

Pengaruh penggunaan *basalt* lebur hasil perlakuan *normalizing* sebagai bahan dasar papan partikel

The heat treatment effect of cast basalt as filler on particle board

David Candra Birawidha¹, Yusup Hendronursito^{*1}, Kusno Isnugroho¹, Muhammad Amin¹, Muhammad Al Muttaqii², Bayu Rian Arista³, dan Tumpal Ojahan Rajagukguk³

¹ Pusat Riset Teknologi Pertambangan - BRIN

Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang Lampung Selatan, Indonesia

² Pusat Riset Kimia - BRIN

Gd. 452 Kawasan PUSPIPTEK, Serpong Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

³ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik – Universitas Malahayati

Jl. Pramuka No.27, Kemiling Permai, Kec. Kemiling, Kota Bandar Lampung, Indonesia

* e-mail: yusuph_ugm07@yahoo.com



INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Diterima :

20 April 2021

Direvisi :

02 Juni 2022

Diterbitkan :

30 Juni 2022

Kata kunci:

basalt;

normalizing;

resin *polyester*;

sifat fisis;

sifat mekanis

ABSTRAK

Basalt merupakan batuan beku vulkanik yang memiliki keunggulan seperti ketahanan aus, kekerasan tinggi, dan tahan terhadap reaksi kimia sehingga banyak digunakan sebagai bahan pengisi pada komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas basalt lebur terhadap sifat mekanik komposit resin *polyester*. *Filler* komposit dibuat dari basalt lebur *perlakuan normalizing* dengan ukuran lolos *mesh* 60, 100, 150, dan 200. Fraksi berat resin *polyester* adalah 30%, 40%, dan 50%. Proses pencetakan komposit dengan alat press hidrolik pada beban kompaksi 2 ton dengan waktu penahanan 15 menit. Pengujian mekanik meliputi uji tekan sesuai standar ASTM D695-15, uji keteguhan lentur (MOE), dan uji keteguhan patah (MOR). Selain itu juga diuji daya serap air (DSA) sesuai dengan standar JIS A 5908-2003. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan terbesar 10,314 N/mm², MOE sebesar 741.976 kg/cm², dan MOR sebesar 59,769 kg/cm² dengan nilai DSA sebesar 0,13% diperoleh dari spesimen ukuran *filler* lolos *mesh* 200 dengan 50% berat resin *polyester*. Penelitian ini menunjukkan potensi batuan basalt sebagai *filler* komposit dan dapat dikembangkan menjadi material maju untuk memperoleh sifat mekanik yang unggul.

ABSTRACT

Basalt is a volcanic igneous rock with characteristics such as wear resistance, high hardness, and resistance to chemical reactions, that potentially used as a filler in composites. The study aims to determine the effect of basalt *normalizing* on the mechanical properties of polyester resin composites. The sizes of filler are 60, 100, 150, and 200 mesh. Polyester resin compositions are 30%, 40%, and 50% by weight. Composite molding process using a hydraulic press with a compaction load of 2 tons for 15 minutes. Mechanical testing includes compression test according to ASTM D695-15 standard, flexural strength test (MOE), and fracture toughness test (MOR). JIS A 5908-2003 standard uses to determine the water absorption. The test results show the greatest compressive strength of 10,314 N/mm², MOE of 741,976 kg/cm², and MOR of 59,769 kg/cm² with a DSA value of 0.13% obtained from the specimen with filler size passing mesh 200 and 50% by weight of the polyester resin. This research shows the potential of basalt as a filler composite and can be developed into advanced materials to obtain superior mechanical properties.

Keywords:

basalt;

normalizing;

resin *polyester*;

physical properties;

mechanical properties

1. Pendahuluan

Batuan dan mineral mudah diperoleh karena banyaknya gunung berapi di Indonesia (Heriwaseso *et al.*, 2015). Mineral berharga seperti logam maupun non logam hingga mineral batuan tersebar luas di berbagai daerah Indonesia. Salah satu mineral batuan yang melimpah di Indonesia adalah basalt, namun belum dimanfaatkan secara maksimal (Isnugroho *et al.*, 2018). Basalt merupakan salah satu batuan beku bersifat basa yang terbentuk dari proses pembekuan magma di permukaan bumi, yang dicirikan oleh ukuran butir yang baik, bersifat masif dan keras, bertekstur afanitik, terdiri atas mineral gelas vulkanik yaitu plagioklas, piroksin, amfibol dan mineral hitam (Faisal *et al.*, 2014).

Basalt merupakan bahan baku utama petralurgi, dengan teknologi yang tepat basalt dapat digunakan sebagai pengganti logam (Birawidha *et al.*, 2019). Basalt banyak digunakan pada industri yang memerlukan ketahanan aus dan korosi (Dhand *et al.*, 2014). Selain itu, basalt banyak digunakan sebagai *filler* komposit karena bernilai ekonomis (Birawidha *et al.*, 2021; Isnugroho *et al.*, 2018; Kamid *et al.*, 2019; Subagia *et al.*, 2014). Persebaran basalt di Provinsi Lampung terdapat di sekitar sisi barat Gunung Tanggamus, sepanjang Teluk Semangko hingga sisi timur Gunung Rajabasa. Sedangkan dataran tinggi basalt banyak dijumpai di daerah Sukadana - Lampung Timur (Hendronursito *et al.*, 2020). Batuan tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai material maju dan digunakan hanya sebagai material bangunan.

Teknologi pemanfaatan basalt di dunia saat ini telah berkembang pesat. Sebagai material maju, basalt dapat dibuat menjadi basalt cor dan serat basalt (Kumbhar, 2014). Produk basalt dapat digunakan sebagai insulasi panas saluran pipa, boiler, tungku, dan peralatan serupa lainnya hingga suhu sangat tinggi, digunakan sebagai pengisi (*filler*), untuk produksi konstruksi yang diisolasi termal dan sejumlah produk tahan api (Pavlović *et al.*, 2015).

Teknologi basalt cor mirip dengan pengecoran logam, namun pada basalt cor memiliki tingkat viskositas yang rendah dengan densitas yang tinggi. Cetakan cor dapat menggunakan besi (Fe) maupun pasir cetak. Basalt cor dapat dibentuk menjadi ubin maupun bentuk lainnya (Jakes, 1998). Pendinginan *normalizing* merupakan salah satu perlakuan panas yang memberikan karakteristik mekanik yang unik pada basalt cor. Perlakuan panas terhadap produk basalt dapat dilakukan dengan tujuan untuk menginduksi kristal (Khater *et al.*, 2012), sehingga diperoleh karakteristik material yang diinginkan. Perlakuan *normalizing* dapat menyebabkan struktur basalt cor menjadi *amorf* dengan sifat mekanik yang keras (Todici *et al.*, 2013).

