

PEMANFAATAN TULANG SAPI DAN TULANG AYAM MENJADI ARANG AKTIF

Virgina Melany Syukur ¹⁾, Dewi Rahyuni ^{2),*)}, Endah Ayuningtyas ³⁾, Rita Dewi Triastianti ⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)} Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Yogyakarta
Email: ^{2),*)} dewirahyuni@gmail.com

ABSTRAK

Aktivitas kuliner yang semakin marak, mensisakan limbah yang cukup banyak, diantaranya adalah tulang sapi dan tulang ayam. Tulang sapi mengandung karbon cukup banyak, diantaranya $\pm 35\%$ merupakan senyawa organik, serta mineral-mineral seperti garam kalsium, magnesium dan sodium. Atas dasar kandungan senyawa tersebut, maka tulang sapi dan tulang ayam mempunyai potensi diolah menjadi arang aktif. Tujuan penelitian ini ialah menguji kualitas arang aktif dari tulang sapi dan tulang ayam serta campurannya.

Percobaan pembuatan arang aktif dilakukan dengan skala laboratorium menggunakan tulang yang sudah diolah, sebagai sisa makanan. Variabel bebas adalah komposisi tulang sapi dan tulang ayam yang terdiri dari 100%:0% ; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75% ; dan 0%:100%, dengan tiga ulangan. Variabel terikat yaitu kadar air, kadar volatil, kadar abu, kadar karbon aktif, daya serap terhadap methylene blue. Kualitas arang aktif diuji berdasar SNI 06-3730-1995 tentang Syarat Arang Aktif Secara Teknis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang Syarat Arang Aktif Secara Teknis, maka arang aktif yang dihasilkan pada seluruh perlakuan kadar air dan kadar volatil telah memenuhi, sedangkan kadar abu, kadar karbon aktif dan daya serap terhadap methylene blue tidak memenuhi.

Kata kunci: kuliner, karbon aktif, gelatin, *methylene blue*, volatil

UTILIZATION OF COW BONES AND CHICKEN BONES INTO ACTIVATED CHARCOAL

ABSTRACT

Culinary activities that are increasingly rampant, leaving quite a lot of waste, including beef bones and chicken bones. Beef bones contain quite a lot of carbon, of which $\pm 35\%$ are organic compounds, as well as minerals such as calcium, magnesium and sodium salts. On the basis of the content of these compounds, cow bones and chicken bones have the potential to be processed into activated charcoal. The purpose of this study is to test the quality of activated charcoal from cow bones and chicken bones and their mixtures.

Experiments in making activated charcoal were carried out on a laboratory scale using processed bones, as food scraps. The independent variable is the composition of cow bones and chicken bones consisting of 100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75% ; and 0%:100%, with three replicates. The bound variables are moisture content, volatile content, ash content, activated carbon content, and absorption of methylene blue. The quality of activated charcoal is tested based on SNI 06-3730-1995 concerning Technical Requirements for Activated Charcoal.

The results of the study show that based on SNI 06-3730-1995 concerning Technical Activated Charcoal Requirements, the activated charcoal produced in all treatments of moisture content and volatile content has been met, while the ash content, activated carbon content and absorption of methylene blue have not been met.

Keywords: culinary, activated carbon, gelatin, methylene blue, volatile

PENDAHULUAN

Tulang adalah bagian paling penting dari suatu sistem tubuh hewan, termasuk sapi dan ayam, yang berfungsi sebagai penopang dan penyangga serta pembentuk tubuh. Tulang yang dibuang sebagai sisa makanan pada hakekatnya merupakan limbah biomassa. Menurut Akbar (2012), tulang sapi mengandung karbon cukup banyak, diantaranya $\pm 35\%$ merupakan senyawa organik. Sementara itu Agarwal & Gupta (2015) menjelaskan dalam tulang ayam mengandung kira-kira 85% mineral adalah kalsium fosfat, 14% kalsium karbonat dan 1% magnesium. Sehubungan hal tersebut, maka tulang sapi dan tulang ayam dapat diolah menjadi arang aktif yang berfungsi sebagai adsorben ion logam berat di lingkungan perairan. Pemanfaatan ini memberikan dampak positif terhadap penanggulangannya sebagai sampah mengingat bahwa konsumsi daging ayam di restoran-restoran umum atau cepat saji serta dalam industri katering cukup besar serta dapat menjadi solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan (Amalia, dkk (2017). Berdasarkan kandungan kimia tersebut, maka tulang sapi dan tulang ayam yang sudah berupa limbah, dapat diolah lebih lanjut menjadi arang aktif. Selain komponen organik (gelatin)

diketahui mampu meningkatkan kualitas arang aktif, senyawa anorganiknya (mineral) dapat mempengaruhi struktur pori yang akan meningkatkan daya serap arang aktif (Wardani, 2020).

