



Penerapan *Green Chemistry* Nomor 7 untuk Penurunan Kesadahan Air

Muhammad Bakhru Thohir*

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Jl. Lettu Suyitno No. 2, Sukorejo, Bojonegoro, Indonesia 62119

* Corresponding Author e-mail: Bakhru@unigoro.ac.id

Sejarah Artikel

Diterima: 01-12-2023

Direvisi: 09-12-2023

Dipublikasi: 20-12-2023

Kata Kunci: arang aktif; *Citrus aurantifolia* S.; *Averrhoa bilimbi* L.; *green chemistry*

Abstrak

Bojonegoro memiliki bentangan pegunungan kapur, sehingga banyak sumber air di sekitar gunung kapur yang memiliki kualitas buruk. Solusi untuk masalah kesadahan air adalah dengan menggunakan pemanasan, namun teknik ini gagal untuk senyawa refraktori. Selain dipanaskan, solusi lain adalah disaring dan ditambah arang aktif, namun masalahnya adalah banyak arang aktif yang produksinya masih menggunakan asam sintetis dan hal ini bertentangan dengan 12 prinsip *green chemistry*. Tujuan dari riset ini adalah mensubstitusi asam sintetis dengan asam bahan alam dan juga mengetahui signifikansi kerja dari asam bahan alam dalam aktivasi arang aktif. Substitusi asam sintetis dengan asam bahan alam sebagai aktivator arang adalah keterbaruan dari riset ini, karena selama ini penelitian masih berfokus pada modifikasi asam, belum mempertimbangkan pentingnya penerapan 12 prinsip *green chemistry*. Penelitian ini diawali dengan produksi arang, lalu aktivasi dengan beragam asam, dan terakhir pengujian performa. Asam bahan alam didapat dari pasar pasar tradisional di Bojonegoro, sementara untuk sampel air sadur adalah sampel simulasi. Hasil dari riset adalah asam bahan alam dapat digunakan sebagai aktivator untuk mengaktifkan arang, hal ini terlihat dari hasil presentase kemampuan adsorpsi, didapatkan bahwa arang aktif yang diproduksi dengan *Citrus aurantifolia* S. dapat menurunkan sebanyak 29,05%; arang aktif dengan *Averrhoa bilimbi* L. sebesar 37,50%; dan dengan aktivator HCl sebesar 19,89%. Hasil yang didapat mengindikasikan bahwa riset ini memenuhi prinsip nomor 7 dari 12 prinsip *green chemistry* pada bidang produksi arang aktif.

Implementation of *Green Chemistry* Number 7 to Reduce Water Hardness

Article History

Received: 01-12-2023

Revised: 09-12-2023

Published: 20-12-2023

Keywords: activated charcoal; *Citrus aurantifolia* S.; *Averrhoa bilimbi* L.; *green chemistry*

Abstract

Bojonegoro has a stretch of limestone mountains, so many water sources around the limestone mountains are of poor quality. The treatment for water hardness is heating, but this technique fails for refractory compounds. Another solution besides heating is filtering and adding activated charcoal, but the problem is that many activated charcoals are produced using synthetic acids and this contradicts with 12 principles of *green chemistry*. The aim of this research is to substitute synthetic acids with natural acids and also to determine the significance of natural acids in the activation of activated charcoal. The substitution of synthetic acids with natural acids as charcoal activators is the novelty of this research, because to date, research has focused on acid modification, not considering the importance of applying the 12 principles of *green chemistry*. This research started with charcoal production, then activation with various acids, and finally performance testing. Natural acids were obtained from traditional markets in Bojonegoro, while water sample was a simulated sample. The result of the research is that natural acids could be used as activators to activate charcoal, this could be observed from the results of the percentage of adsorbing ability, it was found that activated charcoal produced with *Citrus aurantifolia* S. could reduce as much as 29.05%; activated charcoal with *Averrhoa bilimbi* L. by 37.50%; and with HCl activator by 19.89%. The results indicate that this research fulfills principle number 7 of the 12 principles of *green chemistry* in the field of activated charcoal production.

