



SNTTM XVII

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2018

PROSIDING

“Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan”

Organized by :



Program Studi

TEKNIK MESIN

4-5 Oktober 2018

Hotel Swiss Belinn Kupang, Nusa Tenggara Timur

Indonesia

Kata Pengantar

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan rahmat-Nya buku prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XVII dapat diterbitkan. SNTTM XVII dengan tema “Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan” merupakan kegiatan tahunan Badan Kerja Sama Teknik Mesin (BKS-TM) Indonesia. SNTTM kali ini diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana (UNDANA) Kupang pada tanggal 4-5 Oktober 2018 di hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang.

Dengan terlaksananya seminar ini, diharapkan adanya kerjasama antar Program Studi Teknik Mesin seluruh Indonesia yang semakin erat dan baik, dalam pengembangan peran ilmu teknik mesin dalam mendukung pembangunan nasional. Mulai tahun 2017, BKS-TM menggunakan sistem *Open Conference System* (OCS) dalam tahapan pengiriman abstrak dan makalah, sehingga seluruh prosiding yang dihasilkan dari SNTTM nantinya dapat diakses secara daring. Upaya ini merupakan bagian dari usaha BKS-TM untuk meningkatkan mutu publikasi karya ilmiah teknik mesin ke level yang lebih tinggi.

Perlu diketahui bahwa seleksi SNTTM XVII dilakukan dalam dua tahapan: 1) seleksi abstrak untuk kegiatan seminar dan 2) seleksi makalah lengkap untuk prosiding daring. Penyelenggaraan kali ini telah berhasil menjaring 198 abstrak untuk diseminarkan yang berasal dari berbagai institusi. Dari 198 abstrak yang diseminarkan, jumlah makalah yang sampai pada tahap prosiding adalah 143 artikel ilmiah, dengan perincian 35,66% konversi energi, 22,37% perancangan dan mekanika terapan, 13,98% proses manufaktur, 23,77% rekayasa material dan 4,19% pendidikan teknik mesin.

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya kepada BKS-TM Indonesia, para pimpinan Program Studi Teknik Mesin, *keynote speaker*, tim peninjau, sponsor, para pemakalah, serta segenap panitia yang telah berpartisipasi aktif atas terselenggaranya SNTTM XVII dan terbitnya prosiding dari acara ini. Tidak lupa kami selaku panitia pelaksana memohon maaf atas kekurangan dan ketidaksempurnaan yang terjadi dalam keseluruhan proses penyelenggaraan seminar dan penerbitan buku prosiding. Akhir kata, semoga prosiding SNTTM XVII ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Salam hangat,

Dominggus G. H. Adoe, S. T., M. Eng
Ketua Panitia Pelaksana

Buku Prosiding SNTTM XVII – 2018

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN XVII

Tema Seminar

Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global
Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan

Pelaksanaan

Hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang, 4-5 Oktober 2018

Penerbit

Program Studi Teknik Mesin
Kampus UNDANA Penfui Kupang 85148

SNTTM XVII – 2018

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN XVII

Perancangan dan Mekanika Terapan, Proses Manufaktur, Konversi Energi,
Material Material, Pendidikan Teknik Mesin

Penanggung Jawab

Prof. Fredik L. Benu, Rektor Undana Kupang
Drs. Hery L. Sianturi, Dekan Fakultas Sains & Teknik, UNDANA Kupang
Dr. Jefri S. Bale, Ketua Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang

Penasehat

Dr. Arifin Sanusi, Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang
Dr. Matheus M. Dwinanto, Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang
Wenseslaus Bunganaen, M. T., Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang

Panitia Pelaksana

Ketua Umum: Dominggus G. H. Adoe, M. Eng
Bendahara: Gusnawati, M. Eng
Publikasi: Muhamad Jafri, M. Eng
Perlengkapan: Ben V. Tarigan, M. M.