Proses pembuatan arang aktif ini melalui beberapa tahap, termasuk karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi adalah tahap pemanasan tulang pada suhu tinggi untuk menghilangkan komponen organik dan meninggalkan struktur anorganik. Selanjutnya, aktivasi melibatkan perlakuan dengan agen aktivasi, yang salah satunya aktivasi menggunakan NaOH. Proses aktivasi ini bertujuan untuk memperluas luas permukaan karbon karena membebaskan hidrokarbon yang menyumbat pori-pori karbon. NaOH sebagai pengaktivasi ini berfungsi sebagai agen pendehidrasi yang mempengaruhi penghambatan dekomposisi pirolisis dan meningkatkan *yield* karbon. Hasilnya adalah meningkatkan struktur pori dari karbon (Refianti, 2018).

Arang aktif memiliki beberapa manfaat diantaranya pembersihan udara, penyaring air, dan pengolahan limbah cair. Berdasar uraian di muka, maka pada penelitian ini telah dilakukan pemanfaatan tulang sapi dan tulang ayam serta campurannya menjadi arang aktif dengan bahan aktivasi NaOH.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimental yang dikerjakan pada skala laboratorium. Variabel bebasnya adalah komposisi bahan tulang sapi dan tulang ayam yang divariasi sebagai 100%:0%; 75%:25%; 50%:50%; 25%:75% dan 0%:100%, dengan tiga ulangan. Variabel terikatnya ialah persentase air, persentase abu, persentase karbon aktif, daya serap *methylene blue*, volatil.

Percobaan diawali dengan penyiapan bahan. Tulang sapi dan tulang ayam yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulang yang sudah diolah. Masing-masing jenis tulang setelah dibersihkan dan dikeringkan kemudian dikarbonisasi dengan cara di oven pada suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$ selama 3 (tiga) jam, dilanjutkan pendinginan selama 24 jam. Langkah seterusnya adalah preparasi dan aktivasi tulang sapi dan tulang ayam menjadi arang aktif, yang setiap perlakuan digunakan 5 g. Bahan yang sudah dikarbonisasi lalu diblender, kemudian dilakukan pencampuran sesuai dengan komposisinya. Setiap komposisi bahan mengalami proses aktivasi menggunakan larutan NaOH 2M sebanyak 50 ml, berikutnya sampel diaduk selama ± 5 menit, lalu didiamkan selama 24 jam serta dilanjutkan penyaringan, kemudian dilakukan analisis laboratorium. Kualitas arang aktif dinilai berdasar SNI 06-3730-1995 tentang Syarat Arang Aktif Secara Teknis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tulang sapi dan tulang ayam yang mengandung senyawa organik (gelatin) dan senyawa anorganik mempunyai potensi untuk diolah menjadi arang aktif. Komposisi berbagai varian antara tulang sapi dan tulang ayam menghasilkan arang aktif dengan kualitas yang bervariasi pula.

1. Kadar air.

Kadar air arang aktif adalah persentase jumlah air di dalam arang aktif yang menggambarkan sifat higroskopisnya. Tabel 1 menyajikan kadar air arang aktif yang berasal dari tulang sapi dan tulang ayam pada berbagai komposisi.

Tabel 1. Kadar air arang aktif pada berbagai komposisi tulang sapi dan tulang ayam

NO	Kadar Air Arang Aktif(%) pada setiap komposisi Tulang Sapi: Tulang Ayam (%)				
	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
1	5,726	5,815	5,540	4,425	5,410
2	6,710	5,682	5,567	5,958	5,506
3	6,248	5,964	5,117	5,660	5,753
Rerata	6,228	5,820	5,408	5,347	5,557
SNI	Maksimal 15%				

Kadar air dalam arang aktif yang terbentuk dari tulang sapi dan tulang ayam pada berbagai komposisi bernilai antara 5,347% sampai dengan 6,228%. Hal ini menggambarkan bahwa pemanasan biomassa tulang pada suhu yang tinggi telah menghilangkan komponen organik yang berkadar $\pm 35\%$, sedangkan bahan mineralnya menguap (Wardani, 2020).

