

Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Plastik PET (*Polyethylene terephthalate*) Menggunakan Aktivator KOH

Syarifuddin Oko*, Mustafa, Andri Kurniawan, Lintang Norfitria

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Lipan PO Box 1293, Indonesia
Email: syarifuddinoko@polnes.ac.id

Abstrak

Penggunaan plastik setiap hari mengakibatkan terjadinya penumpukan sampah plastik yang dapat mencemari lingkungan dan menjadi salah satu masalah serius yang harus ditangani karena plastik tidak dapat terdegradasi. Plastik merupakan senyawa yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen. Sehingga limbah plastik berpotensi sebagai pembuatan karbon aktif dan akan membuat limbah plastik menjadi lebih bermanfaat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator dan waktu aktivasi terhadap proses aktivasi fisika kimia sehingga menghasilkan produk karbon aktif yang sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Plastik PET terlebih dahulu dikarbonasi pada temperatur 480°C selama 2 jam menggunakan furnace hingga membentuk arang. Lalu, direndam dalam aseton selama 24 jam. Setelah itu disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 110°C selama 3 jam dan dilanjutkan dengan proses aktivasi fisika pada temperatur 750°C selama 2 jam. Karbon yang telah teraktivasi fisika selanjutnya diaktivasi secara kimia dengan menggunakan KOH konsentrasi 1 M, 2 M, 3 M, dan 4M dengan variasi waktu 2 jam dan 4 jam. Diperoleh hasil terbaik yaitu pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 4 M dan waktu aktivasi 2 jam dengan nilai daya serap iod sebesar 980,17 mg/g, kadar abu 0,28%, kadar air 7,55%, dan kadar volatile matter 3,47%. Karbon aktif yang diperoleh telah memenuhi SNI 06-3730-1995.

Kata kunci : aktivasi fisika kimia, aktivator KOH, karbon aktif, plastik PET

Abstract

Synthesis Activated Carbon from PET Plastic Waste (*Polyethylene terephthalate*) Using KOH Activator

The use of plastic every day results in the accumulation of plastic waste that can pollute the environment and was a serious problem that must be addressed because plastic cannot be degraded. Plastic was a compound whose main constituent elements were carbon and hydrogen. So that plastic waste has the potential to produce activated carbon and will make plastic waste more useful. This study aims to determine the effect of activator concentration and activation time on the physical-chemical activation process so as to produce activated carbon products in accordance with SNI 06-3730-1995. PET plastic was first carbonated at a temperature of 480°C for 2 hours using a furnace to form charcoal. Then, soaked in acetone for 24 hours. After that it was filtered and dried using an oven at a temperature of 110°C for 3 hours and continued with the physical activation process at a temperature of 750°C for 2 hours. The physically activated carbon was then chemically activated using KOH concentrations of 1 M, 2 M, 3 M, and 4 M with time variations of 2 hours and 4 hours. The best results were obtained on activated carbon with a concentration of KOH 4 M and an activation time of 2 hours with an iodine absorption value of 980.17 mg/g, 0.28% ash content, 7.55% water content, and volatile matter levels 3.47%. Activated carbon obtained has complied with SNI 06-3730-1995.

Keywords : activated carbon, KOH activator, PET plastic, physic chemical activation

PENDAHULUAN

Plastik merupakan salah satu bahan yang digunakan secara luas di masyarakat mulai dari menggantikan gelas, kayu dan logam. Plastik mempunyai keunggulan dibandingkan material lain diantaranya kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk serta isolator panas dan listrik yang baik (Surono dan Ismanto, 2016). Penggunaan plastik setiap hari mengakibatkan terjadinya penumpukan sampah plastik yang dapat mencemari lingkungan dan menjadi salah satu masalah serius yang harus ditangani karena plastik tidak dapat terdegradasi.

Indonesia tercatat menyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia setelah Tiongkok (Jambeck et al., 2015). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2015 kota Samarinda diperkirakan memproduksi sampah sebesar 3.565,35 m³ per harinya dan menjadi kota penghasil sampah terbesar di wilayah Kalimantan Timur.

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) proses kimia menjadi molekul besar (manomonokuler atau polimerisasi). Plastik merupakan senyawa yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen (Kumar et al., 2011). Sehingga limbah plastik berpotensi sebagai pembuatan karbon aktif dan akan membuat limbah plastik menjadi lebih bermanfaat.

