 Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda
(ASTM C 393, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*)[1]

Gambar 2 menunjukkan dua tipe pengujian dari pembebanan tunggal pada spesimen dan pembebanan ganda, dengan aturan jarak posisi pembebanan yang diberikan

masing-masing pada tiap tipe pengujian yang dilakukan.

Tegangan geser *core*, pada pembebanan tunggal, *midspan loading*, dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$= \frac{P}{(d + c)b} \tag{1}$$

Dengan tegangan lentur, *midspan loading*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d + c)b} \tag{2}$$

Dimana :

- = tegangan geser *core*, (MPa)
- = tegangan lentur, (MPa)
- P = beban, (N)
- d = ketebalan *sandwich*, (mm)
- c = ketebalan lapisan *core*, (mm)
- b = lebar *sandwich*, (mm)
- L = panjang bentang, (mm)

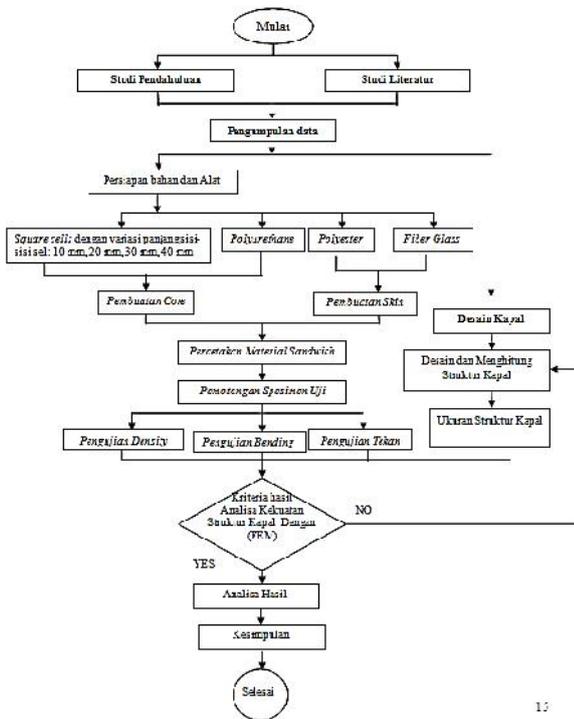
Dengan defleksi spesimen dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \tag{3}$$

Dimana :

- = total defleksi bidang tengah bentang, (mm)
- G = modulus geser inti, lihat (G_c , bab 2), (MPa)
- E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)
- D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)
- U = $\frac{G(d+c)^2b}{4c}$, (N)

Diagram laur oenelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3 Alur Penelitian

1. Metode pembuatan spesimen

Bahan dasar pembuatan *square cells* menggunakan bahan kertas kardus. Kertas kardus dipotong dengan lebar 25 mm. kertas kardus selanjutnya dirakit menjadi *square cells* dengan 4 variasi panjang sisi *cells* yang berbeda: 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm. Setelah proses perakitan selesai, *square cells* diperkeras dengan cara mengoleskan *hardened polyester*, selanjutnya proses pengeringan dan pengerasan (*curing*) *square cells* berlangsung selama 4 hari.

2. Melakukan Uji Bahan

Pengujian bahan pada penelitian ini yaitu uji tarik. Pengujian dilakukan dengan membuat benda uji yang berasal dari bahan material *sandwich* yang dibuat sesuai kreteria mesin penguji. pengujian material sesuai standart plastik atau dengan menggunakan *standart American Society for Testing Materials (ASTM)*. Maksud pengujian yaitu untuk

mencari kekuatan bahan serta membantu dalam membuat analisa desain dan perhitungan struktur kapal.