Filler dengan keunggulan sifat mekanik banyak dikembangkan pada pembuatan papan komposit. Papan komposit yang terbuat dari *filler* dan bahan lainnya diikat oleh perekat sintesis melalui proses kempa panas (Purwanto, 2016). Papan partikel dapat digunakan antara lain sebagai dinding/penyekat ruangan, meja, lemari, elektronik (kotak salon), peti kemas, rak buku, dan juga sebagai isolator penyekat panas.

Penggunaan *filler* dari basalt lebur hasil perlakuan *normalizing* sebagai pengisi pada komposit belum pernah dilakukan. Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *filler* serbuk basalt hasil perlakuan *normalizing* pada pembuatan papan komposit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan pemanfaatan basalt Lampung Timur sebagai material maju.

2. Metode

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai *filler* komposit papan partikel adalah basalt dari Mataram Baru - Lampung Timur. Polimer PET (*Polyethylene Therephalate*) jenis resin *polyester 157® BQTN-EX* digunakan sebagai matriks papan komposit. Tabel 1 menunjukkan karakterisasi resin *polyester 157® BQTN-EX* dan *hardener* katalis MEKPO (*Metyl Etyl Keton Peroksida*) (Jaya *et al.*, 2016).

Tabel 1.

Karakterisasi resin *polyester 157® BQTN-EX*.

Karakteristik	Nilai	Satuan	Keterangan
Massa jenis	1,4	gr/cm ³	Pada temperatur ruang Barcol GYZJ 934-1
Kekerasan	40	-	
Distorsi Panas	70	°C	
Daya Serap Air (temperatur ruang)	0,188	%	24 jam
	0,446	%	7 hari
Kuat Lentur	9,4	Kg/mm ²	
Modulus Lentur	300	Kg/mm ²	
Kuat Tarik	5,8	Kg/mm ²	
Modulus elastisitas	300	Kg/mm ²	
Perpanjangan	2,4	%	

2.2. Peleburan basalt

Peleburan basalt yang diperoleh dari daerah Mataram Baru - Lampung Timur menggunakan tungku tegak mini dengan menggunakan bahan bakar kokas. Metode peleburan yang digunakan selama proses peleburan basalt dilakukan dengan memodifikasi proses yang disesuaikan dari metode peleburan logam menggunakan tungku tegak kupola (Nurjaman *et al.*, 2015). Preparasi bahan baku dilakukan dengan penghancuran basalt menggunakan *jaw crusher* hingga diperoleh ukuran 3–5 cm. Langkah awal proses peleburan basalt dilakukan dengan mengumpalkan arang kayu ke dalam tungku tegak mini secara bertahap sebagai umpan bahan bakar. Selanjutnya kokas dimasukkan ke dalam tungku setelah pembakaran arang kayu. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan temperatur ruang bakar pada tungku hingga temperatur leleh 1500°C. Proses peleburan basalt dilakukan secara sistem *batch* dengan komposisi campuran 1 : 1 antara batu

basalt : kokas. Proses *normalizing* atau pendinginan basalt lebur dilakukan di udara terbuka.

2.3. Pencetakan papan partikel

Pembuatan papan partikel dilakukan melalui proses penggerusan batu basalt lebur menggunakan alat *ballmill* selama ± 10 jam secara berkala yang terdiri dari beberapa tahapan. Proses penggerusan selama ± 30 menit untuk menghilangkan unsur kaca pada bagian lapisan luar produk basalt lebur. Selanjutnya batu basalt lebur yang telah di gerus selama ± 30 menit di masukkan kembali ke dalam alat *ballmill* dengan waktu penggerusan selama ± 2 jam berturut turut. Setelah melewati waktu proses penggilingan batuan basalt lebur akan berubah menjadi berbentuk serbuk dengan ukuran partikel yang beragam. Selanjutnya dilakukan proses pengayakan menggunakan *sieve shaker MVS-1N Shaking machine* untuk mendapatkan ukuran lolos *mesh* 60, 100, 150 dan 200. Kemudian serbuk *basalt* dicampurkan dengan resin *polyester* sebagai matriks komposit papan partikel dengan variasi fraksi berat 30%, 40%, dan 50%, lalu diaduk dengan *Portable Mixer Stirrer Machine* hingga bercampur merata. Bahan yang sudah tercampur kemudian dicetak menggunakan cetakan pada tekanan sebesar 2 ton menggunakan mesin press hidrolik TEKIRO 15 Ton dan dilakukan penahanan waktu selama 15 menit.

2.4. Pengujian

Kristalisasi dan fasa dari batuan basalt diukur menggunakan *X-Ray Diffraction (X-RD: Panalytical Xpert 3 Powder X-RD)* dengan *Cu-Ka* sebagai sumber sinar X yang beroperasi pada tegangan 40 kV dan arus sebesar 30 mA. Proses *scanning sample* dilakukan pada sudut 2θ dari $0-80^\circ$. Sedangkan untuk komposisi kimia dari batuan basalt diukur menggunakan *X-Ray Fluorescence (X-RF Epsilon 4 XRF Spectrometer from Malvern Panalytical)* dengan tegangan dan arus operasi 50 kV dan 3 mA. Sedangkan untuk mengetahui morfologi dari komposit papan partikel dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop *optic Nixon Eclipse MA100*.

Sifat mekanik komposit diuji menggunakan alat *HT-2402 Computer Universal Testing Machines* untuk mendapatkan data yang diperlukan. Sedangkan sifat fisis DSA (Daya Serap Air) papan partikel dilakukan berdasarkan standar JIS A 5908 - 2003.

Sampel papan partikel yang dibuat dilakukan pengujian serap air selama 24 jam. Pada pengujian ini spesimen uji dengan keadaan kering dihitung beratnya sebagai data awal (A), kemudian spesimen uji direndam kedalam air selama 24 jam sehingga terjadi penyerapan air ke dalam spesimen. Spesimen yang telah di rendam selama 24 jam ditimbang untuk mengetahui berat benda uji setelah direndam (B). Pengujian DSA (Daya Serap Air) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Daya serap air} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\% \quad (1)$$

M_b adalah massa sampel dalam keadaan basah (gr), M_k adalah massa sampel dalam keadaan kering (gr).

