



Pengaruh Biosorben Cangkang Telur Ayam Terhadap Pemurnian Minyak Goreng Bekas

Dian Y Purwaningsih*, Gusti Ngurah Caetanyadeva S, Febrianto Adhi Pratama dan Eka Cahya Muliawati

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:

108 – 116

Tanggal penyerahan:

21 November 2022

Tanggal diterima:

07 Desember 2022

Tanggal terbit:

31 Desember 2022

EMAIL

dianyp@itats.ac.id

*corresponding author

ABSTRACT

Although Indonesia has produced 3,072 million used cooking oil liters every year, cooking oil has not been used properly. Basically, used cooking oil can be utilized by converting it into biodiesel and soap. However, used cooking oil contains high free fatty acids. High levels of free fatty acids can inhibit the reaction in bio-diesel formation. Therefore, further efforts are needed to remove free fatty acid so that used cooking oil can be processed into products that have a higher economic value. Adsorption using bio sorbent serves as one way to process used cooking oil. Chicken eggshell was used as a biosorbent in this study and they were chemically activated using H₃PO₄ to activate functional groups found inside. This research determined the effects of mass percentage and the length of contact time of the bio sorbent on the sample in reducing the number of acids and peroxides. The adsorption process of used cooking oil was tested by varying the mass variable against the sample by 5, 10, 15, 20, and 25% and the contact time variable by 30, and 60 minutes. The most optimum results in the removal of acid numbers occurred at the ratio variable of 25% in a contact time of 60 minutes and the removal of 75,56%.

Keywords: adsorption, bio sorbent, chicken eggshell, used cooking oil, removal

ABSTRAK

Indonesia menghasilkan minyak goreng bekas 3,072 juta/liter setiap tahun. Namun, minyak goreng bekas mengandung asam lemak bebas yang tinggi. Kadar asam lemak bebas yang cukup tinggi dapat menghambat reaksi pada pembentukan biodiesel. Oleh sebab itu, dibutuhkan upaya removal bilangan asam agar minyak goreng bekas dapat dioleh menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi. Adsorpsi menggunakan biosorben adalah salah satu cara untuk mengolah minyak goreng bekas. Biosorben adalah adsorben dari bahan alami, pada penelitian ini cangkang telur ayam digunakan sebagai biosorben. Cangkang telur ayam diaktivasi secara kimia menggunakan H₃PO₄ untuk mengaktifkan gugus fungsi yang terdapat pada cangkang telur ayam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh %massa serta lama waktu kontak biosorben terhadap sampel dalam penurunan bilangan asam dan peroksida. Proses adsorpsi minyak goreng bekas dicoba dengan variabel massa terhadap sampel sebesar 5, 10, 15, 20, dan 25 % dengan variabel lama waktu kontak selama 30, dan 60 menit. Persentase removal bilangan asam pada minyak goreng bekas mengalami kenaikan seiring dengan penambahan massa biosorben dan lama waktu pengontakan. Hasil terbaik dalam persentase removal bilangan asam adalah pada variabel perbandingan 25% dengan waktu pengontakan selama 60 menit dengan persentase removal sebesar 75,56%.

Kata kunci: Adsorpsi, Biosorben, Cangkang Telur Ayam, Minyak Goreng Bekas, Removal

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan minyak goreng bekas (*waste cooking oil*) masih belum berkembang di Indonesia. Padahal, potensi dari minyak goreng bekas akan meningkat seiring dengan meningkatnya produksi dan konsumsi minyak goreng. Salah satu bentuk pemanfaatan minyak goreng bekas yang dapat dilakukan yaitu dengan cara mengubahnya menjadi biodiesel dan sabun. Namun, kekurangan dari minyak goreng bekas yaitu adanya kandungan asam lemak bebas (ALB) dan bilangan peroksida yang cukup tinggi. Kadar ALB yang cukup tinggi dapat menghambat reaksi pada pembentukan biodiesel. Oleh karena itu dibutuhkan upaya removal bilangan asam agar minyak goreng bekas dapat diolah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi serta aman untuk lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan mutu minyak goreng bekas yaitu dengan pemurnian menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi dapat dilakukan menggunakan adsorben berupa biosorben. Biosorben adalah suatu padatan yang memiliki kemampuan untuk menyerap komponen tertentu menggunakan bahan-bahan biologi yang tidak mencemari lingkungan [1]. Biosorben banyak digunakan karena biaya yang diperlukan tidak terlalu mahal serta dapat mengolah limbah yang jarang terpakai misalnya cangkang telur ayam negeri. Cangkang telur ayam terbentuk dari serat-serat protein yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) [2], dimana kalsium karbonat memiliki peranan yang cukup penting dalam kemampuan cangkang telur dalam mengadsorpsi.