Editor

Dr. Jefri S. Bale
Dr. Arifin Sanusi
Yeremias M. Pell, M. Eng
Kristomus Boimau, M. T.
Muhamad Jafri, M. Eng
Boy Bistolen, M. Eng

Reviewer

Perancangan dan Mekanika Terapan	Daud Pulo Mangesa, M. T. Rima N. Selan, M. T. Jack C. A. Pah, M. T.
Proses Manufaktur	Wenseslaus Bunganaen, M. T. Adi Y. Tobe, M. T. Defmit B. N. Riwu, M. T.
Konversi Energi	Dr. Arifin Sanusi Muhamad Jafri, M. Eng Gusnawati, M. Eng Ben V. Tarigan, M. M. Yuftriani Littik, M. Eng
Rekayasa Material	Dr. Jefri S. Bale Yeremias M. Pell, M. Eng Kristomus Boimau, M. T. Dominggus G. H. Adoe, M. Eng Boy Bistolen, M. Eng
Pendidikan Teknik Mesin	Wenseslaus Bunganaen, M. T. Daud Pulo Mangesa, M. T. Rima N. Selan, M. T. Jack C. A. Pah, M. T. Adi Y. Tobe, M. T.

PMT - 22	Numerical Simulation of Salt Particle in Low-Speed Horizontal Screw Conveyor of Solar Salt Harvester Sukmaji Indro Cahyono	129-134
PMT - 23	Perancangan dan Analisis Kekuatan Mekanisme Alat Pemindah <i>Feed Pump</i> Berkapasitas 8 ton Muki Satya Permana	135-138
PMT - 24	Simulation of Quadcopter With Pid Controller And Parameters Tuning Using Direct Synthesis Method R. Lullus Lambang G. Hidayat, Tri Nur Syaifudin	139-144
PMT - 25	Static Load Analysis of Bolster Frame Component in <i>Metro Kapsul</i> Train using Finite Element Method Bagus Budiwanto, Abdul Hakim Masyhur dan Kreshna Mukti	145-148
PMT - 26	Study of Carbon Fiber And Sulfur Reinforced Geopolymers Composite for Train's Brake Blocks Jamiatul Akmal, Zulhendri H, Ahmad Su'udi dan Taufik Hidayatullah	149-154
PMT - 27	The Application of VDI 2221 Method on Embodiment Design of Pin on Disk Wear Test Jefri S. Bale, Rima N. Selan, Dominggus G.H. Adoe dan Daniel Situmorang	155-162
PMT - 28	The Effect of Saddle Web Plate Thickness to Maximum Stress of Horizontal Pressure Vessel Krisdiyanto	163-168
PMT - 29	The Selection Method of A Monorail Bogie Frame Design Model Sugiharto, Gatot Prayogo, Tresna P Soemadi dan Danardono AS	169-178
PMT - 30	Performace Prediction of Steel Square Tube with Crush Initiators as An Impact Energy Absorber using Numerical Methods Mohammad Malawat, Danardono A. Sumarsono, Jamasri, Gatot Prayogo, Jos Istiyanto, Sugeng Supriyadi, Adi Winarta, dan Felix Dionisius	179-184
PMT - 31	Evaluation of force and torque measurement uncertainties of the three-component dynamometer of the biomimetic fin propulsion system Arie Sukma Jaya, Muljo Widodo Kartidjo, Lavi Rizki Zuhul, dan Irsan Soemantri Brodjonegoro	185-190
PMT - 32	Influence of Forming Parameter in Metal Gasket Manufacture by using Finite Element Method I Made Gatot Karohika, I Nyoman Gde Antara, I Nyoman Budiarsa dan I Made Dwi Budiana Penindra	191-194

PROSES MANUFAKTUR [PM]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
PM - 01	Analysis of Tool Wear of Two Flute Endmill with Initial Hole in ST60 Dry Machining Ahmad Yusran Aminy, Lukmanul Hakim Arma, Mukhtar Rahman	001-004

Study of Carbon Fiber And Sulfur Reinforced Geopolymers Composite for Train's Brake Blocks