How to Cite: Thohir, M. (2023). Penerapan *Green Chemistry* Nomor 7 untuk Penurunan Kesadahan Air. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 11(6), 874-888. doi:<https://doi.org/10.33394/hjkk.v11i6.9871>

 <https://doi.org/10.33394/hjkk.v11i6.9871>

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



PENDAHULUAN

Bojonegoro adalah daerah yang dilalui pegunungan batu kapur di sebelah utara. Pegunungan batu kapur membentang dari barat ke timur, mulai dari Blora di sebelah barat sampai Lamongan di sebelah timur. Pegunungan batu kapur membuat banyak kawasan di Bojonegoro memiliki kondisi air yang tidak layak konsumsi, hal ini karena banyaknya kandungan kapur dalam air, dan hal ini menyebabkan air masuk dalam kategori air sadah (Khalimah, 2019). Batas aman kapur eksis di air minum dan membuatnya layak dikonsumsi menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2019 adalah 500 mg/L (Permenkes RI, 2017).

Salah satu solusi yang umum dilakukan masyarakat untuk menurunkan kesadahan air adalah dengan menyaring (Oktavianty et al., 2021) dan dipanaskan (Maran & Pare, 2019). Mekanisme saringan tradisional sebenarnya dapat menyerap beberapa kandungan kapur, namun metode ini akan semakin *powerfull* ketika saringan yang digunakan menggunakan arang aktif. Arang aktif akan memaksimalkan proses penyerapan “polutan” penyebab kesadahan air (Ekka et al., 2022). Selain menggunakan saringan, hal yang paling mudah dilakukan masyarakat adalah dengan memasak air, hal ini terbukti mampu mengendapkan beberapa komponen penyebab kesadahan air. Namun teknik ini gagal ketika eksistensi penyebab kesadahan adalah senyawa-senyawa yang bersifat refraktori atau tahan panas, karena untuk zat-zat refraktori akan tetap eksis dalam larutan dan tidak mengendap meskipun telah dipanaskan. Sehingga muaranya tetap memerlukan proses filtrasi agar benar-benar dapat menghasilkan air yang bersih dan dapat dikonsumsi masyarakat (Li et al., 2021).

Selain itu, arang aktif juga sudah terbukti dapat menjadi media pengadsorb yang baik, seperti amonium dalam air (Susilawati et al., 2023) dan PM 2,5 yang menjadi masalah moderen ini (Narakaew et al., 2022). Yang lebih mengembirakan, saat ini perkembangan modifikasi adsorben dapat menjadi media pengadsorb selektif (Ahmad et al., 2023). Selain pengadsorb, arang aktif saat ini juga memiliki pengaruh yang lebih luas, seperti dapat digunakan sebagai sensor pendeteksi (Li et al., 2022) dan juga katalis (Martin et al., 2023).

Masalah lain muncul saat pembuatan arang aktif. Pembuatan arang aktif terdapat titik masalah karena proses aktivasi yang selama ini dilakukan selalu menggunakan aktivator dari asam atau basa sintetik (Rownok et al., 2022), seperti HCl (Huda et al., 2020), H₂SO₄ (Darajat et al., 2023), NaOH (Aryani et al., 2019), ZnCl₂ (Yunus et al., 2021), dan CaCl₂ (Purwanti et al., 2020). Letak masalah saat menggunakan aktivator sintetik adalah penggunaan bahan kimia secara berlebihan yang akan membuat limbah kimia dan merusak lingkungan. Masalah semacam polutan bahan kimia seperti ini sudah disadari ilmuan pada abad ke 20 yang titik baliknya adalah di akhir abad 20 terdapat konferensi di Swedia untuk merumuskan prinsip-prinsip yang harus diterapkan kimia untuk membantu memperbaiki kondisi dunia (Muliani et al., 2019).