Penelitian mengenai peningkatan mutu minyak goreng bekas menggunakan biosorben cangkang telur pernah dilakukan oleh [3] menggunakan proses aktivasi fisika pada suhu pemanasan 600 selama 2 jam dengan variabel berupa berat adsorben dan lama waktu pengontakkan. Dari penelitian tersebut, terdapat kelemahan berupa aktivasi secara fisika menggunakan suhu yang cukup tinggi sehingga membutuhkan energi yang cukup banyak. Disamping itu, penelitian mengenai aktivasi adsorpsi telah dilakukan oleh [4] dengan membandingkan antara asam klorida (HCl) dan asam fosfat (H_3PO_4) serta penelitian yang dilakukan juga oleh [5] dengan membandingkan antara H_3PO_4 , NaOH, dan NaCl sebagai aktivator kimia. Kedua penelitian tersebut mengkaji bahwa aktivator kimia yang dinilai lebih baik adalah H_3PO_4 . Hal tersebut dikarenakan zat asam dapat mengikat air atau *impurities* lebih sempurna, membentuk pori-pori lebih banyak serta mengaktifkan gugus fungsi.

Berdasarkan uraian penelitian yang telah dilakukan oleh [3], [4], [5], mendasari penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan biosorben cangkang telur ayam teraktivasi secara kimia oleh larutan H_3PO_4 dengan variasi perbandingan massa terhadap *removal* bilangan asam pada minyak goreng bekas sehingga sesuai dengan SNI 01-3741-2013.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Minyak Goreng

Minyak goreng merupakan bahan makanan yang berasal dari lemak hewan maupun tumbuhan yang telah dimurnikan dan biasanya berfungsi untuk menggoreng makanan [6]. Minyak goreng dapat digunakan sebagai medium penghantar panas, memperbarui tekstur fisik bahan pangan, menambahkan cita rasa gurih serta memberikan nilai gizi dan kalori dalam bahan pangan [7]. Minyak yang berasal dari tumbuh-tumbuhan atau disebut dengan minyak nabati mengandung asam-asam lemak yang tidak dapat diproduksi oleh tubuh manusia yang dapat mencegah terjadi penyempitan pembuluh darah yang diakibatkan penumpukan kolesterol [8]. Pada **Tabel 1**, disajikan data standar mutu minyak goreng berdasarkan Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 01-3741-2013 :

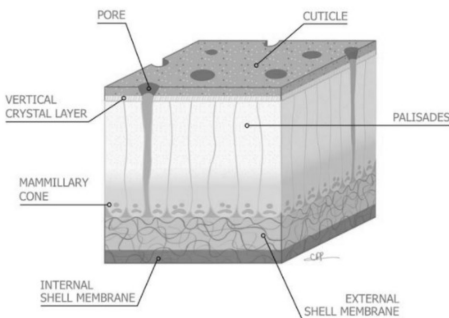
Table 1. Standar Mutu Minyak Goreng Berdasarkan SNI 01-3741-2013

No.	Kriteria uji	Satuan	Baku Mutu
1	Keadaan :		
	Bau	-	Normal
	Warna	-	Normal
2	Kadar air dan bahan menguap	%(b/b)	maks. 0,15
3	Bilangan asam	mg KOH/g	maks. 6
4	Bilangan peroksida	mek O2/Kg	maks. 10
5	Minyak pelikan	-	Negatif
6	Asam linoleat (C18:3) dalam komposisi asam lemak minyak	%	maks. 2
7	Cemaran logam :		
	Kadmium (Cd)	mg/Kg	maks. 0,2
	Timbal (Pb)	mg/Kg	maks. 0,1
	Timah (Sn)	mg/Kg	maks. 40/250,0*
	Merkuri (Hg)	mg/Kg	maks. 0,05
8	Cemaran arsen (As)	mg/Kg	maks. 0,1