Jamiatul Akmal¹, Zulhendri H¹, Ahmad Su'udi¹ dan Taufik Hidayatullah²

¹ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

² Mahasiswa S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

*Corresponding author: jamiatulakmal@gmail.com

Abstract. The train is one of the biggest favorite transportation in Indonesia. One of the most important components of a train is the braking system. Brakes have several functions such as reducing speed and stopping trains. One of the most frequently replaced components is the brake block. Since 2016, train brake blocks in Indonesia have started to change from metal brakes to composite brakes, but unfortunately Indonesia must import from abroad. Geopolymers with carbon fiber can be an alternative material to replace conventional brake blocks, because geopolymer composites have more advantages than conventional brake blocks such as cheaper, light in weight, and high temperature resistant. There was 3 methods experiment from geopolymer specimen that is friction test, flexural test, and SEM test. The test result show that composite who contain Fly Ash 50%, Kaolin 40%, of Silica Fume 10%, CaO 12 grams, Carbon Fiber and sulfur has higher value of friction coeficien when we add sulfur 10% than specimen without sulfur and has a lower value of friction coeficien when we add carbon fiber 10% than specimen without carbon fiber, for flexural test it can reach a strength of about 86 MPa with Flexural Modulus around 20 GPa . Microstrucutre from SEM test show that geopolymer without fiber varbon have crack who make a low flexural strength. And geopolymer with carbon fiver have not any crack and make a strength more higher.

Abstrak. Kereta api adalah salah satu transportasi favorit terbesar di Indonesia. Salah satu dari komponen terpenting dari kereta adalah sistem pengereman. Rem memiliki beberapa fungsi seperti menurunkan kecepatan dan menghentikan kereta api. Salah satu komponen yang paling sering diganti adalah blok rem. Sejak 2016, blok rem kereta api di Indonesia mulai berganti dari rem metal ke rem komposit, tetapi sayangnya Indonesia harus impor dari luar negeri. Geopolimer dengan serat karbon bisa menjadi material alternatif untuk mengganti blok rem konvensional, karena komposit geopolimer memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan blok rem konvensional seperti lebih murah, ringan, tahan pada temperatur tinggi. Ada 3 metode percobaan untuk spesimen geopolimer yaitu uji gesek, uji lentur, dan uji SEM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit yang mengandung Fly Ash 50%, Kaolin 40%, Silica Fume 10%, CaO 14 gram, Serat Karbon dan sulfur memiliki koefisien gesek lebih tinggi ketika ditambahkan sulfur dibanding tanpa sulfur dan memiliki nilai koefisien lebih rendah ketika ditambahkan serat karbon dibandingkan tanpa serat karbon, untuk uji lentur mampu mencapai kekuatan sekitar 86 MPa dengan Flexural Modulus sekitar 20 GPa. Mikrostruktur dari uji SEM menunjukkan bahwa pada geopolimer tanpa serat terdapat retak (crack) yang mengakibatkan rendahnya kekuatan flexural. Sedangkan pada geopolimer berserat tidak terjadi retak dan kekuatannya pun relatif lebih tinggi.

Keywords: Geopolimer, blok rem, uji gesek, uji lentur, uji SEM

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Kereta api adalah salah satu transportasi favorit terbesar di Indonesia. Sebanyak 389 juta penumpang menggunakan kereta api sepanjang tahun 2017. Jumlah tersebut meningkat 16 persen dari tahun sebelumnya yaitu sebanyak 352 juta penumpang [1].

Salah satu dari komponen terpenting dari kereta api adalah sistem pengereman. Rem memiliki beberapa fungsi seperti menurunkan kecepatan dan menghentikan kereta api. Salah satu komponen yang paling sering diganti adalah blok rem. Sejak

2016, blok rem kereta api di Indonesia mulai berganti dari rem metal ke rem komposit [2], tetapi sayangnya Indonesia masih impor dari luar negeri seperti China, India, dan Australia [3].

