

Penyisihan Logam Berat Timbal pada Air Limbah Industri menggunakan Nano-Karbon Aktif Terimpregnasi NaOH dan H₃PO₄ Berbasis Tempurung Kelapa Sawit

Reza Fauzan¹, Suryani², Yuhanis³, Juanda⁴, Selvie Diana^{5*}

^{1,2,4,5} *Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe*

³ *Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹reza.fauzan@gmail.com

⁵selviediana@pnl.ac.id

Abstrak— Sintesis nano karbon aktif tempurung kelapa sawit (NCA) yang terimpregnasi NaOH dan H₃PO₄ sudah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh impregnan tersebut serta waktu adsorpsi 1, 2, 3, 4, 5 jam terhadap karakteristik dan struktur morfologi NCA, kapasitas penyerapan serta efisiensi penyisihan logam berat timbal menggunakan NCA terimpregnasi. Metode penelitian meliputi: tahap pembuatan nano karbon aktif, tahap impregnasi menggunakan NaOH dan H₃PO₄ serta tahap adsorpsi dengan waktu 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Hasil penelitian menunjukkan nano karbon aktif yang terimpregnasi H₃PO₄ (NCA1) dan yang terimpregnasi NaOH (NCA2) memiliki karakteristik yang sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi logam berat Pb terbaik dimiliki oleh karbon aktif NCA1 dengan nilai 48,212 mg/g dan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 96,424% pada waktu 6 jam. Berdasarkan hasil Scanning Electron Microscopy (SEM) diketahui nano karbon aktif tempurung kelapa sawit (NCA) memiliki luas permukaan pori rata-rata 129,204µm².

Kata kunci— Adsorpsi, impregnasi, karbon aktif, nano partikel, timbal.

Abstract— The synthesis of nanopalm shell activated carbon (NCA) impregnated with NaOH and H₃PO₄ has been carried out. The purpose of this study was to determine the effect of the impregnants and adsorption times of 1, 2, 3, 4, and 5 hours on the morphological characteristics and structure of NCA and the absorption capacity and efficiency of lead (Pb) removal using impregnated NCA. The research method included the following steps: the manufacturing step of nanoactivated carbon, the impregnation stage using NaOH and H₃PO₄, and the adsorption stage with a time of 1, 2, 3, 4, and 5 hours. The results showed that nano activated carbon impregnated with H₃PO₄ (NCA1) and impregnated with NaOH (NCA2) had characteristics according to SNI 06-3730-1995. The best adsorption capacity and adsorption efficiency of Pb are owned by activated carbon NCA1, with a value of 48.212 mg/g and an adsorption efficiency value of 96.424% at 6 hours. Based on the results of Scanning Electron Microscopy (SEM), it is known that nano palm shell activated carbon (NCA) has an average pore surface area of 129.204 m².

Keywords— Activated carbon, adsorption, impregnation, lead, nano-particle.

I. PENDAHULUAN

Salah satu dampak negatif dari perkembangan industri yang begitu pesat saat ini adalah pencemaran logam berat yang terdapat dalam air limbah industri. Logam berat merupakan bahan pencemar yang berbahaya karena bersifat toksik jika terdapat dalam jumlah besar dan mempengaruhi berbagai aspek dalam perairan. Salah satu logam berat yang dikategorikan logam berat beracun adalah timbal (Pb), dimana keberadaannya dalam tubuh manusia masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat meracuni tubuh manusia. Air limbah yang mengandung senyawa Pb dengan konsentrasi mencapai 188 mg/l dapat mengakibatkan kematian pada biota air seperti ikan dll [1].

Penyisihan logam berat dalam air limbah dapat dilakukan dengan metode membran, evaporasi, elektrokimia dan pemakaian resin. Metode-metode tersebut dianggap kurang efektif karena membutuhkan biaya pengoperasian yang besar. Salah satu metode yang ekonomis dan dianggap memiliki keunggulan dalam menyisihkan logam berat yaitu adsorpsi [2].

Beberapa tahun belakangan ini sudah banyak dikembangkan adsorben ekonomis (*low cost adsorbent*) dari limbah organik. Berlimpahnya tempurung kelapa sawit sebagai hasil samping dari industri minyak sawit di Indonesia yang mencapai 50,4 ton per hari dan memiliki kadar karbon 20,5% dapat dijadikan alternative bahan pembuatan karbon

aktif sehingga limbah tempurung kelapa sawit dapat bernilai ekonomis dan tidak membebani lingkungan [3]. Disamping itu perkembangan nanoteknologi yang sangat pesat dewasa ini dapat diterapkan dalam pembuatan karbon aktif berukuran nano. Nano karbon aktif dilaporkan memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga efisiensi penyerapan menjadi tinggi [4].

