

Peningkatan Kualitas *Bio-oil* Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Berstandar Pelumas Organik

Wira Arta Wiraya, Kornelius Rifaldi, Srie Muljani*, Nana Dyah Siswati, Novel Karaman

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur,
Jalan Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur, 60249, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 13 Maret 2025
Direvisi: 20 April 2025
Diterima: 15 Mei 2025

Kata kunci:

Bio-oil
Guar gum
Katalis Heterogen
Pelumas Organik
Pirolisis
Transesterifikasi

Keywords:

Bio-oil
Guar gum
Heterogeneous Catalyst
Organic Lubricant
Pyrolysis
Transesterification

Penulis Korespondensi:

Srie Muljani
Email: sriemuljani.tk@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah biomassa yang berpotensi diolah menjadi *bio-oil* melalui pirolisis, namun kualitasnya perlu ditingkatkan agar sesuai dengan standar pelumas organik. Penelitian ini bertujuan meningkatkan kualitas *bio-oil* melalui proses transesterifikasi dengan katalis karbon aktif-NaOH serta penambahan *guar gum* sebagai agen pengental. Pirolisis dilakukan pada suhu 300 °C selama 60 menit, dan transesterifikasi pada suhu 60 °C selama 2 jam dengan rasio metanol: *bio-oil* 6:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis hingga 10% meningkatkan *yield* metil ester, sementara penambahan *guar gum* meningkatkan viskositas kinematik hingga 7,9 cst, mendekati standar pelumas komersial seperti top 1 Evo 5W-30 dan Pertamina Fastron Gold 5W-30. Namun, titik nyala masih lebih rendah dibandingkan pelumas industri. Dengan demikian, *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kelapa sawit dapat ditingkatkan kualitasnya hingga mendekati standar pelumas organik, menjadikannya alternatif pelumas yang lebih ramah lingkungan dan berpotensi untuk aplikasi industri.

Palm kernel shells are biomass waste that has the potential to be processed into bio-oil through pyrolysis, but its quality needs to be improved to meet organic lubricant standards. This study aims to improve the quality of bio-oil through a transesterification process with activated carbon-NaOH catalyst and the addition of guar gum as a thickening agent. Pyrolysis was carried out at a temperature of 300 °C for 60 minutes, and transesterification at a temperature of 60 °C for 2 hours with a methanol:bio-oil ratio of 6:1. The results showed that increasing the amount of catalyst up to 10% increased the yield of methyl ester, while the addition of guar gum increased the kinematic viscosity to 7.9 cst, approaching commercial lubricant standards such as top 1 Evo 5W-30 and Pertamina Fastron Gold 5W-30. However, the flash point is still lower than industrial lubricants. Thus, the quality of bio-oil from palm kernel shell pyrolysis can be improved to approach organic lubricant standards, making it a more environmentally friendly alternative lubricant and has the potential for industrial applications.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Keterbatasan energi terbarukan menjadi perhatian global yang semakin mendalam. Menurut data dari Badan Energi Internasional (*International Energy Agency*), pada tahun 2020, sekitar 29% dari total konsumsi energi dunia berasal dari sumber energi terbarukan. Energi terbarukan memiliki peranan penting dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas dan berkontribusi pada perubahan iklim. Opsi yang dapat digunakan adalah dari bahan baku limbah biomassa sebagai energi baru terbarukan. Limbah biomassa ini dapat berasal dari berbagai macam sumber, salah satunya merupakan cangkang kelapa sawit. Kandungan cangkang kelapa sawit terdiri dari 29,4% lignin, 26,6% selulosa, dan 27,7% hemiselulosa (Arifandy, 2021). Kandungan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai proses pembentukan *bio-oil*.