Salah satu material alternatif yang perlu dikaji untuk penggunaan kanvas blok rem adalah geopolimer yang diperkuat dengan serat. Geopolimer pertamakali dikemukakan pada tahun 1970-an oleh Davidovits, adalah sebutan yang umum untuk material yang dibentuk dari ikatan Alumina (Al), Silica (Si) dan Oksida. Material ini -

Tabel 1. Chemical Composition of FA dan Kaolin [5]

Sampel	Si	Al	Fe	Ti	Zr	Mn	Sb	Zn	Sn	Ni	Pb	Ga
Fly ash (FA)	48,2	26	22,1	2,53	0,49	0,25	0,2	0,1	0,07	0,06	0,02	0,02
Kaolin (K)	57,6	37,2	3,82	1,23	0,1	-	-	0,04	-	0,04	-	0,02

dalam jumlah cukup akan bersenyawa jika diaktivasi dengan Sodium Silikat [4].

Salah satu bahan utama untuk pembuatan geopolimer adalah abu terbang (*Fly-Ash*) dan Kaolin yang kaya kandungan silika dan alumina. Abu terbang diperoleh dari sisa pembakaran batu bara yang dalam penelitian ini diambil dari PLTU Tarahan Sektor III Lampung Selatan Indonesia. Tabel 1 memperlihatkan komposisi kimia abu terbang dan Kaolin yang diperoleh melalui *X-Ray Fluorescence* (XRF)[5].

Selain Fly Ash dan Kaolin, material lain yang digunakan adalah Silica Fume (SF), CaO, serat karbon (CF), sulfur (S) dan aktivator. K yang digunakan jenis komersial, SF dari PT. NORMET Indonesia, serat karbon type medium ($1,56 \text{ kg/m}^3$), unsur CaO dari batu kapur dan aktivator merupakan campuran (*mixing*) antara Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3).

Pada tahap awal penggunaannya, geopolimer memiliki kekuatan yang rendah. Sekarang persoalan tersebut bisa diatasi dengan mengembangkan komposit geopolimer berpenguat serat. Natali et al, (2011) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penguatan serat dengan memakai serat *High Tenacity Carbon*, *E-Glass*, *Polyvinyl Alcohol* dan *Polyvinyl Chloride*. Hasil pengujian menunjukkan serat *High Tenacity Carbon* memberikan hasil maksimal sebagai penguat. Selain kuat serat karbon ini tahan terhadap temperatur tinggi [6].

Pada penelitian ini Geopolimer berpenguat serat karbon dikaji sebagai material alternatif untuk mengganti blok rem konvensional, karena komposit geopolimer memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan blok rem konvensional seperti lebih murah, ringan, dan tahan terhadap temperatur tinggi.

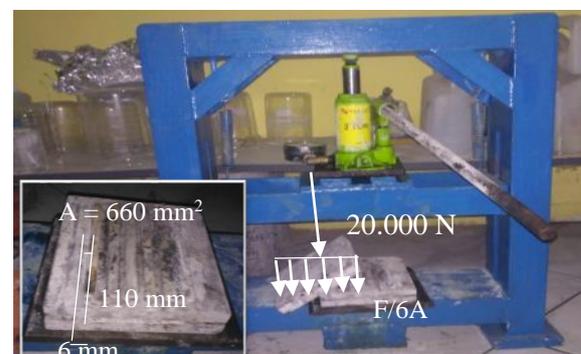
Pembuatan Spesimen

Komposit Geopolimer dibuat dengan 2 tahap: *activator preparation* and *mixing of solid binder*. Dalam persiapan pembuatan aktivator yang harus dilakukan pertama adalah melarutkan NaOH yang berbentuk kristal menjadi larutan 14M dengan menambahkan larutan Aquades. Ratio perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 0,4. Serat karbon dipotong 20 mm kemudian menimbang semua material sesuai dengan variasi yang telah ditentukan seperti terlihat pada Tabel 2.

