

PEMANFAATAN CANGKANG BUAH KARET SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN ARANG AKTIF DENGAN AKTIVATOR SENG KLORIDA ($ZnCl_2$)*UTILIZATION OF RUBBER FRUIT SHELLS AS RAW MATERIALS FOR MAKING ACTIVATED CHARCOAL WITH ZINC CHLORIDE ($ZnCl_2$) ACTIVATOR***Nur Ardiansyah*, Vonny Setiaries Johan, Nur Hasnah AR**

Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Kode Pos 28293, Pekanbaru

ABSTRAK

Arang aktif merupakan arang yang telah diaktifkan melalui proses karbonisasi dan aktivasi sehingga menghasilkan pori-pori dan karbon yang berfungsi sebagai adsorben. Sebagai bagian dari tanaman karet, cangkang buahnya belum banyak dimanfaatkan sehingga lebih sering dikategorikan sebagai limbah. Sebagai material yang kaya lignoselulosa, cangkang buah karet memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam proses pembuatan arang aktif. Secara konseptual, pembentukan arang aktif mencakup dua tahapan penting, yakni proses karbonisasi dan proses aktivasi. Pengaktifan bahan dapat dilakukan dengan bantuan senyawa garam, di antaranya seng klorida ($ZnCl_2$) sebagai agen aktivator. Fokus penelitian ini adalah menemukan konsentrasi $ZnCl_2$ yang optimum dalam menghasilkan arang aktif berbasis cangkang buah karet dengan parameter mutu yang memenuhi standar SNI No. 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Pendekatan eksperimental diterapkan dalam penelitian ini dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang mencakup lima perlakuan serta tiga ulangan pada setiap perlakuan. Perlakuan yang diterapkan berupa variasi konsentrasi aktivator $ZnCl_2$, yaitu P1 (20%), P2 (25%), P3 (30%), P4 (35%), dan P5 (40%). Data penelitian dianalisis menggunakan metode statistik ANOVA. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi seng klorida ($ZnCl_2$) sebagai aktivator berpengaruh signifikan terhadap karakteristik kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, karbon terikat, dan nilai adsorpsi iodin. Arang aktif dengan perlakuan terbaik terdapat pada perlakuan P4 (konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ 35%) memenuhi kriteria SNI No. 06-3730-1995, dengan kadar air 2,39%, kadar abu 5,20%, kadar zat menguap 14,53%, kadar karbon terikat 77,88% dan daya serap iodin 838,85 mg/g.

Kata Kunci: arang aktif, aktivasi kimia, cangkang buah karet, $ZnCl_2$ **ABSTRACT**

Activated charcoal is charcoal that has been activated through carbonization and activation processes to produce pores and carbon that function as adsorbents. As part of the rubber plant, the fruit shells are not widely used and are therefore often categorized as waste. As a material rich in lignocellulose, rubber fruit shells have the potential to be used in the production of activated charcoal. Conceptually, the formation of activated charcoal involves two important stages, namely the carbonization process and the activation process. The activation of the material can be carried out with the help of salt compounds, including zinc chloride ($ZnCl_2$) as an activating agent. The focus of this study is to find the optimum concentration of $ZnCl_2$ in producing activated charcoal based on rubber fruit shells with quality parameters that meet the SNI No. 06-3730-1995 standard for technical activated charcoal. An experimental approach was applied in this study using a completely randomized design (CRD) that included five treatments and three replicates for each treatment. The treatment applied was a variation in the concentration of $ZnCl_2$ activator, namely P1 (20%), P2 (25%), P3 (30%), P4 (35%), and P5 (40%). The research data were analyzed using the ANOVA statistical method. The results of the analysis showed that differences in the concentration of zinc chloride ($ZnCl_2$) as an activator had a significant effect on the characteristics of moisture content, ash content, volatile matter content, bound carbon, and iodine adsorption value. Activated charcoal with the best treatment was found in treatment P4 ($ZnCl_2$ activator concentration 35%) and met the criteria of SNI No. 06-3730-1995, with a moisture content of 2.39%, ash content of 5.20%, volatile matter content of 14.53%, fixed carbon content of 77.88%, and iodine adsorption capacity of 838.85 mg/g.

Keywords: activated carbon, chemical activation, rubber fruit shell, $ZnCl_2$

*Penulis Korespondensi:

nur.ardiansyah140202@gmail.com

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan luas perkebunan karet terbesar secara global. Hal tersebut sebagaimana dilaporkan oleh Badan Pusat Statistik (2023), Indonesia pada tahun 2023 memiliki luas area tanaman karet sebesar 3.557,092 Ha dan Provinsi Riau sebagai salah satu daerah penghasil karet di Indonesia sebesar 420.771 ha. Karet menjadi salah satu komoditas dari sektor perkebunan yang memiliki dampak penting terhadap perkembangan ekonomi di Indonesia. Karet merupakan komoditas perkebunan yang berperan besar dalam mendukung kegiatan ekonomi di Indonesia.

Tanaman karet terdiri dari getah (lateks), kayu, buah, dan juga biji karet yang dapat dimanfaatkan. Lateks dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan ban kendaraan, lem, maupun karet gelang. Buah tanaman karet terdiri dari cangkang dan biji. Biji dari tanaman karet digunakan sebagai bibit baru untuk tanaman karet, sementara itu cangkang dari buah karet dibiarkan dan tidak dimanfaatkan. Pemanfaatan cangkang buah karet dapat diarahkan pada pengolahan produk turunan yang lebih bermanfaat dan memiliki nilai ekonomi yang lebih baik. Pemanfaatan cangkang buah karet dapat dilakukan melalui proses pengolahan menjadi arang aktif maupun briket sebagai sumber energi alternatif.

Penyusun utama cangkang buah karet adalah komponen serat yang meliputi selulosa, hemiselulosa, dan lignin, bersama sejumlah senyawa yang bersifat larut dalam air, dengan kadar masing-masing komponen yang bervariasi. Aminin *et al.* (2021) menyatakan bahwa secara kimiawi cangkang buah karet tersusun atas lignin sebanyak 21,60%, selulosa 61,04%, dan hemiselulosa 18,00%. Oleh karena itu, cangkang buah karet berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan arang aktif.