Pengujian mekanik kuat tekan yang dilakukan berdasarkan standar *ASTM D695-15*, dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_T = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

σ_T adalah tegangan tekan (kg/mm^2), P adalah beban tekanan (kg), dan A_0 adalah luas penampang (mm^2).

Pengujian mekanik *MOE (Modulus Of Elasticity)* dan *MOR (Modulus Of Rupture)* dilakukan berdasarkan standar *JIS A 5908 - 2003*. Pengujian *MOE* dan *MOR* dapat dihitung dengan persamaan:

$$MOE = \frac{\Delta PL^3}{4bh^3} \quad (3)$$

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4)$$

MOE adalah modulus elastisitas (kg/cm^2), ΔY adalah selisih defleksi (cm), *MOR* adalah modulus patah (kg/cm^2), b adalah lebar penampang (cm), ΔP adalah selisih beban (kg), h adalah tebal penampang (cm), L adalah jarak sangga (cm), P adalah beban maksimal (kg).

2.5. Hasil dan pembahasan

Uji komposisi kimia raw material basalt dan basalt *normalizing* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2.

Komposisi kimia *raw basalt* & *Basalt Normalizing*

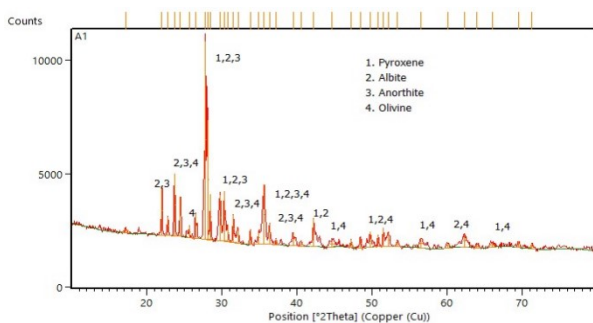
Compound	%wt Raw Basalt	%wt Basalt Normalizing
MgO	2,280	3,952
Al ₂ O ₃	15,544	15,283
SiO ₂	44,651	44,835
K ₂ O	0,677	0,841
CaO	13,301	12,788
TiO ₂	1,863	2,175
MnO	0,783	0,724
Fe ₂ O ₃	19,537	18,048
SO ₃	0,111	-

Hasil uji komposisi kimia XRF menunjukkan komposisi yang hampir sama antara *raw basalt* dengan *basalt normalizing*. Perubahan komposisi kimia hanya terjadi pada beberapa senyawa secara tidak signifikan. Tetapi berbeda untuk senyawa MgO walaupun terjadi kenaikan 1% lebih, ditinjau secara ilmu material dapat mempengaruhi terbentuknya fasa kristalin yang akan terjadi. Dalam peleburan basalt, secara proses tidak terjadi reaksi reduksi - oksidasi (redoks), hanya terjadi proses melting dari batuan basalt yang diikuti dengan proses pendinginannya sehingga secara teori, kehilangan unsur hanya akan terjadi untuk unsur yang terdekomposisi di bawah titik leleh dari basalt seperti

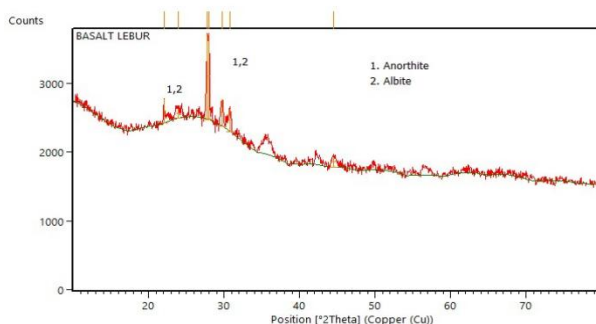
sulfur. Perbedaan pembacaan yang terjadi pada hasil XRF dimungkinkan terjadi karena efek homogenisasi yang terjadi setelah proses melting sehingga saat dianalisa dengan XRF, efek mineralogi yang dialami pada permukaan butiran yang kontak dengan sinar-X saat proses analisa untuk material sebelum dilebur dengan yang telah dilebur akan berbeda. Butiran mineral yang telah mengalami proses peleburan akan lebih homogen persebaran unsurnya dikarenakan terjadi fusion dari pada butiran yang belum mengalami leleh dimana komposisi dari tiap butiran belum tentu sama kuantitas persentase unsur yang terkandung sehingga dampak dari efek mineralogy lebih terasa (Zivanovic, 2011). Dalam proses peleburan, basalt hanya diubah susunan kristalnya dengan teknik pendinginan yang diterapkan.

Basalt mempunyai komposisi tertinggi pada senyawa SiO_2 sebesar 44% baik sebelum dan sesudah peleburan. Berdasarkan Dey *et al.*, (2018), untuk batuan *ultramafic*, basalt akan mengandung silika kurang dari 45% (Dey *et al.*, 2017). Hasil peleburan basalt ketika dilakukan pendinginan secara *normalizing*, hasilnya mempunyai kecenderungan menjadi *glass-ceramics* dikarenakan adanya pengaruh unsur SiO_2 , Al_2O_3 dan MgO (Sidabutar, 2017).

Uji struktur kristal *raw* basalt dan basalt *normalizing* ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Basalt *scoria* Mataram Baru, Lampung Timur memiliki fasa primer pembentuk basalt seperti *Pyroxene*, *Plagioclase* (*albite* dan *anorthite*) dan *Olivine*. Basalt di alam biasanya dibentuk oleh 70% – 80% *pyroxene* – *plagioclase* (Chen *et al.*, 2017). Pada batuan basalt Mataram Baru, dalam grafik, puncak tertinggi didominasi oleh fasa *pyroxene* – *plagioclase* dan rata rata tersebar di beberapa puncak. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi pembentuk batuan yang mendominasi.



Gambar 1. Hasil analisa XRD *raw* basalt.



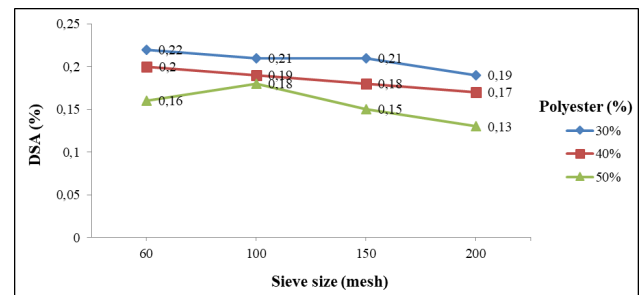
Gambar 2. Hasil analisa XRD basalt *normalizing*.