Tepatnya pada tahun 1998, Anastas dan Warner mengusulkan 12 prinsip yang digunakan untuk mengelola aktivitas kimia untuk dunia yang lebih berkelanjutan. Prinsip nomor 7 dari 12 itu berbunyi “menggunakan bahan baru terbarukan” dan hal ini dapat digunakan untuk memperbaiki proses produksi arang aktif (Ardila-Fierro & Hernández, 2021). Menggunakan bahan baru terbarukan adalah proses atau usaha untuk mensubstitusi material kimia yang selama ini bersifat sekali pakai dan tidak terbarukan menjadi bahan yang mudah diproduksi dan bersifat

terbarukan untuk proses kerja di laboratorium (Inayah et al., 2022). Dalam urusan mengembangkan prinsip nomor 7, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar, karena memiliki banyak bahan baku dari alam yang dapat dimaksimalkan (Stefanus Batu et al., 2023).

Dengan menggunakan sedikit saja ingatan tentang bahan yang ada di sekitar dan memiliki rasa asam, kita akan mendapatkan banyak sekali contoh seperti jeruk peras, jeruk nipis, lemon, belimbing, nanas dan masih banyak yang lain. Bahan-bahan yang disebutkan sudah pasti memiliki pH yang rendah dan akan mengandung beberapa komponen asam. Beberapa asam yang eksis di bahan alam antara lain asam malat, asam laktat, asam fumarat, asam piroglutamat, asam oksalat, asam askorbat, asam sitrat, dan asam tartrat (Muchtadi et al., 2013). Bahan baku pembuatan arang aktif terdapat banyak di Indonesia, diantaranya yang dapat dijadikan bahan baku adalah bambu (Nyika & Dinka, 2022), sekam padi, batok kelapa (Costa Louzada et al., 2023), ampas kopi (Zhao et al., 2023), atau bonggol jagung.

Sementara itu, bahan alam yang digunakan sebagai sumber asam adalah *Averrhoa bilimbi L.* atau dalam bahasa Indonesia disebut “belimbing wuluh” dan jeruk nipis (*Citrus aurantifolia S.*). *Averrhoa bilimbi L.* mengandung tanin, saponin, glukosida, sulfur, asam format dan peroksida. Dalam *Averrhoa bilimbi L.* juga terdapat asam amino, asam sitrat, senyawa fenolik, ion kalsium, gula dan vitamin. Selain hal tersebut juga terdapat beberapa metabolit sekunder seperti flavonoid dan triterpenoid yang berfungsi sebagai anti bakteri (Aula Prasetya & Evanuarini, 2019). Buah *Averrhoa bilimbi L.* juga mengandung polifenol, tanin dan saponin (Datu et al., 2015). *Averrhoa bilimbi L.* banyak mengandung asam-asam organik (Muchtadi et al., 2013).

Averrhoa bilimbi L. dapat digunakan sebagai aktivator asam bahan alam untuk mengaktivasi arang aktif dari ampas tebu, hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa arang aktif yang diaktivasi oleh *Averrhoa bilimbi L.* sangat reaktif. Artinya *Averrhoa bilimbi L.* dapat digunakan sebagai aktivator ramah lingkungan pada pembuatan arang aktif (Kurniasih et al., 2021). Selain itu bahwa bonggol jagung yang diaktivasi oleh *Averrhoa bilimbi L.* dengan konsentrasi 100% menunjukkan hasil pengujian daya serap terhadap iodium sebesar 1002,51 mg/g di mana SNI nya adalah 750 mg/g (Hatibie et al., 2022).