Mencampurkan material FA, K, SF dan CaO ke dalam wadah kemudian diaduk perlahan sampai merata. Masukkan juga larutan aktivator ke dalam wadah dan diaduk dengan mixer sampai geopolimer berbentuk pasta, ratio geopolimer dengan aktivator 0,8. Campurkan Geopolimer dengan serat karbon sesuai variasi (0, dan 15%).

Setelah tercampur merata, lalu dituang ke masing-masing cetakan dan diberi tekanan sebesar 5 MPa. Untuk sampel uji gesek dicetak spesimen dengan ukuran 2,54 cm x 2,54 cm x 1 cm. Gambar 1 memperlihatkan spesimen uji gesek.

Proses pembuatan spesimen uji bending juga dilakukan dengan tekanan dari dongkrak hidrolik. Beban sebesar 20000 N terdistribusi kepada enam (6) spesimen sehingga masing-masing spesimen mendapat beban 333,33 N. Jika dibagi luas bidang tekan maka masing-masing spesimen mendapat tahanan sebesar 5 MPa. Gambar 2 memperlihatkan alat cetak spesimen uji bending dan sketsa aliran gaya (*flow of force*) yang terjadi. Gambar 3 memperlihatkan spesimen uji bending dengan ukuran lebar 8 mm, tebal 6 mm dan panjang 110 mm. Semua spesimen kemudian dimasukkan ke inkubator dengan temperatur 30-35°C selama ≥ 28 hari.

**Gambar 1.** Spesimen uji gesek**Gambar 2.** Alat cetak spesimen bertekanan

Tabel 2. Variasi komposisi geopolimer

Spesimen	Bahan utama (100%)			Penambahan bahan		
	FA	K	SF	CaO	CF	S
1	50%	40%	10%	4%	0%	10%
2	50%	40%	10%	4%	0%	0%
3	50%	40%	10%	4%	10%	0%

FA=Flyash, K=Kaolin, SF= SilicaFume, CaO=Calcium Oksida, CF=Carbon Fiber, S=Sulfur



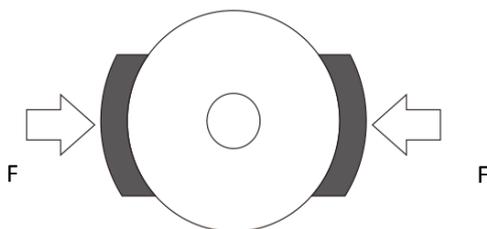
Gambar 3. Spesimen uji bending

Metode Penelitian

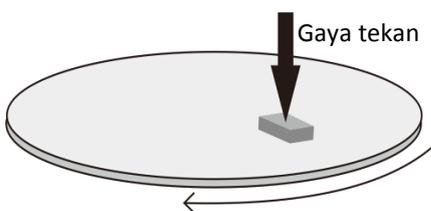
Ada 3 metode percobaan untuk spesimen geopolimer dalam penelitian ini yaitu uji gesek, uji lentur, dan uji SEM.

Uji Gesek

Saat pengereman terjadi gaya tekan dari blok rem ke roda kereta api seperti pada gambar 4. Gaya gesek yang terjadi pada blok rem selanjutnya dianalogikan sebagai gaya gesek antara sampel rem dengan piringan pada uji gesek *pin on disc* dengan model uji gesek seperti terlihat pada gambar 5.



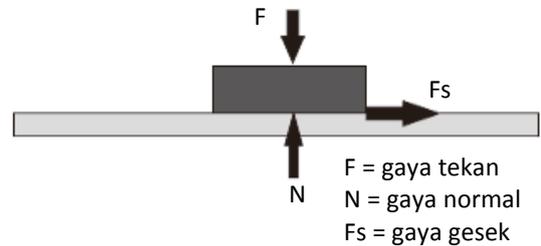
Gambar 4. Gaya pada blok rem



Gambar 5. Pin on disc

Gaya gaya yang terjadi pada saat uji gesek yaitu seperti terlihat pada Gambar 6. Nilai koefisien gesek dapat diketahui dari Persamaan (1), dimana μ adalah koefisien gesek.