Perlakuan *normalizing* basalt dilakukan setelah proses peleburan di udara terbuka. Berdasarkan Gambar 2, dominasi struktur *amorf* dengan beberapa puncak (*peak*) yang menunjukkan terbentuknya struktur kristal *Anorthite* dan *Albite* (*Plagioclase*). Dengan perlakuan pendinginan secara udara terbuka, bagian permukaan dari basalt akan mengalami *rapid cooling* sehingga mempunyai penampakan morfologi mengkilat dan getas. Akan tetapi untuk bagian dalam basalt lebur mengalami proses pendinginan perlahan yang memberikan waktu untuk terbentuknya kristalisasi *plagioclase*, sedangkan *pyroxene* dan *olivine* gagal membentuk dikarenakan rendahnya temperatur bagian dalam sehingga unsur-unsur pembentuk kristalin hanya mengalami presipitasi (Chen *et al.*, 2017).

Pada Gambar 3A, terlihat hasil peleburan batuan basalt pendinginan *normalizing* secara morfologi menyerupai struktur *glass* (*amorf*). Dari luar, penampakan permukaannya berwarna hijau tua mengkilap dan bersifat getas. Pada Gambar 3B, penampakan struktur bagian dalam basalt lebur *normalizing* terlihat lebih kusam dengan warna masih hijau tua tetapi karakteristik dari sifat mekanisnya lebih keras dari struktur lapisan luarnya. Hal ini dimungkinkan karena terjadinya perbedaan kecepatan pendinginan lapisan bagian luar dan bagian dalam, dimana untuk lapisan bagian dalam, atom – atom dalam struktur kristal basalt lebur mempunyai waktu untuk menyusun menjadi bentuk kristal dan merapatkan diri dikarenakan penurunan temperatur pendinginannya yang relatif lambat (Birawidha *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017). Fenomena ini senada dengan hasil analisa XRD basalt *normalizing* dimana terdeteksi susunan kristal *plagioclase*, selain itu biasanya pada batuan basalt fasa yang terbentuk pertama kali saat proses pendinginan adalah fasa *olivine* sehingga basalt lebur yang didapatkan cenderung getas dan bersifat *glassy* (Zhang *et al.*, 2001).



Gambar 3. (A). Penampakan morfologi hasil peleburan basalt *normalizing*, (B). Morfologi penampang bagian dalam hasil peleburan basalt *normalizing*.



Gambar 4. Pengaruh ukuran *filler* basalt *normalizing* terhadap DSA komposit.

Rata-rata nilai DSA terendah yaitu 0,13%, diperoleh pada spesimen dengan ukuran *filler* lolos *mesh* 200 dan menggunakan 50% resin *polyester*. Sedangkan nilai DSA tertinggi yaitu 0,22% yang diperoleh dari spesimen dengan ukuran lolos *mesh* 60 dan 30% resin *polyester*.

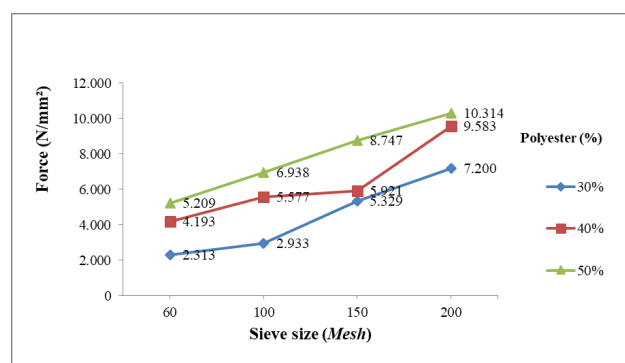
Nilai DSA dipengaruhi oleh gaya absorpsi yang merupakan gaya tarik-menarik molekul air pada ikatan hidrogen yang terdapat dalam spesimen. Nilai DSA yang kecil dipengaruhi oleh tingginya kerapatan komposit karena adanya ikatan antar partikel (Marwanto *et al.*, 2018). Ukuran *mesh* yang memiliki arti jumlah lubang dalam setiap satu *inch square*, sehingga semakin besar ukuran *mesh* berarti ukuran partikel akan semakin kecil. Berdasarkan hasil pengujian DSA, ukuran partikel *filler* yang kecil cenderung memberikan nilai DSA yang semakin kecil pula. Demikian pula sebaliknya, ukuran partikel yang besar cenderung memiliki nilai DSA yang tinggi. Pada partikel yang memiliki ukuran besar, sisi permukaan yang bersentuhan dengan partikel lainnya menjadi kecil (Wildan *et al.*, 2016), sehingga terbentuk sudut kontak yang besar. Hal ini berpengaruh terhadap tingkat kerapatan komposit. Apabila celah antar partikel ini tidak terisi oleh resin *polyester* secara penuh maka akan menimbulkan rongga-rongga kosong. Selain itu, ukuran partikel yang besar mempersulit proses pencampuran yang homogen antara partikel dengan resin (Irnawan *et al.*, 2019). Hal ini yang menyebabkan persebaran antar partikel di dalam komposit kurang merata.

Menurut Kartika dan Pratiwi (2018), distribusi ukuran partikel sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat dan pada akhirnya akan menentukan besarnya porositas dan kekuatan (Kartika and Pratiwi, 2018). Semakin kecil daya serap air dari papan partikel maka stabilitas dimensi papan akan semakin baik (Aminah *et al.*, 2018). Pengujian daya serap air tidak distandarkan pada JIS A 5908-2003, namun pengujian ini penting dilakukan untuk mengetahui ketahanan papan terhadap air terutama jika penggunaannya untuk keperluan eksterior dimana papan mengalami kontak langsung dengan udara luar atau cuaca (Lestari and Kartika, 2012).

Dalam pengujian kuat tekan, pembuatan spesimen mengacu pada standar *ASTM D695-15* yang berbentuk silinder. Berdasarkan Gambar 5, untuk rata – rata nilai tertinggi didapatkan pada fraksi berat *polyester* 50% dan ukuran butir lolos ayakan 200 *mesh* pada setiap jenis sampel. Nilai tertinggi untuk pengujian kompresi pada sampel dengan fraksi berat 50 : 50 antara serbuk *basalt normalizing* dengan *polyester* dengan variasi *mesh* 200 sebesar 10.314 N/mm² dan nilai terendah pada fraksi berat 70 : 30 antara serbuk *basalt normalizing* dan *polyester* dengan variasi butir *mesh* 60 sebesar 2.313 N/mm².