Meskipun bahan organik sudah hilang, namun dalam proses akhir pembuatan arang aktif dilakukan penyaringan dan pemurnian, sehingga masih dimungkinkan terserapnya air dalam arang. Sedikitnya air

yang tertinggal dan menutupi pori-pori karbon aktif menunjukkan bahwa arang aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang baik.

Menurut Tsoumis (1991), bahwa sifat higroskopis akan menyebabkan arang aktif pada kondisi dan kelembaban tertentu akan mencapai suatu keseimbangan kadar air. Hendaway (2003) menambahkan, kadar air sangat dipengaruhi oleh jumlah uap air di udara, lama proses pendinginan, dan sifat higroskopis dari arang tersebut.

Merujuk pada SNI 06-3730-1995 tentang kualitas arang aktif menyebutkan bahwa standar untuk kadar air pada arang aktif adalah maksimum 15%, maka nilai kadar air untuk semua perlakuan telah memenuhi syarat, artinya arang aktif yang terbentuk mempunyai kemampuan menyerap dan melepaskan air dalam kondisi kelembaban tertentu.

2. Kadar Volatil

Kadar volatil merupakan parameter penting dalam menilai kualitas arang aktif. Kadar volatil adalah kandungan senyawa yang mudah menguap pada arang aktif selain air (Pari, 2009). Ketika tulang dipanaskan dengan suhu tinggi, maka ikatan atom-atom seperti oksigen, nitrogen dan hidrogen pada gugus-gugus yang terbentuk akan menguap (Sudirjo, 2006). Tabel 2 menampilkan kadar volatil dalam arang aktif yang terbuat dari tulang sapi, tulang ayam dan campurannya.

Tabel 2. Kadar volatil arang aktif pada berbagai komposisi tulang sapi dan tulang ayam
Kadar volatil arang aktif(%) pada setiap komposisi tulang sapi: tulang ayam (%)

NO	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
1	14,371	15,094	14,386	15,821	15,873
2	13,632	15,675	15,010	15,584	15,758
3	14,243	13,903	16,998	15,637	15,316
Rerata	14,082	14,891	15,465	15,681	15,649
SNI	Maksimal 25%				

Bila ditinjau dari SNI 06-3730-1995 tentang syarat kualitas arang aktif secara teknis yang mensyaratkan kadar volatil dalam arang aktif maksimal 25%, maka seluruh perlakuan telah memenuhi syarat, karena nilainya berkisar antara 14,082 – 15,681% (Tabel 2). Berdasar nilai ini, maka arang aktif yang terbentuk mempunyai kualitas yang baik, karena jumlah zat yang dapat menguap ketika arang dipanaskan rendah, dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi (Sahara, 2017).

Purbacakara (2017) dalam penelitiannya menemukan bahwa peningkatan suhu karbonisasi cenderung menurunkan kadar volatil yang diakibatkan proses penguraian senyawa non karbon berlangsung secara sempurna. Siahaan (2013) menguatkan bahwa waktu pemanasan dalam proses karbonisasi yang semakin lama maka kadar zat yang mudah menguap akan semakin berkurang. Pada penelitian ini karbonisasi dilaksanakan pada suhu 400°C dan waktu proses selama tiga jam, sehingga menghasilkan kadar volatil yang rendah, berada di bawah batas maksimal standar yang disyaratkan.

3. Kadar Abu

Kadar abu menunjukkan kandungan mineral yang terkandung dalam arang aktif (Jankowska *et al.*, 1991). Kadar abu yang terkandung dalam arang aktif hasil karbonisasi tulang sapi dan tulang ayam pada berbagai persentase disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kadar abu arang aktif pada berbagai komposisi tulang sapi dan tulang ayam
Kadar abu Arang Aktif(%) pada setiap komposisi Tulang Sapi: Tulang Ayam (%)

NO	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
1	81,108	81,065	80,901	80,952	82,104
2	81,621	81,500	80,712	80,536	82,347
3	80,731	81,843	81,437	81,618	81,998
Rerata	81,153	81,469	81,017	81,036	82,150
SNI	Maksimal 10%				

Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar abu dalam arang aktif pada seluruh perlakuan jauh melebihi batas maksimal SNI 06-3730-1995 sebesar 10%. Kadar abu yang tinggi dapat menunjukkan bahwa proses pengarangan tulang tidak sempurna, sehingga terjadi kontak udara yang mengakibatkan

pembentukan abu yang lebih besar, meskipun kadar volatilnya sudah rendah dan memenuhi SNI. Kadar abu sangat dipengaruhi oleh material anorganik yang terkandung dalam bahan baku yang tetap bertahan meskipun telah mengalami pembakaran pada suhu yang tinggi. Alimah (2011) mengatakan bahwa kadar abu yang tinggi diakibatkan oleh kandungan mineral yang terdapat dalam abu seperti kalium, natrium, dan magnesium akan menyebar dalam pori-pori arang aktif sehingga mengurangi luas permukaan arang aktif, dan berdampak pada kinerja arang aktif.

Kadar abu berakibat kurangnya kemampuan arang aktif sebagai adsorben karena mineral dalam arang aktif dapat menyebar ke dalam pori-pori arang aktif dan mengurangi luas permukaannya. Pernyataan ini didukung oleh beberapa peneliti. Sahara (2017), yang menyatakan apabila kadar abu yang tinggi dalam arang aktif dapat mengindikasikan kualitas yang lebih rendah karena abu tidak berkontribusi pada kapasitas adsorpsi arang aktif dan justru dapat menyumbat pori-pori, mengurangi efisiensi adsorpsi.

Sementara itu Rahman, dkk. (2018) menjelaskan bahwa kadar abu yang tinggi dapat mengurangi kemampuan arang aktif untuk menyerap gas dan larutan karena kandungan mineral (oksida logam) yang terdapat dalam abu akan menyebarkan dalam kisi-kisi arang aktif sehingga menutup pori-pori arang aktif. Kadar abu sangat dipengaruhi oleh material anorganik yang terkandung dalam bahan baku yang tetap bertahan meskipun telah mengalami pembakaran pada suhu yang tinggi.

4. Kadar karbon aktif

Karbon aktif adalah karbon murni yang terkandung dalam arang aktif, berpori dan memiliki luas permukaan jenis yang besar, sehingga mampu berfungsi sebagai adsorben. Tabel 4 menyajikan kadar karbon aktif dalam arang aktif yang terbuat dari berbagai komposisi tulang sapi dan tulang ayam.

Tabel 4. Kadar karbon aktif dalam arang aktif pada berbagai komposisi tulang sapi dan tulang ayam

NO	Kadar karbon aktif dalam Arang Aktif(%) pada setiap komposisi Tulang Sapi: Tulang Ayam (%)				
	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
1	4,521	3,841	4,713	3,227	2,023
2	4,748	2,826	4,278	3,879	1,895
3	5,025	4,254	1,565	2,744	2,686
Rerata	4,756	3,640	3,519	3,283	2,201
SNI	Minimal 65%				

Kadar karbon aktif dalam arang aktif hanya memiliki nilai tertinggi 4,756% yaitu terjadi pada perlakuan 100% tulang sapi, sehingga untuk seluruh perlakuan tidak memenuhi SNI 06-37301995 yang mensyaratkan minimal 65%. Hal ini menjadi indikasi bahwa dalam proses karbonisasi bahan organik dalam tulang tidak sempurna, sehingga karbon murni yang dihasilkan hanya sedikit. Terbukti juga kadar abunya tinggi dan tidak memenuhi SNI. Semakin besar kadar abu maka kadar karbon aktif akan semakin rendah. Pernyataan ini didukung oleh Rahman, dkk. (2018) yang menjelaskan bahwa rendahnya karbon aktif menunjukkan tingkat kemurnian arang aktif yang dihasilkan relatif rendah dan permukaan arang aktif masih mengandung senyawa non karbon sehingga kualitas arang aktif kurang baik. Kemungkinan yang lain adalah karena tulang sapi dan tulang ayam yang digunakan dalam penelitian ini sudah mengalami pemanasan pada saat diolah menjadi makanan, oleh karenanya terdapat karbon yang sudah rusak. Karbon yang tersisalah yang diproses menjadi arang, mengakibatkan kadarnya menjadi sangat rendah. Kadar karbon yang rendah berpengaruh terhadap efektifitas adsorpsi dan kualitas keseluruhan (Hendra, dkk. 2014).