Arang aktif merupakan padatan dengan kandungan karbon yang lebih dominan sebesar 85–95% yang terbentuk melalui pemanasan pada suhu tinggi atau karbonisasi, kemudian diaktivasi agar

memiliki luas permukaan serta kemampuan adsorpsi yang maksimal (Halid *et al.*, 2021). Arang aktif berperan penting dalam berbagai industri, termasuk kimia perminyakan, penjernihan air, industri gula, pemurnian gas, serta pengolahan pupuk, obat-obatan, dan makanan.

Produksi arang aktif dilakukan melalui rangkaian dua proses inti, yaitu proses karbonisasi dan proses aktivasi. Karbonisasi merupakan tahapan pemanasan bahan baku yang berlangsung dalam kondisi ketersediaan udara yang terbatas untuk menghilangkan senyawa-senyawa non karbon. Arang yang dihasilkan dari proses karbonisasi masih menunjukkan daya adsorpsi yang rendah, karena struktur porinya belum berkembang secara optimal akibat tertutup oleh senyawa hidrokarbon, tar, dan residu senyawa organik lainnya (Ahmad *et al.*, 2021). Arang dapat diaktivasi menggunakan metode fisika maupun kimia. Penggunaan aktivator kimia memberikan beberapa kelebihan, yaitu dapat memperpendek waktu aktivasi, berkontribusi terhadap peningkatan kuantitas karbon aktif yang dihasilkan serta menghasilkan performa adsorpsi yang lebih baik daripada metode aktivasi fisik. Dalam proses aktivasi kimia, digunakan zat pengaktif yang dapat berupa asam seperti H_3PO_4 dan H_2SO_4 , basa seperti KOH dan NaOH, maupun garam seperti $ZnCl_2$ dan NaCl (Puspitasari *et al.*, 2017).

Penelitian ini menggunakan bahan aktivator kimia seng klorida ($ZnCl_2$) untuk proses aktivasi arang aktif. Seng klorida mempunyai karakteristik seperti kristal, berwarna putih, dan mudah larut dalam air (Anggraeni & Yuliana, 2015). Seng klorida ($ZnCl_2$) berfungsi sebagai bahan pengaktif yang berperan dalam proses dehidrasi serta menekan pembentukan tar pada arang aktif, yang berdampak pada peningkatan kandungan karbon (Liu, 2017). Erdem *et al.* (2016), menambahkan selama proses aktivasi, $ZnCl_2$ bereaksi dengan melepaskan serta mengikat senyawa nonkarbon yang terikat di dalam pori-pori arang, sehingga struktur pori menjadi lebih terbuka dan luas permukaan pori arang aktif meningkat.

Turmuzi *et al.* (2015), Dalam pembuatan karbon aktif melalui aktivasi kimia, aktivator seperti ZnCl_2 dan H_3PO_4 lebih efektif digunakan pada material berlignoselulosa dibandingkan aktivator basa, karena material lignoselulosa memiliki kandungan oksigen yang tinggi sehingga mudah bereaksi dengan aktivator tersebut. Seng klorida (ZnCl_2) juga berperan sebagai oksidator mampu mengoksidasi dan mengikis permukaan arang, sehingga dapat membuka pori pada permukaan arang aktif serta memperbesar pori yang ada pada arang aktif (Tani & Lumingkewas, 2022).

Beberapa penelitian telah dilakukan antara lain oleh Suliesyah & Astuti (2021), berdasarkan hasil kajian tentang pembuatan arang aktif dari batubara peringkat rendah dengan variasi kadar ZnCl_2 sebesar 5 hingga 50%, diketahui bahwa kualitas arang aktif yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan standar mutu SNI No. 06-3730-1995. Arang aktif dengan aktivator ZnCl_2 yang menjadi perlakuan terbaik adalah konsentrasi ZnCl_2 40% dengan kadar air sebesar 11,9%, kadar abu 2,71%, kadar zat menguap 19,9%, kadar karbon terikat 65,5% dan daya serap iodin 1288 mg/g. Penelitian oleh Khamidah *et al.* (2021), tentang pembuatan arang aktif menggunakan eceng gondok dan aktivator ZnCl_2 10–30%, memperlihatkan bahwa perlakuan optimum diperoleh pada penggunaan ZnCl_2 dengan konsentrasi 30%, yang menghasilkan kadar air sebesar 0,18%, kadar abu 5,61%, serta daya serap iodin sebesar 827,381 mg/g. Anggraeni & Yuliana, (2015) pada penelitiannya menggunakan tempurung siwalan dengan aktivator ZnCl_2 pada kisaran konsentrasi 5-30% dengan waktu perendaman selama 1 jam pada suhu 300°C mendapatkan konsentrasi terbaik pada konsentrasi ZnCl_2 30% sesuai standar SNI No. 06-3730-1995, parameter mutu yang diperoleh meliputi kadar air 0,72%, kadar abu 0,31%, serta kadar zat yang hilang saat pemanasan 950°C sebesar 10,12%. Nilai kapasitas adsorpsi iodin tercatat sebesar 982,3 mg/g.

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini, cangkang buah karet digunakan sebagai bahan penelitian, yang bersumber dari kebun petani di Desa Babussalam Rokan, Kecamatan Pujud, Kabupaten Rokan Hilir, seng klorida (ZnCl_2) larutan iodium (I_2) 0,1 N, 1%, natrium tiosulfat (Na_2SO_3) dan akuades yang diperoleh dari Brata chemika.PT di Jalan Riau Pekanbaru.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini berupa kaleng berukuran besar, alu, mortar, blender, oven, timbangan analitik, baskom, kertas saring, desikator, pH meter, ayakan 100 *mesh*, gelas beker, pipet tetes, gelas ukur, labu ukur, spatula, batang pengaduk, cawan porselen, *aluminium foil*, alat titrasi, buret, kertas label, gelas jar, sarung tangan, masker, alat tulis serta kamera yang berfungsi sebagai sarana dokumentasi

