

PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI ARANG TEMPURUNG KELAPA DENGAN AKTIVATOR $ZnCl_2$ DAN Na_2CO_3 SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENGURANGI KADAR FENOL DALAM AIR LIMBAH

Gilar S. Pambayun, Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoellah, Endah M.M. Putri
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: prof_rachimoellah@yahoo.com

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat karbon aktif dari arang tempurung kelapa sesuai dengan SII No.0258 – 79 ; untuk mengetahui karakteristik kadar air, kadar abu, iodine number dan surface area karbon aktif dari arang tempurung kelapa ; untuk mempelajari pengaruh konsentrasi dan jenis aktivator terhadap efisiensi penurunan kandungan konsentrasi fenol (persen removal) menggunakan karbon aktif dari arang tempurung kelapa ; menentukan kapasitas optimum penyerapan fenol dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa karbon aktif dapat dibuat dari arang tempurung kelapa dengan aktivasi kimia $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 disertai pirolisis pada suhu 700 °C selama 4 jam. Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan telah sesuai dengan SII No.0258–79, kadar air sebesar 0,382-1,619%, kadar abu 2,28-7,79%, iodine number 448,02-1599,72 mg/g, surface area 189,630-1900,69 m²/g. Semakin tinggi konsentrasi aktivator maka semakin tinggi persen removal dari fenol yang telah diadsorpsi oleh karbon aktif. Persen removal tertinggi didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na_2CO_3 5% dengan persen removal sebesar 99,745%. Kapasitas optimum penyerapan fenol dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa terbaik didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na_2CO_3 5% dengan kapasitas serapan sebesar 220,751 mg fenol/gram karbon aktif.

Kata Kunci— karbon aktif, arang tempurung kelapa, zat pengaktif, adsorpsi, fenol, limbah

I. PENDAHULUAN

Fenol merupakan limbah cair yang biasanya berasal dari industri tekstil, perekat, obat, dan sebagainya. Fenol dikenal juga sebagai monohidroksibenzena, merupakan kristal putih yang larut dalam air pada temperatur kamar [1]. Fenol merupakan senyawa organik (C_6H_5OH) yang berbau khas dan bersifat racun serta korosif terhadap kulit (menimbulkan iritasi) [2], sehingga perlu adanya penanganan limbah fenol agar kadar fenol tidak melebihi ambang batas yang ditentukan pemerintah, sebab kadar fenol dalam air sangat berpengaruh besar dalam penentuan kualitas air. Salah satu metode dalam penurunan limbah fenol dari industri adalah dengan mengadsorpsi limbah ke dalam media, hal ini dilakukan dengan memasukan adsorben (karbon aktif) dalam air sehingga limbah fenol akan diserap oleh adsorben.

Tempurung kelapa kebanyakan hanya dianggap sebagai limbah industri pengolahan kelapa, ketersediaannya yang melimpah dianggap masalah lingkungan, namun *renewable*, dan murah. Padahal arang tempurung kelapa ini masih dapat diolah lagi menjadi produk yang mempunyai nilai ekonomis tinggi yaitu sebagai karbon aktif atau arang aktif [3].

Industri pembuatan karbon aktif di Indonesia telah mengalami kemajuan yang cukup pesat. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya permintaan pasar, baik di dalam negeri maupun untuk diekspor ke luar negeri. Peningkatan kebutuhan akan karbon aktif ini diakibatkan oleh semakin

banyaknya aplikasi karbon aktif untuk industri dan berbagai peralatan bantu manusia. Karbon aktif dapat dipergunakan untuk berbagai industri, antara lain yaitu industri obat-obatan, makanan, minuman, pengolahan air (penjernihan air) dan lain-lain. Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi dan kimia [4]. Bahan baku yang dapat dibuat menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang ataupun barang tambang. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu-bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi. Bila bahan-bahan tersebut dibandingkan, tempurung kelapa merupakan bahan terbaik yang dapat dibuat menjadi karbon aktif karena karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa memiliki mikropori yang banyak, kadar abu yang rendah, kelarutan dalam air yang tinggi dan reaktivitas yang tinggi [5].