Karbon aktif merupakan bahan baku berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri atas atom karbon bebas dan mempunyai permukaan dalam sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik. Bahan ini mampu mengadsorpsi anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas (Laos, 2016). Dalam proses pembuatannya, karbon aktif dibuat melalui 2 proses, yaitu proses karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur seperti oksigen dan hidrogen hingga didapatkan karbon dengan struktur tertentu. Kemudian proses aktivasi bertujuan untuk membuka pori-pori karbon dan memperbesar luas permukaan pori karbon agar dapat dijadikan sebagai adsorben. Karbon aktif sering digunakan

dalam industri maupun dalam kehidupan sehari-hari karena dapat menyerap zat-zat berupa cairan maupun gas. Karbon aktif dapat digunakan untuk penjernihan air, mengadsorpsi gas-gas berbahaya, serta logam-logam berat yang dapat membahayakan makhluk hidup (Oko et al., 2021).

Penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari plastik PET telah dilakukan oleh (Cundari et al., 2016) dengan menggunakan proses aktivasi kimia, aktivasi fisika, dan aktivasi kimia fisika. Proses karbonasi pada temperatur 450°C selama 2 jam. Pada proses aktivasi secara kimia menggunakan larutan KOH 1 M selama 2 jam. Pada proses aktivasi fisika dilakukan pada temperatur 700°C selama 2 jam. Kemudian, pada proses aktivasi secara kimia fisika menggunakan kombinasi antara proses aktivasi fisika dan proses aktivasi kimia. Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil daya serap iod karbon aktif tanpa aktivasi sebesar 558,492 mg/g, dengan aktivasi kimia sebesar 705 mg/g, dengan aktivasi fisika sebesar 930 mg/g.

Kemudian, pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Suhendarwati et al., 2013) dengan bahan dasar abu dasar ampas tebu berukuran 100 mesh yang diaktivasi menggunakan larutan KOH dengan lima variasi konsentrasi kadar KOH yakni 1 M, 2 M, 3 M, 4 M dan 5 M. Kadar penyerapan Iod yang dihasilkan pada konsentrasi tersebut yaitu sebesar 248,56-426,48 mg/g.

Pada penelitian kali ini, dilakukan pengembangan dari (Cundari et al., 2016) dengan variasi aktivator KOH sebesar 1 M, 2 M, 3 M, dan 4 M dan variasi waktu aktivasi selama 2 jam dan 4 jam. Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan (Suhendarwati et al., 2013) dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator KOH maka akan meningkatkan hasil daya serap iod karbon aktif yang dihasilkan. KOH adalah aktivator kimia yang baik pada karbon karena dapat meningkatkan luas permukaannya hingga 3000 m²/g. Selain itu, KOH yang juga bertindak sebagai basa kuat yang dapat menghilangkan zat pengotor dalam karbon hasil pengarangan yang kurang sempurna seperti zat volatil dan tar (Nurfritria, et al., 2019). Diharapkan dari penambahan variasi konsentrasi KOH akan meningkatkan nilai daya serap iod sehingga memenuhi SNI 06-3730-1995.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator KOH dan waktu aktivasi terhadap proses aktivasi fisika

kimia sehingga menghasilkan produk karbon aktif yang sesuai dengan SNI 06-3730-1995.

METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya limbah plastik PET, *aquadest*, kalium hidroksida (KOH) p.a (merck), Iod(I₂) p.a (merck), natrium thiosulfat (Na₂S₂O₃) p.a (merck), indikator amilum (kanji) 1%, kertas saring Whatman No. 42, indikator universal. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya furnace, oven, desikator, *screening* 200 mesh, cawan porselin, neraca analitik, buret, erlenmeyer, *hot plate*, mortar dan lumpang alu.