Sumber : [9]

Cangkang Telur Ayam

Cangkang telur adalah lapisan luar dari telur yang berguna untuk melindungi isi bagian telur dari luka atau kerusakan. Terdapat berbagai jenis telur, setiap jenis memiliki bentuk, berat hingga warna cangkang yang berbeda. Cangkang telur ayam sebagian besar memiliki warna coklat, telur bebek memiliki warna putih kehijauan dan warna kulit telur burung puyuh memiliki ciri khas yaitu bercak dengan warna tertentu. Cangkang telur di lapisi kapur dan pori-pori setebal 0,2-0,4 µm. Pori-pori yang terdapat pada cangkang telur berfungsi sebagai tempat pertukaran udara untuk memenuhi kebutuhan embrio. Menurut [10] cangkang telur terdiri dari 4 lapisan yang berbeda (dari dalam keluar) yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lapisan cangkang telur

Sumber : [11]

Komponen penyusun cangkang telur dapat dilihat pada **Tabel 2**. Yang menjelaskan bahwa cangkang telur memiliki kandungan yang cukup berharga yaitu CaCO₃ atau kalsium karbonat sebesar 92%

Tabel 2 Komposisi Cangkang Telur

No	Komposisi	Persentase (%)
1	Kalsium Karbonat (CaCO ₃)	92%

No	Komposisi	Persentase (%)
2	Magnesium Karbonat ($MgCO_3$)	4%
3	Kalsium Phospate ($Ca_3(PO_4)_2$)	3%
4	Material Organik	1%

Sumber : [12]

Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penggumpalan zat terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap. Pada adsorpsi ada 2 komponen penting yaitu biosorben dan adsorbat. Biosorben adalah zat penyerap alami, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap [13]. Sebagian besar biosorben adalah zat yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung pada permukaan pori. Dikarenakan pori-pori biosorben sangat kecil, maka luas permukaan didalam menjadi lebih besar dari permukaan di bagian luar.

Aktivator

Aktivator adalah suatu zat kimia yang biasanya digunakan dalam proses aktivasi secara kimia pada biosorben. Aktivasi biosorben secara kimia dapat menghasilkan gugus hidroksil, karbonis, dan karboksilat yang dapat memberikan sifat. Terbentuknya gugus fungsi disebabkan terjadinya interaksi radikal bebas pada permukaan biosorben. Pembentukan gugus fungsi juga menyebabkan permukaan biosorben menjadi semakin reaktif secara kimiawi. Pemilihan aktivator didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh [5] berupa pembuatan adsorben dari sebuk gergaji dengan menggunakan aktivator asam fosfat (H_3PO_4) dengan hasil berupa luas permukaan pada adsorben dengan aktivator asam fosfat sebesar $1,493 \text{ m}^2/\text{g}$, daya serap iodin sebesar $812,16 \text{ mg/g}$. Dan juga pada penelitian yang dilakukan oleh [4] dengan hasil bahwa daya serap adsorben serta pori pori yang terdapat pada adsorben menggunakan aktivator H_3PO_4 lebih baik daripada Asam klorida (HCl).

3. METODE PENELITIAN

Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang tertera adalah kebutuhan dalam pembuatan biosorben cangkang telur ayam, antara lain :

1. Alat

Peralatan yang dibutuhkan untuk pembuatan biosorben cangkang telur ayam sebagai berikut :

1. *Oven*
2. *Magnetic Stirrer*
3. *Vacuum Filter*
4. Ayakan 60 *mesh*

2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan biosorben cangkang telur ayam sebagai berikut :

1. Cangkang Telur Ayam
2. Larutan Asam Fosfat (H_3PO_4) 2,5%
3. *Aquadest*
4. Minyak goreng bekas pakai

Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 variabel yaitu variabel terikat yang merupakan menjadi tolak ukur untuk mengetahui efek dari variabel lainnya dan variabel

bebas dimana menjadi pembeda dalam penelitian sehingga terdapat perlakuan yang berbeda pada tiap sampel.