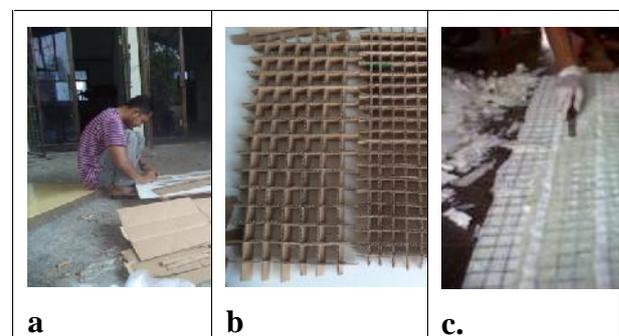
3. Analisa *Finite Element Method (FEM)*

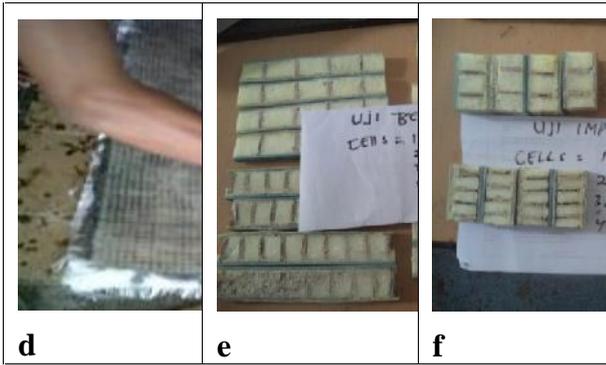
Analisa struktur kapal material komposit *Sandwich plate fiberglass (SPF)* pada penelitian ini menggunakan *finite element method (FEM)* atau metode elemen hingga, tujuannya yaitu: memungkinkan untuk mendapatkan penyebaran tegangan pada struktur kapal yang akan dianalisa. Analisa FEM pada penelitian ini yaitu menggunakan analisa *static structural* dengan *Software Ansys Workbench 14.5*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Spesimen

Bahan dasar pembuatan *square cells* menggunakan limbah kertas buffalo. Kertas buffalo dipotong dengan lebar 25 mm. Kertas selanjutnya dirakit (gambar 4.b) menjadi *square cells* dengan 4 variasi panjang sisi *cells* yangberbeda: 10 mm, 20 mm, 27 mm dan 40 mm. Setelah proses perakitan selesai, *square cells honeycomb* diperkeras dengan cara mencelupkannya ke dalam *hardened polyester*, selanjutnya ditiriskan agar ketebalan *polyester* tidak tebal dan bisa seragam (gambar 4c). Proses pengeringan dan pengerasan (*curing*) *square cells* berlangsung selama 4 hari. Selanjutnya dipotong sesuai dengan ukuran pengujian *density* bending dan impak seperti gambar 4 e dan 4 f.





Gambar 4 Pembuatan Spesimen pengujian

3.2 Pengujian Spesimen

3.2.1 Pengujian Density

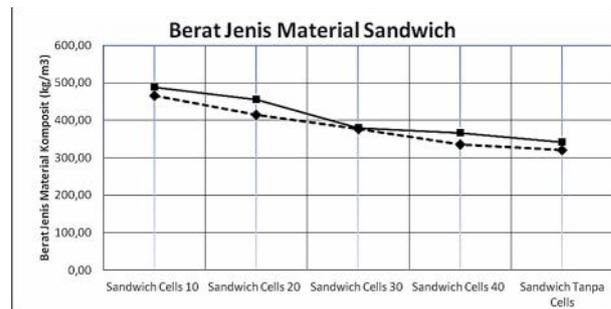
Karakterisasi sifat fisik komposit sandwich didasarkan pada ASTM D792-91 untuk mengukur berat jenis komposit. Komposit sandwich dipotong dengan ukuran 80 mm x 80 mm x tebal komposit kemudian ditimbang dengan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram (gambar 4.3). Berat jenis komposit adalah berat komposit dibagi dengan volume komposit, dengan volume adalah panjang kali lebar kali tinggi spesimen komposit sandwich. Pada penelitian ini dilakukan pengujian berat jenis komposit sandwich. Dibawah ini pada tabel 4.1 adalah data hasil pengujian berat jenis spesimen komposit sandwich.