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui pendekatan eksperimen dengan desain RAL yang mencakup lima perlakuan dan tiga kali ulangan, sehingga terbentuk 15 unit percobaan secara keseluruhan. Perlakuan dalam penelitian mengacu pada Anggraeni & Yuliana, (2015) dengan perbedaan konsentrasi ZnCl_2 sebagai berikut:

- P1 = Konsentrasi aktivator ZnCl_2 20% (b/v)
- P2 = Konsentrasi aktivator ZnCl_2 25% (b/v)
- P3 = Konsentrasi aktivator ZnCl_2 30% (b/v)
- P4 = Konsentrasi aktivator ZnCl_2 35% (b/v)
- P5 = Konsentrasi aktivator ZnCl_2 40% (b/v)

Tahapan Penelitian

Persiapan bahan

Bahan disiapkan berdasarkan Efiyanti *et al.* (2020). Langkah awal yang dilakukan adalah memisahkan cangkang buah karet dari kulitnya, bahan tersebut kemudian dibersihkan dengan air mengalir dan dikeringkan secara alami melalui paparan sinar matahari selama 2–3 hari sampai kering sempurna.

Proses Karbonisasi Cangkang Buah Karet

Metode yang digunakan dalam pembuatan arang cangkang buah karet mengacu pada Rahmadini (2024). Cangkang buah karet yang telah mengalami pengeringan kemudian dimasukkan ke dalam kaleng untuk diproses lebih lanjut. lalu dilakukan proses karbonisasi dengan cara meletakkan kayu lalu dibakar menggunakan minyak tanah sebagai pemantik api. Ketika api sudah menyala, kaleng diletakkan diatas api yang sudah menyala kemudian ditimpa kembali dengan kayu bakar agar proses karbonisasi lebih sempurna. Proses karbonisasi dilakukan selama 45 menit sampai cangkang buah karet berubah menjadi arang. Setelah proses karbonisasi, arang yang diperoleh kemudian dibiarkan hingga dingin di dalam kaleng, kemudian dihancurkan menggunakan alu dan dihaluskan dengan blender lalu diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*. Sebelum dilakukan aktivasi, arang hasil pengayakan terlebih dahulu dianalisis untuk menentukan kadar air, kadar abu, rendemen, serta kadar zat menguapnya.

Tahapan Preparasi Larutan $ZnCl_2$

Tahapan preparasi larutan $ZnCl_2$ merujuk pada Nopiani *et al.* (2024), ditimbang $ZnCl_2$ sesuai perlakuan yaitu konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ sebanyak 20 g (20%), 25 g (25%), 30 g (30%), 35 g (35%) dan 40g (40%). Masing-masing ditambahkan kedalam gelas beker ukuran 100 ml dan dilarutkan menggunakan akuades lalu diaduk menggunakan batang pengaduk hingga larut, larutan $ZnCl_2$ ditempatkan dalam labu ukur 100 mL, kemudian volume disesuaikan dengan penambahan akuades hingga tanda tera dan diaduk sampai homogen.

Aktivasi Arang Cangkang Buah Karet

Proses aktivasi arang cangkang buah karet merujuk pada Anggraeni & Yuliana (2015), sebanyak 15 g arang cangkang buah karet yang sudah melewati proses penyaringan (pengayakan) ditimbang untuk keperluan analisis, sampel selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian diberi penambahan 100 mL larutan $ZnCl_2$ sesuai dengan perlakuan konsentrasi yang diterapkan, yakni 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40%

lalu diaduk dan direndam selama 24 jam. Endapan yang dihasilkan dalam larutan diambil dan disaring menggunakan kertas saring lalu dipindahkan kedalam cawan porselen. Arang hasil penyaringan selanjutnya dinetralkan dengan cara sampel dibilas berulang kali dengan akuades sampai menunjukkan pH netral (pH 7) berdasarkan hasil pengukuran pH meter, kemudian dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 4 jam.

Kadar Air

Metode analisis kadar air yang digunakan mengikuti Sudarmadji *et al.* (1997). Penetapan kadar air pada arang aktif dilakukan untuk menilai tingkat daya serap kelembapan yang dimiliki oleh arang aktif tersebut. Cawan porselen terlebih dahulu dipanaskan di dalam oven bersuhu 105°C selama 30 menit untuk memastikan kondisinya kering. Dua gram arang ditempatkan dalam cawan dengan berat yang sudah dicatat sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengeringan ulang pada suhu 105°C selama tiga jam. Sampel dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit hingga mencapai kondisi dingin, lalu ditimbang. Berikutnya, sampel dimasukkan kembali ke dalam oven untuk dipanaskan selama satu jam, sampel diletakkan dalam desikator selama 15 menit untuk proses pendinginan, selanjutnya dilakukan penimbangan ulang. Proses ini diulang secara berkala sampai tercapai bobot konstan, yaitu ketika selisih antara dua penimbangan berurutan mencapai 0,0002 g. Nilai kadar air selanjutnya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air(\%)} = \frac{\text{Berat awal (g)} - \text{Berat akhir (g)}}{\text{Berat awal (g)}} \times 100$$

Kadar Abu

Penentuan kadar abu pada penelitian ini merujuk pada Sudarmadji *et al.* (1997), parameter kadar abu berperan penting dalam evaluasi kualitas arang aktif, karena jumlah abu yang tinggi dapat menutupi struktur pori dan mengurangi luas permukaan yang tersedia. Cawan terlebih dahulu diproses dalam oven bersuhu 100°C selama 10 menit untuk pengeringan, kemudian ditempatkan di dalam desikator selama 10 menit hingga suhunya

menurun. Dua gram bahan uji ditimbang, setelah itu dimasukkan ke cawan porselen yang telah memiliki data berat kering awal. Proses pemanasan dilakukan terhadap cawan yang mengandung sampel di dalam tanur bersuhu $600^{\circ}C$ selama 2 jam hingga tersisa abu berwarna keputihan sebagai residu. Setelah proses tersebut, cawan diletakkan dalam desikator selama 30 menit hingga suhu menurun, kemudian dilakukan penimbangan. Nilai kadar abu arang aktif selanjutnya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar abu(\%)} = \frac{\text{Berat abu (g)}}{\text{Berat sampel (g)}} \times 100$$

