

PENGARUH KOMPOSISI KULIT KERANG DARAH (ANADARA GRANOSA) TERHADAP KERAPATAN, KETEGUHAN PATAH KOMPOSIT PARTIKEL POLIESTER

Muhammad Hendra S Ginting^{1*}, Netti Helina Siregar², Fendy Suwito³, Billy Tanujaya⁴

Departemen Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara Medan

Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

*E-mail : hendragt@yahoo.com

ABSTRAK

Papan partikel komposit Poliester ini merupakan papan alternatif dari hasil pengempaan kulit kerang darah (Anadara Granosa) sebagai pengisi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh komposisi kulit kerang darah (Anadara Granosa) terhadap densitas dan keteguhan patah (Modulus of Rupture) papan partikel komposit. Metode penelitian ini adalah pengempaan plat cetakan papan partikel sejajar dengan memvariasikan komposisi kulit kerang darah (Anadara Granosa) sebesar 0, 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 (% w). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sifat keteguhan patah (Modulus of Rupture terbesar nilai 40, 941 MPa pada komposisi 30 (%w) berat dengan dan densitas sebesar 1,618 gram/cm³ pada komposisi 60 (%w) kulit kerang darah.

Kata kunci : polyester, kulit kerang

ABSTRACT

Polyester composite particle board were an alternated board of compression results clam shell powder (Anadara granosa) as a filler. The purpose of this study to determine the effect of the composition of clam shell powder (Anadara granosa) on the density and modulus of rupture composite particle board. This research method was compression molding plate parallel particle board by varying the composition of clam shells powder (Anadara granosa) at 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 (% w). The results showed that properties Modulus of Rupture the value of 40, 941 MPa in the composition (30%) with the weight and density of 1.618 g/cm³ at 60 composition (% w) clam shell powder.

Keywords : polyester, clam shell powder

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kaya akan tanaman penghasil kayu yang dimanfaatkan untuk berbagai keperluan industri. Menurut Direktorat Jenderal Industri Agro (2016) bahan baku kayu bulat untuk industri kayu diproyeksi akan tumbuh 10%, tahun 2013 serapannya mencapai 13,9 juta/m³ dan pada tahun 2014 naik menjadi 15,4 juta/m³, data ini menunjukkan kebutuhan terhadap kayu terus meningkat sementara ketersediaan kayu sebagai bahan baku terbatas dan tidak mencukupi kebutuhan industri kayu (Peraturan Kemendagri No 78/M-Dag per 10, 2014). Untuk mengatasi kebutuhan industri kayu tersebut perlu alternatif bahan industri kayu menggunakan bahan-bahan non kayu seperti papan partikel komposit.

Penelitian papan partikel komposit sudah dilakukan diantaranya berbahan baku termoplastik polipropilena berpengisi partikel CaCO₃ (Yao Zhitong et al, 2014), tempurung kelapa (Ginting dan Hasibuan, 2014) dan limbah kulit kerang (Mei et al, 2014; Othman et al, 2013). Selain itu penelitian papan partikel berbasis resin polyester sudah dilakukan (Yusof et al, 2014) dan digunakan dalam berbagai aplikasi, baik dalam cairan resin maupun dalam bentuk material komposit (Madueke et al, 2014). Keuntungan penggunaan resin polyester antara lain mudah didapat, harga relatif terjangkau dan mudah dalam proses fabrikasinya, Sifat mekanik resin poliester rendah untuk memperbaiki sifat mekaniknya perlu ditambahkan pengisi antara lain serat buah lontar (Murizal dkk, 2014) serat kelapa

(Sudarsono dkk 2010), serbuk cangkang telur (Hasan et al, 2012), serbuk kulit bekicot (Madueke et al, 2014), serbuk kayu (Kartini dkk, 2002), serat kelapa (Azwar, 2009), serat gelas jenis woven (Wati, 2009), kayu kelapa sawit (Carli dkk, 2012), serbuk kulit bekicot (Madueke et al, 2014) dan serat buah lontar (Matasina dkk, 2014).