Berdasarkan latar belakang diatas maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon aktif berukuran nano dengan memanfaatkan limbah tempurung kelapa sawit untuk menyisihkan logam berat timbal dalam air limbah industri. Pembuatan karbon aktif dari bahan-bahan alami sebelumnya sudah dilakukan oleh banyak peneliti belakangan ini. Diketahui dari penelitian sebelumnya nano karbon aktif dari tempurung kelapa sawit mampu menyisihkan COD hingga 93% dengan menggunakan metode kalsinasi pada suhu 700°C [5]. Karbon aktif aktif dari limbah organik seperti kulit kacang almond, pistachio dan walnut memiliki ukuran partikel 50 -100 nm dengan metode aktivasi fisika [6]. Nano-karbon aktif dari limbah ampas teh juga diketahui memiliki ukuran partikel 20-40 nm dengan aktivasi kimia menggunakan H₃PO₄ [7]. Selain itu penelitian nano karbon aktif dari tulang ikan dilaporkan dapat menyisihkan logam berat kromium (Cr) hingga 99,4% [8]. Pada penelitian ini dilakukan sintesis nano karbon aktif tempurung kelapa sawit (NCA) terimpregnasi NaOH dan H₃PO₄ dengan memanfaatkan limbah tempurung kelapa sawit untuk adsorpsi logam timbal pada air limbah industry selama 1, 2, 3, 4, 5 jam.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pilot Plant dan Laboratorium Pengolahan Air dan Limbah Politeknik Negeri Lhokseumawe. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tempurung kelapa sawit, aquadest, NaOH 0,1 N, H₃PO₄ 10% dan larutan limbah artificial dari senyawa Pb(NO₃)₂. Sedangkan alat-alat yang digunakan berupa neraca analitik, gelas ukur 250 ml, beaker glass 250 ml, spatula, pipet tetes, ball pipet, kuvet, stopwatch, crusher, peralatan adsorpsi, erlenmeyer, furnace, ball mill, Atomic Absorption Spectrofometry (AAS) Shimadzu AA-7000.

A. Pembuatan Karbon Aktif

Persiapan bahan baku: tempurung kelapa sawit dikeringkan dengan oven 110 °C selama 24 jam. Kemudian dilakukan penggilingan hingga halus dengan ukuran 200 mesh kemudian dikarbonisasi selama 2 jam pada suhu 250 °C dan kemudian dicuci hingga pH netral dengan air destilat pada suhu 85°C [9].

Tahap pembuatan nano partikel karbon aktif: Karbon aktif tempurung kelapa sawit dimasukkan ke dalam *Ball Mill* untuk ditumbuk menjadi ukuran nano selama 40 jam.

Tahap impregnasi: nano karbon aktif tempurung kelapa sawit diimpregnasi menggunakan NaOH dan H₃PO₄. 50 gram Nano karbon aktif yang sudah ditumbuk dicampur dengan 200 ml NaOH 0,1 N untuk perlakuan pertama dan dicampur 200 ml H₃PO₄ 10% (v/v) untuk perlakuan kedua. Campuran diaduk hingga homogen lalu dipanaskan selama 3 jam pada suhu 85°C. Campuran kemudian disaring dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam.

B. Pengujian Karakteristik Nano Karbon Aktif

Menghitung kadar air: ditimbang 1 gram sampel+cawan yang sudah diketahui beratnya lalu dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator lalu ditimbang dan dilakukan perhitungan kadar air dengan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = (a-b)/a \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- a= berat karbon aktif mula-mula (gram)
- b= berat karbon aktif akhir (gram)

Menghitung kadar abu (%): ditimbang 1 gram sampel dalam metal *plate* yang sudah diketahui beratnya lalu diabukan dalam furnace sampai seluruh sampel menjadi abu, kemudian dinginkan dalam desikator lalu ditimbang dan dilakukan perhitungan kadar abu dengan rumus:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = (W1 - W2)/(W) \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- W1 = cawan kosong + berat karbon (gram)
- W2 = cawan kosong (gram)
- W = cawan kosong + setelah diabukan (gram)

