

KARAKTERISASI DAN ADSORPSI KARBON TERSULFONASI DARI BAMBU ANDONG DENGAN PERBEDAAN UKURAN PARTIKEL

(The characterization and adsorption properties of sulfonated carbon from andong bamboo with different particle sizes)

Lisna Efiyanti¹, Angelica Paramasari², Poedji Hastoeti¹, Dadang Setiawan¹, Novitri Hastuti¹, Nela Rahmati Sari³, & Ani Iryani²

¹Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Raya Jakarta-Bogor km 46, Cibinong, Bogor 16911

²Departemen Kimia, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan PO BOX 452, Bogor 16143

³Pusat Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, Jl Gunung Batu no 5, Bogor 16618

E-mail: lisnaefiyanti@gmail.com

Diterima 25 April 2022, direvisi 1 Juli 2022, disetujui 24 Juli 2022

ABSTRACT

Carbon has many benefits as an adsorbent, catalyst, drug delivery, energy, and it can be produced from various resources, including lignocellulosic biomass. One of the potential biomass for carbon material is bamboo. The particle size is usually inversely proportional to the surface area and adsorption level; therefore, studying the particle size of activated carbon is essential. This research aims to produce carbon and sulfonated carbon from andong bamboo to understand the effect of particle size on the characteristics and adsorption capacity. The method for this research was the pyrolysis of andong bamboo into sulfonated carbon bioproducts using H₂SO₄ 10N with variations in particle size of 60 and 100 mesh. The proximate analysis of activated carbon based on Indonesian National Standard (SNI) No.06-3730-1995 includes moisture content, ash content, volatile matter content, and fixed carbon. Sulfonated carbon adsorption analysis was conducted on iodine, methylene blue, ammonia, chloroform, and benzene compounds. The result showed that the proximate parameters of activated carbon produced had met the SNI requirements. The adsorption capacity of activated carbon on the adsorption of iodine, methylene blue, ammonia, chloroform, and benzene was 421.71–432.50 mg/g; 20.35–21.90 mg/g; 9.55–9.98 mmol/g; 10.16–15.03%, and 4.63–5.83%, respectively. Based on andong sulfonated carbon data, it can be used as an adsorbent and renewable green catalyst.

Keywords: Adsorbent, proximate carbon, iodine adsorption

ABSTRAK

Karbon memiliki banyak manfaat diantaranya sebagai adsorben, katalis, penghantar obat, energi dan dapat diproduksi dari berbagai sumber, termasuk biomassa berlignoselulosa. Salah satu biomassa potensial sebagai bahan baku karbon yaitu bambu. Tujuan penelitian ini yaitu pembuatan karbon dan karbon tersulfonasi dari bahan baku bambu andong untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap karakter dan kekuatan adsorpsinya. Ukuran partikel umumnya berbanding terbalik dengan luas permukaan dan daya jerapnya, sehingga ukuran partikel penting untuk diteliti. Metode yang dilakukan yaitu pirolisis bambu andong menjadi bioproduk karbon dan karbon tersulfonasi menggunakan H₂SO₄ 10N dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh. Selanjutnya, dilakukan analisa proksimat karbon dan karbon tersulfonasi berdasarkan SNI No 06-3730-1995 yang meliputi kadar air, abu, zat mudah menguap, dan karbon terikat. Analisa adsorpsi karbon dan karbon tersulfonasi juga dilakukan terhadap senyawa iod, metilen biru, amonia, kloroform, dan benzena. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter proksimat karbon tersulfonasi yang dihasilkan telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI. Daya jerap karbon tersulfonasi yang terhitung pada adsorpsi iod, metilen biru, amonia, kloroform dan benzena masing-masing sebesar 421,71–432,50 mg/g; 20,35–21,90 mg/g; 9,55–9,98 mmol/g; 10,16–15,03%, dan 4,63–5,83%. Dari data tersebut, karbon tersulfonasi dapat digunakan sebagai adsorben maupun katalis hijau terbarukan.

Kata kunci: Adsorben, karbon proksimat, daya jerap iod

I. PENDAHULUAN

Bambu merupakan tanaman berlignoselulosa cepat tumbuh yang mudah diperoleh di Indonesia. Bambu juga memiliki banyak jenis dan hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan menjadi kerajinan. Untuk

memperluas nilai tambah bambu, dilakukan konversi bambu menjadi bioproduk maju seperti karbon aktif. Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan baku berlignoselulosa melalui proses pirolisis dengan keterbatasan oksigen (Ridhuan & Suranto, 2017).

Perolehan karbon/arang umumnya menggunakan pirolisis suhu 300–500°C yang bertujuan untuk memecah komponen lignoselulosa menjadi karbon dan senyawa turunan lain. Kemudian dilakukan proses aktivasi menggunakan dua jenis aktivator, baik fisika maupun kimia. Tujuannya adalah untuk memperbesar ukuran pori karbon dan memecah ikatan hidrokarbon ataupun mengoksidasi molekul permukaan sehingga terbentuk karbon aktif dengan luas permukaan dan kemurnian karbon yang tinggi (Tetra et al., 2017).

Karbon aktif memiliki banyak manfaat diantaranya sebagai adsorben, katalis, superkapasitor, bahan baku komposit, peredam bunyi, dan pengurang polusi. Manfaat tersebut didasari oleh karakter karbon aktif yang memiliki pori dan luas permukaan yang besar, kestabilan termal yang baik, serta memiliki siklus hidup yang cukup panjang. Beberapa karakter tersebut tentu saja berpengaruh terhadap pemanfaatan karbon aktif itu sendiri. Pada proses adsorpsi yang menggunakan karbon aktif sebagai adsorben, maka sifat karbon aktif, sifat larutan, sistem kontak serta luas permukaan karbon aktif menjadi faktor yang berpengaruh pada daya adsorpsi yang terjadi (Anggriani et al., 2021). Beberapa limbah yang perlu dijerap menggunakan adsorben karbon aktif diantaranya limbah iod dari limbah rumah sakit (Rahmi et al., 2018), zat warna metilen biru dari limbah industri terutama tekstil dan industri kosmetik (Efiyanti et al., 2020), amonia dari limbah industri domestik (Nurhidayanti et al., 2020,) serta kloroform dan benzena dari industri solven. Penyebaran zat-zat tersebut ke lingkungan yang melebihi ambang batas akan menyebabkan kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia.