Pembuatan Karbon Akif

Limbah plastik PET dibersihkan, dikeringkan dan dipotong menjadi ukuran lebih kecil. Plastik PET dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dikarbonasi pada suhu 480°C selama 2 jam menggunakan furnace. Karbon yang dihasilkan di ayak menggunakan *screening* 200 mesh, kemudian direndam dengan aseton selama 24 jam. Setelah itu disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 3 jam dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika pada suhu 750°C selama 2 jam. Sebanyak 25 gr karbon yang diperoleh dari hasil aktivasi fisika dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL selanjutnya direndam dalam larutan KOH dengan variasi konsentrasi 1 M, 2 M, 3 M, dan 4 M selama 2 jam dan 4 jam. Setelah proses aktivasi kimia selesai maka dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas whatman 42. Karbon aktif kemudian dicuci dengan akuades sampai pH netral. Selanjutnya karbon aktif dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 3 jam. Produk karbon aktif dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit dan dilakukan analisa daya serap iod dan uji proximate (Kadar abu, kadar air dan volatile matter).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Karbon Hasil Karbonasi dari Limbah plastik PET

Plastik PET terlebih dahulu dikarbonasi pada temperatur 480°C selama 2 jam menggunakan furnace hingga membentuk arang. Arang yang telah terbentuk kemudian di ayak dengan

menggunakan *screening* 200 mesh. Lalu, direndam dalam aseton selama 24 jam untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang masih tersisa saat proses karbonisasi. Berdasarkan hasil analisa daya serap iod dan uji proximate pada karbon dari karbonasi limbah plastik sebelum diaktivasi adalah dKarbon yang diperoleh selanjutnya di aktivasi secara fisika pada temperatur 750°C selama 2 jam. Karbon yang telah teraktivasi fisika selanjutnya diaktivasi secara kimia dengan menggunakan KOH konsentrasi 1 M, 2 M, 3 M, dan 4 M dengan variasi waktu sebesar 2 jam dan 4 jam. Setelah diaktivasi secara kimia kemudian arang dibilas dengan menggunakan akuades hingga pH nya menjadi netral (pH 7). Karbon aktif yang telah diperoleh dikarakterisasi berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 yang meliputi uji daya serap iod dan uji proximate.

Analisa Daya Serap Iod

Bilangan iod merupakan parameter paling penting digunakan untuk karakterisasi karbon aktif. Semakin besar angka iod maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut (Rahmadani dan Kurniawati, 2017). Bilangan iod sangat besar pengaruhnya dalam menentukan kualitas dari sebuah karbon aktif karena berhubungan dengan luas permukaan dari karbon aktif sebagai adsorben. Berikut hubungan antara konsentrasi aktivator KOH dan waktu aktivasi terhadap daya serap iod dapat dilihat pada Gambar 1.

Daya serap iod yang dihasilkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995, yaitu berkisar antara 824,45 – 980,17 mg/g. Berdasarkan Gambar 1 daya serap iod terkecil dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 1 M selama 4 jam dan daya serap iod terbesar dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 4 M selama 2 jam. Besarnya nilai iod menunjukkan seberapa besar kemampuan suatu karbon aktif dalam mengadsorpsi suatu zat. Daya adsorpsi tersebut dapat ditunjukkan dengan besarnya angka iod yaitu angka yang menunjukkan seberapa besar adsorben dapat mengadsorpsi iod. Semakin besar bilangan iod yang dihasilkan semakin besar pula daya adsorpsi dari adsorben (Rahmadani dan Kurniawati, 2017).

Berdasarkan Gambar 1 meningkatnya konsentrasi aktivator KOH baik pada waktu aktivasi 2 jam maupun 4 jam, maka nilai daya serap iodnya

juga semakin meningkat. Menurut (Tutik dan Faizah, 2001) daya serap karbon aktif semakin kuat bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi dari aktivator yang ditambahkan. Penambahan aktivator memberikan pengaruh yang kuat untuk mengikat senyawa-senyawa tar keluar melewati mikro pori-pori dari karbon aktif sehingga permukaan dari karbon aktif tersebut semakin lebar atau luas yang mengakibatkan semakin besar pula daya serap karbon aktif tersebut.

Nilai daya serap iod berhubungan dengan hasil uji kadar abu dan kadar *volatile matter* terkait dengan kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Kandungan abu sangat berpengaruh pada kualitas karbon aktif. Keberadaan abu yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori karbon aktif sehingga luas permukaan karbon aktif menjadi berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kadar abu yang tinggi akan menurunkan nilai daya serap iod karbon aktif. Berdasarkan hasil data penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada konsentrasi aktivator KOH 3 M dan 4 M nilai daya serap iodnya meningkat dari 922,55 mg/g menjadi 980,17 mg/g. Meningkatnya daya serap iod ini mempengaruhi nilai kadar abu dimana kadar abu yang dihasilkan mengalami penurunan dari 0,38% menjadi 0,28%. Kenaikan nilai daya serap iod juga mempengaruhi nilai kadar *volatile matter* dimana kadar *volatile matter* yang dihasilkan mengalami penurunan dari 11,74% menjadi 3,47%. Kadar zat menguap yang tinggi dapat mempengaruhi daya serap karbon aktif. Semakin tinggi kadar zat terbang pada karbon aktif, semakin rendah daya serapnya (Yulianti et al., 2016).