Menghitung daya serap iodium (Bilangan Iodin): ditimbang 0,1 gr karbon aktif dan dicampurkan kedalam 10 ml larutan iodium 0,1 N kemudian diaduk selama 15 menit

menggunakan pengaduk magnetik. Titrasi terlebih dahulu 10 ml larutan iodium dengan natrium tiosulfat hingga titik akhir (berubah warna). Perhitungan bilangan iodin dilakukan dengan persamaan:

$$\text{Bilangan Iodin} = \frac{(V1-V2) \times 0,1 \times 126,9}{0,1} \text{ mg/g} \dots\dots\dots(3)$$

V1 pada persamaan bilangan iodin didapatkan dari volume natrium tiosulfat yang dibutuhkan untuk merubah warna larutan iodium. Setelah 15 menit, ambil 5 ml campuran karbon aktif dan iodium. Kemudian titrasi 5 ml campuran karbon aktif dan iodium tersebut dengan larutan natrium tiosulfat. V2 pada persamaan bilangan iodin didapatkan dari volume yang dibutuhkan untuk titrasi campuran karbon aktif dan iodium hingga berubah warna. Kemudian masukkan data V1 dan V2 kedalam persamaan bilangan iodin untuk mendapatkan hasilnya [10].

C. Proses Adsorpsi untuk Menyisihkan Logam Timbal

Nano karbon aktif tempurung kelapa sawit dimasukkan ke dalam beaker glass 500 ml sebanyak 1 gram, kemudian ditambahkan sampel larutan limbah artificial dari senyawa Pb(NO₃)₂ hingga volume menjadi 500 ml. Selanjutnya campuran diaduk menggunakan flokulator dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit. Setelah waktu pengontakkan selesai, filtrate hasil adsorpsi diambil, kemudian diukur kandungan ion Pb dengan menggunakan instrument AAS Shimadzu tipe AA-7000.

D. Analisa Struktur Morfologi

Struktur morfologi permukaan dari nano karbon aktif tempurung kelapa sawit (NCA) dianalisa menggunakan *Scanning Electrone Microscopy* (SEM).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Impregnan terhadap Karakteristik Karbon Aktif NCA

Karbon aktif tempurung kelapa sawit disintesis menjadi ukuran nano (NCA) dan ukuran 200 mesh (CA). Proses reduksi partikel menjadi 200 mesh dilakukan menggunakan ayakan dan kemudian dilakukan proses reduksi ukuran dari 200 mesh menjadi ukuran nano menggunakan *ball mill* selama 40 jam. Karbon aktif NCA dan CA kemudian diimpregnasi menggunakan larutan NaOH 1 N dan larutan H₃PO₄ 1 N. Sebelum dilakukan proses adsorpsi untuk penyisihan logam berat Pb maka masing-masing karbon aktif dianalisa terlebih dahulu kadar air, kadar abu dan daya serap terhadap iod untuk mengetahui kualitas karbon aktif yang sesuai dengan SNI 06-3730-1995.

1) Kadar Air

Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif yang dihasilkan. Dari Gambar 1. diketahui bahwa keempat jenis karbon aktif memiliki kadar air dibawah 15% dimana angka tersebut merupakan batas maksimum kadar air sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995. Kadar air tertinggi terdapat pada karbon aktif berukuran 200 mesh yang terimpregnasi NaOH (CA2) sebesar 6,40%, lalu diikuti oleh karbon aktif berukuran 200 mesh yang terimpregnasi larutan H₃PO₄ (CA1) sebesar 4,26% dan karbon aktif berukuran nano yang terimpregnasi NaOH