Kadar Zat Menguap

Penetapan kadar zat menguap dilakukan dengan merujuk pada ketentuan yang berlaku menurut Badan Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995, Penetapan kadar zat menguap dilakukan guna mengetahui kuantitas senyawa yang terlepas ketika dipanaskan pada suhu $950^{\circ}C$. Sebanyak dua gram sampel ditimbang dan dimasukkan ke cawan porselen yang massanya telah tercatat, lalu dipanaskan dalam tanur bersuhu $950^{\circ}C$ selama sepuluh menit. Setelah didinginkan dalam desikator dan mencapai bobot yang stabil melalui penimbangan, kadar zat menguap pada sampel dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar zat menguap(\%)} = \frac{\text{Selisih massa sampel (g)}}{\text{Massa sampel kering oven (g)}} \times 100$$

Kadar Karbon Terikat

Perhitungan karbon terikat dilakukan dengan berpedoman pada ketentuan Badan Standardisasi Nasional (SNI 06-3730-1995) mengenai arang aktif teknis. Perhitungan karbon terikat dilakukan dengan mengurangi persentase kandungan air, abu, dan zat menguap yang terdapat dalam sampel. Kadar karbon terikat selanjutnya ditentukan melalui perhitungan yang mengacu pada persamaan berikut:

$$\text{Kadar karbon terikat (\%)} = 100 - (A + B + C)$$

Keterangan :

A = Kadar zat mudah menguap (%)

B = Kadar abu (%)

C = Kadar air (%)

Daya Serap Iodin

Pengujian daya serap iodin dilakukan dengan mengacu pada Badan Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995, analisis kemampuan arang aktif dalam mengadsorpsi iodin dilakukan guna mengetahui kapasitasnya dalam menyerap larutan berwarna serta berbagai zat pengotor. Sebagai indikator kemampuan penyerapan, Iodium dalam bentuk larutan dipergunakan karena memiliki aroma yang tajam dan warna yang mudah diamati. Sebanyak 0,5 g arang aktif ditimbang secara seksama sebagai bagian dari prosedur, larutan terlebih dahulu dipindahkan ke dalam labu Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 50 mL larutan iodium (I_2) dengan normalitas 0,1 N. Setelah campuran diaduk, langkah selanjutnya adalah menyaringnya menggunakan kertas saring agar diperoleh filtrat. Sebanyak 10 mL filtrat dititrasikan dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N hingga menunjukkan perubahan warna menjadi kuning pucat. Setelah penambahan indikator amilum 1%, proses titrasi dilanjutkan sampai larutan menjadi jernih, kemudian volume larutan penitrasi yang digunakan dicatat. Daya serap iodium selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan yang digunakan.

$$\text{Daya serap iod} = \frac{A - \frac{B \times N (Na_2S_2O_3)}{N (I_2)} 12,69 \times 5}{\alpha}$$

Keterangan:

A = Volume larutan iodin (ml)

B = Volume $Na_2S_2O_3$ yang terpakai (ml)

5 = Faktor pengenceran

α = Bobot arang aktif (g)

N ($Na_2S_2O_3$) = Konsentrasi $Na_2S_2O_3$ (N)

N (I_2) = Konsentrasi iodin (N)

12,69 = Jumlah iodin sesuai 1 ml larutan $Na_2S_2O_3$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Kadar air mengacu pada proporsi air yang terdapat dalam suatu bahan, dan penyajiannya dinyatakan dalam bentuk persen. Pengujian kadar air dilakukan untuk menilai sifat higroskopis arang

aktif yang berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsinya, serta untuk mengetahui jumlah air yang tidak teruapkan dan berpotensi menutup pori-pori arang aktif (Verlina, 2014). Hasil pengujian melalui analisis sidik ragam mengindikasikan adanya pengaruh signifikan variasi konsentrasi ZnCl_2 terhadap kadar air arang aktif yang diperoleh dari cangkang buah karet. Hasil pengujian kadar air arang aktif cangkang buah karet dalam bentuk nilai rata-rata tercantum pada Tabel 1.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa rerata kadar air tercatat pada kisaran 1,98 sampai 5,18%. Perlakuan P1 dengan konsentrasi aktivator ZnCl_2 20% menghasilkan kadar air tertinggi sebesar 5,18%, hasil uji statistik menunjukkan bahwa perlakuan ini setara dengan P2, tetapi berbeda secara signifikan jika dibandingkan dengan P3, P4, dan P5. Pada perlakuan P5 (ZnCl_2 40%) tercatat kadar air sebesar 1,98% sebagai nilai terendah. Hasil tersebut secara statistik sepadan dengan P4, namun memperlihatkan perbedaan signifikan terhadap perlakuan lainnya.

Tabel 1, peningkatan konsentrasi ZnCl_2 sebagai aktivator berpengaruh terhadap menurunnya kadar air hasil akhir. Hal ini berlangsung akibat kemampuan ZnCl_2 dalam proses aktivasi untuk mengeluarkan kandungan air dari pori-pori arang aktif, yang kemudian menguap selama tahapan pengeringan. Proses ini menyebabkan struktur pori menjadi lebih terbuka sehingga luas permukaan arang aktif yang dihasilkan meningkat. Hal ini didukung oleh pernyataan Vivi & Adriana (2022), Nilai kadar air yang diperoleh menunjukkan peran aktivator sebagai agen pendehidrasi, yakni melalui peningkatan molekul air yang berada di dalam pori-pori arang aktif sehingga berkontribusi terhadap peningkatan luas permukaan arang aktif.

Menurut Meilianti (2018), menyatakan bahwa kadar air yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi aktivator. Luas permukaan pori arang aktif meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi aktivator, dan kondisi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan adsorpsi air. Menurut Budiarja (2021), Penurunan kadar air terjadi karena struktur adsorben yang telah

mengalami proses aktivasi, dimana atom-atom karbon pada arang aktif berperan dalam mengikat molekul air.