Analisa Kadar Abu

Kadar abu merupakan sisa mineral yang tertinggal setelah pembakaran pada suhu 500-800°C (Suhendarwati et al., 2013). Kandungan abu pada karbon aktif akan berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan, dimana kadar abu yang tinggi menandakan bahwa terjadi penyumbatan pada pori karbon aktif sehingga luas permukaannya berkurang. Berikut hubungan antara konsentrasi aktivator KOH dan waktu aktivasi terhadap kadar abu dapat dilihat pada Gambar 2.

Kadar abu yang dihasilkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995,

yaitu berkisar antara 0,28% – 4,64%. Berdasarkan Gambar 2 kadar abu terkecil dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 4 M selama 2 jam dan kadar abu terbesar dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 1 M selama 4 jam.

Berdasarkan Gambar 2 kadar abu cenderung semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi KOH. Hal ini disebabkan karena konsentrasi aktivator yang tinggi menyebabkan jumlah zat-zat sisa pembakaran yang berupa tar didalam pori karbon aktif mengalami degradasi pada saat diaktivasi. Peranan KOH adalah untuk memperbanyak jumlah pori yang terbentuk dengan diameter yang dikontrol agar luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan tinggi (Melania, 2012).

Kemudian, waktu aktivasi yang lebih lama akan meningkatkan nilai kadar abu yang dihasilkan. Dapat dilihat pada gambar 2 bahwa nilai kadar abu meningkat pada waktu aktivasi 4 jam dibandingkan dengan waktu aktivasi 2 jam pada semua konsentrasi KOH. Pada dasarnya semakin lama waktu perendaman maka semakin kuat pengaruh larutan tersebut mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi untuk keluar melewati mikro pori-pori dari arang sehingga permukaan arang semakin besar yang mengakibatkan semakin besar daya serapnya dan membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan pada proses karbonisasi (Oktari, 2014). Namun, dari hasil penelitian yang diperoleh semakin lama waktu aktivasi karbon aktif, kadar abu yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini diperkuat oleh (Pari et al., 2004) menunjukkan pemakaian bahan kimia sebagai bahan pengaktif seringkali mengakibatkan pengotoran pada karbon aktif yang dihasilkan. Umumnya aktivator meninggalkan sisa-sisa yang tidak diinginkan, misalnya oksida yang tidak larut dalam air pada waktu pencucian.

Analisa Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif dan untuk mengetahui kandungan air yang tertinggal di pori-pori pada karbon aktif dari plastik PET. Kadar air yang rendah menunjukkan bahwa terdapat banyak rongga yang dapat ditempati adsorbat sehingga proses adsorpsi berlangsung dengan baik. Berikut hubungan antara konsentrasi

aktivator KOH dan waktu aktivasi terhadap kadar abu dapat dilihat pada Gambar 3 :

Kadar air yang dihasilkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995, yaitu berkisar antara 1,7% – 13,48%. Berdasarkan gambar 3 kadar air terkecil dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 1 M selama 2 jam dan kadar air terbesar dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 2 M selama 4 jam.