1. Variabel Tetap

Variabel tetap dalam penelitian ini adalah

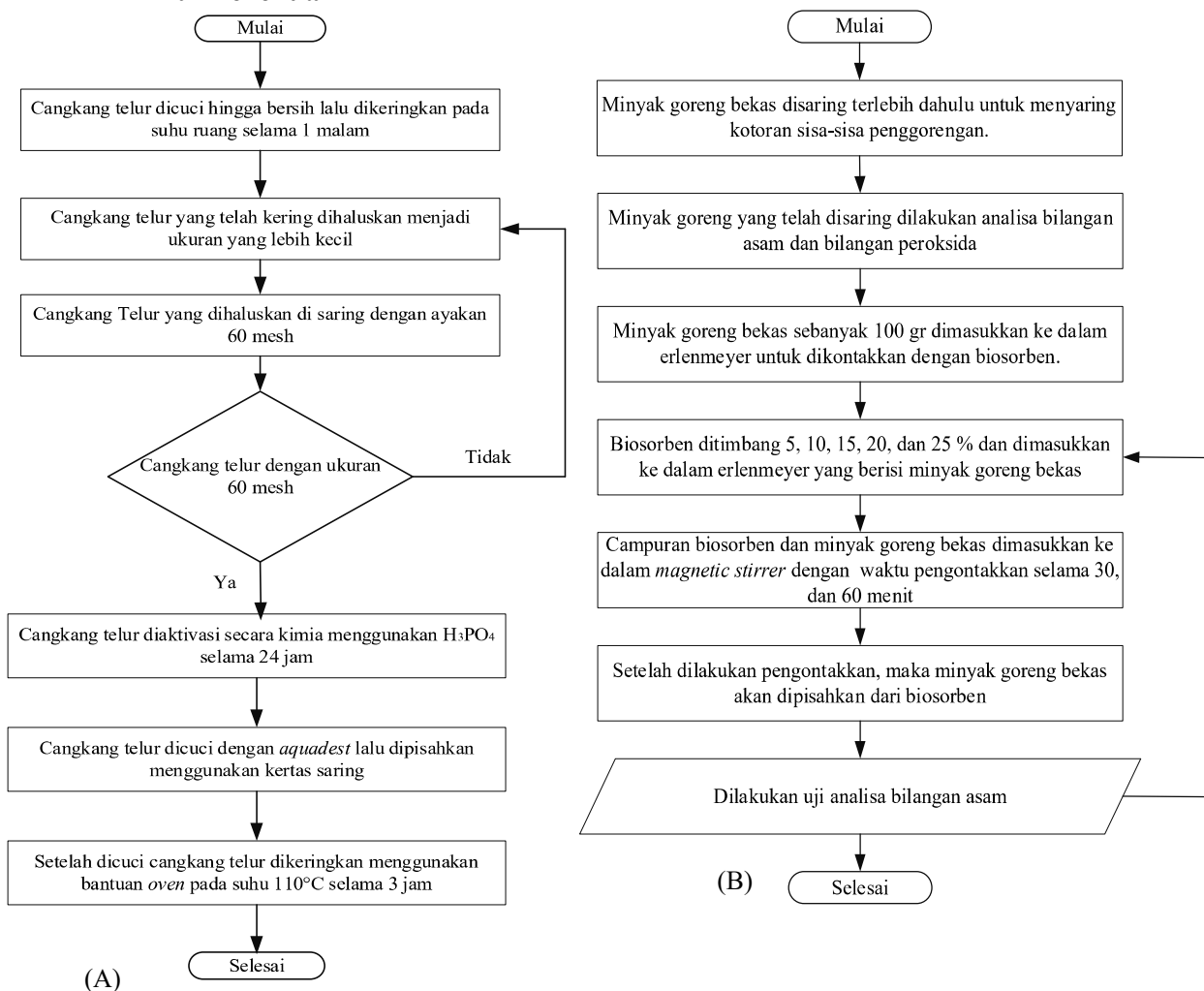
- Konsentrasi dari larutan H_3PO_4 2,5% [4] .
- Massa minyak goreng bekas sebanyak 100 gr [14].
- Suhu pemanasan cangkang telur ayam $110^\circ C$ [15].

2. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah

- Persentase massa biosorben cangkang telur: 5%, 10%, 15% ,20% dan 25%.
- Lama waktu pengontakkan selama 30, dan 60 menit.

Alur Penelitian



Gambar 2. (A)Pembuatan Biosorben dari Cangkang Telur, (B)Alur Adsorpsi Minyak Goreng Bekas.

Prosedur Penelitian

Proses Pembuatan Biosorben

Proes pembuatan biosorben terbagi menjadi 2 tahapan yaitu tahap preparasi dan tahap aktivasi.

1. Tahap preparasi

Cangkang telur ayam yang akan digunakan sebagai biosorben dicuci dan dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel pada cangkang telur ayam. Kemudian, cangkang telur ayam dihancurkan menjadi ukuran 60 mesh dan dilanjutkan dengan penirisan pada suhu ruangan semalaman untuk mengurangi kandungan air yang ada pada cangkang telur.

2. Tahap Aktivasi

Serbuk cangkang telur ayam dengan ukuran 60 *mesh* akan diaktivasi menggunakan larutan H_3PO_4 2,5% selama 24 jam. Kemudian serbuk cangkang telur yang sudah diaktivasi disaring dan dicuci menggunakan *aquadest*. Setelah dicuci, serbuk cangkang telur ayam yang telah teraktivasi dimasukkan ke dalam *oven* untuk menghilangkan kadar air pada suhu 110°C selama 3 jam.

Proses Pemurnian Minyak Goreng Bekas

Minyak goreng bekas disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran sisa-sisa penggorengan. Kemudian dilakukan adsorpsi minyak goreng bekas dengan menggunakan biosorben teraktivasi dengan perbandingan massa yang telah ditentukan. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30, dan 60 menit yang bertujuan untuk memberikan kesempatan pada partikel biosorben agar dapat mengadsorpsi secara maksimal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan biosorben cangkang telur ayam yang diaktivasi secara kimia dengan menggunakan aktivator berupa asam fosfat guna mengurangi kadar asam lemak bebas pada minyak goreng bekas. Minyak goreng bekas yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari salah satu restoran ayam geprek yang terletak di Surabaya Timur. Analisa minyak goreng bekas dilakukan diawal sebelum *treatment* dan setelah *treatment* menggunakan biosorben. Adapun parameter yang di uji berupa persentase *removal* bilangan asam.

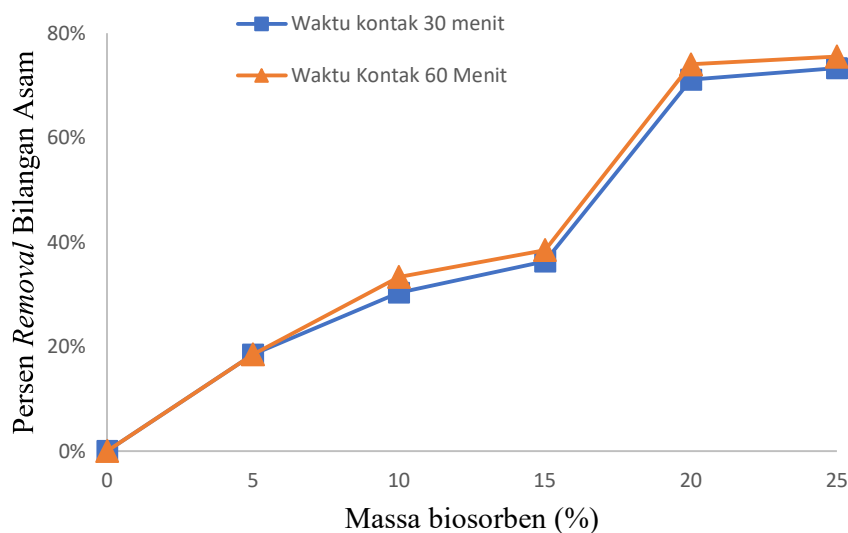
Analisa Awal Minyak Goreng Bekas

Tabel 3. Hasil Analisa Awal Bilangan Asam Pada Minyak Goreng Bekas

Uji Minyak Goreng Bekas	Satuan	Baku Mutu*	Hasil Uji
Bilangan Asam	mg KOH/g	max. 6	9,0882