Pada ukuran partikel lolos ayakan *mesh* 200, daya ikat antar partikel dan matriks perekat lebih optimal dari pada ukuran partikel yang lain. Secara teori, dengan ukuran partikel yang lebih kecil, maka luas kontak antar permukaan partikel akan lebih besar. Daya ikat antar partikelnya akan lebih banyak dalam susunan matriks komposit sehingga memungkinkan pendistribusian

tegangan secara merata pada semua partikel (Jaya *et al.*, 2016; Marlina *et al.*, 2015).



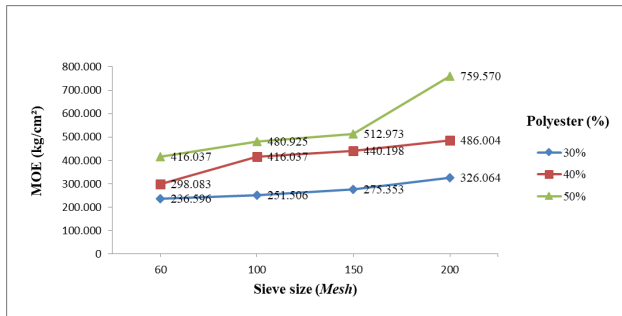
Gambar 5. Pengaruh ukuran *filler* *basalt normalizing* terhadap kuat tekan komposit.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, diketahui nilai kuat tekan komposit berbanding lurus terhadap komposisi resin *polyester*. Semakin banyak persentase resin maka semakin tinggi kuat tekan komposit. Hal ini dikarenakan ikatan antar partikel semakin baik dan stabil (Surdia and Saito, 1992).

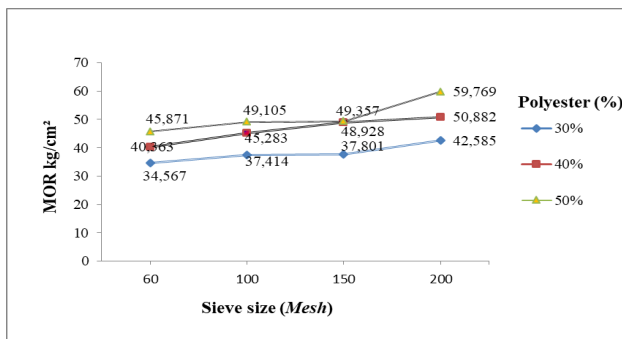
Pengujian keteguhan lentur (*MOE*) dilakukan pengerjaannya secara bersama-sama dengan pengujian keteguhan patah (*MOR*). Keteguhan Lentur (*Modulus of Elasticity/ MOE*) merupakan ukuran ketahanan papan dalam mempertahankan perubahan bentuk akibat adanya beban dan berhubungan langsung dengan papan. Sedangkan keteguhan patah (*Modulus of Rapture/MOR*) merupakan ukuran beban maksimum yang dapat diterima oleh material. Dengan meningkatnya kerapatan papan, nilai *MOR* cenderung akan menjadi lebih tinggi (Muhdi *et al.*, 2013). Langkah awal dalam pengujian ini secara prinsip dilakukan dengan memanfaatkan cara kerja dari mesin uji *UTM* yaitu beberapa parameter yang harus terkontrol dalam pengukuran menggunakan mesin uji *UTM* seperti lebar sampel uji (b), tebal sampel uji (d) dan jarak sangga pada sampel uji (L) yang mengacu pada standar *JIS A 5908-2003*. Di dapat hasil rata-rata pengujian keteguhan lentur (*MOE*) dan keteguhan patah (*MOR*) papan partikel disajikan pada Gambar 6 dan 7. Dari data pengujian *MOE*, semakin halus ukuran butir dari partikel *basalt normalizing*, maka nilai kelenturan akan semakin baik. Fenomena ini ditunjukkan untuk semua variasi komposisi penambahan *polyester*, dimana garis linier naik seiring penambahan besar ukuran *mesh* lolos ayakan.

Nilai tertinggi ditunjukkan dengan variasi komposisi 50 : 50 antara *basalt normalizing* dan *polyester* dengan ukuran lolos ayakan 200 *mesh* dimana bernilai 759.570 kg/cm³. Sedangkan nilai O terendah ditunjukkan pada komposisi 70 : 30 untuk *basalt normalizing* dengan *polyester* dengan ukuran lolos ayakan 60 *mesh* dimana mempunyai nilai 236.596 kg/cm³. Selain dari faktor ukuran partikelnya, komposisi *polyester* yang digunakan juga berpengaruh dalam menentukan besarnya nilai *MOE* dikarenakan karakteristik dari polimer adalah kelenturannya sehingga kecenderungan saat dipadukan sebagai komposit, maka semakin banyak jumlah polimernya maka akan semakin lentur. Semakin besar fraksi volume penambahan matrik polimernya sebagai

bahan penyusun komposit maka kekuatan bendungnya semakin tinggi (Purwanto, 2016). Semakin kecil ukuran partikel akan lebih memudahkan penyebaran partikel pengisi sehingga interaksi fisik antara pengisi dan matrik menjadi lebih bagus (Addriyanus *et al.*, 2015).



Gambar 6. Pengaruh ukuran *filler* basalt *normalizing* terhadap nilai keteguhan lentur (*MOE*).



Gambar 7. Pengaruh ukuran *filler* basalt *normalizing* terhadap nilai uji keteguhan patah (*MOR*)

Sama seperti dalam pengukuran nilai *MOE*, dalam analisa keteguhan patah (*MOR*), kecenderungan semakin halus ukuran butir dari partikel pengisi kompositnya, maka papan partikel yang didapatkan memberikan nilai kelenturan patah yang semakin baik. Dengan meningkatnya kerapatan papan komposit, nilai *MOR* cenderung menjadi lebih tinggi (Muhdi *et al.*, 2013). Hasil dari data *MOR* linier dengan hasil *MOE* dan kuat tekan. Semakin halus ukuran *filler* dan fraksi berat *polyester* semakin besar (50%) maka nilainya akan semakin baik. Nilai tertinggi untuk hasil analisa *MOR* didapatkan dari fraksi berat 50 : 50 basalt *normalizing* dengan *polyester* dengan ukuran butir lolos ayakan *mesh* 200 sebesar 59.769 kg/cm². Sedangkan untuk nilai terendah didapatkan pada fraksi berat 70 : 30 basalt *normalizing* dengan *polyester* sebesar 34.567 kg/cm³.