Dari dasar ini mengapa penelitian terhadap arang tempurung kelapa sebagai dasar pembuatan arang aktif atau karbon aktif untuk penurunan kadar fenol dalam air limbah perlu dilakukan, selain untuk meningkatkan nilai ekonomis dari tempurung kelapa juga sebagai sarana untuk pengurangan kadar fenol dalam air limbah.

II. URAIAN PENELITIAN

Pembuatan karbon aktif ini merupakan proses gabungan antara kimia dan fisika dengan perendaman dengan aktivator dan pemanasan dengan injeksi nitrogen pada suhu tinggi yang bertujuan memperbanyak pori dan membuat porositas baru sehingga karbon aktif mempunyai daya serap tinggi [6]. Proses pembuatan karbon aktif meliputi tahap-tahap sebagai berikut: Variabel penelitian yang digunakan adalah variabel tetap (suhu aktivasi 700 °C; waktu aktivasi 4 jam, waktu perendaman dalam larutan pengaktif selama 24 jam; massa karbon aktif untuk adsorpsi fenol sebanyak 1 gram; waktu adsorpsi fenol selama 3 jam; kecepatan pengadukan 150 rpm), variabel bebas (zat pengaktif yaitu $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 ; konsentrasi zat pengaktif yaitu 2,5 % w/w, 5 % w/w, 7,5 % w/w; serta konsentrasi fenol yaitu 100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L), dan variabel respon (kadar air, kadar abu, iodine number, surface area karbon aktif, persen removal, dan kapasitas penyerapan fenol).

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan aktivasi arang tempurung kelapa menggunakan metode gabungan kimia (merendam dengan larutan pengaktif $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3) dan fisika (pemanasan dengan injeksi gas nitrogen). Kemudian mencuci arang hasil aktivasi dengan aquadest dan dikeringkan di dalam oven. Kemudian karbon aktif dihaluskan sampai ukuran 80 mesh lalu dianalisis kadar air, kadar abu, iodine number, dan surface area karbon aktif. Setelah itu karbon aktif ditimbang sebanyak 1 gram dan

digunakan untuk adsorpsi fenol disertai pengadukan dengan magnetic stirrer dengan konsentrasi fenol sesuai variabel selama 3 jam, kemudian karbon aktif dipisahkan dari larutan fenol dengan menggunakan kertas saring. Setelah proses pemisahan, larutan fenol (filtrat) kemudian dianalisis *persen removal* dan menghitung kapasitas penyerapan fenol untuk semua variabel. Analisis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan larutan blanko aquades untuk mengukur absorbansi larutan fenol. Mendapatkan kadar konsentrasi fenol tersisa setelah adsorpsi (C dalam mg/L) dengan spektrofotometer. Menghitung persen removal dengan persamaan

$$persen\ removal = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100\%$$

Dimana C_0 adalah konsentrasi awal fenol (mg/L) Untuk kapasitas penyerapan (q) dalam mg/g dihitung berdasarkan massa fenol yang teradsorpsi terhadap massa karbon aktif

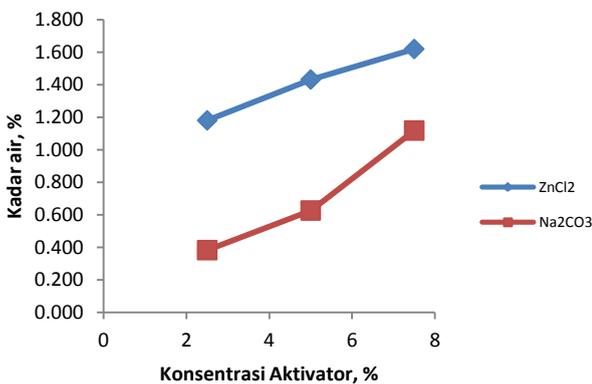
$$q = \frac{(C_0 - C)V}{m} \times 100\%$$

Dimana V merupakan volume larutan fenol dan m merupakan massa karbon aktif

III. HASIL PENELITIAN

Tabel 3.1 Karakteristik raw material (arang tempurung kelapa)