Salah satu proses untuk memperbaiki karakter karbon agar dapat dimanfaatkan dengan optimal yaitu dengan penambahan senyawa kimia seperti asam sulfat yang disebut dengan sulfonasi. Untuk membentuk suatu karbon tersulfonasi, dilakukan reaksi antara material karbon dengan asam sulfat dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Sumber karbon tersebut dapat berasal dari berbagai bahan baku, termasuk biomassa bambu. Setelah karbon dan sulfat bereaksi, maka akan terbentuk gugus sulfonat dengan kandungan H^+ yang akan berfungsi sebagai asam dan terikat pada struktur aromatik karbon (Batubara et al., 2018).

Penggunaan karbon aktif bambu sebagai adsorben telah banyak diteliti diantaranya bambu Ori untuk adsorpsi iod dengan daya jerap hingga 851 mg/g (Tumimomor et al., 2017) dan 698,12 mg/g (Huda et al., 2020), dan bambu betung sebagai adsorben ion Zn^{2+} dan SO_4^{2-} dengan masing-masing adsorpsi

optimum mencapai 68,061% dan 57,445% (Hartati et al., 2016). Penggunaan biosorben karbon aktif dengan ukuran partikel 60 dan 100 mesh memberikan mutu minyak jelantah yang berbeda, diketahui perlakuan terbaik yaitu pada ukuran 100 mesh dengan kadar air, bilangan peroksida, dan asam lemak bebas masing-masing 0,19%, 0,59 meq/kg, dan 1,69% (Zunifer & Ayu, 2020). Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon dari bambu andong yang disulfonasi menggunakan asam sulfat serta dikarakterisasi sifat proksimat dan daya jerap terhadap berbagai jenis adsorbat sehingga dapat diketahui pengaruh variasi ukuran partikel terhadap karakter dan daya adsorpsinya.

II. BAHAN DAN METODE

A. Alat dan Bahan

Beberapa bahan yang digunakan adalah bambu andong sebagai bahan baku/prekursor karbon, akuades, H_2SO_4 , metilen biru, $Na_2S_2O_3$, iod, benzena, kloroform, dan amonia. Bahan kimia tersebut memiliki *pure analysis grade* (p.a) dari brand Merck. Alat yang digunakan adalah reaktor pirolisis, tanur, peralatan gelas, pH indikator (Merck), saringan 60 dan 100 mesh, desikator, sentrifus, dan spektrofotometer UV-Vis.

B. Metode Penelitian

Bambu (termasuk buku dan kulit) dipreparasi dengan dipotong hingga berukuran 5x3 cm untuk kemudian dipirolisis pada reaktor dengan suhu 400°C selama 4 jam. Kemudian, karbon yang terbentuk dihaluskan serta masing-masing disaring menggunakan saringan berukuran 60 dan 100 mesh. Selanjutnya, karbon tersebut direndam menggunakan H_2SO_4 10N selama 24 jam, kemudian dicuci menggunakan akuades hingga pH netral. Sampel karbon hasil sulfonasi kemudian dioven hingga kering pada suhu $102 \pm 3^\circ$ dan dianalisa proksimat menggunakan metode SNI. Beberapa parameter yang dianalisa yaitu kadar air, kadar abu, dan kadar karbon terikat. Kemudian karbon tersulfonasi tersebut dinilai daya jerapnya terhadap senyawa iod, metilen biru, amonia, kloroform, dan benzena.

1. Rendemen (ASTM 1979)

Rendemen dihitung berdasarkan persamaan

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{bobot karbon sulfonasi (g)}}{\text{bobot karbon (g)}} \times 100 \dots (1)$$

2. Kadar Air (SNI 06-3730-1995)

Kadar air ditentukan dengan cara pengeringan di dalam oven bersuhu 105°C selama 4 jam.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{b} \times 100 \dots (2)$$

Keterangan (*Remark*):

a = Bobot sampel awal (g), b = Bobot sampel akhir (g)

3. Kadar Abu (SNI 06-3730-1995)

Sampel karbon (1–2 g) ditempatkan pada cawan dan dipanaskan dalam tanur selama 6 jam pada suhu 650°C, kemudian didinginkan dan ditimbang hingga berat konstan.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{bobot akhir (g)}}{\text{bobot awal (g)}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

4. Kadar Zat Mudah Menguap/Zat Terbang (SNI 06-3730-1995)

Sampel karbon (1–2 g) ditempatkan pada cawan dan dipanaskan dalam tanur selama 10 menit pada suhu 950°C, kemudian didinginkan dan ditimbang hingga berat konstan.

$$\text{Kadar Zat Mudah Menguap (\%)} = \frac{a-b}{b} \times 100 \dots\dots (4)$$

Keterangan (*Remark*):

a = Bobot sampel awal (g),

b = Bobot sampel akhir (g)

5. Kadar Karbon Terikat (SNI 06-3730-1995)

Kadar karbon terikat dihitung berdasarkan persamaan

$$\text{Kadar karbon} = 100\% - (\% \text{ zat mudah menguap} + \text{kadar abu}) \dots\dots (5)$$

6. Daya jerap iod (SNI 06-3730-1995)

Sampel karbon sebanyak 0,25 g dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan 25 mL larutan I₂ 0,1 N dan dikocok selama 15 menit. Campuran kemudian disaring dan filtrat dititrasi menggunakan Na₂SO₃ 0,1 N dengan penambahan indikator amilum 1% hingga warna biru tepat hilang. Perhitungan daya jerap iod mengikuti persamaan:

$$\text{Daya Jerap Iod} = \frac{A - \frac{B \times N (\text{Na}_2\text{SO}_3)}{N (\text{Iodin})} 12.693 \text{ fp}}{\alpha} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan (*Remark*):

A = volume filtrat (mL);

B = volume Na₂S₂O₃ yang terpakai (mL);

fp = faktor pengenceran ;

α = bobot karbon/karbon tersulfonasi (g);