Bahan lain yang tidak kalah pentingnya digunakan sebagai pengisi alami adalah bahan-bahan yang berasal dari laut salah satunya adalah kulit kerang. Kerang laut merupakan salah satu hasil komoditi laut favorit, namun sebagian besar pemanfaatannya masih terbatas pada daging kerang untuk dikonsumsi. Adapun salah satu jenis kerang yang sangat diminati sebagai konsumsi masyarakat adalah kerang darah (*Anadara granosa*) (Hudaya, 2010). Hasil panen kerang per hektar untuk tiap tahunnya bisa mencapai 200-300 ton kerang utuh yang menghasilkan daging kerang 60-100 ton (Siregar, 2009). Sisanya yaitu kulit kerang hanya dimanfaatkan sebagai kerajinan tangan atau seni dekoratif, juga sebagai campuran makanan ternak guna memenuhi kadar kalsium (Nadjib, 2008). Oleh sebab itu, keberadaan limbah kulit kerang semakin lama semakin banyak dan mengganggu. Jika limbah dibuang terus menerus tanpa adanya pengolahan yang tepat dapat menimbulkan gangguan keseimbangan dengan demikian menyebabkan lingkungan tidak berfungsi seperti semula dalam arti kesehatan, kesejahteraan, dan keselamatan hayati (Kusuma, 2012).

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan menggunakan beragam jenis kerang antara lain seperti kerang simping sebagai elemen bangunan (Armando, 2013), kerang hijau digunakan sebagai bioindikator (Kencono, 2006), kerang darah yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan beton polimer (Siregar, 2009), bata beton (Andre, 2014), lem kaca (Nadjib, 2008), karet alam (Yuniaty, 2010), dan komposit epoksi (Addryanus Tantra, 2015). Pada penelitian ini, pengisi yang digunakan adalah kulit kerang darah (*Anadara granosa*) yang mengandung CaO 66,70% dan MgO 22,28% (Siregar, 2009), dengan kandungan senyawa tersebut, kulit kerang memiliki sifat yang relatif sangat kuat. Mei-Xia (2014) melakukan penelitian menggunakan kulit kerang termodifikasi dengan substitusi kalsium karbonat (CaCO₃) sebagai pengisi menggunakan matriks polipropilena, melaporkan

perbandingan kulit kerang termodifikasi yang optimal pada komposisi 15 % wt dari variabel perbandingan penambahan pengisi 5%, 7%, 10%, 15%, 20%, dan 30% (%wt).

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk memaksimalkan penggunaan limbah kulit kerang sebagai pengisi pada papan partikel poliester karena sifatnya yang relatif sangat keras dan kuat disebabkan mengandung kalsium oksida (CaO) dan magnesium oksida (MgO) yang sangat tinggi, sehingga diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dari papan partikel.

Perumusan Masalah

Pada penelitian ini yang menjadi permasalahan adalah bagaimana pengaruh perbandingan komposisi poliester-kulit kerang darah yang digunakan yaitu 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, dan 40:60 (b/b) dengan ukuran partikel dari serbuk kulit kerang 290 mesh, terhadap sifat papan partikel berpengisi kulit kerang darah yang meliputi kerapatan, *Modulus of Rapture* (MOR) sesuai dengan JIS A 5908-2003.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terbaik dari perbandingan komposisi poliester-kulit kerang darah yang digunakan yaitu 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, dan 40:60 (b/b) dengan ukuran partikel dari serbuk kulit kerang 290 mesh, terhadap sifat papan partikel berpengisi kulit kerang darah yang meliputi kerapatan, *Modulus of Rapture* (MOR) sesuai dengan JIS A 5908-2003.