Sementara *Citrus aurantifolia S.* belum ada yang melaporkan dapat digunakan sebagai aktivator arang aktif. *Citrus aurantifolia S.* memiliki potensi yang besar sebagai aktivator karena kandungan asam organik berupa asam sitrat yang nilainya 10 kali lebih tinggi dibandingkan asam sitrat dari jeruk keprok, enam kali dari jeruk manis. *Citrus aurantifolia S.* mengandung asam sitrat 7-8% dari berat buah, asam amino, minyak atsiri, damar, glikosida, asam sitrun, lemak, kalsium, fosfor, besi, belerang, vitamin B1 dan C (Shanmugan et al., 2021).

Asam organik utama yang terdapat dalam buah-buahan genus *Citrus* adalah asam sitrat dan asam malat, dengan sedikit mengandung asam tartarat, asam benzoat dan asam laktat (Karadeniz, 2004). Air perasan *Citrus aurantifolia S.* segar mengandung 6,15% asam sitrat, 0,09% asam laktat, serta sejumlah kecil asam tartrat (Nour et al., 2010). Selain digunakan untuk kebutuhan obat dan makanan, *Citrus aurantifolia S.* juga dimanfaatkan untuk keperluan penelitian yaitu pengasam (aktivator asam) (Adi Wira Prasetya et al., 2023).

Selama ini proses aktivasi lebih sering menggunakan asam-asam sintetik. Sehingga tujuan dari riset ini adalah mensubstitusi asam sintetik dengan asam bahan alam dan juga mengetahui signifikansi kerja dari asam bahan alam dalam aktivasi arang aktif. Rumusan masalah dari riset ini adalah apakah asam dari bahan alam dapat menggantikan asam sintetik? Dan kalau ternyata bisa, apakah kerja aktivasi asam bahan alam akan signifikan? Substitusi asam sintetik dengan asam bahan alam sebagai aktivator arang adalah keterbaruan dari riset ini, karena selama ini

penelitian masih berfokus pada modifikasi asam, belum mempertimbangkan pentingnya penerapan 12 prinsip *green chemistry*. Riset ini menggunakan sumber arang aktif dari bonggol jagung yang banyak ditemukan di ladang perkebunan jagung di sepanjang bentangan utara Kabupaten Bojonegoro, dan sumber asam bahan alam didapatkan dari pasar tradisional di Bojonegoro.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam riset ini antara lain timbangan analitik, *stirer*, *hot plate*, termometer, seperangkat alat titrasi, *furnace*, penghalus bonggol jagung, ayakan 200 mesh, dan peralatan gelas. Sementara untuk bahan yang digunakan antara lain bonggol jagung, aquades, HCl, *Averrhoa bilimbi L.*, *Citrus aurantifolia S.*, EDTA, indikator EBT-NaCl, *Buffer ammonia* pH 10, kertas saring, dan larutan ion Ca^{2+} 10 ppm dan larutan ion Mg^{2+} 10 ppm.

Pembuatan Arang Aktif dari Bonggol Jagung

Bonggol jagung dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan pengotor. Bonggol jagung dipotong kecil-kecil kemudian dikeringkan pada suhu 100 °C di dalam oven sampai kering. Bonggol jagung kering kemudian dipanaskan untuk membuat arang dengan *furnace* pada suhu 400 °C selama 10 menit. Arang yang diperoleh ditumbuk sampai halus. Arang halus kemudian diayak pada ayakan 200 mesh (Kusuma et al., 2020).

Aktivasi Arang dengan HCl

Diambil 5 gr arang dengan ukuran 200 mesh dan ditambahkan 50 mL larutan HCl 4M. Selanjutnya wadah ditutup dengan aluminium foil dan dibiarkan selama 24 jam. Setelah dilakukan perendaman selama 24 jam, arang disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga pH-nya netral. Arang yang didapat dioven pada suhu 110 derajat °C selama 3 jam. Lalu, arang aktif disimpan pada wadah plastik (Kusuma et al., 2020).

Aktivasi dengan Asam Bahan Alam.

Perlakuan yang sama dilakukan dalam proses aktivasi dengan asam bahan alam, hanya saat proses penambahan HCl diganti dengan 50 mL larutan sari *Citrus aurantifolia S.* (Adi Wira Prasetya et al., 2023) atau 50 mL larutan sari *Averrhoa bilimbi L.* (Kurniasih et al., 2021).