Gambar 5 Pengujian Densitas Material Sandwich

Tabel 1 Data berat jenis spesimen uji bending dan spesimen uji tekan komposit sandwich

No	Spesimen	Berat Komposit Kg	Berat Komposit direndam air 24 Jam(K.g)	Berat Jenis Komposit Sandwich Kg/m ³	Berat Jenis Komposit Sandwich direndam air Kg/m ³
1	Sandwich cell 10	0,1045	0,1095	466,52	488,84
2	Sandwich cell 20	0,0930	0,1020	415,18	455,36
3	Sandwich cell 30	0,0845	0,0850	377,23	379,46
4	Sandwich cell 40	0,0750	0,0820	334,82	366,07
5	Sandwich cell tanpa cells	0,0720	0,0765	321,43	341,52

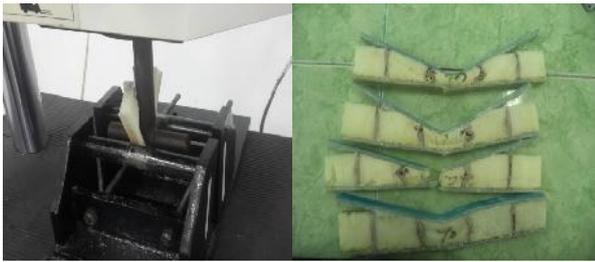


Gambar 6 Grafik Material Pengujian Berat Jenis Sandwich Material

Berdasarkan tabel 1 terlihat bahwa variasi panjang cells mempunyai pengaruh terhadap berat jenis komposit sandwich. Dimana semakin kecil ukuran panjang cells maka berat jenis komposit sandwich semakin besar. Meningkatnya berat jenis komposit sandwich seiring dengan pengecilan ukuran panjang sisi square cells dipengaruhi oleh jumlah kertas yang dikeraskan. Semakin kecil ukuran panjang sisi square cells menambah jumlah kertas yang dikeraskan pada luasan core yang sama sehingga semakin besar berat jenis kompositnya.

3.2.2 Pengujian Lentur

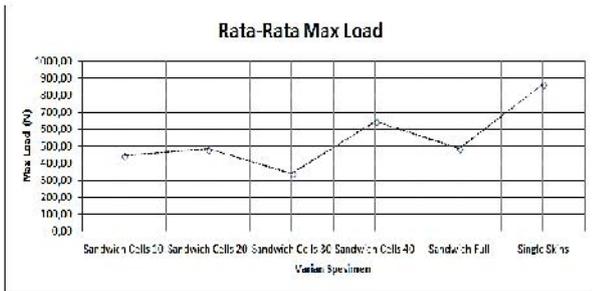
Pada data hasil pengujian Bending dilakukan pada laboratorium Jurusan Teknik Mesin Polteknik Negeri Bengkalis pada tanggal 6 Oktober 2017 jam 14.00 WIB menunjukkan besarnya harga gaya beban maksimal saat menekuk.



Gambar 7 Penguujian Lentur



Gambar 8 Penguujian Impak

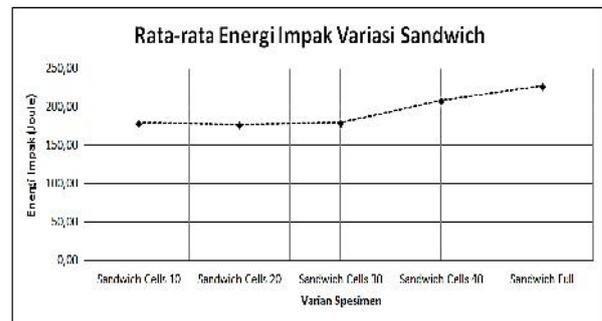


Gambar 8 Rata-rata Beban maksimal dan Rata-rata tekan material sandwich

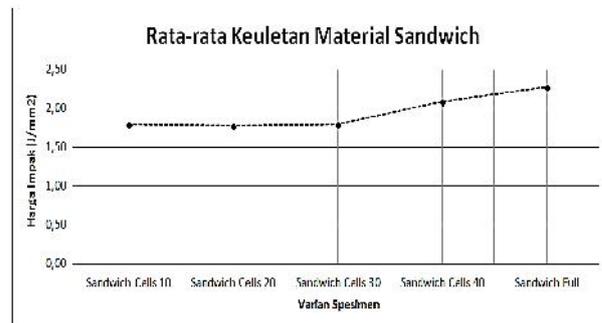
Pada gambar 8 diatas menunjukkan bahwa beban maksimal rata – rata pada komposit varian *cells* 10 sebesar 447,41 Newton atau 34,24 Kg, varian *cells* 20 sebesar 483,80 Newton atau 49, Kg, varian *cells* 30 sebesar 340,09 Newton atau 26,03 Kg, varian *cells* 40 645,43 Newton atau 65,86 Kg, varian full sandwich 487,91 Newton atau 49,79 Kg, dan varian single skins 860,66 Newton atau 57,51 Kg.