Salah satu cara untuk sintesis *bio-oil* adalah dengan proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan secara termal tanpa oksigen. Produk utama yang dihasilkan dari pirolisis merupakan arang (*char*), minyak, dan gas (Saputra, 2023). Suhu yang digunakan untuk pirolisis cangkang kelapa sawit yaitu pada rentang 350-550 °C. Pada suhu 300 °C, pirolisis cenderung menghasilkan *bio-oil* dengan kandungan senyawa kimia seperti fenol dan kandungan asam organik yang tinggi, termasuk asam laurat, yang merupakan salah satu asam lemak jenuh yang dapat ditemukan dalam *bio-oil* (Adeo, 2016). Selama pirolisis, struktur lignin dalam cangkang kelapa sawit mulai terurai, yang berkontribusi pada pembentukan senyawa fenolik dalam *bio-oil*. Selain itu, waktu tinggal selama 60 menit memungkinkan reaksi pirolisis berlangsung cukup lama untuk memaksimalkan konversi biomassa menjadi *bio-oil* (Pitoyo, 2022). *Fast pyrolysis* dengan suhu 550 °C. Penelitian tersebut menggunakan bahan baku tandan kosong dan menggunakan katalis zeolit.

Karbon aktif dapat didefinisikan sebagai bahan karbon dengan struktur amorf dan luas permukaan internal yang besar dengan tingkat porositas yang tinggi. Karbon aktif memiliki bentuk karbon mikrokristalin dan non-grafit. Karbon aktif mengandung mikropori, mesopori, dan makropori dalam strukturnya. Karbon aktif selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai *adsorben* (penyerap). Struktur ini memiliki peran penting dalam menentukan kinerja karbon aktif sebagai *adsorben* (Lubis, 2020). Karbon aktif dapat diimpregnasi menggunakan NaOH untuk mengisi pori-pori dengan zat aktif melalui proses adsorpsi logam. Proses impregnasi ini bertujuan untuk memperkenalkan gugus hidroksil (OH⁻) pada permukaan karbon aktif, yang dapat meningkatkan reaktivitas permukaan dan interaksinya dengan senyawa yang mengandung sulfur. Setelah proses impregnasi, material yang dihasilkan dapat dipanaskan pada suhu tinggi untuk meningkatkan efisiensi katalitiknya.

Guar gum merupakan jenis gula (galaktomanan) yang diambil dari biji tanaman tertentu yang terdiri dari dua jenis gula, yaitu galaktosa dan manosa. Polisakarida ini terbentuk oleh molekul galaktosa dan manosa. Rantai utamanya merupakan rantai unit (1±4) b-D-mannopiranosil, dengan unit a-D-galaktopiranosil tunggal (1±6) terikat ke tulang punggung utama. Rasio manosa terhadap galaktosa merupakan 1,2 hingga 1,8. Rasio ini dapat berubah tergantung pada suhu larutan, seperti yang terjadi dengan gum biji kerbau (Sokhal, 2018). *Guar gum* dapat digunakan dalam cairan fraktur hidrolik untuk meningkatkan viskositas dan membawa proppant ke dalam rekahan batuan. Mampu berinteraksi dengan *cross-linker* seperti boron untuk membentuk gel dengan stabilitas tinggi (Martha, 2022). Selain itu *guar gum* juga dapat didegradasi dengan enzim atau oksidator untuk mempermudah pemulihan minyak dan gas (Rezablina, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah katalis heterogen dan penambahan *guar gum* pada *bio-oil* hasil pirolisis cangkang kelapa sawit. Pemilihan parameter katalis heterogen dan penambahan *guar gum* dengan pertimbangan bahwa kedua parameter tersebut merupakan faktor penentu dari kualitas pelumas organik ini. Penelitian ini juga bertujuan untuk menghasilkan pelumas organik yang sesuai dengan standar pelumas organik kormersil.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai bahan utama, dengan bahan tambahan berupa karbon aktif, NaOH sebagai katalis heterogen, metanol, dan *guar gum*. Proses pirolisis dilakukan menggunakan rangkaian alat yang terdiri dari reaktor, kondensor, penampung tar, serta sistem pendingin air. Tujuan utama dari proses ini adalah menghasilkan *bio-oil* dari biomassa.