Adsorpsi dan Analisis Data

Sebanyak 200 mg arang aktif yang sudah dibuat kemudian dikontakkan dengan larutan ion Ca^{2+} - Mg^{2+} 10 ppm sebanyak 100 mL selama 60 menit dan distirer. Setelah dikontakkan dengan berbagai macam arang (Arang teraktivasi HCl, *Citrus aurantifolia S.* dan *Averrhoa bilimbi L.*), larutan hasil adsorpsi disaring dan diambil filtrat untuk selanjutnya dilakukan titrasi (Kusuma et al., 2020).

Seratus mililiter filtrat hasil penyaringan dari masing-masing sampel diambil dan ditambah dengan 2 mL larutan *buffer ammonia* pH 10. Selanjutnya diberi indikator EBT-NaCl sedikit hingga larutan berubah warna menjadi merah muda. Kemudian larutan distirer sembari dititrasi dengan larutan EDTA sampai titik akhir titrasi, ditandai dengan perubahan warna menjadi biru muda. Dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing sampel dan dihitung konsentrasinya. Dan akhirnya dilakukan analisis data untuk menentukan berapa persen penurunan konsentrasi ion Ca^{2+} - Mg^{2+} yang sudah diadsorb dengan arang aktif dari beragam larutan aktivator (Kusuma et al., 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Arang Bonggol Jagung

Arang adalah hasil dari proses pemutusan ikatan antar karbon yang terdapat dalam rantai karbon panjang dalam bahan alam. Penanda reaksi arang adalah dihasilkannya residu karbon dengan sifat fisik berwarna hitam dan dikeluarkannya gas CO₂ selama proses pengarangan. Proses pengarangan dilakukan pada suhu tinggi, umumnya diawali pada suhu kurang lebih 300 °C atau lebih tinggi lagi (Lempang, 2014).

Berbeda dengan proses dehidrasi yang dilakukan pada suhu kurang lebih 100 °C dan tidak adanya reaksi dekomposisi karbon, hanya ada reaksi fisika penguapan air, proses pembuatan arang harus melibatkan proses dekomposisi karbon menjadi bentuk yang lebih sederhana dari polimer yang umumnya ada di bahan alam. Pada penelitian ini, pembuatan arang dilakukan dengan pemotongan jagung menjadi kecil-kecil terlebih dahulu yang bertujuan untuk mencari hasil terbaik selama proses dehidrasi dan proses pembuatan arang. Perubahan wujud bonggol jagung menjadi kecil adalah usaha untuk memperbesar luas permukaan. Luas permukaan berhubungan langsung dengan ukuran partikel, semakin ukuran partikel, semakin lebar luas permukaan. Semakin lebarnya luas permukaan, akan memaksimalkan proses kimia, dan umumnya memang reaksi akan berjalan baik ketika luas permukaannya meningkat (Hadila et al., 2021).

Setelah dikecilkan ukuran partikelnya, kemudian masuk tahap pemanasan untuk menghilangkan uap air, tidak ada reaksi kimia yang terjadi pada tahap ini, hanya murni menghilangkan kandungan uap air. Proses penghilangan uap air ini juga dilakukan guna memudahkan proses penyimpanan. Bonggol jagung yang sudah dihaluskan tidak lantas semuanya langsung diarangkan, ada sebagian bonggol yang masih disimpan, dan dengan dihilangkannya uap air akan membuat masa simpan lebih lama karena jumlah air dalam suatu bahan akan berpengaruh pada cepat atau lambatnya suatu bahan membusuk (Putra et al., 2021). Ketika kandungan air dalam suatu bahan sedikit, ia akan tidak mudah busuk dan dapat disimpan lebih lama, hal ini karena bakteri yang akan membusukkan bahan bersemayam di air, sehingga ketika airnya tidak ada, tidak ada mikroorganisme pula yang akan membusukkan bahan (Alfreds Rorong & Fenny Wilar, 2020).