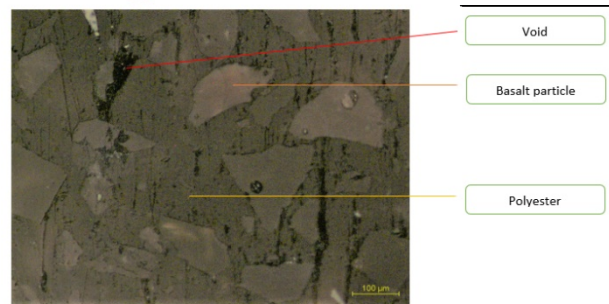
Kemampuan material menahan beban sebelum patah semakin baik saat distribusi partikel pengisi di dalam material tersebut semakin halus dikarenakan luas permukaan partikelnya yang besar sehingga kekuatan ikat dari matriks pengikatnya dapat optimal untuk mendistribusikan tegangan ke segala titik (Birawidha *et al.*, 2019). Dikarenakan ukurannya yang paling kecil sehingga didapatkan persebaran *filler* dan matrik yang paling merata dan memiliki tingkat kepadatan partikel yang baik (Mufidun and Abtokhi, 2016). Pengujian keteguhan patah ini merupakan salah satu sifat yang memiliki pengaruh pada papan partikel karena menunjukkan kekuatan papan partikel tersebut dalam

menahan beban yang dikenakan padanya (Marwanto *et al.*, 2018).

Nilai *MOE* dan *MOR* papan partikel yang didapatkan belum memenuhi standar *JIS A 5809-2003* yang mensyaratkan nilai *MOE* yaitu minimal 20,000 kg/cm² dan *MOR* 80 kg/cm². Perpaduan komposit basalt *normalizing* dengan *polyester* kurang optimal dimana dimungkinkan bahwa sifat asal elastisitas dari *polyester* belum cukup untuk meningkatkan sifat elastisitas dari hasil komposit papan partikel.

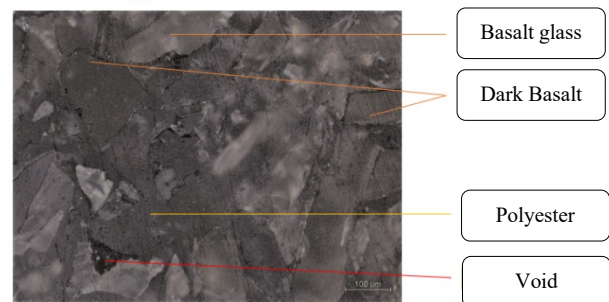
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengamati penampakan visual struktur atau daerah permukaan persebaran *filler* serbuk basalt *normalizing* dan matrik resin *polyester* diambil pada pembesaran 100X. Terlihat pada Gambar 8, penampakan morfologi untuk spesimen dengan variasi 70:30 basalt *normalizing* dengan *polyester* dengan variasi butiran *mesh* 60 dilakukan dimana kecenderungan data hasil memberikan nilai terendah. Terlihat dalam gambar bahwa butiran berdiameter besar >100µm mendominasi penampang sayatan spesimen papan partikel. Persebaran dari butiran terlihat kurang merata, lebih banyak berkelompok butirannya sehingga kadang daerah matriks poliesternya mendominasi di beberapa titik.

Composite specimen 70 : 30, 60 mesh



Gambar 8. Morfologi komposit papan partikel basalt *normalizing* – *polyester* fraksi berat 70:30 dengan ukuran partikel 60 *mesh* perbesaran 100 X.

Composite specimen 50 : 50, 200 mesh



Gambar 9. Morfologi komposit papan partikel basalt *normalizing* – *polyester* fraksi berat 50:50 dengan ukuran partikel 200 *mesh* dengan perbesaran 100 X.

Ukuran partikel yang besar mengakibatkan ikatan matriks polimer menjadi kurang optimal dan kecenderungan untuk menyebar tidak homogen (Ginting *et al.*, 2016; Mufidun and Abtokhi, 2016). Terlihat beberapa titik kekosongan terjadi akibat udara terjebak saat pengadukan dimungkinkan karena proses pencampuran yang kurang sempurna atau proses pembekuan *polyester* yang terjadi lebih cepat saat proses

pengadukan. Pada Gambar 9, terlihat penampakan morfologi spesimen papan partikel dengan fraksi berat 50 : 50 untuk *basalt normalizing* dengan *polyester* dengan variasi butiran *mesh* 200 dimana kecenderungan menampilkan performa terbaik dari sampel papan partikel yang lain.

Butiran *basalt normalizing* terbagi menjadi dua jenis yaitu butiran *glass* yg terlihat opak dan butiran yang berwarna gelap. Biasanya dalam proses pembekuan *normalizing* *basalt* lebur, terbentuk dua lapisan *basalt*. Pada lapisan terluar yang terpapar dengan temperatur kamar, terjadi penurunan temperatur yang drastis sehingga biasanya terjadi lapisan *glass* yang bersifat getas dan rapuh. Sedangkan lapisan bagian dalam cenderung lebih keras dikarenakan proses pendinginannya lebih lambat (Birawidha *et al.*, 2019).

Saat butiran diayak lolos *mesh* 200, sebagian partikel terpisah antara partikel *glass* dan partikel *basalt* yg lebih keras (berwarna gelap), sehingga pada Gambar 9 terlihat partikel tidak berikatan tetapi saling berdiri sendiri. Untuk persebaran butiran *basalt*nya, daerah penampang sayatan papan partikel mayoritas terisi oleh partikel *basalt*, baik yang *glass* maupun yg *normalizing*. Daerah matriks *polyester* tidak begitu dominan, menyebar rata melapisi partikel *basalt* untuk berfungsi sebagai perekat, walaupun masih ada beberapa kekosongan akibat terjebaknya udara. Semakin kecil ukuran partikel akan lebih memudahkan penyebaran partikel pengisi sehingga interaksi fisik antara pengisi dan matrik menjadi lebih bagus (Addriyanus *et al.*, 2015).

Tabel 3 menunjukkan beberapa penelitian sebelumnya mengenai penggunaan *filler* *basalt* pada komposit.

Tabel 3.