Metodologi Penelitian

Penelitian mempunyai tiga tahapan penelitian, diawali dengan penyediaan matriks, penyediaan pengisi dan pembuatan papan partikel

Penyediaan Matriks Papan Partikel

Matriks merupakan salah satu bahan baku utama dalam pembuatan papan partikel yang berfungsi sebagai perekat. Pada penelitian ini, matriks yang digunakan adalah resin poliester yang membutuhkan bantuan katalis metil etil keton peroksida untuk proses *curing*. Resin poliester tak jenuh dicampurkan katalis MEKPO dengan komposisi katalis 1-2 % dari berat resin dengan fraksi massa resin

100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, dan 40%.

Penyediaan Pengisi Papan Partikel

Filler merupakan salah satu bahan pengisi yang akan disubstitusi kedalam matriks dalam pembuatan papan partikel yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan mekanik papan partikel yang akan dihasilkan. Pada penelitian ini, pengisi atau filler yang digunakan adalah serbuk kulit kerang. Kulit kerang dicuci dengan air dikeringkan dengan cara dijemur menggunakan cahaya matahari selama 12 jam. Kulit kerang digiling memakai *ball mill* sampai ukuran partikel sebesar 49,7 μm (290 *mesh*).

Proses Pembuatan Papan Partikel

Pada pembuatan papan partikel ini dilakukan percampuran antara matriks dan pengisi dengan variasi perbandingan 100:0; 90:10;80:20;70:30, 60:40; 50:50 dan 40:60 (b/b), setelah adonan homogen dimasukkan ke dalam wadah cetakan besi yang berukuran 250 mm x 250 mm x 15 mm terlebih dahulu diberikan bahan pelicin seperti gliserin agar resin tidak melekat pada cetakan. Melalui dua plat sejajar cetakan di *press* menggunakan alat *Compression Molding* pada tekanan 125 psi selama 45 menit. Papan partikel yang sudah kering dilepas dari cetakan kemudian bagian dihaluskan bagian-bagian permukaannya dengan alat kikir dan amplas.

Pengujian Papan Partikel

Uji Kerapatan dengan JIS A 5908-2003

Spesimen yang akan diuji kerapatan memiliki bentuk dan pengujian dengan melakukan pengukuran pada empat titik di setiap sisinya (panjang, lebar, dan tebal) yang kemudian dihitung rata-ratanya. Ukuran spesimen adalah 100 mm x 100 mm x 15 mm

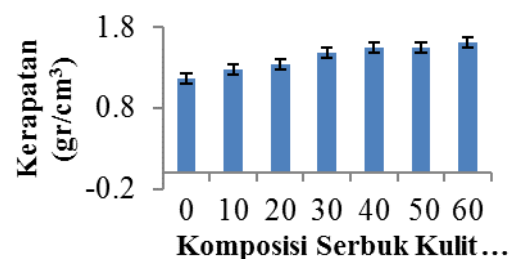
Uji MOR dengan JIS A 5908-2003

Spesimen yang akan diuji pada MOR memiliki bentuk yang sama yaitu 50 mm x 20 mm x 15 mm dilakukan uji MOR hingga patah pada sampel yang sama dengan cara mengamati sifat kekukatan tarik (τ_t) menggunakan alat tensometer. Secara praktis kekuatan tarik diartikan sebagai besarnya beban maksimum (F_{maks}) yang dibutuhkan untuk memutuskan spesimen bahan dibagi dengan luas penampang bahan.

PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Komposisi Pengisi Serbuk Kulit Kerang Terhadap Kerapatan Papan Partikel

Kerapatan merupakan salah satu sifat fisis yang menunjukkan perbandingan antara massa benda terhadap volumenya atau banyaknya massa zat per satuan volume. Pengujian kerapatan bertujuan melihat apakah massa produk berbanding lurus terhadap volume bahan yang digunakan. Pengaruh variasi komposisi serbuk kulit kerang terhadap kerapatan papan partikel disajikan dalam gambar 1 dibawah ini



Gambar 1 Pengaruh Variasi Komposisi Pengisi Serbuk Kulit Kerang Terhadap Kerapatan Papan Partikel