Setelah didapatkan bonggol jagung yang bebas uap air, masuk dalam proses pengeringan dengan suhu 400 °C selama 10 menit (Kusuma et al., 2020). Suhu 400 °C yang diperlukan dalam proses pengarangan bukanlah semakin rendah atau tinggi yang semakin baik, semua tetap tergantung hasil akhir yang diinginkan, terkhusus spesifikasi apa yang diharapkan, namun yang perlu diperhatikan adalah bahwa suhu yang diterapkan dalam proses pembuatan arang adalah harus dapat melakukan kerja pemutusan rantai ikatan karbon, sehingga suhu yang diterapkan saat dikonversi dalam skala kekuatan ikat, wajib harus lebih tinggi dari energi kekuatan ikat antar karbon dalam bahan. Sehingga energi yang diterapkan dapat mengintervensi proses pemutusan ikatan dan akhirnya dapat terbentuk arang (Kusuma et al., 2020).

Pada ujung proses pembuatan arang dilakukan pengayakan dengan ukuran 200 mesh untuk mendapatkan ukuran yang homogen. Ukuran yang homogen ini penting karena akan membuat hasil penerapan arang pada ujung proses agar lebih seragam dan dapat dengan lebih mudah ditarik kesimpulan atau digeneralisir. Perihal ukuran 200 mesh adalah kembali pada target yang diharapkan, tidak selalu yang lebih kecil lebih baik, atau lebih besar lebih baik. Yang pasti disesuaikan dengan kebutuhan yang ingin dilakukan (Kusuma et al., 2020).

Aktivasi Arang Aktif

Arang sebagai zat pengadsorb sudah jamak diketahui, arang dapat mengadsorb karena memiliki pori-pori yang dapat digunakan untuk menyerap senyawa polutan. Selain itu arang juga memiliki gugus fungsi di permukaan yang akan membantu proses adsorpsi dan semakin masih kerjanya saat diaktivasi (Da Cunha et al., 2022). Namun arang masih banyak pengotor dan kadang di permukaan pori-porinya juga masih ada spesies kimia yang menutupinya, sehingga diperlukan proses aktivasi untuk menyelesaikan permasalahan itu.

Aktivasi dilakukan untuk memperlebar pori-pori yang dimiliki arang, hal ini akan berimplikasi pada kemampuan kerja arang dalam melakukan penyerapan polutan. Selain melakukan pembersihan pada lubang pori-pori, aktivator juga akan membantu memberikan gugus fungsi tambahan yang kembali lagi pada muaranya akan membuat kinerja penyerapan arang semakin maksimal (Yuningsih et al., 2016).

Pada tahap ini, diawali dengan mengambil 5 gram arang dengan ukuran homogen sebesar 200 mesh, lalu pada 5 gram itu diterapkan pelarut aktivator HCl dengan konsentrasi 4 Molar. Setelah itu pencampuran ini dibiarkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses aktivasi.

HCl yang diterapkan di percobaan ini adalah sebagai standar arang aktif, karena aktivasi dengan menggunakan HCl adalah yang paling umum dilakukan. Pada kenyataannya HCl mampu membuka pori-pori arang menjadi lebih baik dan dapat mengaktifkan gugus pengikat polutan yang ada di permukaan arang. Sehingga pada tahap yang selanjutnya, setiap kinerja arang yang diaktivasi dengan asam bahan alam akan dibandingkan dengan HCl yang perannya pada riset ini digunakan sebagai standar.