Jenis Analisis	Hasil pengujian
Kadar air	5,672 %
Kadar abu	10,32 %
Surface area (BET)	11



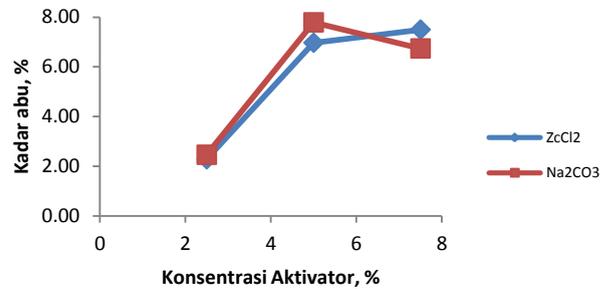
Gambar 3.1 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar air

Berdasarkan gambar 3.1 terlihat bahwa kadar air karbon aktif pada berbagai variabel memenuhi Standar Industri Indonesia, yaitu kadar air maksimal yang diizinkan sebesar 15%, dimana pada karbon aktif yang dihasilkan mempunyai kadar air tertinggi sebesar 1,619 % yaitu pada variabel aktivator ZnCl₂ 7,5 %. Dari gambar 3.1 juga menunjukkan kadar air pada aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi zat pengaktif, dimana untuk aktivator ZnCl₂ kadar air naik dari 1,180% sampai 1,619 % sedangkan untuk aktivator Na₂CO₃ meningkat dari 0,382% sampai 1,117 % . Hal ini disebabkan semakin pekat konsentrasi zat pengaktif maka proses pelarutan tar sisa karbonisasi dan mineral organik pada permukaan arang akan lebih optimal, sehingga pori-pori yang dihasilkan akan

semakin banyak. Pori-pori yang bertambah banyak ini juga meningkatkan sifat karbon aktif untuk menyerap air dari udara (sifat higroskopis) [5].

Dari hasil yang didapatkan juga terlihat (gambar 3.1) bahwa pada aktivator ZnCl₂ didapat kadar air yang lebih tinggi dari aktivator Na₂CO₃, menunjukkan bahwa pori-pori yang dihasilkan pada proses aktivasi dengan menggunakan aktivator ZnCl₂ lebih banyak sehingga sifat higroskopis dari karbon aktif juga semakin meningkat,

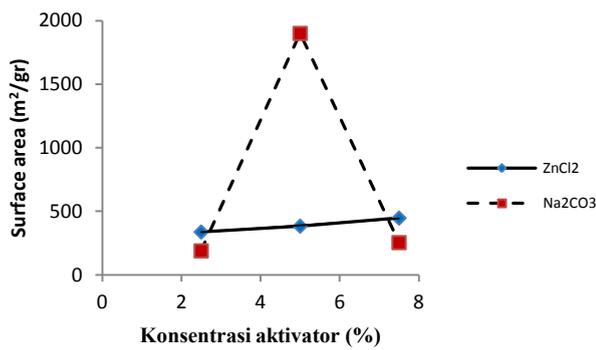
Pada arang sebelum diaktivasi mempunyai kadar air yang lebih tinggi yaitu sebesar daripada arang sesudah diaktivasi yaitu 5,672 %. Hal ini disebabkan setelah proses aktivasi, sebagian besar air yang terikat pada arang teruapkan pada proses pirolisis. Sehingga kadar air menurun secara signifikan [7].



Gambar 3.2 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar abu

Grafik pada gambar 3.2 menunjukkan nilai kadar abu dari karbon aktif pada variabel aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ sesuai dengan SII no. 0258-79 yaitu maksimal sebesar 10 %. Kadar abu terendah didapat pada variabel ZnCl₂ 2,5 % sebesar 2,28 % dan kadar abu tertinggi pada variabel Na₂CO₃ 5 % sebesar 7,79 %. Berdasarkan gambar 3.2 juga terlihat bahwa kadar abu cenderung meningkat pada aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃. Pada dasarnya semakin pekat larutan zat pengaktif yang digunakan, maka semakin memperluas permukaan dari arang aktif karena pori yang dihasilkan semakin banyak. Dalam pembentukan pori, selama proses pemanasan terjadi proses pembakaran bidang permukaan dari karbon aktif yang menghasilkan abu, sehingga semakin banyak pori yang dihasilkan maka kadar abu yang dihasilkan juga semakin tinggi [5].