12.693 = jumlah iodine sesuai 1 mL larutan Na₂S₂O₃

7. Daya jerap metilen Biru (SNI 06-3730-1995)

Karbon sebanyak 0,25 g dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambah 25 mL metilen biru 1.200 mg/L kemudian dikocok selama 30 menit dan disaring. Filtrat diambil dan diencerkan serta diukur absorbansinya dengan spektroskopi UV–VIS pada panjang gelombang 664 nm. Perhitungan daya jerap metilen biru mengikuti persamaan:

$$\text{Daya jerap metilen biru} = \frac{((\frac{\text{mL metilen biru}}{1000} \times 100 \text{ mg/L}) - (\frac{\text{mL metilen biru}}{1000} \times C \times fp))}{\text{bobot karbon (g)}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan (*Remark*):

C = konsentrasi metilen biru;

fp = faktor pengenceran

8. Daya jerap amonia (Lestari et al., 2019)

Karbon sebanyak 0,1 g ditempatkan pada cawan dan dimasukkan ke dalam desikator yang telah dijenuhkan dengan amonia. Proses adsorpsi dilakukan selama ±24 jam. Setelah selesai, sampel kemudian ditimbang hingga konstan. Perhitungan daya jerap amonia mengikuti persamaan:

$$\text{Daya jerap amonia} = \frac{(W_3 - W_2)}{(W_2 - W_1)M} \times 1000 \text{ mmol/g} \dots\dots (9)$$

Keterangan (*Remark*):

W₁ = berat cawan kosong;

W₂ = berat sampel dan cawan sebelum adsorpsi (g),

W₃ = berat sampel dan cawan setelah adsorpsi (g),

M = berat molekul basa ammonia (g/mol)

9. Daya jerap benzena dan kloroform

Sebanyak 0,25 g sampel ditempatkan pada cawan dan dimasukkan ke dalam desikator yang telah dijenuhkan dengan masing-masing uap adsorbat. Proses adsorpsi kemudian dilakukan selama ±24 jam. Setelah selesai, sampel kemudian ditimbang hingga konstan. Perhitungan daya jerap benzena dan kloroform mengikuti persamaan:

$$\text{Daya jerap benzena/kloroform (\%)} =$$

$$\frac{\text{bobot setelah adsorpsi (g)} - \text{bobot sebelum adsorpsi (g)}}{\text{bobot sebelum adsorpsi (g)}} \times 100 \dots\dots (8)$$

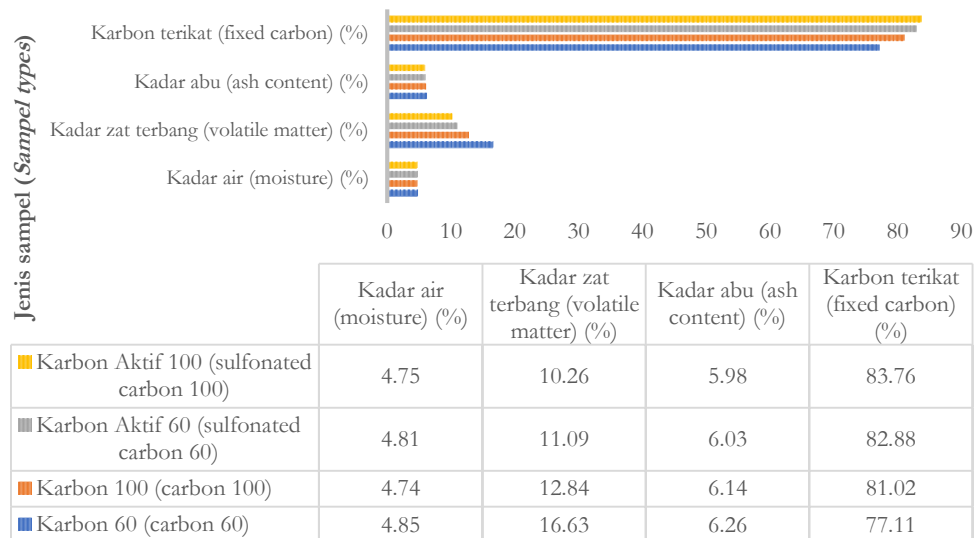
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen karbon dan karbon aktif

Proses pembuatan karbon tersulfonasi dilakukan dengan 2 tahap, yaitu pirolisis bahan baku bambu sebanyak 5.164 g (untuk 2x pirolisis) selama 4 jam sehingga menghasilkan bobot karbon sebanyak 1.495 g. Kemudian dilanjutkan proses sulfonasi menggunakan asam sulfat sehingga menghasilkan 1268 g atau sebanyak 24,55% rendemen terhadap bahan baku (Tabel 1). Berkurangnya rendemen setelah proses pirolisis dan sulfonasi karena terjadi dekomposisi komponen lignoselulosa, penghilangan deposit hidrokarbon dan mineral lain pada reaksi antara asam sulfat dengan karbon (Sukoyo et al., 2019). Pada proses pirolisis, selain karbon, juga dihasilkan asap cair sebanyak 2.301 g karena selain bambu terkonversi menjadi produk padatan berupa karbon, proses ini juga menghasilkan uap yang dapat dikondensasi menjadi asap cair. Kedua bioproduct pirolisis tersebut memiliki banyak manfaat, diantaranya sebagai penghantar obat, penyubur tanaman, penyembuh luka, serta sebagai bahan material maju lainnya. Hal ini menguatkan alasan bahwa karbon dan produk pirolisis perlu untuk dikembangkan. Setelah proses sulfonasi, bobotnya

Tabel 1. Rendemen karbon aktif terhadap bahan baku bambu andong
Table 1. Sulfonated carbon yield toward bamboo andong material

Sampel (<i>Sample</i>)	Bobot (<i>Weight</i> , g)
Bambu andong (<i>andong bamboo</i>)	5.164
Asap cair (<i>Liquid smoke</i>)	2.301
Karbon (<i>Carbon</i>)	1.495
Karbon tersulfonasi (<i>Sulfonated carbon</i>)	1.268
Rendemen (<i>Yield</i>)	24,55%