$$\mu = \frac{F_s}{N} \tag{1}$$



Gambar 6. Gaya-gaya pada model pengujian *pin on disc*

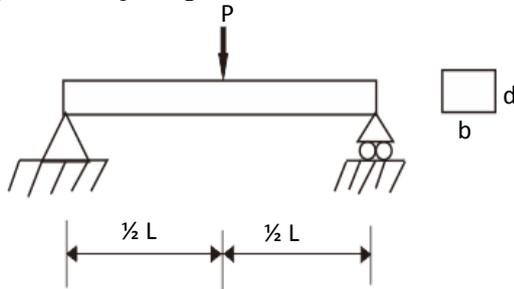
Alat uji gesek dirancang dan dibuat seperti yang terlihat pada Gambar 7. Disk dipasang secara horizontal dan diputar dengan poros yang terhubung ke gearbox dan dihubungkan ke sumber penggerak motorlistrik dengan menggunakan mekanisme pulley-belt. Serangkaian alat tersebut dipasang kedalam sebuah kerangka yang terbuat dari baja profil L.



Gambar 7. Alat uji gesek

Uji Bending

Three point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan. Pengujian pertama adalah Uji Bending Three Point sesuai standar ASTM C1161 menggunakan mesin MTS Landmark 100kN dengan kecepatan pembebanan 1,0 mm/min. Alat uji bending yang digunakan tampak pada gambar 9. Konsep 3 point bending dapat dilihat pada gambar 8 berikut ini:



Gambar 8. Three point bending



Gambar 9. Alat uji bending

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tegangan dan modulus *flexural* (MPa) dengan rumus:

$$\sigma_f = \frac{3 P L}{b d^2} \quad (2)$$

Dimana σ_f merupakan tegangan lengkung (kgf/mm²).

Uji SEM

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Disamping itu dengan menggunakan elektron bisa juga untuk mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis seperti pada gambar dibawah ini.

Dalam pemindaian mikroskop elektron, sinar elektron kecil difokuskan ke sampel. Kemudian, bersamaan dengan pemindaian balok di area sampel yang dipilih, sinyal yang dihasilkan dari pemindaian tersebut kemudian direkam dan dengan

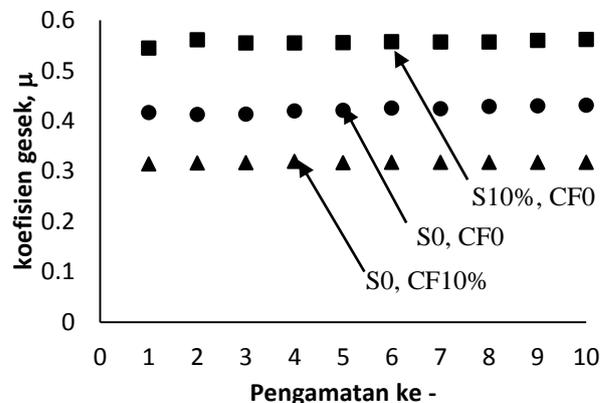
demikian gambar dapat dibentuk pixel demi pixel. Informasi penting tentang morfologi, topologi permukaan dan komposisi juga dapat diperoleh dengan uji SEM.

Uji SEM-EDX dilakukan dengan alat uji seri SEM EISS EVO MA 10 yang mampu melakukan pembesaran 10 juta kali dengan resolusi 1 nm.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Setelah melakukan pengujian gesek dengan 3 variasi beban dengan 10 kali pengamatan untuk masing-masing spesimen diperoleh nilai koefisien gesek untuk spesimen geopolimer dengan penambahan sulfur 10% diperlihatkan pada Gambar 10.