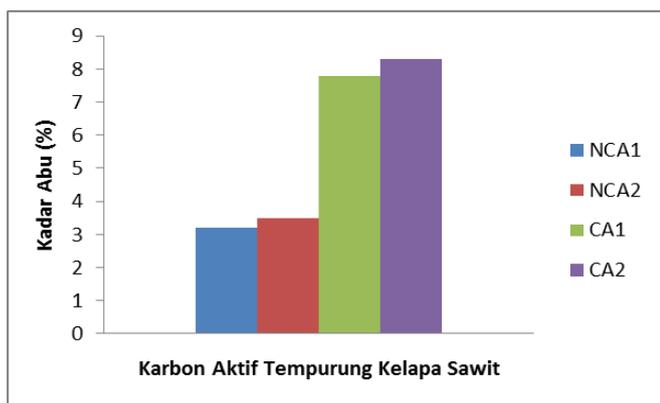
(NCA2) sebesar 2,50%. Kadar air terendah terdapat pada karbon aktif berukuran nano yang terimpregnasi larutan H_3PO_4 (NCA1) yaitu sebesar 1,42 %, hal ini dikarenakan H_3PO_4 memiliki sifat *dehydrating agent* yang lebih besar dibanding dengan NaOH. *Dehydrating agent* merupakan sifat pengikat/penyerap air yang disebabkan oleh stuktur adsorben yang tersusun dari 6 atom C pada setiap sudut heksagonal yang memungkinkan butir-butir air terperangkap didalamnya sehingga kadar air dari karbon aktif terimpregnasi H_3PO_4 lebih rendah [11].



Gambar 1. Nilai Kadar Air Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit: nano karbon aktif terimpregnasi H_3PO_4 (NCA1), nano karbon aktif terimpregnasi NaOH (NCA2), karbon aktif 200 mesh terimpregnasi H_3PO_4 (CA1) dan karbon aktif 200 mesh terimpregnasi NaOH (CA2)

2) Kadar Abu

Kadar abu pada karbon aktif tempurung kelapa sawit ditentukan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam arang aktif. Kadar abu karbon aktif merupakan sisa yang tertinggal pada saat karbon aktif dibakar. Berdasarkan SNI karbon aktif dalam bentuk serbuk yang baik memiliki kadar abu total maksimal sebesar 10%. Sama hal seperti kadar air, dari gambar 2 terlihat kadar abu terendah terdapat pada karbon aktif berukuran nano yang terimpregnasi H_3PO_4 (NCA1) yaitu sebesar 3,20%. Sebagai agen aktivator, H_3PO_4 dapat menyerap kandungan mineral pada bahan yang akan dijadikan karbon aktif sehingga mencegah terbentuknya abu pada karbon aktif.

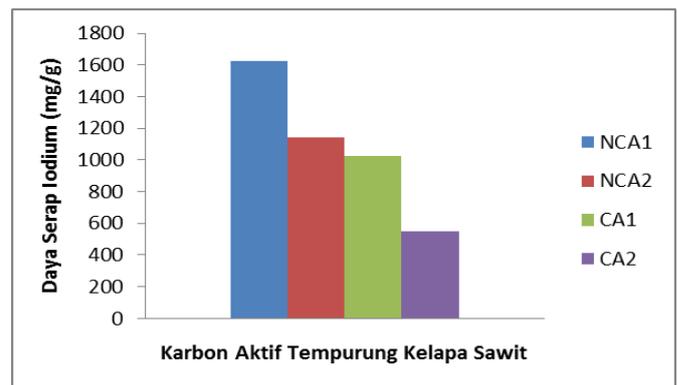


Gambar 2. Nilai Kadar Abu Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit: nano karbon aktif terimpregnasi H_3PO_4 (NCA1), nano karbon aktif terimpregnasi NaOH (NCA2), karbon aktif 200 mesh terimpregnasi H_3PO_4 (CA1) dan karbon aktif 200 mesh terimpregnasi NaOH (CA2)

3) Daya Serap Iod

Daya serap terhadap iodin ditentukan dengan tujuan mengetahui kemampuan adsorpsi dari karbon aktif yang

dihasilkan terhadap larutan berbau. Daya serap iodin diperoleh dari analisis filtrat campuran iodin dan karbon aktif. Analisis dilakukan dengan titrasi iodometri lalu dihitung daya serap karbon aktif tempurung kelapa sawit terhadap larutan iodin dalam mg/gram. Dari Gambar 3 terlihat nano karbon aktif yang terimpregnasi H_3PO_4 (NCA1) memiliki daya serap iodin yang paling tinggi yaitu sebesar 1627 mg/g dan diikuti oleh nano karbon aktif terimpregnasi NaOH (NCA2) yang memiliki daya serap ion sebesar 1142 mg/g. Nilai tersebut sudah memenuhi standar daya serap iod sesuai SNI dimana nilai minimum daya serap iod sebesar 750 mg/g. Sedangkan karbon aktif tempurung kelapa sawit berukuran 200 mesh yang terimpregnasi NaOH (CA1) memiliki nilai daya serap iod yang belum memenuhi standar SNI yaitu sebesar 548 mg/g.