Hasil penelitian yang dilakukan memiliki persamaan seperti penelitian oleh Yunus *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa karbon aktif berbahan dasar eceng gondok dan diaktivasi menggunakan ZnCl_2 pada konsentrasi 5-15% memiliki kadar air rata-rata antara 6,42-6,17%. Kadar air menurun seiring bertambahnya konsentrasi ZnCl_2 . Menurut Prasetyo & Nasrudin (2013), Luas permukaan pori arang aktif mengalami peningkatan seiring dengan naiknya konsentrasi aktivator, dan kondisi ini berdampak pada meningkatnya kapasitas adsorpsi karbon aktif. Dalam SNI 06-3730-1995 yang mengatur spesifikasi arang aktif, kadar air ditetapkan dengan batas tertinggi sebesar 15%. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rerata kadar air arang aktif yang berasal dari cangkang biji karet pada semua perlakuan telah sesuai dengan persyaratan mutu menurut SNI 06-3730-1995.

Kadar Abu

Kadar abu merujuk pada sisa pembakaran yang tidak lagi mengandung unsur karbon dan tidak mempunyai nilai kalor. Kualitas arang aktif dipengaruhi oleh kandungan abu, karena semakin tinggi kadar abu dapat menghambat porositas dengan menyumbat pori-pori dan menurunkan luas permukaan aktif (Ghafarunnisa *et al.*, 2017). Pengujian kadar abu bertujuan untuk mengevaluasi jumlah oksida logam yang masih terkandung dalam arang aktif setelah proses pemanasan pada suhu 600°C dilakukan. Temuan analisis memperlihatkan bahwa tingkat konsentrasi ZnCl_2 yang bervariasi terbukti memengaruhi secara signifikan kadar abu arang aktif berbahan dasar cangkang buah karet. Nilai rata-rata kadar abu dapat dilihat pada Tabel 1.

Rata-rata kadar abu yang dihasilkan berkisar antara 4,82–6,77%. Uji sidik ragam memperlihatkan bahwa P4 tidak berbeda nyata dengan P5, namun menunjukkan perbedaan yang bermakna secara statistik terhadap P1, P2, dan P3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan P1 pada konsentrasi ZnCl_2 20% memberikan nilai

kadar abu tertinggi, yaitu 6,77%, hasil terendah untuk parameter kadar abu ditunjukkan oleh perlakuan P5 pada konsentrasi ZnCl_2 40%, dengan nilai 4,82%.

Pada Tabel 1 dapat diamati bahwa kenaikan konsentrasi ZnCl_2 sebagai agen pengaktivasi berkorelasi dengan berkurangnya nilai kadar abu yang diperoleh. Selama proses aktivasi, ZnCl_2 berfungsi melepaskan mineral anorganik seperti oksida logam, magnesium, kalium dan silika yang kemudian terlarut saat tahap pencucian. Konsentrasi ZnCl_2 yang lebih tinggi cenderung meningkatkan keterbukaan struktur pori, yang pada akhirnya memperluas permukaan dan menambah volume arang aktif, Kondisi ini menjadikan kadar abu arang aktif cangkang buah karet lebih rendah.

Setiyoningsih *et al.* (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa larutan ZnCl_2 yang bersifat asam dapat menghilangkan endapan mineral logam yang masih menutup pori arang aktif, sehingga ruang pori menjadi lebih luas dan

aksesibilitasnya meningkat. Verlina (2014) Struktur arang aktif terdiri atas lapisan karbon bertumpuk yang membentuk pori-pori, yang sebagian tertutup oleh pengotor mineral anorganik dan oksida logam. Proses aktivasi melarutkan pengotor tersebut sehingga terbentuk pori-pori baru yang lebih dengan ukuran yang lebih besar.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Khamidah *et al.* (2021) yang menggunakan eceng gondok dan aktivator ZnCl_2 konsentrasi 10–30% menghasilkan nilai kadar abu sebesar 6,45–5,61%, semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan, semakin rendah nilai kadar abu yang diperoleh. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Buchari (2022) Semakin tinggi konsentrasi ZnCl_2 , semakin banyak tar dan mineral organik yang terlarut dari pori-pori karbon, sehingga luas permukaannya meningkat. Karbon aktif dengan luas permukaan lebih besar mampu menyerap zat lebih banyak dan menjadi adsorben yang lebih efektif.

Tabel 1. Hasil pengujian arang aktif dari cangkang buah karet

Parameter	SNI	Perlakuan				
		P1 (ZnCl_2 20%)	P2 (ZnCl_2 25%)	P3 (ZnCl_2 30%)	P4 (ZnCl_2 35%)	P5 (ZnCl_2 40%)
Kadar air (%)	maks. 15	5,18 ^a	5,06 ^a	3,52 ^b	2,39^c	1,98 ^c
Kadar abu (%)	maks. 10	6,77 ^d	6,29 ^c	5,43 ^b	5,20^{ab}	4,82 ^a
Kadar zat menguap (%)	maks. 25	18,75 ^c	18,36 ^c	16,08 ^b	14,53^a	14,31 ^a
Kadar karbon terikat (%)	min.65	69,29 ^a	70,28 ^a	74,97 ^b	77,88^c	78,90 ^c
Daya serap iodin (mg/g)	min.750	635,95 ^a	670,80 ^a	778,20 ^b	838,85^{bc}	865,35 ^c

Ket: Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf 5%

Kadar Zat Menguap

Nilai kadar zat volatil menggambarkan jumlah zat organik yang teruapkan sebagai hasil degradasi komponen penyusun karbon aktif akibat perlakuan panas seperti air, karbon dioksida, oksigen, metana, dan senyawa oksida logam lainnya (Junary *et al.*, 2015). Uji sidik ragam memperlihatkan adanya pengaruh nyata konsentrasi ZnCl_2 terhadap kadar komponen yang mudah menguap pada arang aktif cangkang buah karet. Rata-rata hasil uji kadar zat menguap arang aktif

yang berasal dari cangkang buah karet tercantum pada Tabel 1.

Rentang kadar zat yang bersifat volatil dalam penelitian ini adalah 14,31–18,75%. Kadar zat menguap tertinggi diperoleh pada perlakuan P1 dengan konsentrasi aktivator ZnCl_2 sebesar 20%, yaitu 18,75%, tidak ditemukan perbedaan nyata antara perlakuan ini dan P2, sedangkan perbedaan yang signifikan teridentifikasi saat dibandingkan dengan P3, P4, serta P5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan P5 dengan penambahan ZnCl_2 40% menghasilkan kadar zat

menguap terendah sebesar 14,31%, tidak terdapat perbedaan signifikan dengan perlakuan P4, sedangkan terhadap perlakuan lain menunjukkan perbedaan yang nyata.

