



Potensi Pemanfaatan Limbah *Cutting Cement* Hasil Pengeboran Minyak sebagai material Alternatif *Filler* Komposit Kampas Rem

Oriza Sativa¹, Putri Nawangsari², Desi Heltina³

^{1,2} Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau

³ Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau

E-mail: oriza.sativa7005@grad.unri.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi limbah *cutting cement* yang berasal dari kegiatan pemboran dan perawatan sumur, yaitu analisis komposisi kimia menggunakan *X-ray Fluorescence* (XRF). Penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh variasi fraksi volume *cutting cement* terhadap densitas dan yang dimulai dengan mengukur densitas partikel *cutting cement* sesuai standar ASTM D 2320-98. Selanjutnya, rasio komposisi *cutting cement*: BaSO₄ divariasikan berdasarkan fraksi volume (37:0; 27:10; 17:20; dan 7:30) %. Proses pencampuran material penyusun sampel menggunakan *chopper mixer* selama 5 menit. Campuran serbuk dikompaksi panas menggunakan *uniaxial hot pressing* dengan tekanan 5 ton, temperatur 165 °C selama 15 menit. Sampel selanjutnya di-*postcuring* pada temperatur 165 °C selama 10 jam. Sampel setelah *postcuring* dilakukan pengujian densitas (ASTM D 2320-98), kekerasan HR-R (ISO 6508).

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa *cutting cement* mengandung komposisi CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, dan MgO dengan persentase masing-masing 66,2; 18,70; 5,7; 3,4; dan 2,3 wt%. Hasil pengujian densitas memperlihatkan bahwa rata-rata nilai densitas tertinggi 2,41 g/cm³ terjadi pada sampel komposisi BaSO₄ 27% vol dan *cutting cement* 10% vol dengan rata-rata nilai kekerasan 104,72 HRR. Berdasarkan hasil pengujian densitas dan kekerasan bahwa sampel dengan rasio komposisi BaSO₄: *cutting cement* (27:10) % vol memiliki potensi dapat digunakan sebagai kampas rem non-asbestos. Penggunaan *cutting cement* dan BaSO₄ sebagai material pengisi (*filler*) memiliki potensi untuk dapat dimanfaatkan dalam komposit kampas rem. Penelitian awal ini membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam mengoptimalkan formulasi komposit kampas rem, dan pengujian yang lebih bervariasi dengan material pengisi dari limbah industri.

Kata kunci : *cutting cement*, komposit kampas rem, management limbah, limbah B3, *Non Asbestos Brake Pad*

1. PENDAHULUAN

Indonesia berkontribusi sekitar 1% dari total produksi minyak bumi di tahun 2018 dengan rata-rata produksi sebar 978.000 *barrels* per hari dengan pertumbuhan 0.8% dari tahun 2017. Turunan dari tingkat produksi minyak bumi dan gas yang signifikan ini menghasilkan limbah yang berdampak buruk terhadap ekosistem lingkungan salah satunya *cutting cement* yang mengandung B3 (material, berbahaya, dan beracun). *Cutting cement* berasal pekerjaan penyemenan (*squeeze cementing*) dilakukan, semen yang menyusun dinding formasi akan di hancurkan dengan *drill out cement* (DOC) didalam sumur dan disirkulasikan kepermukaan menggunakan fluid (air). Bagian