Analisis proksimat (*Proximate analysis*) %

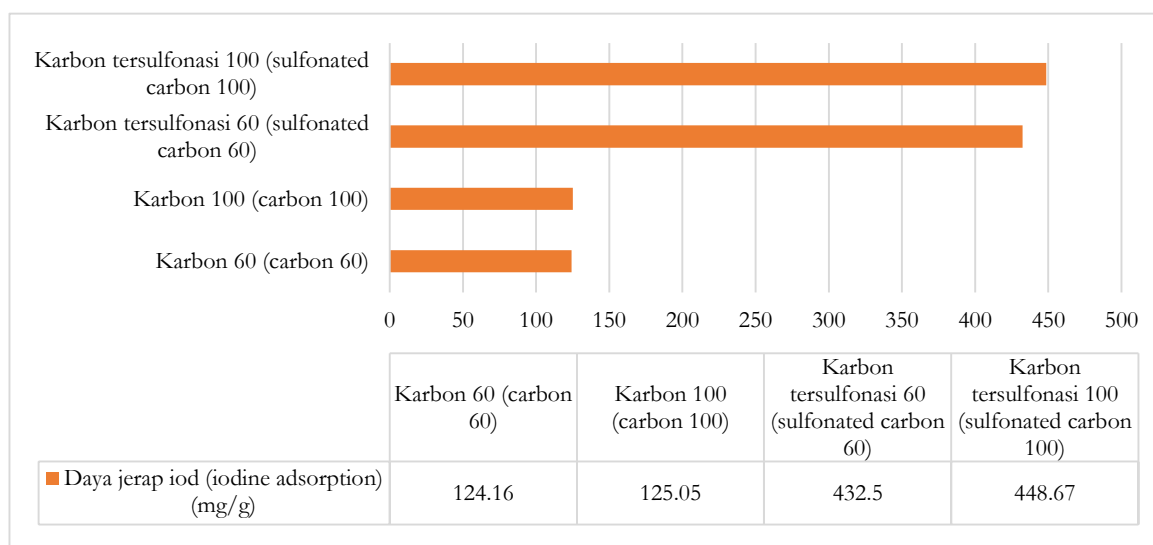
Gambar 1. Data proksimat karbon dan karbon tersulfonasi dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh

Figure 1. Carbon and sulfonated carbon proximate data with 60 and 100 mesh particle size variations

kembali berkurang, hal ini kemungkinan disebabkan proses pencucian dan penetralan karbon menggunakan akuades sehingga banyak karbon yang ikut terlarut dan terbuang. Proses pirolisis dan sulfonasi ini juga melibatkan dekomposisi lignoselulosa dengan memecah molekul dan menghilangkan kandungan hidrogen, air atau senyawa volatil (Imelda et al., 2019).

Dari Gambar 1, dapat dilihat bahwa kadar air yang diperoleh dari sampel karbon dan karbon tersulfonasi masing-masing yaitu 4,75–4,84% dan 4,75–4,81% (SNI <15%) dengan kadar abu berkisar 5-6% (SNI <10%). Kemudian kadar zat terbang untuk karbon dan karbon tersulfonasi yaitu 12,84–16,63% dan 10,26–11,09% (SNI <25%). Karbon terikat pada sampel karbon dan karbon tersulfonasi masing-masing yaitu 77,00%, 11,00–81,02% dan 82,88–83,75%. Perhitungan tersebut berdasarkan pada pengurangan 100% karbon dengan kadar abu dan zat menguap (SNI karbon terikat >65%). Kadar air berasal dari ikatan molekul air di udara dengan karbon ketika proses pekerjaan, karena karbon bersifat higroskopis. Sedangkan abu berasal dari

mineral sisa yang menempel pada karbon atau karbon tersulfonasi yang tidak terbakar dan dapat menyebabkan pengurangan kemampuan karbon tersulfonasi dalam aplikasinya sebagai adsorben. Secara umum, karbon tersulfonasi dengan ukuran 100 mesh memiliki kualitas proksimat lebih baik dibanding karbon tersulfonasi 60 mesh karena memiliki zat terbang dan kadar abu yang lebih rendah sehingga karbon terikat yang terukur lebih tinggi. Penggunaan senyawa asam juga berpengaruh terhadap proksimat karbon yang dihasilkan, hal ini dikarenakan senyawa asam dapat melarutkan pengotor, tar, serta mineral seperti Ca dan Mg (Sailah et al., 2020). Berdasarkan data tersebut, semua parameter proksimat karbon bambu andong tersulfonasi telah memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 karbon aktif teknis serbuk sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan dengan maksimal sebagai katalis maupun adsorben. Analisis daya jerap karbon tersulfonasi terhadap senyawa iod dilakukan untuk mengetahui kualitas karbon tersulfonasi. Data hasil adsorpsi terhadap senyawa iod ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Daya jerap karbon tersulfonasi dari bambu andong terhadap senyawa iod dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh

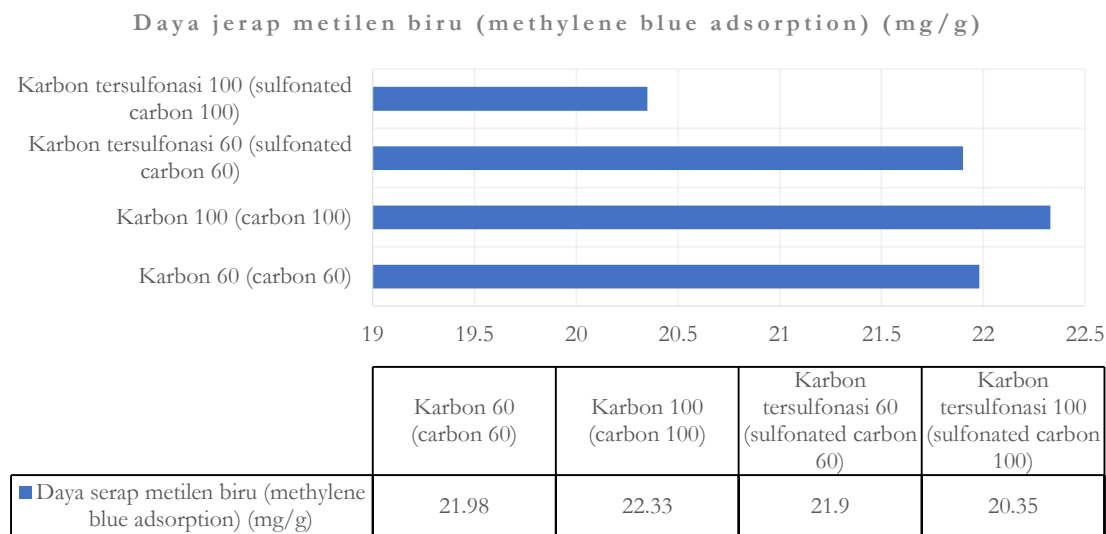
Figure 2. Bamboo andong sulfonated carbon adsorption to iodine compound with 60 and 100 mesh particle size variation