Hasil yang tercantum dalam Tabel 1 mengindikasikan adanya kecenderungan penurunan seiring bertambahnya konsentrasi aktivator ZnCl_2 , kadar senyawa yang mudah menguap dalam arang aktif dari cangkang buah karet turut meningkat. Hal ini disebabkan pada saat proses aktivasi ZnCl_2 bereaksi dengan cara melepaskan senyawa volatil dan zat pengotor seperti tar, yang terdapat pada pori-pori arang aktif dan kemudian ikut larut pada saat proses pencucian, sehingga semakin besar konsentrasi aktivator ZnCl_2 yang digunakan, membuat pori-pori semakin terbuka dan memperluas permukaan serta volume arang aktif yang dihasilkan juga semakin besar sehingga membuat kadar zat menguap arang aktif berbahan cangkang buah karet semakin menurun..

Khasanah *et al.* (2020) menjelaskan, kandungan zat menguap yang tinggi dapat dikaitkan dengan keberadaan senyawa non-karbon yang menutupi permukaan arang aktif, sehingga mengurangi luas permukaan efektif dan efektivitas proses adsorpsi. Pari *et al.* (2014) berkurangnya kadar zat menguap menunjukkan bahwa karbon bereaksi dengan uap air selama aktivasi, menghasilkan senyawa nonkarbon yang mudah menguap seperti CO , CH_4 , dan H_2 .

Penelitian Anggraeni & Yuliana (2015) yang menggunakan tempurung siwalan dan aktivator ZnCl_2 5–30% menghasilkan nilai kadar zat menguap sebesar 11,93–10,12%. Nilai kadar zat menguap menunjukkan pola penurunan yang konsisten sejalan dengan kenaikan konsentrasi aktivator ZnCl_2 . Hal tersebut didukung oleh Meilianti (2018) yang berpendapat bahwa kenaikan konsentrasi aktivator menyebabkan berkurangnya kadar zat menguap, fenomena ini terjadi karena karbon aktif telah mengadsorpsi sebagian besar zat, sehingga kadar senyawa yang dapat menguap mengalami penurunan. Sesuai dengan SNI No. 06–3730–1995 terkait arang aktif teknis, kandungan zat menguap ditetapkan maksimal sebesar 25%, rerata data dari seluruh perlakuan menunjukkan

kesesuaian dengan standar mutu sebagaimana diatur dalam SNI No. 06–3730–1995.

Kadar Karbon Terikat

Analisis kadar karbon terikat bertujuan untuk menentukan tingkat karbon murni dalam arang aktif yang telah mengalami proses karbonisasi serta aktivasi. Situasi tersebut mendorong pengembangan pori arang aktif, sehingga luas permukaan dan volume pori meningkat dan pada akhirnya berkontribusi terhadap besarnya kadar karbon terikat. Kadar karbon terikat yang tinggi tidak terlepas dari rendahnya kandungan abu dan zat volatil, di mana rata-rata karbon terikat yang dihasilkan berada pada kisaran 69,29–78,90%.

Nilai maksimum karbon terikat diperoleh pada perlakuan P5 ketika konsentrasi aktivator ZnCl_2 ditetapkan sebesar 40% sebesar 78,90%, yang secara statistik tidak berbeda nyata dengan perlakuan P4, namun menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan perlakuan P1, P2, dan P3. Karbon terikat terendah sebesar 69,29% ditemukan pada perlakuan P1 dengan konsentrasi ZnCl_2 20% secara statistik tidak berbeda nyata dengan P4, tetapi menunjukkan perbedaan signifikan terhadap perlakuan lainnya.

Tabel 1 menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi aktivator ZnCl_2 diikuti oleh peningkatan kadar karbon terikat pada arang aktif yang berasal dari cangkang buah karet. Peningkatan tersebut terjadi karena ZnCl_2 selama proses aktivasi berperan dalam melepaskan senyawa pengotor, mineral organik, serta sisa aktivator yang berada di dalam pori-pori arang aktif, yang selanjutnya terlarut pada tahap pencucian. Penggunaan ZnCl_2 dalam konsentrasi yang lebih tinggi menghasilkan pengembangan pori arang aktif, yang ditandai dengan peningkatan luas permukaan dan volume pori, yang pada akhirnya menyebabkan kandungan karbon terikat menjadi lebih tinggi. Rendahnya kandungan abu dan zat menguap menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap tingginya kadar karbon terikat. Hal ini diperkuat oleh Lua & Yang (2015) menyatakan bahwa peningkatan rasio ZnCl_2 dapat semakin menekan pembentukan tar dan senyawa lain yang berpotensi menyumbat pori-pori

arang aktif, sehingga kandungan karbon pada arang yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.

Menurut Ghafarunnisa *et al.* (2017), perbedaan nilai karbon terikat yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh kadar zat menguap serta kandungan abu, disamping itu, kandungan selulosa serta lignin dalam bahan dasar memberikan kontribusi karena dapat terdegradasi dan menghasilkan atom karbon. Penelitian Buchari (2022), yang menggunakan sekam padi dan aktivator ZnCl_2 10–30% menghasilkan nilai kadar karbon terikat dengan kisaran 36,51–56,36%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi ZnCl_2 sebagai aktivator diikuti oleh peningkatan nilai karbon terikat. Selain itu, besarnya karbon terikat yang diperoleh dipengaruhi oleh komposisi lignoselulosa pada bahan baku yang digunakan.

Berdasarkan temuan Efiyanti *et al.* (2020), bahan baku yang kaya lignoselulosa memiliki potensi menghasilkan karbon terikat dengan nilai yang lebih tinggi disebabkan karena bahan baku mengandung yang lignoselulosa merupakan sumber unsur karbon, sehingga semakin tinggi kandungan nya maka nilai karbon terikat arang aktif yang diperoleh semakin tinggi. Berdasarkan SNI No. 06–3730–1995 ditegaskan bahwa persentase karbon terikat pada arang aktif paling rendah adalah 65% kandungan karbon terikat rata-rata pada arang aktif berbahan cangkang buah karet untuk setiap perlakuan dinyatakan telah memenuhi standar yang dipersyaratkan.