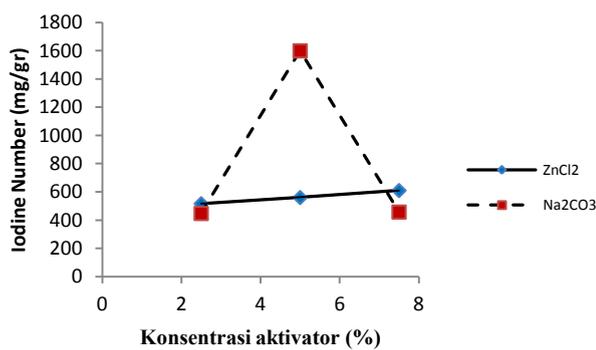
Dari hasil analisis juga terlihat, bahwa kadar abu arang sebelum aktivasi sangat tinggi dibandingkan sesudah aktivasi yaitu sebesar 10,32 %. Hal ini dikarenakan pada arang tempurung kelapa sebelum diaktivasi masih mengandung tar dan mineral organik yang tinggi, sehingga pada proses pengabuan menghasilkan kadar abu yang tinggi. Tar dan mineral organik yang menutupi pori arang ini, kemudian terlarutkan saat proses perendaman dengan aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ sehingga menurunkan kadar abu dari arang.



Gambar 3.3 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap surface area karbon aktif

Dari Gambar 3.3, dapat dilihat pada aktivator ZnCl₂, semakin tinggi konsentrasi zat pengaktif yang digunakan maka semakin besar surface area dari arang aktif. Di mana surface area tertinggi pada aktivator ZnCl₂ dicapai pada konsentrasi aktivator 7,5 % yaitu sebesar 447,534 m²/gram dan terendah pada konsentrasi aktivator 2,5 % yaitu sebesar 338,873 m²/gram. Zat pengaktif (aktivator) berfungsi sebagai agen pelarut mineral organik dan tar sisa pembakaran arang yang menutupi pori-pori arang, sehingga semakin tinggi konsentrasi zat pengaktif maka semakin banyak pula mineral organik dan tar yang melarut, hal ini menyebabkan terbukanya pori-pori arang (memperluas permukaan karbon aktif) [8].

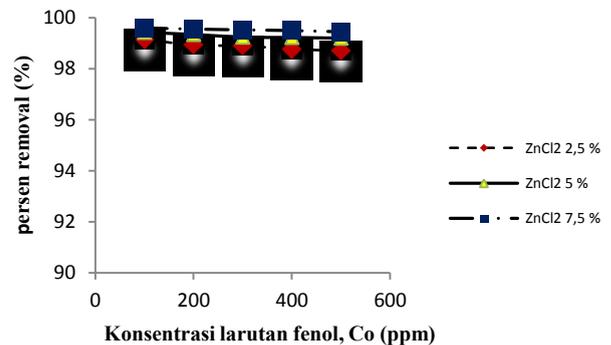
Pada arang aktif dengan aktivator Na₂CO₃, naiknya konsentrasi zat pengaktif tidak diiringi dengan naiknya surface area karbon aktif. Terlihat (gambar 3.3) bahwa pada konsentrasi Na₂CO₃ 5 % didapat surface area yang tertinggi yaitu 1906,9 m²/g, sedangkan untuk konsentrasi 2,5 % dan 7,5 % berturut turut sebesar 189,63 m²/g dan 254,603 m²/g. Hal ini kemungkinan kondisi optimum untuk mendapatkan surface area karbon yang terbesar adalah dengan konsentrasi zat pengaktif Na₂CO₃ sebesar 5%.