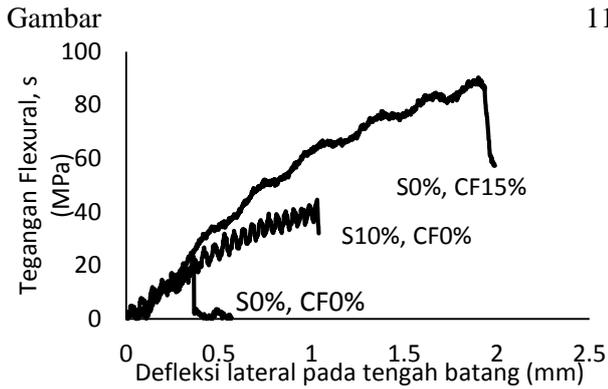


Gambar 10. Perbandingan nilai koefisien gesek setiap spesimen

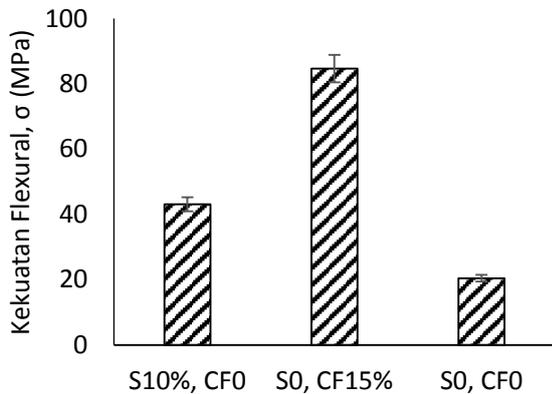
Berdasarkan perbandingan diatas, nilai rata-rata koefisien gesek spesimen dengan penambahan serat karbon 10% memiliki nilai koefisien lebih rendah dibandingkan tanpa serat karbon. Sedangkan nilai rata-rata koefisien gesek spesimen dengan penambahan sulfur 10% memiliki nilai koefisien lebih tinggi dibandingkan tanpa sulfur.

Secara keseluruhan, nilai koefisien gesek berada pada rentang antara 0,3 sampai 0,55. Angka ini lebih tinggi dari nilai koefisien material yang direkomendasikan, yaitu antara 0,14 – 0,21 [ref]. Dalam hal ini penambahan sulfur menjadi penting untuk menurunkan nilai koefisien gesek.

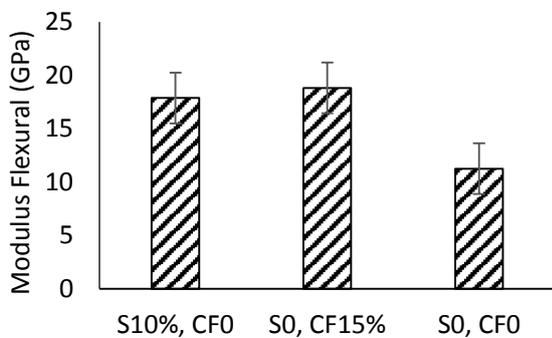
Pengujian Flexural Strength dan Modulus sesuai dengan standard Bending three point ASTM C1161 dengan menggunakan alat MTS Landmark 100kN. Kurva tegangan-regangan dapat dilihat pada