3.2.3 Penguujian Impak

Uji *impact* adalah suatu uji yang digunakan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan dari suatu bahan yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. Dimana pengujian impact ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan pembuat kapal saat kapal mengalami benturan saat berada di perairan.



Gambar 9 Grafik rata-rata Energi material sandwich

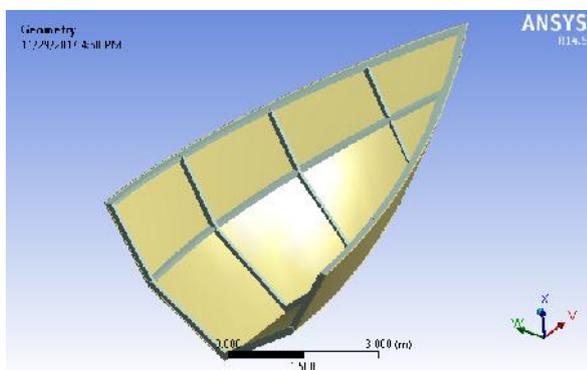


Gambar 10 Grafik Kekuatan impact material sandwich

Pada gambar 9/10 menunjukkan bahwa energi impact pada komposit varian *cells*10 sebesar 179,55 joule, varian *cells*20 sebesar 177,06 joule varian *cells*30 sebesar 179,79 joule, varian *cells*40 sebesar 208,92 joule dan varian full sandwich sebesar 227,75 joule . Sedangkan rata – rata keuletan pada komposit varian. varian *cells*10 sebesar 1,8 joule/ mm², varian *cells*20 sebesar 1,77 joule/ mm² varian *cells*30 sebesar 1,80 joule/ mm², varian *cells*40 sebesar 2,09 joule/ mm² dan varian full sandwich sebesar 2,28 joule/mm²

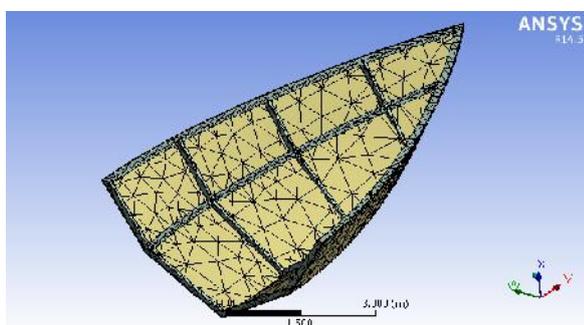
3.3 Analisa struktur

Model kapal dibuat dengan menggunakan *software AutoCAD 2014* dengan bentuk solid 3D yang dapat dilihat pada gambar 3. dibawah. Model digambarkan dalam bentuk nyata dengan skala 1:1 sesuai dengan ukuran konstruksi yang telah dihitung sebelumnya dengan menggunakan *Rule class* kapal. Hasil gambar 3D tersebut di *export* kedalam bentuk format *ACIS*, tujuan dari format *ACIS* tersebut yaitu agar gambar model pada *AutoCAD* dapat di *import* kedalam *software Ansys* dalam bentuk gambar *Solid 3D*.



Gambar 11 Model 3D Software Ansys

Setelah model selesai langkah selanjutnya adalah proses *Meshing matrix* yaitu membagi permukaan model menjadi beberapa *nodes* dan beberapa *elements matrix*. Pada model pertama ini model dilakukan *meshing* secara otomatis per *part* atau berdasarkan pembagian *geometry*.