Gambar 3.4 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap daya serap iodine

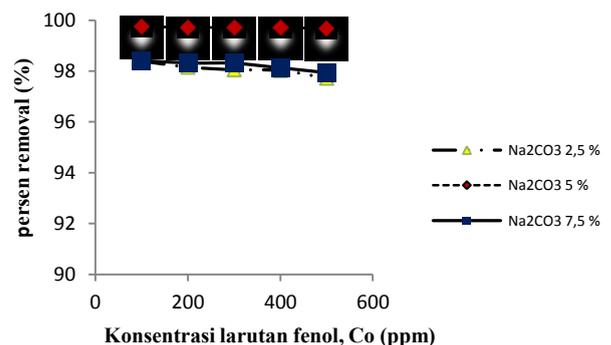
Berdasarkan hasil analisis daya serap iodine, menunjukkan bahwa karbon aktif dengan daya serap iodine terbaik adalah karbon dengan aktivator Na₂CO₃ 5% yaitu sebesar 1599,72 mg/g karbon. Dari keseluruhan hasil analisis, daya serap iodine yang didapat masih memenuhi SII no. 0258-79, dimana daya serap terhadap iodine minimum sebesar 200 mg/g karbon. Dari gambar 3.4 menunjukkan kenaikan konsentrasi aktivator juga meningkatkan daya serap terhadap iodium, dimana nilai daya serap iodine tertinggi pada aktivator ZnCl₂ didapat pada konsentrasi aktivator 7,5% sebesar 610,38 mg/g. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya konsentrasi aktivator maka semakin banyak pori yang terbentuk sehingga daya

serap karbon aktif juga meningkat. Tetapi pada aktivator Na₂CO₃, daya serap iodine tertinggi didapat pada aktivator 5%. Meskipun demikian nilai iodine number ini berbanding lurus dengan nilai surface area, dimana pada kurva surface area terlihat juga bahwa pada aktivator Na₂CO₃ juga terjadi penyimpangan, dengan nilai surface area tertinggi juga didapat pada aktivator Na₂CO₃ konsentrasi 5%.



Gambar 3.5 Persen removal fenol karbon aktif dengan aktivator ZnCl₂

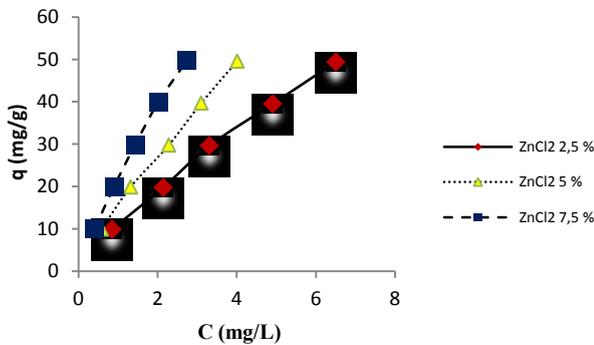
Persen removal merupakan besarnya konsentrasi fenol yang terserap oleh karbon aktif per konsentrasi awal fenol. Pengaruh konsentrasi fenol awal untuk adsorpsi terhadap adsorpsi fenol ditunjukkan pada gambar 3.5, dimana pada karbon aktif dengan aktivator ZnCl₂, persen removal turun seiring dengan kenaikan konsentrasi awal fenol (dari 100 ppm sampai 500 ppm) sesuai dengan penelitian [9]. Hal ini menunjukkan kemampuan pori dari karbon aktif dalam mengadsorpsi, semakin kecil konsentrasi fenol maka semakin sedikit pula pori yang tertutup oleh fenol, sehingga pada konsentrasi fenol yang tinggi kemungkinan pori-pori karbon aktif yang tertutup fenol lebih banyak, dan juga tercapai keadaan yang jenuh yaitu karbon sudah tidak dapat lagi menyerap fenol (pori-pori arang mengikat fenol pada konsentrasi optimum). Dengan ini semakin bertambahnya konsentrasi fenol maka persen removal dari fenol akan menurun, seperti pada gambar 3.5 dimana persen removal menurun dari 99,151 % sampai 98,701 % untuk aktivator ZnCl₂ 2,5%; 99,423% sampai 99,198 % untuk ZnCl₂ 5%; dan 99,592 % sampai 99,452 % untuk ZnCl₂ 7,5%. Persen removal tertinggi didapat pada konsentrasi aktivator 7,5%. Kenaikan konsentrasi aktivator ZnCl₂ juga diikuti kenaikan persen removal dari fenol.