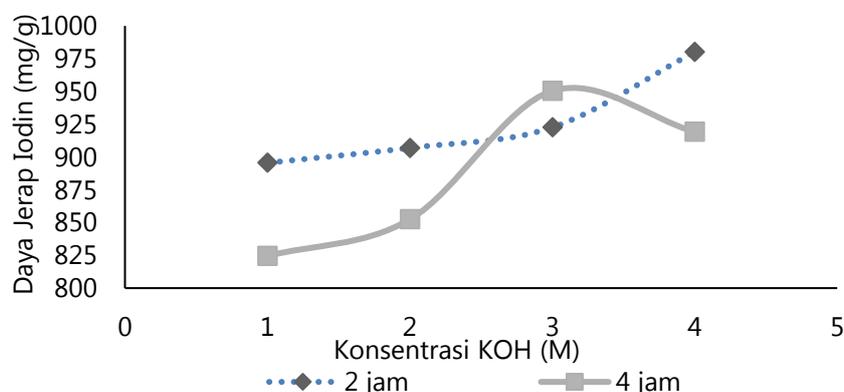
Menurut (Yakout and El-Deen, 2016), kadar air karbon aktif dipengaruhi oleh sifat higroskopis karbon aktif, jumlah uap air di udara, lama proses pendinginan, penggilingan dan pengayakan. Jenis zat aktivator juga berpengaruh dalam proses aktivasi karbon aktif. Fungsi dari zat aktivator adalah sebagai pengikat air pada karbon aktif yang masih tersisa dan menempel saat proses karbonisasi (Haryati et al., 2017). Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat terjadi fluktuatif terhadap hasil kadar air yang diperoleh seiring bertambahnya konsentrasi KOH. Kemudian, semakin lama waktu aktivasi kadar air yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini terjadi karena sifat higroskopis yang dimiliki karbon aktif, sehingga ketika melakukan pendinginan atau penyimpanan yang kurang baik karbon aktif akan menarik kandungan air yang ada di udara. Sesuai dengan pernyataan (Hendra, 2006), kadar air yang tinggi disebabkan oleh sifat higroskopis arang aktif dan juga adanya uap air yang terperangkap di dalam pori-pori karbon aktif terutama pada saat proses pendinginan.

Analisa Kadar Volatile Matter

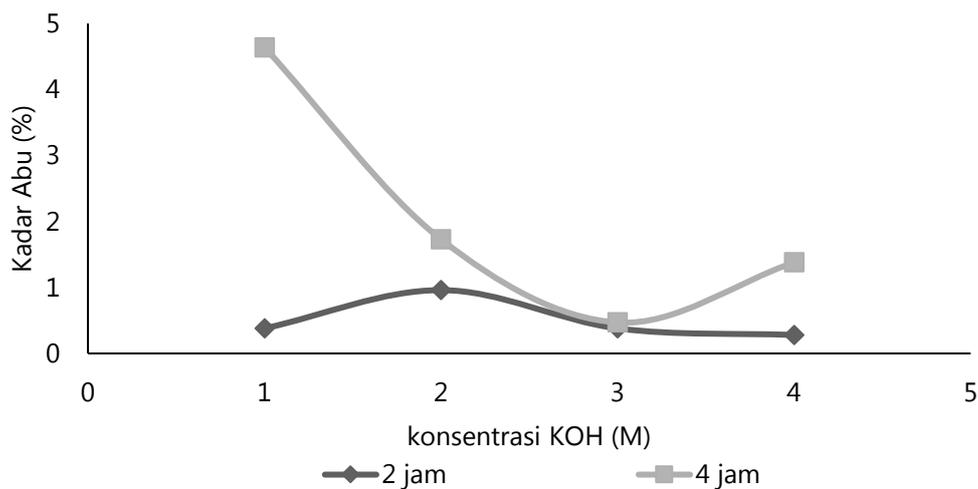
Penetapan kadar zat terbang (*Volatile Matter*) bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang dapat menguap pada suhu 950°C.

Kadar zat terbang merupakan jumlah zat yang menguap selama proses pembakaran sebagai produk dari dekomposisi senyawa pada arang. Kandungan utama zat terbang yaitu karbon monoksida (CO), metana (CH₄), dan hydrogen serta gas yang tidak mudah terbakar seperti CO₂ dan H₂O. Berikut hubungan antara konsentrasi aktivator KOH dan waktu aktivasi terhadap kadar volatile matter dapat dilihat pada Gambar 4.