Tabulasi penelitian penggunaan *filler* *basalt* pada pembuatan komposit (Hendronursito *et al.*, 2021, 2020; Subagia and Suardana, 2019); Raajeshkrishna *et al.*, 2021)

Penulis	Perlakuan <i>basalt</i>	Ukuran <i>Basalt</i>	Fraksi berat (%)	Matriks	Hasil
Hendronursito <i>et al.</i> , 2020	Tanpa Perlakuan	100 <i>mesh</i> , 200 <i>mesh</i> , 325 <i>mesh</i>	5,10,5	Aluminium	Kekerasan <i>AMCs</i> dipengaruhi oleh 72% ukuran <i>filler</i> dan 18% fraksi berat <i>filler</i> . <i>Mesh</i> 325 memiliki nilai kekerasan tertinggi
Hendronursito <i>et al.</i> 2021	<i>Sintering</i> : 850°C, 950°C, dan 1.050°C	100 < X < 150 <i>mesh</i> , 150 < Y < 200 <i>mesh</i> and 200 < Z < 270 <i>mesh</i>	10,20,30	Resin <i>Polyester</i>	Temperatur <i>sintering</i> berpengaruh signifikan terhadap keausan, kuat tekan, dan densitas komposit
Subagia & Suardana 2019	Tanpa Perlakuan	0.25 <i>mesh</i>	30,40,50	Resin <i>Phenolic</i>	Fraksi berat <i>basalt</i> meningkatkan kekerasan komposit
Raajeshkrishna <i>et al.</i> , 2021	Sonikasi selama 1jam menggunakan larutan 1N H ₂ SO ₄ dan HNO ₃ pada suhu kamar	1-10 nm	1,2,3,4,5	Resin <i>Epoxy</i>	Sifat mekanik optimum diperoleh pada penambahan <i>filler</i> nano <i>basalt</i> sebesar 3%, Penambahan >3% menurunkan sifat mekanik

Beberapa penelitian terdahulu seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa penggunaan *basalt* serbuk sebagai *filler* bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik komposit. Perlakuan panas pada *basalt* partikel memberikan pengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik komposit (Hendronursito *et al.*, 2021). Pada *basalt sintering*, *basalt* partikel dipanaskan menggunakan tungku *muffle furnace* pada temperatur di bawah titik leleh dengan pendinginan di dalam tungku hingga temperatur kamar, berbeda dengan *basalt normalizing*. Pada *basalt normalizing*, *basalt* dilebur kemudian dilakukan proses pendinginan di udara terbuka. Perlakuan panas pada *basalt* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik partikel *basalt* seperti halnya ukuran *filler* *basalt*. Namun demikian, penggunaan fraksi *filler* *basalt* perlu dibatasi karena akan berakibat pada pembentukan kelompok *basalt* sebagai aglomerasi yang menurunkan kinerja gesekan dan termo mekanis komposit (Raajeshkrishna *et al.*, 2021).

3. Kesimpulan

Penelitian untuk memanfaatkan *basalt* sebagai *filler* dan resin *polyester* pada pembuatan komposit papan partikel telah dilakukan. Hasil terbaik adalah dengan memvariasikan komposisi campuran sebesar 1:1 antara *basalt normalizing* dengan *polyester*. Penggunaan 50% *polyester* di semua variasi sampel memberikan grafik nilai kuat tekan, daya serap air, *MOE* dan *MOR* yang maksimal. Untuk mengoptimalkan karakteristik dari spesimen yang dibuat, variasi butiran pengisi 200 *mesh* memberikan hasil yang paling optimal dikarenakan memberikan persebaran partikel pengisi yang lebih homogen sehingga sifat *polyester* sebagai matriks perekat menjadi maksimal.

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah menyediakan alat uji

maupun karakterisasi pada penelitian ini. Kami menyatakan bahwa semua penulis yang terlibat di dalam penulisan naskah ini memiliki bobot peran yang sama.