Kadar karbon aktif yang rendah pada arang aktif menunjukkan bahwa material tersebut memiliki proporsi yang lebih kecil dari karbon murni yang bertanggung jawab atas sifat adsorpsinya. Ini mengindikasikan kualitas arang aktif yang lebih rendah dan tidak memenuhi standar yang diperlukan untuk efisiensi optimal. Dengan demikian rendahnya kadar karbon aktif menunjukkan kurangnya efektivitas adsorpsi dan kualitas keseluruhan. (Hendra, dkk., 2014).

Keadaan yang berbeda terjadi apabila tulang masih dalam kondisi mentah, belum dimasak, seperti yang dilakukan oleh Maftuhin (2014), tentang potensi pemanfaatan tulang ayam sebagai adsorben kation timbal dalam larutan, melaporkan bahwa efisiensi arang aktif tulang ayam sebesar 99,5292% dan 99,9947%.

5. Daya serap terhadap *methylene blue*

Daya serap terhadap *methylene blue* adalah metode yang digunakan untuk mengukur efektivitas dan kapasitas penyerapan yang dinyatakan dalam mg/g. Arang aktif dengan daya serap *methylene blue*

tinggi menunjukkan struktur pori yang baik dan kapasitas penyerapan yang tinggi. Hasil analisis daya serap arang aktif terhadap *methylene blue* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Daya serap terhadap *methylene blue* arang aktif pada berbagai komposisi tulang sapi dan tulang ayam

NO	Daya serap terhadap <i>methylene blue</i> Arang Aktif(mg/g) pada setiap komposisi Tulang Sapi: Tulang Ayam (%)				
	100%:0%	75%:25%	50%:50%	25%:75%	0%:100%
1	52,436	59,765	75,549	55,190	71,785
2	54,335	54,950	75,378	48,860	76,233
3	52,795	57,873	79,709	50,996	68,533
Rerata	53,189ab	57,529ab	76,878c	51,682a	72,184c
SNI	Minimal 120 mg/g				

Berdasarkan Tabel 5, daya serap arang aktif terhadap *methylene blue* untuk semua perlakuan tidak memenuhi syarat SNI karena hanya bernilai 51,682 mg/g sampai dengan 76,878 mg/g. Daya serap terhadap *methylene blue* yang rendah mengindikasikan bahwa arang aktif yang terbentuk memiliki kapasitas adsorpsi yang rendah, sehingga berkualitas rendah. Kondisi ini didukung oleh kadar abu (Tabel 3) dan kadar karbon aktif (Tabel 4) yang sangat rendah pula. Abu dan sisa karbon organik yang belum pecah dalam proses karbonisasi akan menempati poro-pori arang sehingga menghalangi sisi adsorpsi dari arang aktif.

Kadar air yang rendah (Tabel 1) tidak diikuti oleh daya serap terhadap *methylene blue*. Kondisi ini bertentangan dengan pendapat Sulaiman, dkk. (2017) yang menjelaskan bahwa penurunan kadar air sangat erat hubungannya dengan temperatur. Semakin tinggi temperatur pengeringan maka semakin sedikit kadar air yang terkandung dalam arang aktif sehingga dapat menghasilkan pori yang semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah, sehingga mengakibatkan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif.

Penelitian dengan hasil yang berbeda diantaranya dilakukan oleh Amalia, dkk (2017) yang membuat arang aktif dari tulang ayam bagian tulang keras yang dipisahkan dari sumsumnya, kemudian dipanaskan dengan suhu 400°C, dan diaktivasi menggunakan HCl 2 M. Ukuran pori arang aktif tulang ayam masuk ke dalam kategori ukuran makropori dan arang aktif tulang ayam mempunyai struktur permukaan berpori yang cukup luas sehingga dapat mengadsorpsi dengan maksimal.

Sementara itu Antika, dkk (2015) membuat arang aktif berbahan tulang sapi, dengan proses karbonisasi pada suhu 800°C selama $\pm$ satu jam dan menggunakan aktivator Na₂CO₃ 5%. Arang aktif yang terbentuk mempunyai karakterisasi kadar air 7,99%, kadar abu 17,44%, luas permukaan arang aktif 27,164 m²/g dan daya serap iod 184,7455 mg/g. Arang aktif ini memiliki kapasitas penyerapan ion-ion kadmium 99,9643%, timbal 99,9481%, nitrat 90,5885% dan klorida 10,145%.