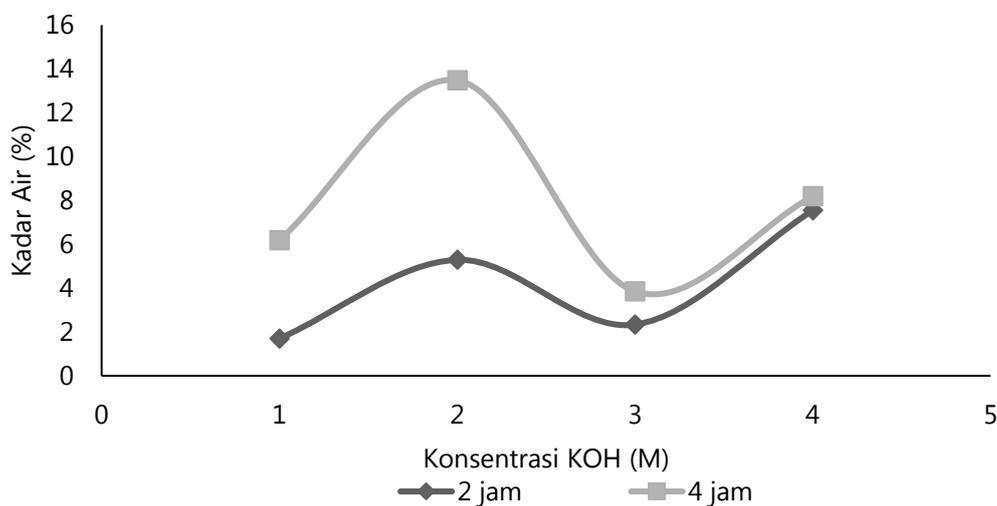
Kadar volatile matter yang dihasilkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995, yaitu berkisar antara 3,47% – 19,68%. Berdasarkan gambar 4 kadar *volatile matter* terkecil dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 4 M selama 2 jam dan kadar volatile matter terbesar dihasilkan pada karbon aktif dengan konsentrasi KOH 1 M selama 4 jam. Berdasarkan Gambar 4 semakin tinggi konsentrasi aktivator KOH maka kadar *volatile matter* yang dihasilkan semakin rendah. Menurut (Sirajuddin et al., 2019) hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi aktivator, maka semakin banyak senyawa yang mudah menguap larut dalam activator dan terbuang pada saat pencucian kadar zat mudah menguap pada karbon aktif semakin menurun. Kemudian, waktu aktivasi yang lebih lama akan meningkatkan nilai kadar volatile matter dari karbon aktif. Dapat dilihat pada Gambar 4 bahwa hasil uji kadar volatile matter untuk waktu aktivasi 4 jam lebih tinggi dibandingkan waktu aktivasi 2 jam untuk semua konsentrasi activator KOH. Menurut (Pari et al., 2006) menunjukkan bahwa tinggi rendahnya kadar zat terbang yang dihasilkan menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif masih ditutupi oleh senyawa non karbon sehingga mempengaruhi daya serapnya.



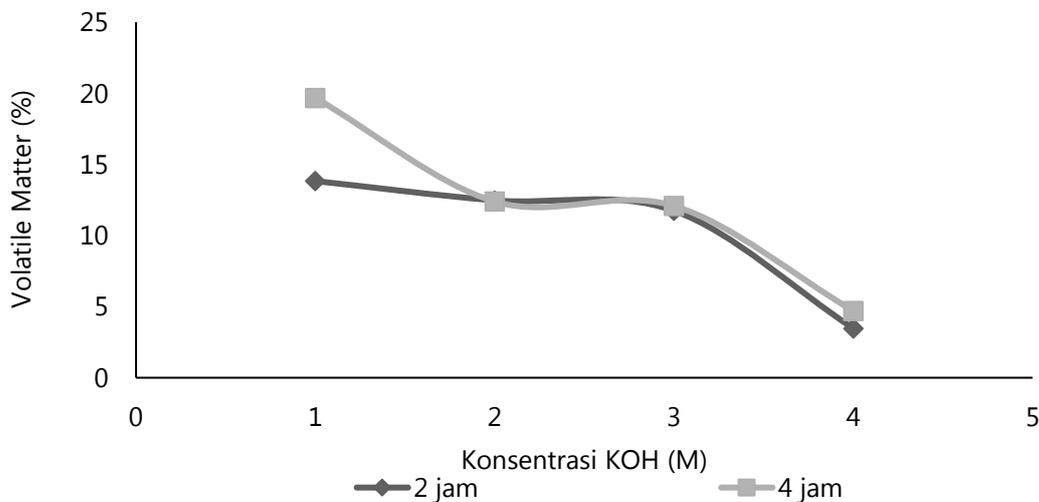
Gambar 1. Hubungan Konsentrasi KOH dan Waktu Aktivasi Terhadap Daya Serap Iod



Gambar 2. Hubungan Konsentrasi KOH dan Waktu Aktivasi Terhadap Kadar Abu



Gambar 3. Hubungan Konsentrasi KOH dan Waktu Aktivasi Terhadap Kadar Air



Gambar 4. Hubungan Konsentrasi KOH dan Waktu Aktivasi Terhadap Kadar Volatile Matter

KESIMPULAN

Pada penelitian ini karbon aktif yang dihasilkan telah memenuhi SNI 06-3730-1995 dengan nilai daya serap iod sebesar 824,45 – 980,17 mg/g, kadar abu sebesar 0,28% – 4,64%, kadar air sebesar 1,7% – 13,48%, dan kadar volatile matter sebesar 3,47% – 19,68%. Semakin tinggi konsentrasi aktivator KOH maka akan meningkatkan kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Dan waktu aktivasi yang lebih baik yaitu pada waktu aktivasi selama 2 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada P3M POLNES atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan meskipun terkendala adanya pandemi COVID-19.