Gambar 1. Asam teraktivasi setelah melalui proses dehidrasi

Setelah dicampurkan selama 24 jam, arang dicuci dengan akuades sampai pH-nya kembali netral, hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua asam yang tercampur di arang sudah hilang sepenuhnya dan tersisa arang yang sudah teraktivasi saja. Kemudian diakhiri dengan dioven pada suhu 110 °C untuk proses dehidrasi agar arang tidak lagi mengandung komponen air dan hasilnya seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Perlakuan yang sama dilakukan pada asam bahan alam dari *Citrus aurantifolia* S. dan *Averrhoa bilimbi* L.. Pertama-tama saat dicek kondisi pH dari asam bahan alam, nilainya adalah masing-masing 5. Hal ini tentu tidak sekecil yang dimiliki asam HCl yang pH-nya sampai 1. Hal ini karena asam yang terkandung dalam asam bahan alam terdiri dari asam-asam yang sifatnya adalah asam lemah. Beberapa asam yang terkandung dalam asam bahan alam adalah asam malat, asam laktat, asam fumarat, asam piroglutamat, asam oksalat, asam askorbat, asam sitrat,

dan asam tartrat. Semua asam yang terkandung dalam asam bahan alam bukanlah asam kuat, sehingga memang hasil pH-nya tidak sangat kecil (Elizabeth Sunny & Kumar Shanmugam, 2021).

Beberapa gugus fungsi yang dimiliki masing-masing asam antara lain; asam malat memiliki gugus fungsi asam karboksilat sejumlah 2 dan alkohol. Asam laktat memiliki gugus fungsi yakni asam karboksilat satu buah dan alkohol satu buah. Asam fumarat memiliki gugus fungsi asam karboksilat sejumlah 2 dan satu rantai rangkap 2. Asam piroglutamat memiliki gugus fungsi keton dan amida. Asam oksalat memiliki gugus fungsi asam karboksilat 2 buah. Asam askorbat atau vitamin C memiliki gugus fungsi ester 1 buah, alkohol 4 buah, dan terdapat 1 ikatan rangkap dua. Asam sitrat atau masyarakat lebih mengenal sebagai kecutan atau citrun memiliki 3 buah gugus fungsi asam sitrat dan 1 alkohol, dan terakhir asam tartrat memiliki 2 buah alkohol dan 2 buah asam karboksilat. Beragamnya gugus fungsi yang dimiliki asam bahan alam sangat berpotensi membuat proses aktivasi gugus fungsi menjadi lebih maksimal dan membuat kemampuan adsorpsi juga semakin baik (Shanmugan et al., 2021).

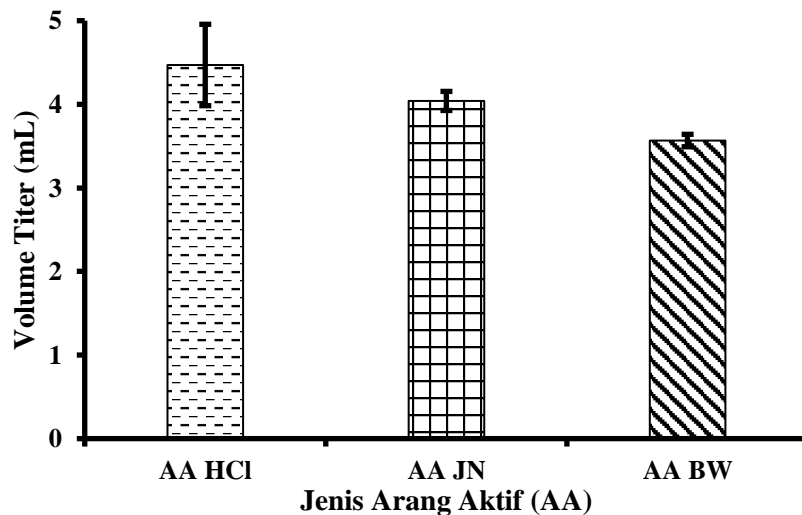
Pengujian Kemampuan Adsorpsi Arang Aktif

Pengujian kemampuan adsorpsi dilakukan dengan cara menggunakan titrasi pengkompleksan. Diawali dengan mengkontakkan 200 mg arang aktif dari beragam aktivator dengan larutan simulasi air sadah yang mengandung ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dengan konsentrasi 10 ppm. Pengontakan arang dan larutan sampel dilakukan selama 60 menit dan selama itu pula dilakukan pengadukan.