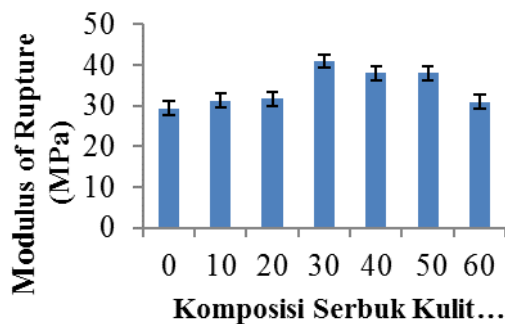
Dari gambar 1 dapat dilihat nilai kerapatan papan partikel yang semakin meningkat yaitu dari 1,275 gram/cm³ sampai dengan 1,618 gram/cm³, dengan nilai kerapatan papan partikel murni (poliester tak jenuh) yaitu 1,167 gram/cm³. Dengan semakin bertambahnya komposisi pengisi serbuk kulit kerang dapat menyebabkan nilai kerapatan dari papan partikel menjadi meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya interaksi secara fisis antara perekat dengan pengisi melalui rongga-rongga yang diisinya, sehingga akan meningkatkan kekompakan ikatan antar partikel karena ruang kosong yang terdapat didalam papan tersebut semakin kecil, dengan demikian kerapatan akan semakin meningkat (Maulana ddk, 2014). Selain itu, hal ini juga disebabkan karena semakin tinggi komposisi pengisi serbuk kulit kerang maka akan menambah berat total dari papan yang dihasilkan pada volume yang sama. Hal ini sesuai dengan pernyataan Shmulsky dan Jones (2011), bahwa kerapatan papan partikel dipengaruhi oleh kerapatan bahan baku, konsentrasi perekat serta bahan tambahan lainnya dalam pembuatan papan partikel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa papan partikel yang dihasilkan termasuk dalam

kategori kerapatan tinggi. Kategori ini disesuaikan dengan penggolongan menurut Tsoumis (1991), yang membagi papan partikel menjadi papan partikel dengan kerapatan rendah ($0,25 \text{ gr/cm}^3 - 0,40 \text{ gr/cm}^3$), kerapatan sedang ($0,40 \text{ gr/cm}^3 - 0,80 \text{ gr/cm}^3$) dan kerapatan tinggi ($0,80 \text{ gr/cm}^3 - 1,20 \text{ gr/cm}^3$). Serta menurut Rajadunyah [43], papan partikel di bagi menjadi tiga bagian, yaitu kerapatan rendah ($< 0,4 \text{ gr/cm}^3$), kerapatan sedang ($0,4 - 0,8 \text{ gr/cm}^3$), dan kerapatan tinggi ($> 0,8 \text{ gr/cm}^3$). *Japanese Industrial Standards (JIS) A 5908-2003* untuk Papan Partikel, mensyaratkan nilai kerapatan papan partikel sebesar $0,40 - 0,90 \text{ gr/cm}^3$. Jadi semua papan partikel yang dihasilkan telah melewati persyaratan yang di tetapkan.

Pengaruh Variasi Komposisi Pengisi Serbuk Kulit Kerang Terhadap Keteguhan Patah (*Modulus Of Rupture*) Papan Partikel.

Modulus of Rupture (MOR) atau keteguhan patah adalah sifat mekanik suatu bahan yang menunjukkan kuat lentur maksimum yang dapat diterima bahan sampai bahan mengalami rusak atau patah (Deya'a et al, 2011). Tujuan pengujian MOR adalah untuk mengetahui seberapa besar kuat lentur maksimum papan partikel dapat menerima beban yang diberikan.



Gambar 2 Pengaruh Variasi Komposisi Pengisi Serbuk Kulit Kerang Terhadap Keteguhan Patah (*Modulus of Rupture*) Papan Partikel.

Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa dengan penambahan pengisi serbuk kulit kerang, nilai MOR papan partikel berpengisi kulit kerang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai MOR papan partikel murni (poliester tak jenuh). Hal ini dikarenakan papan partikel berpengisi kulit kerang mampu mendistribusikan beban yang diberikan ke seluruh bagian sehingga beban yang diberikan tidak bertumpu pada satu titik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wu et al (2002), yang menyatakan bahwa penambahan

pengisi dapat meningkatkan kekuatan mekanik komposit dikarenakan adanya interaksi antara matriks dengan pengisi, interaksi ini mengakibatkan perpindahan stres yang lebih baik antara partikel pengisi dengan matriks. Selain itu penambahan pengisi kulit kerang dapat meningkatkan kekakuan papan partikel dikarenakan komposisi dominan dari kulit kerang yaitu magnesium oksida (MgO) dan kalsium oksida (CaO). Penambahan material yang kaku mampu meningkatkan kekuatan *Modulus of Rupture* dari papan partikel tersebut. Hal ini sesuai dengan pernyataan Deya'a et al (2011), bahwa penggunaan magnesium oksida dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari komposit epoksi.

Dari gambar tersebut dapat dilihat nilai MOR papan partikel berpengisi serbuk kulit kerang semakin meningkat seiring bertambahnya komposisi serbuk kulit kerang hingga mencapai nilai 40,94 MPa pada komposisi 30%, namun mengalami penurunan pada komposisi 40% sampai dengan 60% hingga mencapai nilai 30,939 MPa, dengan nilai MOR papan partikel murni (poliester tak jenuh) yaitu 29,304 MPa. Hal ini dikarenakan ketika komposisi pengisi telah melewati suatu titik optimum, partikel pengisi akan mengalami aglomerasi membentuk suatu partikel yang lebih besar dan tidak merata sehingga menurunkan kekuatan komposit. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rong et al (2015), bahwa aglomerasi partikel dapat menurunkan kekuatan mekanik apabila penambahan pengisi yang terlalu banyak. Berdasarkan penelitian Veena et al (2014) juga mengemukakan bahwa peningkatan *filler content (%wt)* yang telah melampaui batasnya dapat menurunkan kekuatan mekanik, hal ini dikarenakan penurunan interaksi pengisi dengan matriks yang disebabkan oleh efek aglomerasi partikel pengisi yang menyebabkan awal kerusakan/kegagalan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa papan partikel yang dihasilkan memiliki nilai MOR yang tinggi yaitu berkisar diantara 29,3-40,9 MPa. Menurut *Japanese Industrial Standards (JIS) A 5908-2003* untuk Papan Partikel, mensyaratkan nilai keteguhan patah (MOR) papan partikel minimal 80 Kg/cm^2 (7,84 MPa). Dari hasil pengujian semua papan partikel yang dihasilkan telah memenuhi standar yang ditetapkan.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pengaruh komposisi kulit kerang darah berpengaruh terhadap sifat kerapatan dan sifat keteguhan patah, Nilai keteguhan patah sebesar 40,94 MPa pada komposisi 30%, Untuk meningkatkan kedua sifat diatas disarankan untuk menambahkan bahan pengeras seperti gypsum