Proses pirolisis dilakukan pada suhu 300°C selama 1 jam, sedangkan aktivasi katalis dilakukan pada suhu 400 °C selama 2 jam. Karbon aktif diimpregnasi dengan NaOH 5N selama 21 jam. Variasi jumlah katalis yang digunakan adalah 2,5% hingga 15% dari berat *bio-oil*, sedangkan *guar gum* ditambahkan dalam rentang 0,3% hingga 1,5% untuk meningkatkan viskositas bio-lubricant.

Katalis heterogen dibuat dengan cara mengimpregnasi karbon aktif menggunakan NaOH, lalu dipanaskan untuk meningkatkan aktivitas katalitiknya. *Bio-oil* diperoleh dari pirolisis cangkang kelapa sawit, yang pada suhu 300 °C menghasilkan senyawa fenolik dan asam lemak jenuh. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan metanol dan katalis, menghasilkan metil ester sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk sampingan. Penambahan *guar gum* dilakukan kepada Bio lubricant hasil Transesterifikasi dengan jumlah persen massa rentang 0,2%-1% . Proses ini dilakukan dengan suhu ruang dan Pengadukan sebesar 200 rpm hingga homogen.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengaruh Jumlah Katalis Karbon Aktif terhadap Karakteristik *Bio-Lubricant* Yang dihasilkan

Tabel 2 Hasil Analisa *Bio-Oil* Katalis Karbon Aktif

A	B	C	D	E	F
0.025	0.669	6.12	130.06	5.32	5.86
0.05	0.670	6.13	130.51	6.14	6.20
0.075	0.673	6.15	130.03	6.06	6.20
0.1	0.671	6.14	130.46	6.28	5.95
0.15	0.671	6.15	130.35	5.23	6.07

Tabel 3 Similaritas Karakteristik Hasil Metil Ester Transesterifikasi dengan SNI 7182:2015

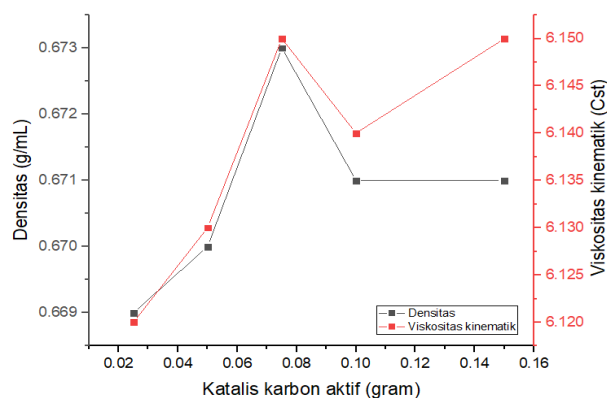
Parameter	SNI 7182:2015	Rata- rata hasil	Index kemiripan (%)
Massa Jenis(g/ml)	0.85 - 0,89	0.671	78.94
Viskositas	2,3 - 6	6.14	97.72
Kinematik(Cst)			
Pour point(°C)	(-3) -10	5.806	58.06
Flashpoint(°C)	100	130.283	76.76
Bilangan asam(mgKOH/g)	0.5	6.05	8.26

Tabel 2 merupakan analisa bio-oil katalis karbon aktif. Keterangan dari beberapa parameter yang dianalisa yaitu A adalah massa katalis karbon aktif (g), B adalah massa jenis (g/mL), C adalah viskositas kinematik (cSt), D adalah *flash point* (°C), E adalah *pour point* (°C), dan F adalah bilangan asam (mgKOH/g). Berdasarkan Tabel 2 hasil sintesis Metil Ester dengan rentang jumlah katalis 0,025–0,15g. Meskipun didapatkan Massa jenis dengan rata rata 0.671 g/ml dan bilangan asam 6.05 mgKOH/g yang belum sesuai, didapatkan Nilai Viskositas kinematik, *Pour point* dan *Flashpoint* yang sudah mendekati Standard Metil Ester SNI7182:2015. Nilai viskositas Kinematik (cSt) dengan kemiripan 97.72% dan densitas yang didapatkan sudah mendekati standard dengan indeks kemiripan sebesar 78.94%.