KESIMPULAN

Berdasar hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa sisa makanan yang berupa tulang sapi dan tulang ayam serta campurannya dapat dibuat arang aktif dengan kualitas: kadar air dan kadar volatil telah memenuhi SNI SNI 06-3730-1995 tentang Syarat Arang Aktif Secara Teknis, sedangkan kadar abu, kadar karbon aktif dan daya serap terhadap *methylene blue* tidak memenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A., & Gupta, P. K. 2015. Adsorption study of Cr(II) from aqueous solution using animal bone charcoal as low cost adsorbent. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 3(1), 151–163.
- Akbar, M. 2012. *Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Tulang Sapi Pada Ion Timbal (Pb²⁺)*. Skripsi. Universitas Negri Makasar. Makasar.
- Amalia, V., Layyina, F., Zahara, F., dan Eko Prabowo Hadisantoso, E. P. 2017. Potensi Pemanfaatan Arang Tulang Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Cu dan Cd. *Al Kimiya*, Vol. 4, No. 1(31-37) Juni 2017/Syawwal 1438 H.

- Antika, A. , Anita, S. , Hanifah, T.A. 2015. Potensi arang aktif tulang sapi sebagai adsorben ion timbal, kadmium, nitrat dan klorida dalam larutan. *JOM FMIPA*. Volume 2 No. 1 Februari 2015. 90-98.
- Alimah, D. 2011. Sifat dan mutu arang aktif dari tempurung biji meter (*Anacardium occidentale*, L) *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 35 No. 2, Juni 2011, 123-133.
- Sahara, E., Dahliani, N. K. dan Manuaba, B. P. 2017. Pembuatan dan karakterisasi arang aktif dari batang tanaman gumitir (*Tagetes erecta*) dengan aktivator NaOH. Universitas Udayana. *Jurnal Kimia* 11 (1), 1-9.
- Hendaway, A. 2003. Influence of HNO₃ oxidation on the structure and adsorptive properties of corncob-based activated carbon. *Elsevier*. No. 41. 713-722.
- Hendra, D., Pangersa, G. R. E., Komarayati, S. 2014. Pemanfaatan limbah tempurung kemiri sunan (*Aleuriteus trisperma*) sebagai bahan baku pada pembuatan arang aktif. *Jurnal Penelitian. Hasil Hutan*. 32(4):271–282.
- Jankowska, H., Swiatkowski, A. dan Choma, J. 1991. *Active carbon*, Horwood, London.
- Maftuhin. 2014. *Potensi Pemanfaatan Tulang Ayam Sebagai Adsorben Kation Timbal Dalam Larutan*. Skripsi. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Pari, G. 2004. *Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben formaldehida kayu lapis*. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor,.
- Purbacaraka, F., H., Ratnani, R., D., Hartati, I. 2017. *Uji karakteristik karbon aktif dari limbah arang boiler dengan variabel jenis kayu dan suhu karbonisasi*. Laporan Penelitian. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Rahman, A., Aziz, R., Indrawati, A dan Usman, M. 2020. Pemanfaatan beberapa jenis arang aktif sebagai bahan adsorben logam berat Cadmium (Cd) pada tanah sedimen drainase kota Medan sebagai media tanam. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Pertanian*. Vol. 5 No 1. 42-54.
- Refianti, V. A. 2018. *Pengaruh konsentrasi naoh pada aktivasi arang tempurung kelapa untuk adsorpsi hipoklorit*. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang.
- Siahaan, S., Hutapea, M., Hasibuan, R. 2013. Penentuan kondisi optimum suhu dan waktu karbonisasi pada pembuatan arang dari sekam padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 2, No. 1 (2013). 26-30.
- Sudirjo, M. 2006. *Pembuatan karbon aktif dari kulit kacang tanah (arachis hypogaeae) dengan aktivator asam sulfat*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sulaiman, N. H., Malau, L. A., Lubis, F. H., Harahap, N. B., Manalu, F. R. dan Kembaren, A. 2017. Pengolahan tempurung kemiri sebagai karbon aktif dengan variasi aktivator asam fosfat. *EINSTEIN eJOURNAL. JURUSAN FISIKA. UNIVERSITAS NEGERI MEDAN*. Volume 5, No. 2. 37-41
- Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization*. Van Nostrand Reinhold. New York
- Wardani, S. and Mirdayanti, R. 2019. Optimasi Suhu Aktivasi Proses Pembuatan Arang Aktif Limbah Tulang Kambing. *Jurnal Serambi Engineering*. doi: [10.32672/jse.v4i2.1327](https://doi.org/10.32672/jse.v4i2.1327)