Gambar 3. Nilai daya serap iod karbon aktif tempurung kelapa sawit: nano karbon aktif terimpregnasi H_3PO_4 (NCA1), nano karbon aktif terimpregnasi NaOH (NCA2), karbon aktif 200 mesh terimpregnasi H_3PO_4 (CA1) dan karbon aktif 200 mesh terimpregnasi NaOH (CA2)

Nano karbon aktif yang terimpregnasi H_3PO_4 memiliki daya serap yang lebih baik dibandingkan dengan nano karbon aktif terimpregnasi NaOH. Hal ini disebabkan asam phosphate yang merupakan zat pengikat air dapat lebih sempurna untuk melarutkan zat-zat organik maupun anorganik yang terikat dalam material karbon sehingga diperoleh karbon dengan pori yang lebih bersih dan terbuka sehingga mampu menyerap lebih banyak adsorbat [11].

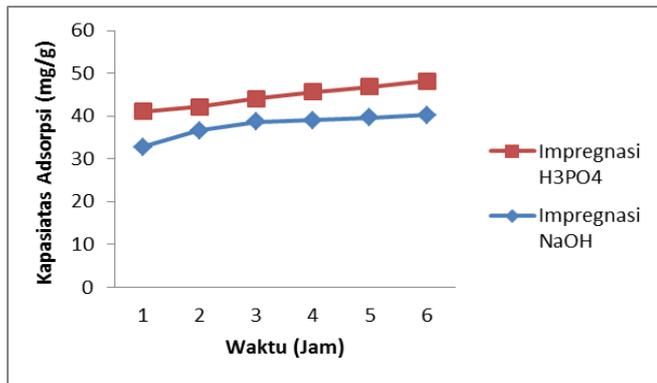
B. Pengaruh Waktu Adsorpsi terhadap Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif NCA

Pada penelitian ini telah dilakukan proses adsorpsi logam berat timbal (Pb) dalam limbah artificial dengan konsentrasi awal Pb sebesar 50 ppm dan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 jam. Karbon aktif yang digunakan untuk adsorpsi logam berat Pb adalah NCA1 dan NCA2. Dari grafik 4 dapat dilihat terjadi kenaikan kapasitas adsorpsi pada waktu 2 jam dan kapasitas adsorpsi terus meningkat sampai waktu 6 jam. Kenaikan ini disebabkan oleh semakin lama waktu adsorpsi maka semakin banyak ion logam Pb yang mengalami kontak dengan karbon aktif, sehingga semakin banyak ion logam Pb yang terserap [10].

Semakin waktu kontak dinaikkan, maka semakin besar pula ion logam Pb yang teradsorpsi oleh gugus fungsi. Hal ini dikarenakan gugus fungsi hidroksil (-OH dari CH_2OH) karbon aktif belum berinteraksi secara maksimal dengan ion logam Pb pada waktu interaksi 1 dan 2 jam, sehingga ion logam Pb yang teradsorpsi oleh gugus fungsi pada waktu kontak 1 dan 2 jam lebih kecil dari pada waktu kontak 3, 4, 5,

dan 6 jam [5]. Waktu kontak yang lama akan memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang terserap berlangsung dengan baik dan juga menyebabkan terjadinya ikatan antara logam dengan gugus OH lebih baik.

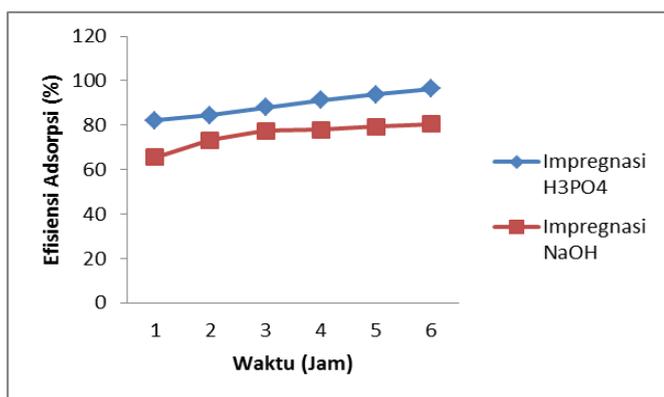
Terjadinya adsorpsi logam pada nano karbon aktif tempurung kelapa sawit dikarenakan adanya ikatan kimia antara logam dengan karbon aktif tempurung kelapa sawit yang mengandung selulosa. Gugus OH pada selulosa menyebabkan terjadinya sifat polar pada karbon aktif tersebut, sehingga selulosa lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar seperti logam [12].