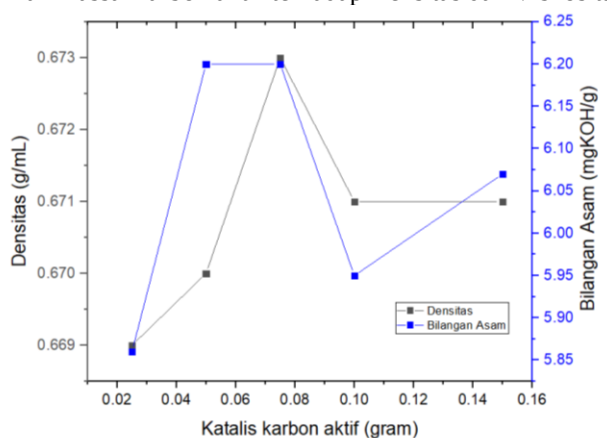
Gambar 1 menunjukkan korelasi antara Densitas dan viskositas terhadap jumlah penambahan karbon aktif pada proses transesterifikasi metil ester. Penambahan karbon aktif yang diimpregnasi NaOH dapat meningkatkan densitas dan viskositas Metil Ester dengan memperbaiki kemurnian produk melalui reaksi transesterifikasi yang lebih efisien (Thomas, 2015). Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh, dimana peningkatan katalis awalnya meningkatkan densitas dan viskositas metil ester hingga mencapai titik optimal. Titik Optimal Viskositas yang didapat adalah sebesar 6.15 cst dan titik optimal densitas yang didapat sebesar 0.673 g/ml.

Gambar 2 menunjukkan korelasi antara Densitas dan Angka asam terhadap jumlah penambahan karbon aktif pada proses transesterifikasi metil ester. Menurut Guo et al. (2010), penambahan karbon aktif yang diimpregnasi NaOH dapat meningkatkan kualitas biodiesel, terutama pada densitas dan angka asam (TBN), dengan meningkatkan reaksi transesterifikasi dan menurunkan kadar asam bebas. Grafik menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif hingga 0,08g meningkatkan densitas dan TBN metil ester. Namun, setelah titik ini, penurunan terjadi karena efek kejenuhan pada katalis, sesuai teori bahwa

kelebihan katalis mengurangi efektivitas reaksi. Demirbas (2009) mendukung bahwa jumlah katalis yang tepat diperlukan untuk kualitas biodiesel optimal.



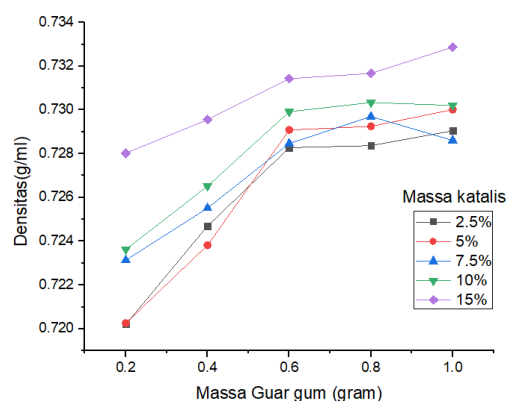
Gambar 1 Pengaruh jumlah massa Karbon aktif terhadap Densitas dan Viskositas kinematik Metil Ester



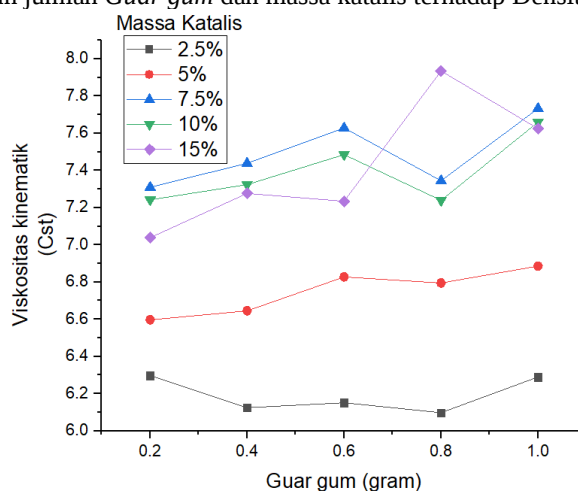
Gambar 2 Pengaruh jumlah mifaassa Karbon aktif terhadap Densitas dan Angka Asam