Daftar pustaka

- Addriyanus, Tommy, Halimatuddahlia, 2015. Pengaruh komposisi dan ukuran serbuk kulit kerang darah (*Anadora Granosa*) terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bentur dari komposit epoksi-ps/serbuk kulit kerang. J. Tek. Kim. Usu 4, 8–12.
- Aminah, Setyawati, D., Yani, A., 2018. Sifat fisik dan mekanik papan partikel dari limbah kayu acacia crassiparva pada beberapa ukuran partikel dan konsentrasi urea formaldehida. J. Hutan Lestari 6, 557–568.
- Birawidha, D.C., Isnugroho, K., Hendronursito, Y., Amin, M., Muttaqii, M. Al, 2021. Study of making polyester resin matrix composites using basalt scoria powder fillers to tensile strength and compressive strength. Sinergi 25, 299–308. <https://doi.org/10.22441/Sinergi.2021.3.007>
- Birawidha, D.C., Isnugroho, K., Hendronursito, Y., Amin, M., Muttaqii, M. Al, 2019. The x-ray diffraction (xrd) analysis of basalt from mataram baru via slow and rapid cooling process. Multitek Indones. J. Ilm. 6223, 86–94.
- Chen, X., Zhang, Y., Hui, D., Chen, M., Wu, Z., 2017. Study of melting properties of basalt based on their mineral components. Compos. Part B Eng. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.02.014>
- Dey, A., Hussain, M.F., Barman, M.N., 2017. Ac Sc. Geosci. Front. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.05.006>
- Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K.Y., Hui, D., 2014. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites. Compos. Part B. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.011>
- Faisal, Shaleh, S.M., Isya, M., 2014. Karakteristik marshall campuran aspal betonac-bc menggunakan material agregat. J. Tek. Sipil Pascasarj. Univ. Syiah Kuala 11 3, 38–48.
- Ginting, M.H.S., Siregar, N.H., Suwito, F., Tanujaya, B., 2016. Pengaruh komposisi kulit kerang darah (*Anadara Granosa*) terhadap kerapatan, keteguhan patah. Prosiding Semnastek.
- Hendronursito, Y., Rajaguguk, T.O., Safii, R.N., Sofii, A., Isnugroho, K., Birawidha, D.C., Amin, M., Muttaqii, M. Al, 2020. Analysis of aluminium basalt particulate composite using stirring casting method through taguchi method approach. Iop Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 807, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/807/1/012003>
- Hendronursito, Y., Saputra, A.A., Rajaguguk, T.O., Sumardi, S., Supriyatna, Y.I., Isnugroho, K., Birawidha, D.C., Amin, M., 2021. Pengaruh sintering serbuk batuan basalt sebagai bahan penguat pada komposit polyester terhadap sifat fisik dan mekanik. Rekayasa Mesin 16, 391–399.
- Heriwaseso, A., Andreastuti, S., Budianto, A., Weningsulistri, Kristiawan, Y., Natalia, M.C., 2015. Pemodelan bahaya gunungapi, pendekatan baru dalam membangun kesiapsiagaan dan mendukung mitigasi di pusat vulkanologi dan mitigasi bencana geologi. In: Mada, U.G. (Ed.), Pertemuan Ilmiah Tahunan Riset Kebencanaan Ke-2. Pp. 95–101.
- Irnanan, D., Karomah, B., Arsitektur, P.S., Surakarta, U., Raya, J., 2019. Kajian ukuran serbuk komposit limbah cangkang telur 1, 24–27.
- Isnugroho, K., Hendronursito, Y., Birawidha, D.C., 2018. Characterization and utilization potential of basalt rock from east-lampung district. In: Materials Science And Engineering. Iop Conf. Series: Materials Science And Engineering 285, Indonesia, P. 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/285/1/012014>
- Jakes, P., 1998. Cast basalt, mineral wool, and oxygen production: early industry for planetary (lunar) outposts.
- Jaya, H., Omar, M.F., Akil, H.M., Ahmad, Z.A., Zulkepli, N.N., 2016. Effect of particle size on mechanical properties of sawdust-high density polyethylene composites under various strain rates. Bioresources 11, 6489–6504.
- Kamid, T.S., Subagia, I.D.G.A., Wirawan, I.K.G., 2019. Karakteristik komposit hibrida serat basalt – karbon epoksi resin pada perendaman air laut 5, 57–65.
- Kartika, I.A., Pratiwi, D.F., 2018. Karakteristik papan partikel dari bambu dengan perekat getah damar. J. Teknol. Ind. Pertan. 28 28, 127–137. <https://doi.org/10.24961/J.Tek.Ind.Pert.2018.28.2.127>
- Khater, G.A., Abdel-Motelib, A., Manawi, A. El, Safiah, M.O.A., 2012. Glass-ceramics materials from basaltic rocks and some industrial waste. J. Non. Cryst. Solids 358, 1128–1134. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.02.010>
- Kumbhar, V.P., 2014. An overview : basalt rock fibers - new construction material. Acta Eng. Int. 2, 11–18.
- Lestari, S., Kartika, I.A., 2012. Pembuatan papan partikel dari ampas biji jarak pagar pada berbagai kondisi proses partikel. E-Jurnal Agroindustri Indones. 1, 11–17.
- Marlina, P., Pratama, F., Hamzah, B., Pambayun, R., 2015. Karakteristik kompon karet dengan bahan pengisi arang aktif tempurung kelapa dan nano silika sekam padi. Teknol. Ind. Pertan. 25, 85–93.
- Marwanto, Maulana, S., Muhammad, Maulana, Wistara, N.J., Nikmatin, S., Febrianto, F., 2018. Peningkatan sifat papan partikel sengon dengan perlakuan perendaman air dingin (improvement the properties of particleboard made from sengon with cold water immersion treatment). Ilmu Teknol. Kayu Trop. 16, 150–158.
- Mufidun, A., Abtokhi, A., 2016. Pemanfaatan filler serbuk cangkang kerang simping (*Placuna Placenta*) dan matriks poliester sebagai bahan dasar pembuatan papan komposit. Neutrino 9, 1–7.
- Muhdi, Risnasari, I., Putri, L.A.P., 2013. Studi pembuatan papan partikel dari limbah pemanenan kayu akasia (*Acacia Mangium L.*). Bionatura-Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati Dan Fis. 15, 14–19.
- Nurjaman, F., Shofi, A., Bahfie, F., Suharno, B., 2015. Pembuatan spiegel pig iron menggunakan manufacturing spiegel pig iron using hot blast cupola.

- Ris. Geol. Dan Pertamb. 25, 13–22.
<https://doi.org/10.14203/Risetgeotam2015.V25.138>
- Pavlović, M., Đuričić, M., Mumdić, A., 2015. Basalt application prospects for touristic facilities furnishing, In: 2nd International Conference: “Higher Education In Function Of Development Of Tourism In Serbia And Western Balkans.” Pp. 299–306.
- Purwanto, D., 2016. Sifat fisis dan mekanis papan partikel dari limbah campuran serutan rotan dan sebak kayu. J. Ris. Ind. 10, 125–133.
- Raajeshkrishna, C.R., Chandramohan, P., Obadele, A.B., 2021. International journal of polymer analysis and friction and thermo mechanical characterization of nano basalt reinforced epoxy composites. Int. J. Polym. Anal. Charact. 0, 1–19.
<https://doi.org/10.1080/1023666x.2021.1899692>
- Sidabutar, T.E., 2017. Pembuatan dan karakterisasi keramik magnesium alumina silika dari abu vulkanik gunung sinabung. J. Tek. Mesin 06, 28–35.
- Subagia, I.D.G.A., Kim, Y., Tijing, L.D., Sang, C., Kyong, H., 2014. Composites: part b effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers. Compos. Part B 58, 251–258.
<https://doi.org/10.1016/J.Compositesb.2013.10.027>
- Subagia, I.D.G.A., Suardana, N.P.G., 2019. Sea water absorption on corrosion and hardness properties of lining brake with hybrid particulates composites, In: International Conference On Design, Energy, Materials And Manufacture. IOP Conf. Series: Materials Science And Engineering 539, P. 539.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/539/1/012020>
- Surdia, T., Saito, S., 1992. Pengetahuan bahan, 2nd Ed. Pt. Pradnya Paramita Jakarta.
- Todic, A., Cikara, D., Lazic, V., Camagic, I., Skulic, A., Cikara, D., 2013. Examination of wear resistance of polymer - basalt composites. Tribol. Ind. 35, 36–41.
- Wildan, M.W., Subarmono, Rahman, M.B.N., 2016. Kekuatan bending dan ketangguhan impak komposit matrik aluminium diperkuat dengan keramik zirconia (zro 2) yang dibuat dengan metode hot extrusion, In: Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Xv (Snttm Xv) Bandung, 5-6 Oktober 2016. Bandung, Pp. 5–6.
- Zhang, Y., Li, Z., Jiang, Z., 2001. Glass fiber and mineral wool encyclopedia beijing. J. Chem. Ind. Publ. House 18, 1796–1803.
- Zivanovic, V., 2011. XRF analysis of mineralogical matrix effects and differences between pulverized and fused ferromanganese slag 17, 231–237.
<https://doi.org/10.2298/Ciceq101104008z>