Hasil Analisa Bilangan Asam Pada Minyak Goreng Bekas

Pengaruh variasi massa biosorben terhadap persentase *removal* bilangan asam pada minyak goreng bekas dapat dilihat pada **Gambar 3.** bahwa *removal* bilangan asam cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan massa adsorben. Kandungan bilangan asam pada minyak goreng bekas sebelum dilakukan *treatment* terhadap adsorben yaitu sebesar 9,0882 mg NaOH/Kg. Tingginya kandungan bilangan asam pada minyak goreng bekas setara dengan tinggi asam lemak bebasnya. Trigliserida yang terkandung di dalam minyak goreng bekas sudah banyak yang terurai menjadi asam lemak bebas diakibatkan reaksi hidrolisa. Hal ini terjadi disebabkan pemanasan pada minyak goreng yang dilakukan secara berulang-ulang pada suhu tinggi [16].



Gambar 3. Grafik Persentase *Removal* Bilangan Asam

Berdasarkan **Gambar 3.**, pada waktu kontak selama 30 menit dengan variabel perbandingan 5% biosorben terhadap minyak goreng bekas mendapatkan persentase *removal* sebesar 18,52%, sedangkan pada variabel perbandingan 10% biosorben terhadap minyak goreng bekas memiliki persentase *removal* sebesar 30,37%, selanjutnya pada variabel perbandingan 15% biosorben terhadap minyak goreng bekas memiliki persentase *removal* sebesar 36,3%, pada variabel perbandingan 20% biosorben terhadap minyak goreng bekas memiliki persentase *removal* sebesar 71,11%, dan pada variabel perbandingan 25% biosorben terhadap minyak goreng bekas memiliki persentase *removal* sebesar 73,33%. Persentase *removal* dari perbandingan massa 5% hingga 25% mengalami peningkatan, hal tersebut dikarenakan penambahan massa dari biosorben cangkang telur berimbang pada bertambahnya gugus fungsi yang aktif sehingga menyebabkan peningkatan pada persentase *removal* bilangan asam.

Jika ditinjau dari lama waktu pengontakkan, pada waktu pengontakkan antara 30 menit dan 60 menit mengalami peningkatan persentase *removal*. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak antara biosorben dengan adsorbat menyebabkan gugus fungsi dari biosorben akan semakin dipenuhi oleh adsorbat berupa asam lemak bebas hingga mencapai titik kesetimbangan.

Pengikatan antara bilangan asam dan gugus fungsi cangkang telur terjadi karena adanya kandungan asam lemak bebas yang merupakan senyawa polar sehingga memudahkan pengikatan dengan gugus fungsi polar yang terdapat pada adsorben [10, 17-20]. Adapun gugus fungsi polar yang terdapat pada adsorben yaitu asam karboksilat. Asam karboksilat yang bersifat polar akan tarik menarik dengan asam lemak bebas peristiwa ini disebut gaya dipol-dipol.