Gambar 3 menunjukkan Pengaruh jumlah *guar gum* dan massa katalis terhadap Densitas pelumas organik. Menurut Hasan (2018) penambahan *guar gum* dapat meningkatkan viskositas kinematik pelumas karena kemampuannya membentuk jaringan gel yang kental, serta dapat sedikit meningkatkan densitas. Hasil yang diperoleh dari grafik diatas menunjukkan hasil yang sesuai, dimana peningkatan massa *guar gum* menghasilkan kenaikan densitas yang lebih moderat, mencerminkan karakteristik *guar gum* sebagai pengental alami. Meskipun Hasil dari penambahan *guar gum* dapat menambahkan kekentalan pada pelumas hingga titik tertentu. Peningkatan densitas ini disebabkan oleh kemampuan *guar gum* untuk menahan air dan membentuk struktur gel yang stabil, sehingga meningkatkan massa jenis pelumas. Namun, perlu diperhatikan bahwa penambahan *guar gum* yang berlebihan dapat menyebabkan saturasi, di mana peningkatan densitas tidak lagi signifikan (Hasan, 2018).

Gambar 4 menunjukkan pengaruh jumlah *guar gum* dan katalis terhadap viskositas kinematik pelumas organik. Dari grafik tersebut, dapat diamati bahwa penambahan *guar gum* memiliki dampak signifikan terhadap viskositas kinematik pelumas. *Guar gum*, sebagai pengental alami, memiliki kemampuan untuk membentuk jaringan gel yang kental (Barth, 2017), sehingga meningkatkan kekentalan pelumas. Peningkatan viskositas kinematik ini disebabkan oleh kemampuan *guar gum* untuk menahan air dan membentuk struktur gel yang stabil, sehingga meningkatkan kekentalan pelumas (Hasan, 2018). Namun, perlu diperhatikan bahwa penambahan *guar gum* yang berlebihan dapat menyebabkan saturasi, di mana peningkatan viskositas tidak lagi signifikan. Ini menunjukkan bahwa *guar gum* efektif dalam meningkatkan viskositas kinematik pelumas organik, tetapi hanya sampai batas tertentu



Gambar 3 Pengaruh jumlah *Guar gum* dan massa katalis terhadap Densitas pelumas organik



Gambar 4 Pengaruh jumlah *guar gum* dan katalis terhadap viskositas kinematik pelumas organik

3.2 Perbandingan Pelumas Organik dengan Pelumas Komersil

Pada tabel 4. Dapat dilihat bahwa densitas pelumas organik yang dihasilkan serupa dengan densitas pelumas komersial, dan viskositas kinematikanya juga terdapat kedekatan, menunjukkan bahwa penambahan *guar gum* berperan dalam peningkatan densitas dan viskositas. Semakin tinggi indeks viskositas, semakin stabil kekentalan pada mesin (Sukirno, 2010). Titik nyala pelumas organik rata-rata 129,77 °C, lebih rendah dari pelumas komersial (210–240 °C), yang menandakan bio-pelumas lebih mudah menguap dan terbakar pada suhu lebih rendah (ASTM, 2020). Pour point rata-rata -6,15 °C lebih tinggi dibandingkan pelumas komersial, tetapi masih dalam kisaran yang dapat diterima untuk pelumas suhu rendah (SNI, 2015). Bilangan asam pelumas organik rata-rata 5,99 mgKOH/g, sebanding dengan pelumas komersial seperti Top 1 dan Pertamina Fastron.