yang dibuang ke permukaan tanah dikenal sebagai "*cutting*" yang berisi campuran semen, batuan, lumpur, air dan minyak. (Chevron Pacific Indonesia, 2011). *Cutting cement* memiliki karakteristik seperti beberapa limbah industri lainnya seperti CBPD (*cement bypass dust*) yang dimanfaatkan sebagai material penyusun komposit kampas rem karena memiliki kemampuan terhadap ketahanan dan menyerap panas karena strukturnya berporos. Untuk mencapai kualitas standar tersebut material kampas rem perlu dirancang sebagai material komposit yang tersusun dari 10-15 material (Liu *et al.*, 2019) (Singh *et al.*, 2017) yang berbeda. Menurut (Nicholson, 1995) material penyusun kampas rem dikelompokkan menjadi 4 bagian utama dengan fungsinya masing-masing, yaitu: *binders* (pengikat), *friction modifiers* (*abrasive* dan *solid lubricant*), *reinforcement* (penguat), dan *fillers* (pengisi). Berdasarkan kajian pustaka, limbah industri, seperti: *fly ash*, *cement kiln dust*, dan *cement bypass dust* mempunyai potensi sebagai material *filler* komposit kampas rem karena pada persentase tertentu memberikan kinerja gesekan rem yang sangat baik. Selain itu, belum ada kajian tentang pemanfaatan limbah *cutting cement* sebagai material *filler* komposit kampas rem. Penelitian ini akan memanfaatkan potensi limbah *cutting cement* sebagai alternatif material *filler* komposit kampas rem terhadap sifat mekanis dan fisis. Sebelum dimanfaatkan sebagai material *filler* komposit kampas rem, limbah *cutting cement* akan dikarakterisasi terlebih dahulu dengan pengujian komposisi kimia metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Hasil penelitian ini diharapkan memberikan solusi terhadap pengelolaan limbah sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan produk yang bernilai tinggi. Selain itu, juga memberikan solusi dalam pengelolaan limbah yang ramah lingkungan (*eco-friendly*) dengan biaya yang murah sehingga berpotensi mengurangi ongkos lifting pengeboran sumur minyak. Industri otomotif juga akan mendapatkan manfaat yang signifikan dari penelitian ini karena dapat menggantikan material *filler* yang berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui.

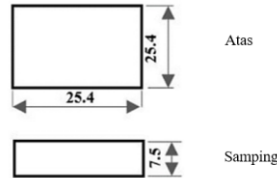
2. METODE PENELITIAN

Sampel *cutting cement* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari salah satu wilayah kerja perusahaan pengeboran minyak yang telah berada di area penyimpanan dengan izin resmi dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Setelah pengambilan, sampel dikeringkan dalam *furnace* pada temperatur 100°C selama 120 menit untuk menghilangkan kelembaban. Setelah proses pengeringan, sampel kemudian dipersiapkan untuk karakterisasi melalui pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF). Fokus penelitian ini adalah variasi material pengisi (*filler*) berdasarkan rasio fraksi volume komposisi *cutting cement*: BaSO₄ (37:0; 27:10; 17:20; dan 7:30) % dengan kode sampel seperti yang terlihat pada tabel 1 dibawah ini. Material *additive* yang digunakan lainnya meliputi 28% *phenolic resin* sebagai *binder*, 2% *polyacrylonitrile* (PAN), 8% *rockwool* sebagai *reinforcement*, dan *friction modifiers* seperti 10% grafit, 2% molybdenum disulfide (MoS₂), 5% tembaga (Cu), 2% *hexagonal boron nitride*(h-Bn), 6% silikon dioksida (SiO₂).

Sampel komposit kampas rem dibuat dengan dimensi 25,4 mm x 25,4 mm x 7,5 mm melalui metode metalurgi serbuk seperti yang disajikan pada gambar 1. Kebutuhan massa masing-masing material dihitung menggunakan "*rule of mixture*". Semua material penyusun sampel (*binder*, *filler*, *solid lubricant*, *abrasive*, dan *reinforcement*) dicampur menggunakan *ribbon mixer* selama 10 menit dengan kecepatan 45 rpm. Campuran material kemudian dikompaksi panas pada tekanan ±5ton dengan suhu 160°C selama 15 menit menggunakan *uniaxial hydraulic hand press*. Setelah proses ini, sampel di-*postcuring* pada suhu konstan 165°C selama 10 jam dalam *furnace*, mengacu pada prosedur dari (Ertan *et al.*, 2010).

Table 1. Tabel Formulasi *Cutting Cement* sebagai *Filler* Komposit

Material Penyusun	Fraksi Volume (%)			
	B37C0	B27C10	B17C20	B7C30
<i>Cutting Cement</i>	0	10	20	30
<i>Barium Sulphate (BaSO₄)</i>	37	27	17	7
<i>Material Additive</i>	63	63	63	63



Gambar 1. Dimensi sampel komposit kampas rem

Pengujian Densitas *Cutting Cement*. Densitas *cutting cement* dilakukan untuk menentukan berat jenis *cutting cement* yang akan digunakan. Proses ini mengikuti standar ASTM D 2320-98 dan menggunakan piknometer seperti gambar 2. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut

- Menimbang *cutting cement* sekitar 2gram dan memasukkannya ke dalam wadah.
- Menimbang massa piknometer kosong m_1 .
- Menimbang air yang dimasukkan ke dalam piknometer untuk mengetahui massa air (m_2).
- Menimbang massa piknometer yang berisi *cutting cement* (m_3)
- Menimbang massa piknometer yang berisi air dan *cutting cement*, mencatatnya sebagai m_4 .