5. KESIMPULAN

Hasil paling optimum dalam *removal* bilangan asam adalah pada variabel perbandingan 25% dengan waktu pengontakkan selama 60 menit dengan persentase *removal* sebesar 75,56%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rahmi and Sajidah, "Pemanfaatan Adsorben Alami (Biosorben) Untuk Mengurangi Kadar Timbal (Pb) Dalam Limbah Cair," *Pros. Semin. Nas. Biot.*, pp. 271–279, 2017.
- [2] M. Maslahat, A. Taufiq, and P. W. Subagja, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Biosorben Untuk Adsorpsi Logam Pb dan Cd," *J. Sains Nat. Univ. Nusa Bangsa*, vol. 5, no. Januari 2015, pp. 92–100, 2015.
- [3] F. Fitriyana and E. Safitri, "Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Untuk Meningkatkan Kualitas Minyak Jelantah," *Konversi*, vol. 4, no. 1, p. 12, 2015, doi: 10.20527/k.v4i1.260.
- [4] Verayana, M. Papatungan, and H. Iyabu, "Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb)," *J. Entropi*, vol. 13, no. 1, pp. 67–75, 2018.
- [5] Erawati, "Jurnal Integrasi Proses Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*) 1, 2 Program Studi Teknik Kimia, Faku," vol. 7, no. 2, pp. 58–66, 2018.
- [6] L. Hermawati and S. Purnavita, "Regenerasi Minyak Jelantah Secara Adsorpsi Menggunakan Ampas Pati Aren dan Bentonit pada Berbagai Variasi Adsorben," 2013.
- [7] Z. Nst, Y. R. Napitupulu, Y. Cinthya, and E. Silalahi, "Peningkatan Kualitas Minyak Goreng Bekas Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Arang Dari Tempurung Kelapa Yang Diaktivasi Dengan HCl," vol. 3, pp. 1–5, 2020.
- [8] D. Ariani, S. Yanti, and D. S. Saputri, "Studi Kualitatif Dan Kuantitatif Minyak Goreng Yang Digunakan Oleh Penjual Gorengan Di Kota Sumbawa," *J. Tambora*, vol. 2, no. 3, 2017, doi: 10.36761/jt.v2i3.173.
- [9] BSN, "Minyak Goreng-SNI 3741-2013," pp. 1–27, 2013.
- [10] Jasinda, "Pembuatan Dan Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur Bebek Yang Diaktivasi Secara Termal," *Skripsi*, p. 125, 2013.
- [11] M. T. Hincke, Y. Nys, J. Gautron, K. Mann, A. B. Rodriguez-Navarro, and M. D. McKee, "The eggshell: Structure, composition and mineralization," *Front. Biosci.*, vol. 17, no. 4, pp. 1266–1280, 2012, doi: 10.2741/3985.
- [12] A. Agarwal and P. K. Gupta, "Removal of Cu & Fe from aqueous solution by using eggshell powder as low cost adsorbent," *Adv. Appl. Sci. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 75–79, 2014.
- [13] G. Giyatmi, T. Fallihah, and ..., "Penurunan Kadar Cu Dalam Limbah Cair Industri Perak Menggunakan Adsorben Abu Layang," *Semin. Nas. ...*, no. September, pp. 1–7, 2020, [Online]. Available: <http://snsb.upnjatim.ac.id/index.php/snsb/article/view/18>.
- [14] F. Abdilah and M. Hulupi, "Efektivitas Cangkang Telur untuk Menurunkan Bilangan Peroksida dan Asam Lemak Bebas pada Minyak Jelantah," *Fuller. J. Chem.*, vol. 5, no. 2, p. 109, 2020, doi: 10.37033/fjc.v5i2.209.
- [15] K. Udyani, D. Y. Purwaningsih, R. Setiawan, and K. Yahya, "Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika dengan Microwave," *J. Iptek*, vol. 23, no. 1, pp. 39–46, 2019, doi: 10.31284/j.iptek.2019.v23i1.479.
- [16] A. S. Suroso, "Kualitas Minyak Goreng Habis Pakai Ditinjau dari Bilangan Peroksida, Bilangan Asam dan Kadar Air," *J. Kefarmasian Indones.*, vol. Vol 3, no. 2, pp. 77–88, 2013.
- [17] Muliawati, E. C., Santoso, M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Salleh, M. T., Nurherdiana, S. D., & Widiastuti, N. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated polyetherimide new blends membrane promising for direct methanol fuel cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(3), 659-668.
- [18] Muliawati, E. C., Ismail, A. F., Jaafar, J., Widiastuti, N., Santoso, M., Taufiq, M., ... & Atmaja, L. (2019). Sulfonated PEI membrane with GPTMS-TiO₂ as a filler for potential direct methanol fuel cell (DMFC) applications. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), 555-560.

- [19] Muliawati, E. C., Widiastuti, N., Santoso, M., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated Polyetherimide-Titanium Dioxide (TiO₂) New Blends Membrane Promising For Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Proceedings Book*, 36.
- [20] Muliawati, E. C., & Mirzayanti, Y. W. (2021). Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) Sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung. *Journal of Research and Technology*, 7(2), 247-256.