Gambar 3.6 Persen removal fenol karbon aktif dengan aktivator Na₂CO

Pada aktivator Na₂CO₃ terlihat tren yang sama dengan aktivator ZnCl₂, yaitu terjadi penurunan persen removal seiring dengan bertambahnya konsentrasi fenol [9]. Untuk persen removal tertinggi didapat pada variabel Na₂CO₃ 5%,

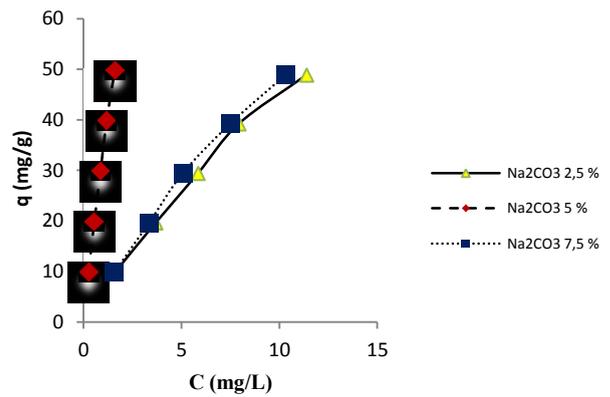
berkisar antara 99,745 % sampai 99,680 %. Persen removal yang tinggi ini dicapai karena karbon aktif dengan aktivator Na_2CO_3 5% mempunyai surface area yang tertinggi dibandingkan variabel yang lain yaitu sebesar $1900,69 \text{ m}^2/\text{g}$ karbon aktif. Sedangkan pada konsentrasi Na_2CO_3 2,5% didapat persen removal antara 97,722% sampai 98,386% dan konsentrasi Na_2CO_3 7,5% sebesar 97,934 sampai 98,418%. Pada hal ini terjadi kenaikan persen removal seiring dengan kenaikan konsentrasi aktivator seperti pada ZnCl_2 , tetapi pada aktivator Na_2CO_3 terjadi penyimpangan dimana pada kadar Na_2CO_3 5% nilai persen removal merupakan yang terbesar, seperti pada harga *iodine number* maupun *surface area*.



Gambar 3.7 Hubungan antara konsentrasi akhir fenol dengan kapasitas serapan karbon aktif terhadap fenol pada aktivator ZnCl_2

Pada gambar 3.7 terlihat daya serap fenol pada berbagai konsentrasi ZnCl_2 yang saling berbanding lurus dengan C. Daya serap fenol terbaik dicapai pada konsentrasi ZnCl_2 7,5% sebesar $49,726 \text{ mg fenol/g karbon}$ pada konsentrasi awal fenol (C_0) sebesar 500 ppm dan konsentrasi fenol setelah adsorpsi (C) $2,741 \text{ ppm}$. Dari gambar 3.7 juga menunjukkan, pada konsentrasi aktivator 2,5 % dan 5 %, daya serap karbon aktif lebih kecil dibandingkan dengan karbon aktif dengan aktivator ZnCl_2 7,5%, hal ini terlihat dari konsentrasi fenol setelah adsorpsi yang lebih besar pada berbagai variabel konsentrasi fenol (100-500 ppm).

Untuk aktivator Na_2CO_3 juga diperoleh hubungan yang saling berbanding lurus antara daya serap fenol dengan konsentrasi fenol saat setimbang, seperti ditunjukkan pada gambar 3.8. Tetapi daya serap tertinggi diperoleh pada variabel Na_2CO_3 5% pada berbagai konsentrasi fenol (100-500 ppm), dimana daya serap fenol tertinggi mencapai $49,840 \text{ mg fenol/g karbon}$ pada konsentrasi awal fenol 500 ppm dan konsentrasi fenol akhir (C) sebesar $1,600 \text{ ppm}$. Hal ini disebabkan pada karbon dengan aktivator Na_2CO_3 mempunyai surface area yang tertinggi, sehingga kemampuan penyerapan fenol juga lebih tinggi.