Ucapan Terima Kasih.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sumatera Utara yang telah membiayai penelitian ini dalam Program Hibah BPPTN Tahun 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2003. Japanese Industrial Standard (JIS) A 5908 2003 Particleboard.
- Anonim, 2014. *Peraturan Kemendagri No 78/M-Dag per 10* Tentang Ketentuan Impor dan Produk Kehutanan.
- Armando, Arif W. 2015. *Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Samping Menjadi Elemen Estetika Bangunan*. Malang: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan. Fakultas Teknik. Jurusan Arsitektur UBRAW.
- Azwar. 2009. Studi Perilaku Mekanik Komposit Berbasis Polyester Yang Diperkuat Dengan Partikel Serbuk Kayu Keras Dan Lunak. *Jurnal Reaksi*. Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhoksumawe, Vol. 7, No. 16.
- Andre. 2012. *Studi Sifat Mekanik Paving Block Terbuat Dari Campuran Limbah Adukan Betaon Dan Serbuk Kerang..* Depok : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UI
- Addriyanus Tantra. 2015. Pengaruh Komposisi dan Ukuran Makro Serbuk Kulit Kerang Darah (Anadora Granosa) Terhadap Komposit Epoksi-PS/ Serbuk Kulit Kerang Darah (SKKD) Medan :Tesis Fakultas Teknik. Departemen Teknik Kimia USU
- Carli, S.A. Widyanto dan Ismoyo Haryanto. 2012. Analisis Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis Woven Dengan Matriks Epoxy Dan Polysester Berlapis Simetri Dengan Metoda Manufaktur *Hand Lay-Up*". *Teknis*. Vol.7, No.1.
- Deya'a, B.M., Hussein, F.M., Dway, I.G. 2011 Studying the Impact Strength of Epoxy with TiO₂ and MgO₂ Composite. *Eng and Tech Journal* Vol 29, No. 10.
- Ginting, M.H.S; Hasibuan, R. 2014 Pengaruh Asam Sterarat Terhadap Sifat Keteguhan Patah/Modulus of Rupture Papan Partikel Termoplastik Bekas Berpengisi Tempurung Kelapa, *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 3, No. 1, Hal 15-18
- Hudaya, R. 2010 *Pengaruh Pemberian Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi) Terhadap Kadar Kadmium (Cd) pada Kerang (Bivalvia) yang Berasal dari Laut Belawan Tahun 2010*. Medan :Skripsi. Fakultas Kesehatan Masyarakat, USU
- Hassan, S. B., V.S. Aigbodion, S.N. Patrick. 2012. Development of Polyester/Eggshell Particulate Composites. *Journal of Tribology in Industry*. Vol. 34, No. 4, 217-225.
- Haygreen JG dan Bowyer JL. 1996. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu: Suatu Pengantar*. Cetakan Ketiga Hadikusumo SA. Penerjemah. Yogyakarta : UGM Press
- Kusuma, E.W.2012. *Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Paving Block*. Skripsi, Teknik Lingkungan, Fakultas Teknis Sipil dan Perencanaan, Surabaya : UPN Jatim
- Kencono, Lucky Cahyo. 2006. *Pemanfaatan Kerang Hijau (Perna viridis Linn) Sebagai Bioindikator Pencemaran Logam Timbal (Pb) di Perairan Kamal Muara Teluk Jakarta*. Bogor : Departemen Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB.
- Kartini, Ratni, H.Darmasetiawan, A. Karo Karo dan Sudirman. 2002. Pembuatan Dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Volume 3, No. 3.
- Mei, Sheng Xia., Zhi-tong Yao., Liu-qin Ge., Tao Chen., Hai-yan Li. 2014 A Potential Bio-Filler: The Substitution Effect Of Furfural Modified Clam Shell For Carbonate Calcium In Polypropylene". *Journal of Composite Materials*.
- Maulana, Daeng., Dirhamsyah, dan Dina Setyawati. 2015. Karakterisasi Papan Partikel Dari Batang Pandan Mengkuang (*Pandanus atroparpus* Griff) Berdasarkan Ukuran Partikel dan Konsentrasi Ureaformaldehida". *Jurnal Hutan Lestari* Vol. 3 (2) : 247-258