Tabel 4 Perbandingan sampel dengan Biolubrikan komersil

No	Parameter Uji	Top 1 Evo 5W-30	Pertamina Fastron Gold 5W-30	SAE 0W- 16	Sampel
1	Massa Jenis 40 °C(g/l)	730-850	730-851	815-845	727.71
2	Viskositas kinematik 40 °C (cSt)	8-9.5	9.8	6-8	7.04
3	Flashpoint (°C)	220-240	220-230	210-225	129.77
4	Pour Point (°C)	-10 s.d. 20	-30	-45 s.d. 50	-6.15
5	Total Base Number(MgKOH/g)	5-7	7-9	6-7	5.99

IV. KESIMPULAN

Pembuatan pelumas organik dengan penambahan *guar gum* telah berhasil meningkatkan nilai massa jenis, viskositas kinematik dan *pour point*. Disisi lain, kurang terjadi perubahan yang signifikan untuk bilangan asam dan titik nyala. Parameter viskositas kinematik yang diperoleh akan semakin besar seiring dengan semakin besar jumlah *guar gum* yang ditambahkan. Viskositas kinematik tertinggi didapatkan nilai 7,9 cSt dengan penambahan *guar gum* dimana viskositas kinematik tertinggi ini sudah mendekati karakteristik dari pelumas komersil Top 1 Evo 5W-30 dan Pertamina Fastron Gold 5W-30. Pelumas organik yang dihasilkan memiliki karakteristik yang mendekati beberapa pelumas komersial. Untuk memenuhi standar pelumas komersial, penelitian selanjutnya disarankan mengkaji suhu dalam proses pirolisis, serta jenis katalis asam dan jumlah katalis yang digunakan (w/w), karena faktor-faktor ini sangat berpengaruh dalam memperoleh hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adoe, D. G. H., Bunganaen, W., 2016, "Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer", LONTAR Jurnal Teknik Mesin UNDANA, Vol. 3, No. 1, hh. 18.
- Arifandy, M. I., Cynthia, E. P., Muttakin, F., & Nazaruddin, N., 2021. "Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dalam Implementasi Indonesian Sustainability Palm Oil". SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri, 19(1), hh.116-122.
- Badan Standar Nasional, 2015, "Standar Minyak Pelumas Nasional", Jakarta.
- Barth, H.G. and Smith, D.A., 1981. High-performance size-exclusion chromatography of guar gum. *Journal of Chromatography A*, 206(2), pp.410–415
- Demirbas, A., 2009. "Progress and recent trends in biodiesel fuels." *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14-34.
- Feng Guo, Zhen-Gang Peng, Jian-Ying Dai, Zhi-Long Xiu, 2010, Calcined sodium silicate as solid base catalyst for biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, Vol. 91, no. 3, hh 322-328,
- Hasan, A., 2018, Pengaruh Guar Gum pada Viskositas dan Densitas Pelumas Organik. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(3), 45-50.
- Lubis, R. A. F., 2020. "Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification". *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology State University of Medan*, Vol. 3, No. 2, hh. 68.
- Martha, Erza Alfida, 2022, Pengaruh Penambahan Guar Gum dan Minyak Sawit Merah Terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Sensoris Mellorine Sari Tempe. , UPN Veteran Jawa Timur.
- Pitoyo, J., Suharto, T.E. & Jamilatun, S., 2022, Bio-oil from oil palm shell pyrolysis as renewable energy: A review. *Chemica: Jurnal Teknik Kimia*, 9(2), hh.67–79.
- Rezablina, M., Zamhari, M. & Zikri, A., 2023, Proses transesterifikasi biodiesel menggunakan katalis sodium methoxide dan katalis berbasis karbon aktif dari tempurung kelapa yang diimpregnasi NaOH. *Jurnal Serambi jurnaling*, Vol 8, no.4.
- Saputra Hendra, & Siregar, Ahdiat, 2023, Sintesis Biooil dari Limbah Pelelepah Kelapa Sawit Berbasis Metode Pirolisis, *Journal of research on chemistry and engineering*, vol 4, no.1, hh12-18.
- Sokhal, K. S., Gangacharyulu, D., & Bulasara, V. K., 2018. Effect of guar gum and salt concentrations on drag reduction and shear degradation properties of turbulent flow of water in a pipe. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 181, hh. 1017–1025.
- Sukirno, 2010, Kuliah Teknologi Pelumas 3, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Thomas, J. M., & Thomas, W. J., 2015. *Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis*. Wiley-VCH.