DAFTAR PUSTAKA

- Cundari, L., Yanti, P. & Syaputri, K. 2016. Pengolahan Limbah Cair Kain Jumpatan Menggunakan Karbon Aktif Dari Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(3):26-33
- Haryati, S., Yulhan, A.T. & Asparia, L. 2017. Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Kayu Gelam (*Melaleuca leucadendron*) Yang Berasal Dari Tanjung Api-Api Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(2):77-86.
- Hendra, D. 2006. Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Sawit Dan Serbuk Kayu Gergajian Campuran. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24:117-132.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. & Law, K.L. 2015. Plastik Waste Inputs From Land Into The Ocean. *Science*, 347:768-771.
- Kumar, S., Panda, A.K. & Singh, R.K. 2011. A Review On Tertiary Recycling Of High-Density Polyethylene To Fuel. *Resources, Conservation And Recycling*, 55(11):893-910.
- Laos, L.E. 2016. Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 1:32-36.
- Melania, M. 2012. Produksi Karbon Aktif Dari Bambu Dengan Aktivasi Menggunakan Kalium Hidroksida. Skripsi. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Nurfitri, N., Febriyantiningrum, K., Utomo, W.P., Nugraheni, Z.V., Pangastuti, D.D., Maulida, H. & Ariyanti, F.N. 2019. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) Pada Karbon Aktif Dan Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb Dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya. *Akta Kimia Indonesia*, 4:75-85.
- Oktari, K. 2014. Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator HCl, NaOH Dan NaCl. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Oko, S., Mustafa, M., Kurniawan, A. & Palulun, E. S. B. 2021. Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Aktivator HCl Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Dari Ampas Kopi. *Metana*, 17(1):15-21.
- Pari, G., Sofyan, K. & Syafii, W. 2004. Pengaruh Lama Aktivasi Terhadap Struktur Dan Mutu Arang Aktif Serbuk Gergaji Jati (*Tectonagrandis Lf*). *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, 17, 33-44.
- Pari, G., Tohir, D., Mahpudin, M. & Ferry, J. 2006. Arang Aktif Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Bahan Adsorben Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(4):309-322.
- Rahmadani, N. & Kurniawati, P. Sintesis Dan Karakterisasi Karbon Teraktivasi Asam Dan Basa Berbasis Mahkota Nanas. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pembelajarannya 2017*, November, 2017. 154-161.
- Sirajuddin, S., Harjanto, H. & Trijuniarti, P. Karakteristik Arang Aktif Dari Limbah Mahkota Nanas (*Ananas Comosus (L) Merr*) Menggunakan Aktivator Kimia H₃PO₄. *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019*. p22-27.
- Suhendarwati, L., Suharto, B. & Susanawati, L.D. 2013. Pengaruh Konsentrasi Larutan Kalium Hidroksida Pada Abu Dasar Ampas Tebu Teraktivasi. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1(1):19-25.
- Surono, U.B. & Ismanto, I. 2016. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET Dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak Dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1(1):32-37.

Tutik, M. & Faizah, H. 2001. Aktifasi Arang Tempurung Kelapa Secara Kimia Dengan Larutan Kimia $ZnCl_2$, KCl Dan HNO_3 : Jurusan Teknik Kimia Uprn Yogyakarta.

Yakout, S. & El-Deen, G.S. 2016. Characterization Of Activated Carbon Prepared By Phosphoric Acid Activation Of Olive Stones. *Arabian Journal of Chemistry*, 9:S1155-S1162.

Yulianti, E., Mahmudah, R.A. & Royana, I. 2016. Pemanfaatan Biosorben Batang Jagung Teraktivasi Asam Nitrat Dan Asam Sulfat Untuk Penurunan Angka Peroksida–Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas. *Alchemy*, 5(1):9-18.