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan daya jerap adsorpsi karbon tersulfonasi secara signifikan (hampir 4x lipat) dibanding daya jerap iod karbon. Ukuran partikel 100 mesh memberi nilai adsorpsi yang lebih baik dibanding 60 mesh. Daya jerap iod memiliki korelasi dengan luas permukaan dan ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan akan semakin besar dan daya jerap umumnya mengalami peningkatan (Trisnaliani et al., 2017). Hal ini sesuai dengan penelitian Reyra et al. (2017) yang mendapatkan efisiensi penyisihan adsorbat tertinggi oleh adsorben berukuran partikel terkecil. Proses adsorpsi terjadi ketika senyawa adsorbat berdifusi kedalam permukaan adsorben, dalam hal ini karbon tersulfonasi. Kemudian pori mikro maupun meso pada karbon tersulfonasi tersebut menyerap adsorben sehingga konsentrasi adsorbat pada larutan menurun. Larutan tersebut kemudian difiltrasi dan dianalisa menggunakan metode titrasi iometri dengan Na_2SO_3 . Kemampuan karbon tersulfonasi ukuran 100 mesh memiliki daya jerap maksimal 448,67 mg/g, yang berarti setiap gram karbon mampu menyerap 448,67 mg iod ($\text{SNI} > 750 \text{ mg/g}$). Nilai tersebut masih berada di bawah standar mutu yang dipersyaratkan SNI dan karbon aktif komersial pada penelitian Tejawan et al. (2017). Hal tersebut dapat diakibatkan oleh banyak faktor, diantaranya kadar abu dan zat terbang yang mengganggu proses adsorpsi, waktu kontak serta proses adsorpsi yang terjadi. Salah satu faktor yang juga dapat mempengaruhi hasil adsorpsi

yaitu karbon sulfonasi hanya menggunakan asam sulfat tanpa perlakuan suhu aktivasi yang tinggi, sehingga karbon memiliki luas permukaan rendah dan pori karbon tidak terbuka dengan maksimal. Proses adsorpsi dapat melalui dua cara yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisika, molekul adsorbat tidak teradsorpsi dengan kuat dan hanya melibatkan Gaya Van Der Waals sehingga molekul mudah bergerak dan berpindah antar permukaan, sedangkan pada adsorpsi kimia terjadi ikatan kimia antara adsorbat dan adsorben sehingga daya jerap semakin kuat (Jasmal & Ramlawati, 2015).

Kekuatan adsorpsi karbon tersulfonasi juga dapat dilihat dari adsorpsinya terhadap senyawa metilen biru. Data adsorpsi karbon bambu andong pada metilen biru ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa daya jerap metilen biru pada karbon tersulfonasi cukup rendah, hanya sekitar 20 mg/g. Daya jerap ini masih lebih tinggi dibanding penelitian (Pulingmuding, 2020) yang mendapatkan daya jerap karbon aktif terhadap metilen biru sebesar 6,887 mg/g, namun lebih rendah dibanding penelitian (Zannah, 2020). Metilen biru merupakan zat warna yang bersifat kationik, sehingga memiliki muatan positif pada gugus senyawanya, sehingga diperlukan adsorben yang memiliki muatan negatif agar mampu menyerap dan mengikat molekul metilen biru tersebut. Untuk membentuk adsorben yang bermuatan negatif, diperlukan modifikasi permukaan adsorben atau memberi lingkungan/kondisi sehingga terjadi deprotonasi.



Gambar 3. Daya jerap karbon bambu andong tersulfonasi terhadap senyawa metilen biru dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh

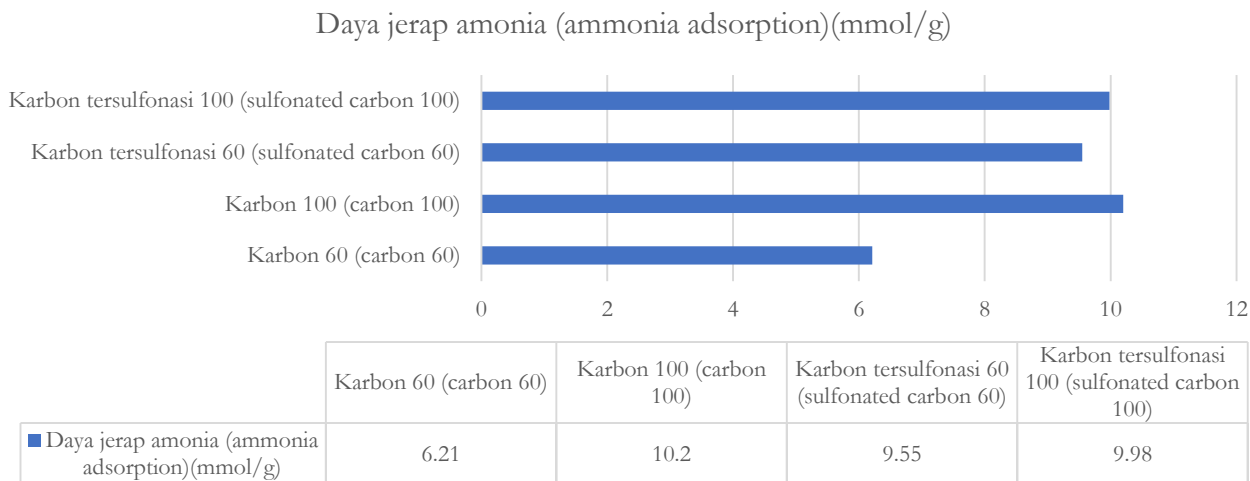
Figure 3. Bamboo andong sulfonated carbon adsorption to metilen blue with 60 and 100 mesh particle size variations