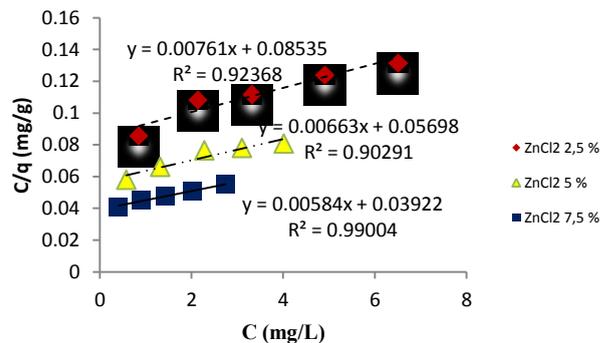


Gambar 3.8 Hubungan antara konsentrasi akhir fenol dengan kapasitas serapan karbon aktif terhadap fenol pada aktivator Na_2CO_3

Kapasitas penyerapan optimum dari karbon aktif diperoleh menggunakan pendekatan model persamaan Langmuir, dengan persamaan

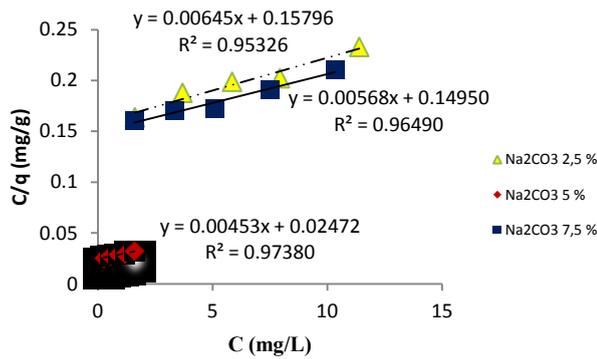
$$\frac{C}{q} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C}{Q_0}$$

Dengan menarik regresi dari plot hubungan antara C dengan C/q, diperoleh slope $1/Q_0$. Dimana Q_0 merupakan jumlah fenol yang terserap (mg/g arang) untuk membentuk satu lapisan monolayer [10] seperti ditunjukkan pada gambar 3.9 dan 3.10



Gambar 3.9 Model pendekatan Langmuir untuk karbon aktif dengan aktivator ZnCl_2

Dengan melihat gambar 3.9, model pendekatan Langmuir sesuai dengan model adsorpsi yang terjadi pada karbon aktif, terlihat dari nilai koefisien korelasi (R^2) yang mendekati nilai 1. Untuk karbon aktif dengan aktivator 2,5%; 5%; 7,5% masing-masing diperoleh slope 0,00761; 0,00663; 0,00584, yang kemudian dikonversi untuk mendapatkan harga kapasitas optimum penyerapan (Q_0) yaitu masing-masing $131,406 \text{ mg/g}$; $150,830 \text{ mg/g}$; $171,233 \text{ mg/g}$. Daya serap tertinggi untuk ZnCl_2 diperoleh pada konsentrasi 7,5%. Nilai ini berbanding lurus dengan surface area karbon aktif dan *iodine number*.