Densitas *cutting cement* dihitung menggunakan rumus densitas pada persamaan 1

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{(M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1) + (M_4 - M_3)} \times \rho(\text{air}) \quad (1)$$



Gambar 3. Pengukuran Densitas Berdasarkan *ASTM D 2320-98*

Pengujian Kekerasan Komposit. Kekerasan sampel diukur menggunakan skala Rockwell R, sesuai dengan standar ISO 6508. Pengujian ini menggunakan indenter dengan diameter 12,7 mm. Permukaan sampel yang telah diratakan diindentasi secara perlahan untuk menghindari beban kejut sampai mendekati permukaan sampel uji. Beban yang diberikan sebesar 60 kgf, dan nilai kekerasan sampel pada lima titik pengujian dicatat langsung dari Rockwell R-scale tester (Zwickroell Duravision).

Pengujian Densitas Komposit, Pengujian densitas dilakukan setelah proses *postcuring* dengan mengacu pada ASTM C134-95 menggunakan prinsip Archimedes. Sampel pertama-tama ditimbang untuk mendapatkan berat udara (w_u) menggunakan timbangan digital. Kemudian, sampel ditimbang dalam fluida air untuk mendapatkan berat dalam air (w_f). Densitas sampel dihitung menggunakan Persamaan 1, seperti yang dijelaskan oleh (Michel, 2019).

$$\rho = \frac{w_u}{w_u - w_f} \times \rho_{H_2O} \quad (2)$$

dengan, ρ : densitas sampel (g/cm^3), w_u : berat sampel di udara (g), w_f : berat sampel dalam fluida (g), $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$: densitas air = 1 (g/cm^3)

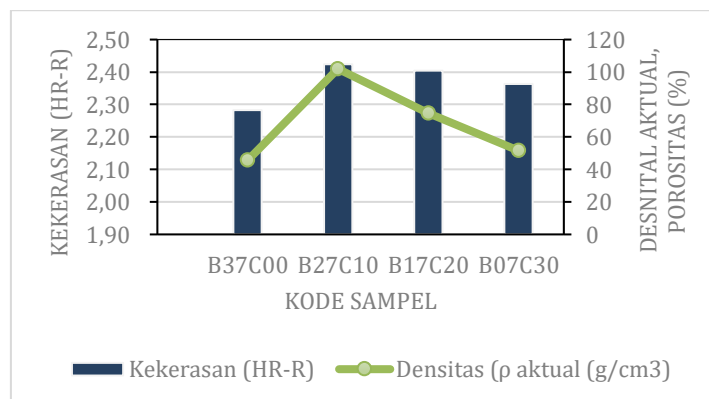
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian XRF disajikan pada tabel 2. Hasil XRF menunjukkan bahwa *cutting cement* didominasi oleh kandungan *calcium oxide* (CaO), *silicon dioxide* (SiO_2), *ferrit oxide* (Fe_2O_3), *aluminium oxide* (Al_2O_3), dan *magnesium oxide* (Mg)O, dengan persentase masing-masing sebesar 66,2 wt%, 18,70 wt%, 5,7 wt%, 3,4 wt%, dan 2,3wt%.

Table 2. Hasil Pengujian XRF *Cutting Cement*

Name	<i>Cutting Cement</i> (%)	Asbestos (Dellisanti, et al 2001)	CBPD (Coleman, Trice and Nicholson, 2009)
CaO	66.20	16.97	58.81
SiO ₂	18.70	43.74	14.37
Fe ₂ O ₃	5.70	14.87	2.19
Al ₂ O ₃	3.40	2.16	4.85
MgO	2.30	6.13	1.12
SO ₃	2.20	-	9.05
SrO	0.50	-	-
Cl	0.20	-	-
K ₂ O	0.20	-	1.89
Sc ₂ O ₃	0.20	-	-
TiO ₂	0.20	0.23	-
ZnO	0.10	-	-

Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa *cutting cement* mengandung senyawa yang mendekati dengan senyawa asbestos komersial seperti pada penelitian yang dilakukan (Dellisanti et al, 2001), serta limbah CBPD (*cement bypass dust*) dalam penelitian (Coleman et al, 2009). *Cutting cement* memiliki kandungan CaO yang lebih besar dibandingkan asbes dan CBPD. *Cutting cement* mengandung SiO_2 18 wt%. Kandungan senyawa SiO_2 pada *cutting cement* lebih rendah dibandingkan asbestos namun lebih tinggi dari CBPD. Senyawa yang terkandung dalam *cutting cement* banyak digunakan sebagai material penyusun kampas rem komersial saat ini.