Pada pH rendah atau bersifat asam, maka gugus H^+ akan semakin banyak dan memprotonasi OH^- yang berasal dari gugus aktif adsorben (seperti $COOH$) dan fenol sehingga membentuk H_2O^+ yang mengakibatkan gaya tolakan antar muatan. Pada pH tinggi/kondisi basa, ion OH^- akan semakin banyak dan mendeponasi gugus adsorben, namun jika OH^- berlebih, dikhawatirkan terjadi kompetisi ikatan antar molekul bermuatan negatif dengan adsorbat kationik (Kemala et al., 2006). Sumbangan gugus H^+ dan SO_3H dari asam sulfat juga dapat mempengaruhi kekuatan adsorpsi karbon tersulfonasi terhadap metilen biru, sehingga daya jerapnya lebih lemah dibanding karbon dengan aktivator basa (Nitsae et al., 2021). Beberapa mineral bermuatan positif yang mungkin terdapat pada permukaan karbon juga dapat menghambat terjadinya ikatan antara adsorben dan adsorbat. Sehingga, untuk mengoptimalkan daya jerap karbon tersulfonasi terhadap metilen biru, selain faktor ukuran partikel, perlu diperhatikan lagi kondisi reaksi dan sifat permukaan adsorben. Modifikasi karbon menggunakan surfaktan juga dapat dilakukan agar lebih bermuatan negatif dan bersifat lebih polar (Anisyah et al., 2021).

Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai adsorpsi amonia oleh karbon tersulfonasi yaitu antara 9–10 mmol/g. Amonia merupakan senyawa yang bersifat basa dan memiliki masa molekul relatif yang cukup rendah yaitu 17 mmol/g. Banyaknya amonia yang terjerap menunjukkan sifat keasaman total suatu padatan. Sifat keasaman ini dapat dihasilkan oleh gugus fungsi yang berasal dari asam sulfat (H_2SO_4)

yang digunakan maupun dari gugus fungsi karbon itu sendiri. Sifat keasaman suatu padatan seperti karbon penting untuk diketahui, terutama jika karbon tersulfonasi akan digunakan lebih lanjut misalnya sebagai katalis. Hal ini dikarenakan keasaman katalis berkaitan erat dengan performa aktivitas dan selektivitas katalis terhadap produk hasil reaksi. Dari data ini, dapat dilihat bahwa sifat keasaman/situs asam karbon tersulfonasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian Efiyanti et al. (2019) dan Huda et al., (2016). Dari data tersebut dapat dinilai bahwa karbon tersulfonasi dari bambu andong dapat juga dimanfaatkan sebagai katalis pada proses reaksi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang memanfaatkan karbon aktif menjadi katalis (Rastini, 2018).

Sementara itu, data adsorpsi karbon aktif terhadap senyawa kloroform dan benzena ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Dari Gambar 5 dan 6, dapat dilihat bahwa daya jerap kloroform oleh karbon tersulfonasi berkisar 10-15% dengan daya jerap tertinggi dihasilkan oleh karbon tersulfonasi 60 mesh. Adapun daya jerap benzena berkisar 3–5% dengan daya jerap tertinggi dihasilkan oleh karbon tersulfonasi berukuran 100 mesh. Hasil ini sesuai dengan penelitian Fitri et al. (2021) yang menyimpulkan bahwa ukuran partikel 100 mesh memiliki efisiensi penyisihan senyawa organik yang paling baik. Daya jerap benzena oleh karbon aktif juga lebih besar dibanding karbon (Hikmawati, 2018). Ukuran partikel yang besar umumnya menghasilkan luas permukaan



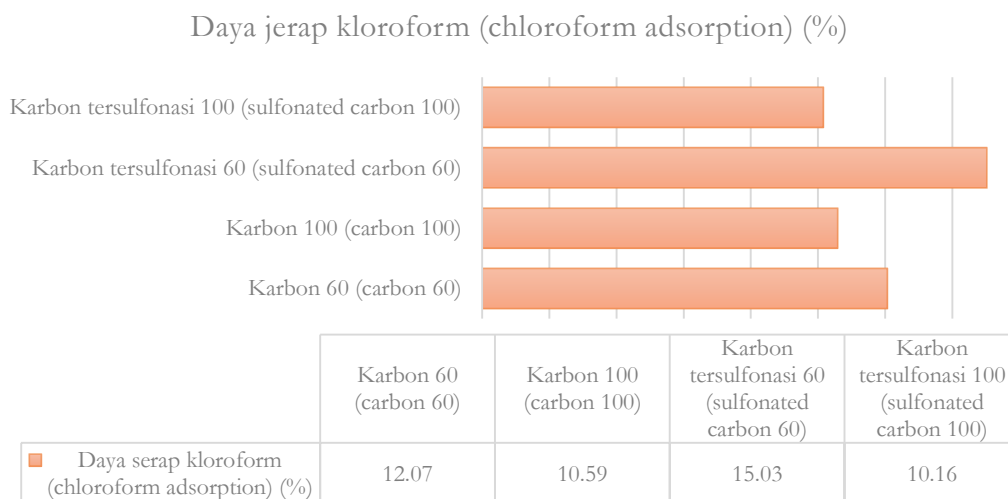
Gambar 4. Daya jerap karbon bambu andong tersulfonasi terhadap senyawa amonia dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh

Figure 4. Bamboo andong sulfonated carbon adsorption to ammonia compound with 60 and 100 mesh particle size variations

yang rendah dan mengakibatkan daya jerap menurun, begitupun sebaliknya (Allamah, 2015). Hal ini dikarenakan pada ukuran partikel yang kecil, terdapat tenaga intermolekuler yang lebih besar sehingga penyerapan lebih baik (Sofith, 2020). Namun tidak pada kasus adsorpsi kloroform. Kloroform dan benzena merupakan zat yang mudah menguap. Rendahnya daya jerap adsorben terhadap kloroform dan benzena dapat disebabkan karena terjadinya proses desorpsi adsorbat akibat proses adsorpsi yang berlangsung secara fisika.