Gambar 4. Kapasitas Adsorpsi nano karbon aktif terimpregnasi H₃PO₄ (NCA1) dan nano karbon aktif terimpregnasi NaOH (NCA2)

Kapasitas adsorpsi terbesar terjadi saat waktu 6 jam pada nano karbon aktif yang terimpregnasi H₃PO₄ (NCA1) sebesar 48,212 ppm. Pada nano karbon aktif terimpregnasi H₃PO₄ terjadi penyerapan oleh OH, CH, C-OH dan CH₂ pada unit glikosil dalam karbon aktif sehingga menghasilkan pola serapan dengan jenis ikatan OH, C=O, dan C-O. Adanya ikatan OH dan C-O menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan cenderung polar sehingga dapat lebih kuat menyerap senyawa polar logam berat Pb [12].

Selain kapasitas adsorpsi, dari Gambar 5 terlihat bahwa nano karbon aktif yang terimpregnasi larutan H₃PO₄ 1 N juga memiliki persen penyisihan ion logam Pb terbaik yaitu 96,424 % pada waktu adsorpsi 6 jam.



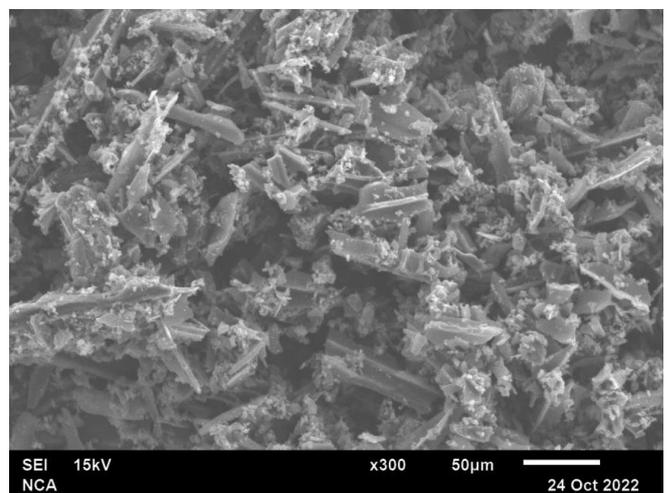
Gambar 5. Efisiensi Adsorpsi nano karbon aktif terimpregnasi H₃PO₄ (NCA1) dan nano karbon aktif terimpregnasi NaOH (NCA2)

Nano karbon aktif tempurung kelapa sawit yang terimpregnasi H₃PO₄ (NCA1) memiliki kemampuan menyerap ion Pb yang lebih baik dibandingkan dengan karbon aktif terimpregnasi NaOH. Impregnasi H₃PO₄ yang bereaksi dengan karbon aktif membentuk mikropori pada permukaan karbon. Mikropori pada permukaan berfungsi sebagai tempat

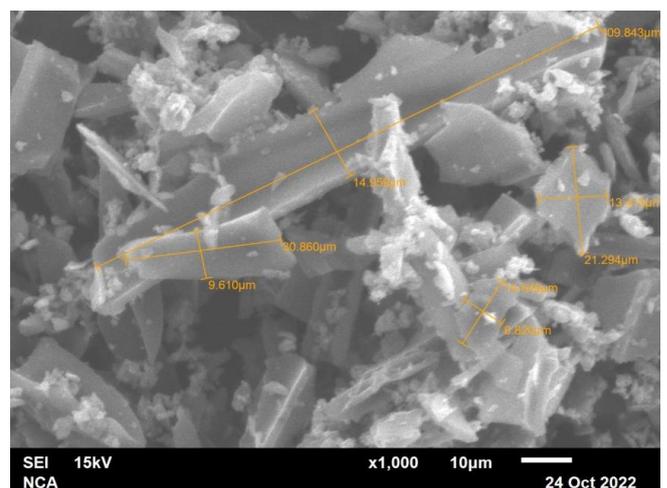
berlangsungnya peyerapan. Hal ini semakin membuat permukaan penyerapan pada karbon aktif semakin luas sehingga daya serapnya juga semakin tinggi [13].