Gambar 11. Hubungan tegangan flexural grafik defleksi pada tengah batang



Gambar 12. Kekuatan Flexural

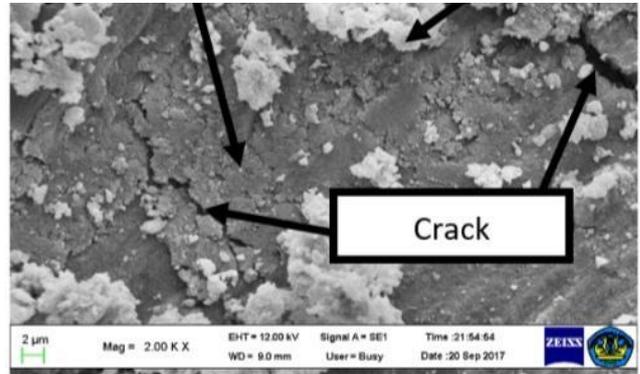


Gambar 13. Modulus flexural

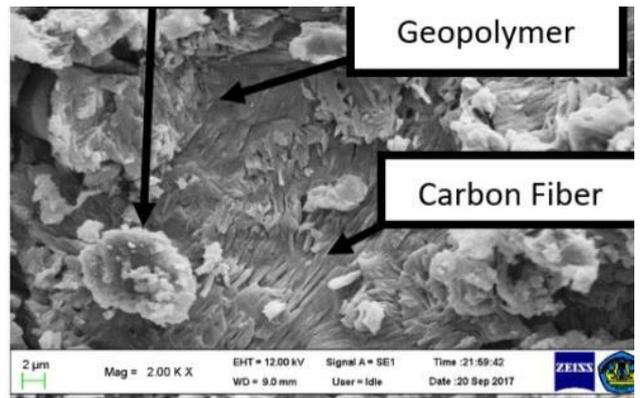
Geopolimer dengan variasi Serat Karbon berpengaruh terhadap perubahan sifat dasar Geopolimer yang getas menjadi ulet seiring penambahan Serat Karbon. Geopolimer dengan variasi S0 dan CF 15% memiliki kekuatan maksimum dengan hasil pengujian yaitu 86,58911 MPa. Sedangkan penambahan sulfur dapat meningkatkan kekuatan dan modulus. Gambar 12 dan Gambar 13 masing-masing memperlihatkan Kekuatan Flexural dan Modulus Flexural untuk 3 sampel yang diuji.

Pengujian SEM EDX menggunakan alat SEM EISS EVO MA 10. Gambar 12 memperlihatkan

11. hasil uji SEM untuk material tanpa serat (S0, CF0). Terlihat bahwa material ini mengalami keretakan (crack) yang mengakibatkan rendahnya kekuatan dan modulusnya. Berbeda dengan geopolimer berserat, tidak ada retakan yang terjadi (Gambar 13) sehingga material ini lebih kuat dan modulus lebih tinggi.



Gambar 14. Hasil uji SEM untuk spesimen 2 (S0, CF0)



Gambar 15. Hasil uji SEM untuk spesimen 3 (S0, CF 15%)

Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dari beberapa pengujian dalam penelitian ini adalah :

1. Penambahan serat karbon dapat meningkatkan kekuatan dan modulus flexural, namun mengakibatkan nilai koefisien gesek menjadi lebih kecil.
2. Penambahan sulfur dapat meningkatkan kekuatan, modulus dan nilai koefisien gesek.
3. Sifat mekanik dapat mencapai 86 MPa dengan Flexural Modulus sekitar 20 GPa. Nilai koefisien gesek berada antara 0,3-0,55. Nilai koefisien gesek material geopolimer lebih tinggi daripada standar yang dipakai KAI (0,14-0,21).

Referensi

- [1] Informasi dari ekonomi.kompas.com diakses pada 3 September 2018, dapat diakses di laman:
<https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/09/113200026/389-juta-penumpang-naik-kereta-sepanjang-tahun-2017>.
- [2] Informasi dari semarang.bisnis.com diakses pada 3 September 2018, dapat diakses di <http://semarang.bisnis.com/read/20170403/536/769522/industri-logam-ceper-produksi-blok-rem-komposit>.
- [3] Informasi dari www.kemenperin.go.id diakses pada 3 September 2018, dapat diakses dilaman <http://www.kemenperin.go.id/artikel/16579/Produsen-Logam-Ceper-Harus-Bisa-diversifikasi>.
- [4] M. Izquierdo, X. Querol, J. Davidovits, D. Antenucci, H. Nugteren, C. FernándezPereira, 2009. Coal fly ash-based geopolymers: microstructure and metal leaching, *Journal of Hazardous Materials* 166, 561–566,
- [5] Suwanto, K., E. 2017. Pengaruh Penambahan Kalsium Oksida dan Serat Karbon Terhadap Sifat Mekanik Komposit Geopolimer. Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- [6] Natalie, A., Manzi, S., and Bignozzi, M.C. 2011. Novel fiber-reinforced composite materials base on sustainable geopolymer matrix., *Procedia Engineering* 21, 1124-1131.