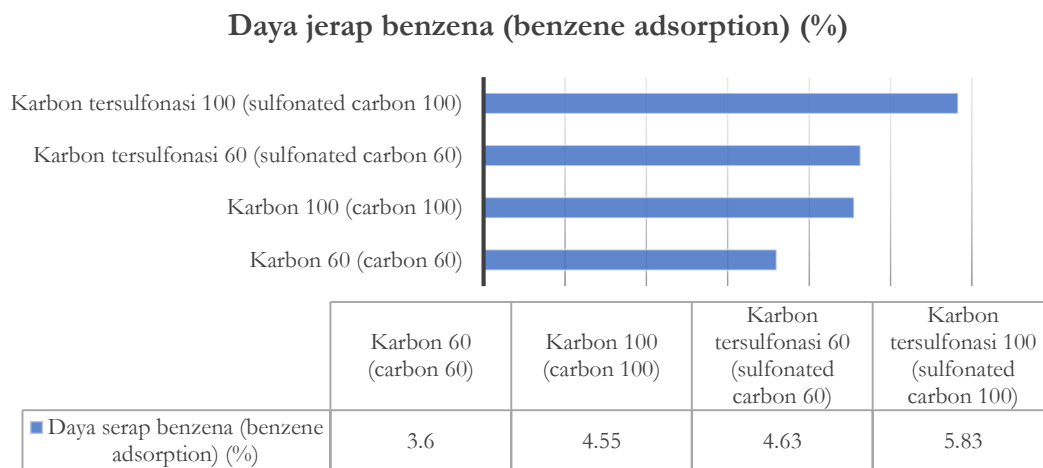
Banyak faktor yang mempengaruhi adsorpsi diantaranya sifat fisika dan kimia adsorbat (ukuran

molekul, polaritas, muatan dan sebagainya), sifat fisika kimia adsorben (luas permukaan, ukuran pori, muatan, jumlah), konsentrasi adsorbat, pH, larutan, media/solven, dan waktu kontak (Aisyahlika 2018; Anggriani et al., 2021). Perlunya modifikasi suhu atau penggunaan suhu tinggi pada perlakuan aktivasi juga memungkinkan karbon memiliki karakter adsorpsi yang lebih baik. Sehingga, diperlukan optimasi reaksi pada masing-masing parameter penentu adsorpsi tersebut untuk memaksimalkan proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif.



Gambar 5. Daya jerap karbon bambu andong tersulfonasi terhadap senyawa kloroform dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh

Figure 5. Bamboo andong sulfonated carbon adsorption to chloroform compound with 60 and 100 mesh particle size variations



Gambar 6. Daya jerap karbon bambu andong tersulfonasi terhadap senyawa benzena dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh

Figure 6. Bamboo andong sulfonated carbon adsorption to benzene compound with 60 and 100 mesh particle size variations

IV. KESIMPULAN

Proses pirolisis dan aktivasi bambu andong dapat menghasilkan produk karbon tersulfonasi yang memiliki kadar proksimat sesuai SNI arang aktif teknis. Karbon tersulfonasi ukuran 100 mesh memiliki kadar air, zat terbang, abu, dan karbon terikat masing-masing sebesar 4,75%; 10,26%; 5,96%; dan 83,76%. Karbon tersulfonasi 100 mesh secara umum memiliki karakter lebih baik dengan daya jerap adsorpsi iod, metilen biru, amonia, kloroform dan benzena masing-masing sebesar 448,67 mg/g; 20,35 mg/g; 9,98 mmol/g; 10,16 dan 5,83%. Ukuran partikel yang lebih kecil memiliki tingkat adsorpsi yang lebih baik, namun perlu optimasi perlakuan kondisi reaksi seperti waktu kontak, bobot adsorben, serta suhu pada proses adsorpsi menggunakan karbon tersulfonasi bambu andong. Berdasarkan data tersebut, karbon tersulfonasi dari bambu andong dapat digunakan sebagai adsorben dan katalis hijau terbaru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Standardisasi dan Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang telah memfasilitasi penelitian ini sehingga dapat terselenggara dengan baik.

KONTRIBUSI

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh LE; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh AP, NR, DS, PH dan LE; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh LE dan AP; penulisan manuskrip oleh LE; perbaikan

dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh LE, AI, dan NH.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika adsorpsi karbon aktif dalam penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb). *Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Anisyah, A., Arnelli, A., & Astuti, Y. (2021). Pembuatan karbon aktif termodifikasi surfaktan *sodium lauryl sulphate* (smac-sls) dari tempurung kelapa menggunakan aktivator $ZnCl_2$ dan gelombang mikro sebagai adsorben kation Pb(II). *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 1(1), 1–6. doi: 10.14710/gjec.2021.10733
- Batubara, D. H., Taslim, Maulina, S., & Iriany. (2018). Hidrolisis selulosa menggunakan katalis karbon tersulfonasi berbasis cangkang kemiri. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(2), 23–27. doi: 10.32734/jtk.v7i2.1645
- Efiyanti, L., Indrawan, D., Hastuti, N., & S.Darmawan. (2020). the activated carbon produced from mayan bamboo (*Gigantochloa robusta* Kurz) and its application as dye removal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 935(1), 1–6. doi: 10.1088/1757-899X/935/1/0 11001
- Efiyanti, L., Sutanto, Hakimah, N., Indrawan, D. A., & Pari, G. (2019). Karakterisasi dan potensi katalis karbon aktif tersulfonasi limbah kayu pada reaksi hidrolisis sekam padi menggunakan microwave. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37(2), 88–98. doi: 10.20886/jphh.2019.37 .2.88-98.