Daya Serap Iodin

Parameter daya adsorpsi iodin sering digunakan sebagai acuan dalam mengukur mutu arang aktif. Penentuan nilai daya serap iodin digunakan sebagai parameter untuk menilai kemampuan arang aktif dalam mengadsorpsi larutan berwarna. Hasil analisis menunjukkan bahwa Peningkatan maupun penurunan konsentrasi ZnCl_2 secara signifikan memengaruhi nilai daya serap iodin arang aktif dari cangkang buah karet. Rataan hasil pengujian daya serap iodin tersebut tercantum pada Tabel 1.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya serap iodin arang aktif berkisar antara 635,95 hingga 865,35 mg/g. Perlakuan P5 dengan Konsentrasi ZnCl_2 40% memberikan performa terbaik dalam penyerapan iodin, dengan nilai daya serap mencapai 865,35 mg/g, Perbandingan menunjukkan bahwa hasil tersebut sebanding dengan P4, tetapi berbeda secara nyata dari P1, P2, dan P3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan P1 dengan konsentrasi ZnCl_2 20% menghasilkan daya serap iodin sebesar 635,95 mg/g, dan nilai ini menjadi yang paling rendah. Secara statistik, nilainya tidak berbeda nyata dari P2, namun menunjukkan perbedaan nyata dibanding perlakuan lainnya.

Hasil yang tercantum dalam Tabel 1 mengindikasikan terdapat hubungan positif antara konsentrasi aktivator ZnCl_2 dan kemampuan arang aktif cangkang buah karet dalam menyerap iodin, di mana peningkatan konsentrasi diikuti oleh peningkatan daya adsorpsi. Hal tersebut terjadi karena selama proses aktivasi, peran ZnCl_2 adalah melarutkan serta membersihkan zat pengotor yang menutupi permukaan pori-pori arang aktif, sehingga karbon tertinggal di dalam struktur pori. Semakin tinggi konsentrasi ZnCl_2 yang digunakan, efek ini semakin meningkat membuat pori-pori semakin terbuka sehingga luas permukaan arang aktif menjadi semakin besar yang membuat daya serap terhadap iodin pada arang aktif cangkang buah karet semakin meningkat. Menurut Ozdemir *et al.* (2014), peningkatan jumlah ZnCl_2 dalam proses aktivasi berpengaruh positif terhadap bertambahnya luas permukaan pori pada arang aktif, sehingga memperkuat pendapat tersebut dan berimplikasi pada meningkatnya daya serap iodin. Efiyanti *et al.* (2020) dalam penelitiannya juga menambahkan arang aktif dengan kadar karbon yang lebih tinggi cenderung memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik akibat jumlah pori yang lebih banyak pada matriksnya., Oleh karena itu, nilai penyerapan iodin oleh arang aktif akan semakin besar.

Menurut penelitian Erdem *et al.* (2016) yang menyebutkan bahwa kenaikan dosis ZnCl_2 menyebabkan bertambahnya luas permukaan spesifik dan volume pori arang aktif, sehingga arang

yang diperoleh memiliki distribusi pori yang lebih banyak. Menurut Budiarja (2021) menjelaskan bahwa ZnCl_2 dapat membersihkan pori-pori pada bahan yang mengandung karbon karena sifatnya yang dapat menarik senyawa pengotor dari bahan tersebut. Selama proses aktivasi, ZnCl_2 bekerja dengan cara melepaskan atom non karbon dari bahan karbon sehingga struktur karbon menjadi lebih berpori.

Penelitian oleh Buchari (2022) yang menggunakan sekam padi dan aktivator ZnCl_2 10–30% menghasilkan daya serap iodine dengan kisaran 680,47–705,20 mg/g. Kapasitas adsorpsi iodine yang diperoleh menjadi lebih tinggi ketika konsentrasi aktivator ZnCl_2 ditingkatkan. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Dinna & Siregar (2017) bahwa bertambahnya konsentrasi aktivator menyebabkan lebih banyak pengotor tereliminasi dari permukaan karbon aktif, yang pada akhirnya meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap iodine. Impuritas yang terdapat di dalam dan pada permukaan pori mengalami pelepasan atau penguapan, sehingga permukaan efektif karbon aktif menjadi semakin luas. Dalam SNI 06-3730-1995 dinyatakan bahwa arang aktif wajib memenuhi batas minimum daya adsorpsi iodine sebesar 750 mg/g.

KESIMPULAN

Berdasarkan interpretasi terhadap data penelitian yang telah dianalisis, dapat ditegaskan bahwa variasi peningkatan konsentrasi ZnCl_2 sebagai aktivator menunjukkan pengaruh yang bermakna terhadap kandungan air, abu, zat volatil, dan karbon terikat. Berdasarkan hasil analisis, kemampuan adsorpsi iodine telah berada dalam batas standar yang ditetapkan oleh SNI No. 06–3730–1995 tentang arang aktif teknis. Arang aktif perlakuan terbaik berdasarkan hasil analisis terdapat pada perlakuan P4 Dengan penambahan aktivator ZnCl_2 sebanyak 35%, karakteristik yang diperoleh meliputi kadar air 2,39%, kadar abu 5,20%, kadar zat volatil 14,53%, kadar karbon terikat 77,88%, dan daya adsorpsi terhadap iodine sebesar 838,85 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad R. K., Martini, S., & Legiso. (2021). Analisis adsorben arang aktif sekam padi dan kulit pisang kepok untuk pengolahan air sungai gasing talang kelapa kabupaten banyuasin sumatera selatan. *Jurnal Konversi*, 10(2), 13–18.
- Aminin, D., Oktasari, A., & Wijayanti, F. (2021). Pemanfaatan cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai adsorben logam berat timbal (pb). *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 9(1), 10–17.
- Anggraeni, I. S., & Yuliana, L. E. (2015). Pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung siwalan (*Borassus flabellifer* L.) dengan menggunakan aktivator seng klorida (ZnCl_2) dan natrium karbonat (Na_2CO_3). (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November).
- Badan Pusat Statistik. 2023. Provinsi Riau dalam Angka. Badan Pusat Statistik Provinsi Riau: Pekanbaru.
- Badan Pusat Statistik. 2023. Statistik Karet Indonesia 2023. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1995. Arang Aktif Teknis SNI 06-3730-1995. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Buchari, M. H. (2022). Effects of zink chloride impregnation on the characteristics of porous carbon from rice husk. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 153–158.
- Budiarja, Y. (2021). Pengaruh aktivasi kimia terhadap adsorben fly ash batubara untuk penyerap polutan emisi gas buang. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(1), 65–74.
- Dinna, A., & Siregar, A. M. (2017). Pengolahan tempurung kemiri sebagai karbon aktif dengan variasi konsentrasi aktivator asam fosfat. *Jurnal Einstein*, 1(1), 72–82.
- Efiyanti, L., Wati, S. A., & Maslahat, M. (2020). Pembuatan dan analisis karbon aktif dari cangkang buah karet dengan proses kimia dan fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 14(1), 94.