Gambar 3.10 Model pendekatan Langmuir untuk karbon aktif dengan aktivator Na₂CO₃

Berdasarkan gambar 3.10, untuk aktivator Na₂CO₃ masing-masing diperoleh harga slope 0,00645; 0,00453; 0,00568 untuk variabel 2,5%; 5%; 7,5%, sehingga didapat harga Q sebesar 155,039 mg/g; 220,751 mg/g; 176,056 mg/g. Dengan nilai daya serap tertinggi diperoleh pada konsentrasi aktivator 5%. Nilai ini berbanding lurus dengan surface area yang didapatkan, dimana surface area tertinggi didapatkan pada aktivator Na₂CO₃ konsentrasi 5%. Kelinearan data dalam kurva model Langmuir dalam hal ini sangat berpengaruh besar dalam penentuan harga kapasitas serapan yang didapatkan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Arang tempurung kelapa dapat dibuat menjadi karbon aktif sesuai SII No.0258 – 79 dengan metode aktivasi fisika (pirolisis 700 °C selama 4 jam dengan injeksi nitrogen) dan aktivasi kimia (perendaman dengan aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃).
2. Karbon aktif yang dihasilkan telah memenuhi syarat SII No.0258 – 79, dengan karakteristik sebagai berikut:
 - Kadar air 0,382-1,619%, maksimum 15%
 - Kadar abu 2,28-7,79%, maksimum 10%
 - Iodine number 448,02-1599,72 mg/g, minimum 200 mg/g
 - Surface area 189,630-1900,69 m²/g
3. Semakin tinggi konsentrasi aktivator, maka semakin tinggi persen removal dari fenol yang telah diadsorbsi oleh karbon aktif. Pada penelitian ini persen removal tertinggi didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na₂CO₃ 5% dengan persen removal sebesar 99,745%.
4. Kapasitas optimum penyerapan fenol dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa terbaik didapat pada karbon aktif dengan zat aktivator Na₂CO₃ 5% dengan kapasitas serapan sebesar 220,751 mg fenol/gram karbon aktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkah-Nya, kami dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS. Untuk itu, kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS; Prof. Dr. Ir. H. M. Rachimoallah, Dipl. EST selaku Kepala Laboratorium Biomassa dan Konversi Energi dan sekaligus dosen pembimbing kami; Setiyo Gunawan, ST. Ph.D. selaku Koordinator Tugas Akhir

Teknik Kimia FTI-ITS; Bapak/Ibu dosen penguji; Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS; Kedua orang tua kami dan keluarga yang telah banyak memberikan dukungan moral, spiritual, dan material tentunya; Rekan - rekan seperjuangan dari Laboratorium Biomassa dan Konversi Energi, dan teman-teman angkatan 2008; Semua pihak lain yang terlibat dalam penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wirawan, Teguh. 2012. *Adsorpsi Fenol Oleh Arang Aktif Dari Tempurung Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. Universitas Mulawarman-Samarinda
- [2] Putranto, Ari Dwi dan Razif, M. 2005. *Pemanfaatan Kulit Biji Mete Untuk Arang Aktif Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Parameter Phenol*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya.
- [3] Dhidan, K. Samar. 2012. *Removal of Phenolic Compounds from Aqueous Solution by Adsorption on to Activated Carbons Prepared from Date Stones by Chemical Activation with FeCl₃*. Chemical Engineering Department-College Of Engineering-University Of Baghdad-Iraq.
- [4] Pari, G. dan Sailah, I. 2001. *Pembuatan Arang Aktif Dari Sabut Kelapa Sawit Dengan Bahan Pengaktif NH₄HCO₃ Dan (NH₄)₂CO₃ Dosis Rendah*. Bogor
- [5] Subadra, I. Setiaji, B. dan Tahir, I. 2005. *Activated Carbon Production From Coconut Shell With (NH₄)HCO₃ Activator As An Adsorbent In Virgin Coconut Oil Purification*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [6] Sembiring, M. dan Sinaga, T. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [7] Sudradjat, R. Tresnawati, D. dan Setiawan, D. 2004. *Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. Bogor.
- [8] Budiono, Ari, dkk. 2007. *Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan Asam Sulfat dan Asam Fosfat Untuk Adsorpsi Fenol*. Universitas Diponegoro.
- [9] Qadeer, R. dan Rehan, A. H. 2002. *A Study Of The Adsorption Of Phenol By Activated Carbon From Aqueous Solutions*. Pakistan.
- [10] Dinar dan Fauzi. 2007. *Adsorpsi Methylene Blue Dengan Karbon Aktif Dari Char Gambut*. Surabaya: ITS.