- Fitri, R. F., HS, E., & Syarfi, D. (2021). Pengaruh kecepatan pengadukan dan ukuran partikel adsorben tanah gambut dalam penyisihan zat organik, besi (Fe) dan pH pada air gambut. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 8(2), 1–
- Hartati, R., Anita, S., & Bali, S. (2016). Potensi arang aktif bambu betung (*Dendrocalamus asper*) sebagai adsorben ion Mn^{2+} dan NO_3^- dalam air sumur bor buruk bakul, bengkalis. *Repository University of Riau*, 3(1991), 203–242.
- Hikmawati. (2018). Adsorpsi gas buang benzena dengan menggunakan karbon aktif dari biomassa limbah tempurung kemiri (*Aleurites moluccana* L). In *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Huda, M., Falah, I., & Setiaji, B. (2016). Pembuatan katalis co/karbon aktif dan aplikasinya untuk sintesis senyawa 1,1-Dibutoksibutana dari n-Butanol. *Repository Universitas Gadjah Mada*, 6–7. <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- Huda, S., Ratnani, R. D., & Kurniasari, L. (2020). karakterisasi karbon aktif dari bambu ori (*Bambusa arundinacea*) yang diaktivasi menggunakan asam klorida (HCl). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 5(1), 22–27. doi: 10.31942/inteka.v5i1.3397
- Imelda, D., Khanza, A., & Wulandari, D. (2019). Pengaruh ukuran partikel dan suhu terhadap penyerapan logam tembaga (Cu) dengan arang aktif dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). *Jurnal Teknologi*, 6(2), 107–118. doi: 10.31479/jtek.v6i2.10
- Israh 'Allamah, S. (2015). *Pengaruh ukuran partikel arang kayu sebagai adsorben pada pretreatment minyak jelantah terhadap karakteristik biodiesel*. (Skripsi). Program Studi Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. <https://repository.its.ac.id/75521/>
- Jasmal, S., & Ramlawati. (2015). kapasitas adsorpsi arang aktif ijuk pohon aren (*Arenga pinnata*) terhadap Pb^{2+} . *Jurnal Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, IV(1), 57–66.
- Kemala, T., Sjahrizi, A., & Puspitasari, D. P. (2006). Adsorpsi karbon aktif termodifikasi-zink klorida terhadap surfaktan anionik pada berbagai pH. Diakses dari <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/54044>
- Lestari, S., Sundaryono, A., & Elvia, R. (2019). Preparasi dan karakterisasi katalis Mo-Ni/HZ dengan metode impregnasi untuk *cracking* katalitik minyak limbah cair pengolahan kelapa sawit menjadi bahan bakar nabati. *Alotrop*, 3(1), 91–97. doi: 10.33369/atp.v3i1.9047
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., & Emola, I. J. (2021). Studi adsorpsi metilen biru menggunakan arang aktif tempurung lontar (*Borassus flabellifer* L.) asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 46–57.
- Nurhidayanti, N., Ardiatma, D., & Anggriawan, B. (2020). Pemanfaatan karbon aktif dari tempurung kelapa dalam menurunkan kadar amonia total dalam air limbah industri. *Jurnal Pelita Teknologi*, 15(1), 68–76.
- Pulingmuding, P. Y. (2020). *Adsorpsi zat warna metilen biru pada arang cangkang kemiri teraktivasi H_3PO_4* . (Skripsi). Program Studi Kimia Universitas Tribuana Kalabahi, Alor.
- Rahmi, R., Fachruddin, S., & Nurmalasari, N. (2018). Pemanfaatan limbah serat sago (*Metroxylon sago*) sebagai adsorben iodin. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), 70–77. doi: 10.23955/rkl.v13i1.10072
- Rastini, E. K. (2018). Pembuatan serbuk karbon aktif dari limbah bambu sebagai penyangga katalis logam dalam sintesis biofuel secara Fischer-Tropsch. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 2(1), 19. doi: 10.26740/icaj.v2n1.p19-25
- Reyra, A. S., Daud, S., & Yenti, S. R. (2017). Pengaruh massa dan ukuran partikel adsorben daun nanas terhadap efisiensi penyisihan Fe pada air gambut. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 4(2), 1–9.
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2017). Perbandingan pembakaran pirolisis dan karbonisasi pada biomassa kulit durian terhadap nilai kalori. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 50–56. doi: 10.24127/trb.v5i1.119.
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A. A., & Indrasti, N. S. (2020). Kinerja karbon aktif dari kulit singkong dalam menurunkan konsentrasi fosfat pada air limbah laundry. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), 180–189.
- Sofith, C. D. (2020). *Pengaruh partikel dan dosis adsorben zeolit alam teraktivasi HCl dan terimpregnasi Mg^{2+} sebagai adsorben amonia*. (Skripsi). Departemen Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sukoyo, A., Djoyowasito, G., & Wibisono, Y. (2019). Sintesis karbon aktif berbahan dasar mikroalga *Chlorella vulgaris* berbantuan iradiasi gelombang mikro menggunakan aktivator KOH. *Rekayasa Mesin*, 10, 121–129.
- Tejawati, N. A. P., Manurung, M., & Ratnayani, O. (2017). Karakterisasi karbon aktif komersial serta aplikasinya sebagai adsorben ion timbal(II) dan krom(III). *Jurnal Kimia*, 11(2), 181–186. doi: 10.24843/jchem.2017.v11.i02.p13

- Tetra, O. N., Alif, A., & Defri, H. (2017). Sintesis dan karakterisasi karbon aktif limbah cangkang kelapa sawit yang telah didelipidasi. *Jurnal Kimia Unand*, 6(1), 31–35. www.jurnalsain-unand.com
- Trisnaliani, L., Erlinawati, & Purnamasari, I. (2017). Pengaruh ukuran partikel terhadap kecepatan adsorpsi karbonisasi dengan menggunakan metode analisa isoterm Freundlich pada pembuatan karbon aktif batubara lignit. *Kinetika*, 8(2), 22–24.
- Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G. (2017). Pemanfaatan karbon aktif dari bambu sebagai elektroda superkapasitor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1), 73. doi: 10.35799/jis.17.1. 2017.15802
- Zannah, M. (2020). Isoterm adsorpsi metilen biru oleh biochar dari kulit singkong (*Manihot Esculenta* Crantz) yang dimodifikasi menggunakan magnetit (Fe_3O_4). (Skripsi). Program Studi Kimia Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Zunifer, A., & Fortuna Ayu, D. (2020). Ukuran partikel dan waktu kontak karbon aktif dari kulit singkong terhadap mutu minyak jelantah. *SAGU Journal: Agricultural Science and Technology*, 19(2), 27–38.