- Madueke, Chioma Ifeyinwa., Babatunde Bolasodun, dan Reginald Umunakwe. 2014. Mechanical Properties of Terephthalic Unsaturated Polyester resin Reinforced With Varying Weight Fractions of Particulate Snail Shell". *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering*. E-ISSN : 2348-019X, P-ISSN : 2348-0181.
- Maloney TM. 1993. Modern Particle board and Dry-Process Fiber board Manufacturing. San Francisco: Miller Freeman Inc.
- Matasina, Murizal., Kristomus Boimau, dan Jahirwan U.T Jasron. 2014. Pengaruh Perendaman Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Buah Lontar. *Jurnal Teknik Mesin Undana*. Vol.01, No. 02.
- Murizal., Kristomus Boimau, dan Jahirwan U.T Jasron. 2014. Pengaruh Perendaman Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Buah Lontar. *Jurnal Teknik Mesin Undana*. Vol.01, No. 02
- Nadjib, M. 2008 *Studi Pemanfaatan Kulit Kerang Sebagai Bahan Penyusun Pada Pembuatan Lem Kaca*. Surabaya : Skripsi Jurusan Kimia, ITS
- Othman, Nor Hazurina., Badorul Hisham Abu Bakar., Maasitah Mat Don., Megat Azmi Megat Johari. 2013. Cockle Shell Ash Replacement For Cement And Filler In Concrete. *Malaysian Journal of Civil Engineering* 25(2):201-211.
- Rajadunyah. 2013. *Pembuatan Dan Karakterisasi Papan Partikel Dengan Menggunakan Serat Batang Kecombrang (Nicolaia Speciosa Horan) Campuran SiO₂ Dan Resin Polyeste*. Tesis. Magister Ilmu Fisika, Sekolah Pascasarjana Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Medan :USU
- Rangkuti, Zulkarnain. 2011. *Pembuatan dan Karakterisasi Papan Partikel dari Campuran Resin Polyester dan Serat Kulit Jagung*. Tesis tidak diterbitkan. Medan : SPs FMIPA USU.
- Rong. Zhidan., Wei Sun, Haijun Xiao, and Guang Jiang. 2015. Effects of Nano-SiO₂ Particles on The Mechanical and Microstructural Properties of Ultra-High Performance Cementitious Composites. *Journal of Cement & Concrete Composites*. Vol 56 : 25-31
- Sudarsono. 2012. Kajian Sifat Mekanik Material Komposit Propeller Kincir Angin Standard Naca 4415 Modifikasi". *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*. Periode III ISSN:1979-911X. 2012.
- Sujasman, Adi. 2009. *Penyediaan Papan Partikel Kayu Kelapa Sawit (KKS) Dengan Resin Poliester Tak Jenuh (Yukalac 157 BQTN-EX)*. Tesis tidak diterbitkan. Medan : SPs FMIPA USU.
- Shmulsky R dan Jones PD. 2011. *Forest Products and Wood Science An introduction*. Sixth Edition. Publish by A John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- Siregar, S.M. 2009. *Pemanfaatan Kulit Kerang dan Resin Epoksi Terhadap Karakteristik Beton Polimer*. Tesis tidak diterbitkan. Medan : Magister Ilmu Fisika, Sekolah Pascasarjana USU
- Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology Wood. Stucture, Properties, Utilization*. Publish by Van Vonstrand Reinhold Inc. USA.
- Wati. 2009. *Immobilisasi Limbah Cair Transuranium Simulasi dari Instalasi Radiometalurgi dengan Polimer Poliester Tak Jenuh*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional V, ISSN 1978-0176.
- Veena, M. G., N. M. Renukappa., J. M. Raj., C. Ranganathaiah., dan K. N. Shivakumar. 2011. Characterization of Nanosilica-Filled Epoxy Composites for Electrical and Insulation Applications. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.121, 2752-2760.
- Wu, Lei Chun. 2002 Ming Qiu Zhang, Min Zhi Rong, dan Klaus Friedrich. "Tensile Performance Improvement of Low Nanoparticles Filled Polypropylene Composites". *Journal of Composites Science and Technology*, Vol 62 pages 1327-1340.
- Yao, Zhitong., Meisheng Xia., Liu-qin Ge., Tao Chen., Hai-yan Li., Ying Ye., Hao Zheng. 2014. Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene (PP) Composites Filled with CaCO₃ and Shell Waste Derived Bio-fillers. *Journal of Fiber and Polymers*.
- Yuniaty. 2010. *Studi Pemanfaatan Kulit Kerang (Anadora ferruginea) Sebagai Bahan Pengisi Produk Latex Karet Alam*

*Dengan Teknik Pencelupan. Medan:
Tesis Program Pascasarjana USU*

Yusof, M dan M. A. Amalina. 2014. Effect of Filler Size on Flexural Properties of Calcium Carbonate Derived from Clam Shell Filled With Unsaturated Polyester Composites. *Key Engineering Materials*. Vol : 594-595,