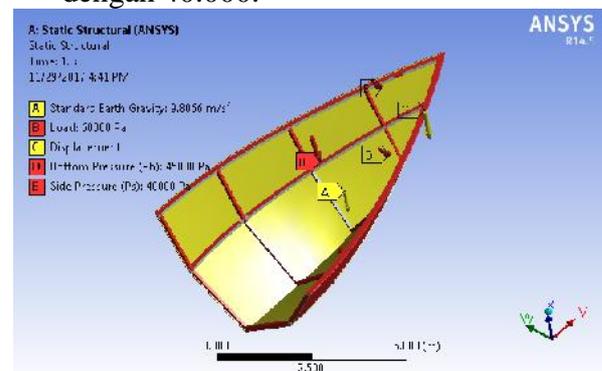


Gambar 12 Meshing model dengan Ansys 14.5

Selanjutnya Pemberian pembebanan pada haluan kapal sesuai dengan desain kapal. Sedangkan pembebanan pada kulit kapal sesuai dengan kriteria *pressure* permukaan

kulit lambung kapal sesuai dengan *Rule class* Kapal. *Rule class* yang digunakan adalah *DNV Class* (DNV, 2010). Besarnya *pressure* yang terjadi pada kulit atau lambung kapal terdiri dari 4 kategori yaitu sebagai berikut:

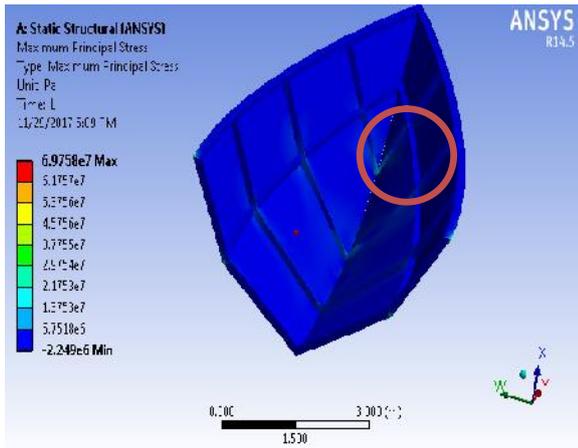
- Pembebanan grafitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$
- Bottom pressure*: yaitu *pressure* yang terjadi pada kulit lambung kapal dibawah garis air akibat gaya dari luar, besarnya *pressure* yang terjadi yaitu 45 kN/m^2 atau sama dengan 45.000 Pa .
- Beban Muatan (*load*) (60 kN/m^2) Estimasi muatan
- Side pressure*: yaitu *pressure* yang terjadi pada kulit lambung kapal diatas garis air akibat gaya dari luar, besarnya *pressure* yang terjadi yaitu 40 kN/m^2 atau sama dengan 40.000 .



Gambar 13 Gaya-gaya yang bekerja pada model dengan Ansys 14.5

Setelah desain model terbentuk dengan berbagai kasus karakteristik yang diberikan ke dalam model maka model tersebut di *running* untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Dari hasil tersebut dibandingkan dan dianalisa berdasarkan kasus dan juga berdasarkan prinsip kekuatannya.

Maximum principal stress adalah bagian yang menunjukkan tegangan utama yang terbesar. Tegangan utama adalah tegangan yang arahnya tegak lurus dengan permukaan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat sesuai dengan gambar ilustrasi pada gambar 12. dibawah ini.

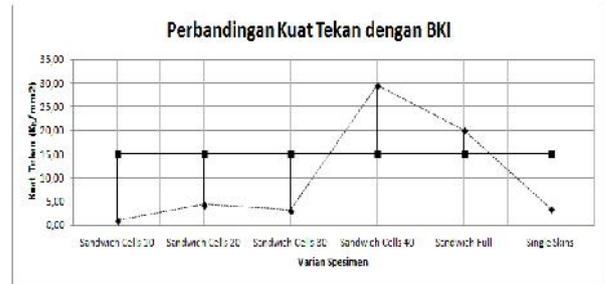


Gambar 13 Penyebaran tegangan *Maximum principal stress* dengan Ansys

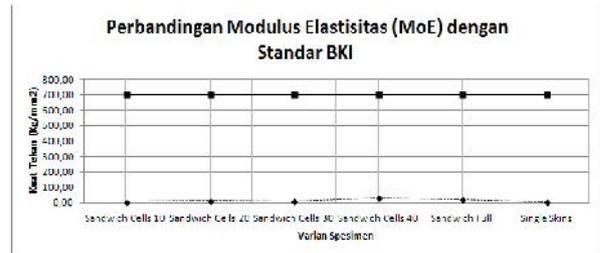
Hasil *maximum principal stress* dari model terlihat bahwa titik maksimumnya yaitu sebesar 11,6 MPa yang terjadi Maksimum tegangan terjadi pada gading *bottom* yaitu sebesar 6,9759 kN/m² atau 6.97 kPa. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat beban yang besar dibagian tersebut