- Erdem, M., Orhan, R., Şahin, M., & Aydın, E. (2016). Preparation and characterization of a novel activated carbon from vine shoots by ZnCl_2 activation and investigation of its rifampicine removal capability. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(7).
- Ghafarunnisa, D., Rauf, A., Tyas, B., Rukmana, S. (2017). Pemanfaatan batubara menjadi karbon aktif dengan proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan reagen asam fosfat (H_3PO_4) dan ammonium bikarbonat (NH_4HCO_3). *Prosiding Seminar Nasional XII*
- Halid, S. A., Rahim, A., Salingkat, C. A., Priyantono, E., & Gobel, M. (2021). Fabrikasi arang aktif tempurung kelapa, arang aktif aleurites moluccana dan karakterisasinya. *Jurnal Agrotekbis*, 9(6), 1573–1589.
- Junary, E., Pane, J.P., & Herlina, N. (2015). Pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap nilai kalor dan karakteristik pada pembuatan bioarang berbahan baku pelepah aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 46–52.
- Khamidah, N., Suparto, H., & Oktavianingsih, I. (2021). Utilization activated charcoal of hyacinth as peat water biofilter using ZnCl_2 activator. *Konversi*, 10(2), 73–80.
- Khasanah, L.U., A.R. Permatasari., E. W. (2020). Karakterisasi karbon aktif kulit singkong (*Manihot utilissima*) dengan variasi jenis aktivator. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 7(4), 0–6.
- Lua, A. C., & Yang, T. (2015). Characteristics of activated carbon prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 290(2), 505–513.
- Liu, S. (2017). Preparation of activated carbon from biomass and application in gas adsorption. (Faculty of Health, Engineering and Sciences University of Southern Queensland Toowoomba, Australia).
- Meilianti, M. (2018). Karakteristik karbon aktif dari cangkang buah karet menggunakan aktivator H_3PO_4 . *Jurnal Distilasi*, 2(2), 1.
- Nopiani, Y., Rossi, E., & Arnas, N. (2024). Karakterisasi arang aktif dari tongkol jagung dengan variasi konsentrasi aktivator natrium klorida. *Jurnal Teknotan*, 18(2), 149–156.
- Ozdemir, I., Şahin, M., Orhan, R., & Erdem, M. (2014). Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation. *Fuel Processing Technology*, 125, 200–206.
- Pari, G., Tohir, D., Mahpudin, & Ferry, J. (2014). Arang aktif serbuk gergaji kayu sebagai bahan adsorben pada pemurnian minyak goreng bekas (activated charcoal from wood sawdust as adsorbent material for frying oil refinery). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(4), 309–322.
- Prasetyo, Y., & Nasrudin, H. (2013). Penentuan konsentrasi ZnCl_2 pada proses pembuatan karbon aktif tongkol jagung dan penurunan konsentrasi surfaktan linier alkyl benzene sulphonate (las). *UNESA Journal of Chemistry*, 2(3), 231–235.
- Puspitasari, A. A., Sumarni, N. K., & Musafira, M. (2017). kajian kapasitas adsorpsi arang kulit kopi robusta teraktivasi ZnCl_2 terhadap ion pb (ii). *Kovalen*, 3(2), 134.
- Rahmadini, Y. (2024). *Konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) terhadap karakteristik arang aktif kulit batang sagu* (Skripsi, Universitas Riau).
- Setiyoningsih, L.A., Indarti, I., & Mulyono, T. (2018). Pembuatan dan karakterisasi arang aktif kulit singkong menggunakan aktivator ZnCl_2 . *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 13–19.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., & Suhardi. (1997). *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Lyberty : Yogyakarta
- Suliesyah, S., & Astuti, A. D. (2021). Optimasi aktivator ZnCl_2 dalam pembuatan karbon aktif dari batubara dan pengujian karbon aktif sebagai adsorben. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 6(2), 191–201.
- Tani, D & Lumingkewas, T. (2022). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan kombinasi

-
- aktivasi kimia dan fisika. *Fullerene Journal of Chemistry*, 7(2), 1–9.
- Turmuzi., Tua, A. O. S., & Fatimah. (2015). Pengaruh temperatur dalam pembuatan karbon aktif dari kulit salak (*Salacca sumatrana*) dengan aktivator seng klorida (ZnCl_2). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 59–64.
- Verlina, W. O. V. (2014). Potensi arang aktif tempurung kelapa sebagai adsorben emisi gas CO , NO , dan NO_x pada kendaraan bermotor. *Universitas Hasanuddin*, 1(10), 1–90.
- Vivi, & Adriana. (2022). Karakteristik karbon aktif dari cangkang kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dengan variasi jenis aktivator pada proses aktivasi kimia menggunakan gelombang ultrasonik. *Prosiding 6th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, 115–120.
- Yunus, R., Mikrianto, E., Abdurrahman, H., & Jaya, A. K. (2021). Karakteristik arang aktif eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan aktivator H_3PO_4 , ZnCl_2 , dan KOH . *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 6(3), 1–7.