Gambar 3. Rasio fraksi volume BaSO_4 : *cutting cement* terhadap rata-rata nilai densitas, porositas dan kekerasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai densitas sampel komposit kampas rem menurun dari fraksi volume B27C10 hingga B07C30 masing-masing 2,410 g/cm^3 , 2,273 g/cm^3 ,

dan 2,159 g/cm³, dan mengalami penurunan pada sampel B37C00 tanpa *cutting cement* yaitu 2,128 g/cm³. Dari grafik tersebut memperlihatkan tren penurunan densitas sampel seiring dengan peningkatan fraksi volume *cutting cement* dari 10% sampai 30% dan penurunan fraksi volume BaSO₄ dari 27% hingga 7%. Menurunnya fraksi volume *cutting cement* didalam komposit mengakibatkan dominasi material dengan densitas tinggi yaitu BaSO₄ (ρ BaSO₄ 4,25 g/cm³) yang berinteraksi dengan *cutting cement* yang memiliki ringan dan berpori karena memiliki densitas yang lebih rendah (Wang *et al.*, 2016). Pada sampel B37C00 tanpa *cutting cement* menghasilkan nilai densitas paling kecil diantara sampel lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan senyawa dalam *cutting cement* memiliki kontribusi terhadap densitas komposit pada persentase tertentu. BaSO₄ (Barium Sulfat) memiliki massa jenis yang lebih tinggi, namun dapat membentuk struktur yang tidak stabil jika tidak dikombinasikan dengan tepat dalam matriks, sehingga perlu material pendispersi untuk mencegah sedimentasi dan memastikan homogenitas dalam sistem komposit salah satunya adalah senyawa CaO (Oday, 2013). *Cutting cement* memiliki kandungan senyawa utama CaO dan SiO₂ yang dominan, menurut (Dambrauskas et al, 2018) reaksi CaO dan SiO₂ membentuk *calcium silicate hydrate* (CSH) yang menghasilkan ikatan kohesi antar partikel yang dapat meningkatkan stabilitas struktural. Kombinasi BaSO₄ dalam *cutting cement* membantu menghasilkan ikatan partikel didalam matriks komposit yang baik sehingga meningkatkan nilai densitas komposit kamps rem.

Gambar 3 juga memperlihatkan bahwa nilai kekerasan sampel menurun seiring terjadinya peningkatan kandungan *cutting cement* dan pengurangan fraksi volume BaSO₄. Sampel B27C10 memiliki nilai kekerasan tertinggi 104,72 HRR, B17C20 dengan nilai kekerasan 100,84 HRR, serta B07C30 memiliki nilai kekerasan terendah yaitu 92,54 HRR. Namun nilai kekerasan jauh menurun ketika BaSO₄ tidak dikombinasikan dengan *cutting cement* yaitu 76,66 HRR untuk sampel B37C00. Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh berkurangnya kandungan *cutting cement* yang mengandung senyawa utama CaO dengan struktur berpori, sehingga meningkatkan kepadatan material komposit. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Wang *et al.*, 2016) yang menunjukkan bahwa penurunan kandungan limbah *slag* yang mengandung senyawa utama CaO (35%wt) menghasilkan peningkatan kekerasan. Struktur berpori CaO menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata, meningkatkan konsentrasi tegangan lokal, dan mengurangi kekuatan ikatan antar senyawa material, yang berkontribusi pada peningkatan deformasi plastis ketika material mengalami pembebanan. Selain itu, faktor nilai kekerasan permukaan material BaSO₄ (4,3 - 4,6 Mohs) yang lebih tinggi dibanding *cutting cement* yaitu 3,5-4 Mohs juga menyebabkan kekerasan menurun seiring penurunan kandungan *cutting cement* dan peningkatan BaSO₄. Dalam penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Yılmaz, 2022) bahwa penurunan komposisi *fly ash* yang memiliki karakteristik kandungan CaO (66%) serupa dengan *cutting cement* juga menghasilkan peningkatan kekerasan. Hal ini terjadi karena pembentukan area kontak yang lebih kecil serta peningkatan ikatan antar partikel dalam matriks komposit. Peningkatan ini menguatkan struktur material secara keseluruhan, yang berkontribusi pada peningkatan kekerasan komposit kamps rem.

5. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, limbah *cutting cement* dihasilkan dari proses pengeboran sumur minyak, memiliki potensi besar sebagai material pengisi (*filler*) komposit kamps rem. *Cutting cement*, mengandung senyawa-senyawa yang bermanfaat untuk digunakan dalam memperbaiki tribologi kamps rem seperti CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan MgO. Kombinasi *cutting cement* dengan barium sulfat (BaSO₄) memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan nilai densitas dan kekerasan sampel komposit kamps rem. Kombinasi 10% *cutting cement* dan 27% BaSO₄ dalam kode sampel B27C10 memiliki nilai kekerasan tertinggi 104.72 HRR dan nilai densitas tertinggi 2,410 g/cm³. Penemuan awal ini membuka peluang bagi penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan formulasi komposit kamps dari limbah industri pengeboran minyak dengan pengujian yang lebih luas untuk mengetahui sifat tribologi komposit yang berasal dari *cutting cement*

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur dan hormat, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing Dr. Putri Nawangsari, ST, M.Eng dan Dr. Desi Heltina, ST.MT atas bimbingan dan dukungan yang luar biasa selama proses penelitian ini. Penelitian mengenai komposit kampak rem memberikan peluang penelitian selanjutnya tentang pemanfaatan *cutting cement* yang merupakan limbah B3 dari proses pengeboran sumur minyak, sebagai material pengisi (*filler*) dalam komposit kampak rem. Penggunaan *cutting cement* ini tidak hanya memberikan solusi yang efektif untuk mengurangi limbah B3, namun juga berpotensi mengurangi biaya pengelolaan limbah secara signifikan. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa *cutting cement* dan BaSO₄ memiliki komposit yang memiliki sifat mekanis yang dibutuhkan untuk meningkatkan performa kampak rem.

DAFTAR PUSTAKA

- Chevron Pacific Indonesia (2011) 'Chevron Document, Langkah Kerja Squeeze', in *Chevron Document, Langkah Kerja Squeeze*.
- Coleman, N.J., Trice, C.J. and Nicholson, J.W. (2009) '11 Å tobermorite from cement bypass dust and waste container glass: A feasibility study', *International Journal of Mineral Processing*, 93(1), pp. 73–78. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.06.002>.
- Dambrauskas, T., Baltakys, K. and Eisinas, A. (2018) 'Formation and thermal stability of calcium silicate hydrate substituted with Al³⁺ ions in the mixtures with CaO/SiO₂ = 1.5', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(1), pp. 501–512. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6321-5>.
- Dellisanti, F., Minguzzi, V. and Morandi, N. (2001) 'Experimental Results from Thermal Treatment of Asbestos Containing Materials', *GeoActa*, 1.
- Ertan, R. and Yavuz, N. (2010) 'An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials', *Wear*, 268(11), pp. 1524–1532. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.02.026>.
- Liu, Y. *et al.* (2019) 'Evaluation of wear resistance of corn stalk fiber reinforced brake friction materials prepared by wet granulation', *Wear*, 432–433, p. 102918. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.05.033>.
- Michel, B. (2019) *Fundamentals of Ceramics*. Boca Raton.
- Nicholson, G. (1995) *A Friction Material Manual Almost All You Need to Know about Manufacturing*. Gedoran.
- Oday Hadi Hussein (2013) *Composite cement systems for encapsulation of barium sulphate scale from oil industry and application as high density support matrix*. Department of Materials Science and Engineering University of Sheffield.
- Singh, T. *et al.* (2017) 'Assessment of braking performance of lapinus–wollastonite fibre reinforced friction composite materials', *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 29(2), pp. 183–190. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksues.2015.06.002>.
- Wang, Z. *et al.* (2016) 'Influence of slag weight fraction on mechanical, thermal and tribological properties of polymer based friction materials', *Materials & Design*, 90, pp. 76–83. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.10.097>.
- Yılmaz, A.C. (2022) 'Effects of fly ash introduction on friction and wear characteristics of brake pads', *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 11(3), pp. 96–103. Available at: <https://doi.org/10.18245/ijaet.1108124>.