C. Struktur Morfologi Nano Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit

Analisa morfologi menggunakan alat *Scanning Elctron Microscopy* (SEM) pada penelitian ini bertujuan untuk melihat bentuk permukaan dan pori karbon aktif yang dihasilkan. Pada penelitian ini, SEM dilakukan pada karbon aktif tempurung kelapa sawit setelah proses milling (NCA). Dari Gambar 6 terlihat pada perbesaran 300X permukaan NCA memiliki pori-pori yang belum homogen sehingga proses impregnasi diperlukan untuk memperluas permukaan pori yang lebih homogen. Dari Gambar 7 terlihat karbon aktif NCA memiliki luas permukaan pori rata-rata 129,204µm².



Gambar 6. Struktur Permukaan NCA pada Pembesaran 300x



Gambar 7. Struktur Permukaan NCA pada Pembesaran 1000x

IV. KESIMPULAN

Nano karbon aktif yang terimpregnasi H₃PO₄ (NCA1) dan yang terimpregnasi NaOH (NCA2) memiliki karakteristik yang sesuai dengan SNI 06-3730-1995. Kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi logam berat Pb terbaik dimiliki oleh

karbon aktif NCA1 dengan nilai 48,212 mg/g dan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 96,424% pada waktu 6 jam.

REFERENSI

- [1] S Jaishankar, M et al., 2014, Biosorption of Few Heavy Metal Ions Using Agricultural Wastes, *Journal of Environment Pollution and Human Health*, Vol. 2, No. 1.
- [2] Alfarrar, R.S., Ali, N.E., Yusoff, M.M., 2014, Removal of Heavy Metals by Natural Adsorbent: Review, *International Journal of Biosciences*, Vol. 4, No. 7.
- [3] Susanto, J.P., Santoso, A.D., Suwedi, N., (2017) Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbarukan dengan Metode LCA, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), pp 165-172.
- [4] Y.Yin, H.Wang, D.Li, W.Jing, Y.Fan, W.Xing, Fabrication of Mesoporous titania-Zirconia Composite Membranes Based on Nanoparticles Improved Hydrosol, *Journal Colloid Interface Science*. 478 (2016) 136.
- [5] Abechi S.E, Gimba C.E, Uzairu A, Dallatu Y.A, 2014, Preparation and Characterization of Activated Carbon from Palm Kernel Shell by Chemical Activation Abechi, *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol. 3(7), 54-61.
- [6] Hayder A. Alalwan, Mohammed A. Kadhom and Alaa H. Alminshid, 2020, Removal of Heavy Metals from Wastewater using Agricultural by Products, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*.
- [7] D.R.P. Wijaya, Yohanes Martono, C.A. Riyanto, 2018, Synthesis and Characterization of Nano Activated Carbon Tea Waste (*Camellia sinensis* L.) Viewed from the Content and Ratio of Orthophosphoric Acid, *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, Vol. 3, No. 2, Hal. 12-21.
- [8] D. Prabu, P. Senthil Kumar, B. Senthil Rathi, S. Sathish, K. Vijai Anand, J. Aravind Kumar, Osama B. Mohammed, P. Silambarasan, 2022, Feasibility of Magnetic Nano Adsorbent Impregnated with Activated Carbon from Animal Bone Waste: Application for The Chromium (VI) Removal, *Environmental Research* 203.
- [9] Olawale, A.S et al., 2015, Preparation of Phosphoric Acid Activated Carbons from *Canarium Schweinfurthii* Nutshell and its Role in Methylene Blue Adsorption, *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, Vol. 6, No. 2.
- [10] Toth, Jozsef, 2002., *Adsorption Theory, Modeling, and Analysis*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- [11] Thomas, Merlin & Patel, Sagar & Patel, Ankit & Patel, J. (2017). A comparative study on the efficiency of KOH and H₃PO₄ impregnated jackfruit leaf based carbon as adsorbent for removal of Cr (VI) from its aqueous solution. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 45. 176-182.
- [12] Mentari, V. A., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelempah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Asam Nitrat (HNO₃). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16-20.
- [13] Kristianto, H., Arie, A.A., 2015, Pengaruh Rasio Impregnant ZnCl₂ dan Temperatur Karbonisasi terhadap Luas Permukaan Karbon Aktif dari Kulit Jeruk. *Jurnal Integrasi Proses*, Vol. 5, No. 3.