3.4 Perbandingan Hasil Uji Terhadap Aturan Klasifikasi

Pada Rules And Regulation For The Classification And Construction Of Ship, Biro Klasifikasi Indonesia. Besaran yang disyaratkan dalam peraturan ini khusus dispesifikasikan untuk Kapal – kapal FRP dengan bahan penguat *fiberglass* yang diisi oleh serat penguat baik itu jenis E-Glass maupun lainnya harus memiliki standar kuat tekan sebesar 15 kg/mm² serta modulus kuat tekan sebesar 700 kg/mm². Perbandingan Hasil Rata – Rata Pengujian Bending Komposit *sandwich* dengan Standar BKI sebagai berikut:



Gambar 14 Perbandingan Kuat Tekan dan MoE terhadap Standar BKI



Gambar 15 Perbandingan Kuat Tekan dan MoE terhadap Standar BKI

Mengacu pada persyaratan BKI di atas dan membandingkan nilai hasil uji bending dari masing – masing variasi *sandwich* dilihat bahwa variasi *cells* 40 dan full sandiwch yang memenuhi standar persyaratan yang ditetapkan Biro Klasifikasi Indonesia. Sehingga material *sandwich vacuum infusion* bisa digunakan pada bagian komponen tertentu dari kontruksi dari kapal *fiberglass*. Akan tetapi untuk variasi *cells* 10, 20 dan 30 dan modulus elastistas semua sample variasi material *sandwich* tidak memenuhi ditetapkan Biro Klasifikasi Indonesia. Beberapa kemungkinan yang menjadikan komposit *sandwich* ini tidak memenuhi persyaratan BKI diantaranya;

1. Jumlah lapisan serat E-glass biaxial yang kurang memenuhi
2. Faktor suhu dan kelembapan
3. Pencampuran jumlah gelcoat, cobalt, resin dan katalis yang dibutuhkan kurang tepat komposit

4. KESIMPULAN

Dari Hasil Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

Nilai kekuatan lentur tertinggi dimiliki oleh pada sample varian *cells40* 29,54 kg/mm² dimana batas ini melebihi yang.

Nilai energy impact tertinggi dimiliki oleh komposit *sandwich* varian full *sandwich* tanpa *cells* dengan rata-rata 227,75 Joule, dengan keuletan rata-rata 2,28 Joule/mm². dipersyaratkan BKI yaitu 15 kg/mm².

Hasil *maximum principal stress* mengunkan FEM terlihat titik maksimumnya sebesar 11,6 Mpa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Bengkalis yang telah mendanai penelitian ini melalui dana PNBPN tahun 2017, selanjutnya peneliti mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Perkapalan, yang memfasilitasi dalam penggunaan laboratorium untuk pengujian material dan analisa struktur material *sandwich*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM C 393, "Standard test method for flexural properties of sandwich constructions", American National Standard Institute, United States.
- [2] Agus, D.C., "Berat Jenis Komposit Sandwich Matrik Polyester Diperkuat Serat Nanas dan Filler Flyash dengan Honeycomb Core dari Kertas Bekas", *Prosiding Seminar Nasional dan Pameran Hasil-hasil Penelitian*, Lembaga Penelitian Universitas Mataram. 2009
- [3] ISO 845. (2006), "Cellular plastics and rubbers – determination of apparent density", International Standard, Switzerland.
- [4] Porwanto, D.A., (2003), Karakterisasi Komposit berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas sebagai Alternatif Bahan Baku Industri, *Jurnal Jurusan Teknik Fisika, FTI Institut Teknologi Sepuluh November*, Surabaya, <http://Jurnal.ITS.ac.id>. diakses tanggal 04 Maret 2017.
- [5] Prasetyo, A.J., (2010), Aplikasi Metode Elemen Hingga (Meh) Pada Struktur Rib Bodi Angkutan Publik, *Jurnal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta*. <http://core.kmi.open.ac.uk/>. Diakses tanggal 15 Maret 2017.