Gambar 2. Proses filtrasi hasil kontak sampel dengan arang aktif beragam aktivator

Setelah distirer, diambil filtratnya dengan teknik penyaringan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, kemudian ditambah *buffer ammonia* pH 10 sebanyak 2 mL sebagai gugus pengarah dan juga untuk memaksimalkan proses kompleksasi pada muaranya. Setelah itu diberi indikator EBT-NaCl untuk membentuk warna merah muda, warna yang terbentuk adalah hasil kontak antara logam dengan EBT, dan digunakan EDTA sebagai titer yang akan mengubah warna dari merah muda menjadi biru. Perubahan warna dari merah muda menjadi biru adalah hasil substitusi ligan dari EBT dengan EDTA (Simbolon & Amna, 2020).

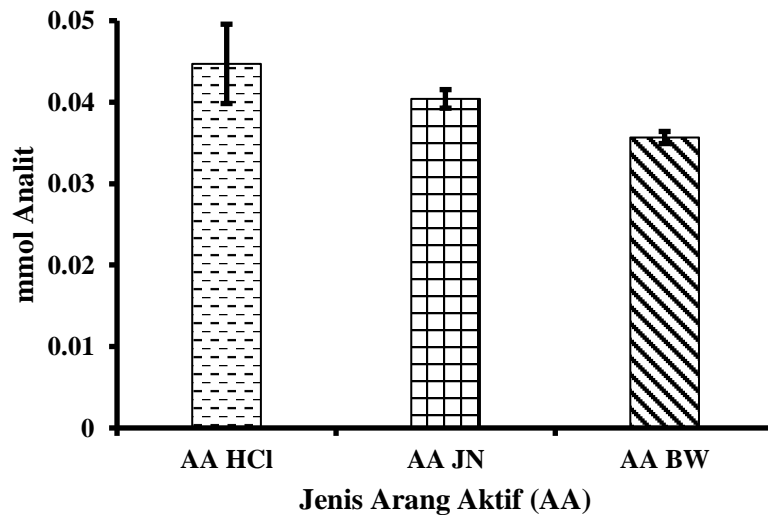


Gambar 3. Hasil Titration Adsorpsi Arang Aktif Beragam Aktivator (AA HCl: arang aktif aktivator HCl, AA JN: arang aktif aktivator *Citrus aurantifolia* S., AA BW: arang aktif aktivator *Averrhoa bilimbi* L.)

Proses titration dilakukan untuk menentukan jumlah EDTA yang dibutuhkan selama proses titration pada filtrat hasil adsorpsi arang aktif dengan beragam aktivator, dan didapatkan hasilnya ditunjukkan pada gambar 3.

Dari gambar 3 terlihat bahwa jumlah EDTA yang digunakan untuk mentitration filtrat hasil adsorpsi dengan arang aktif aktivator HCl memiliki rata-rata 4,47 mL dengan simpangan baku 0,48, sementara untuk arang aktif aktivator *Citrus aurantifolia* S. sebanyak 4,04 dengan simpangan baku 0,11 dan untuk arang aktif dengan aktivator *Averrhoa bilimbi* L. adalah 3,56 dengan simpangan baku hanya 0,07. Data ini mengindikasikan bahwa yang pertama aktivator asam sintetik memang dapat diganti dengan asam bahan alam, dan kedua arang aktif dengan aktivator asam bahan alam memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dari pada aktivator HCl. Sementara jumlah mol analit simulasi yang dapat diadsorb oleh arang aktif ditunjukkan pada gambar 4.

Dari gambar 4 terlihat bahwa seperti yang terindikasi dari jumlah volume EDTA yang diperlukan, filtrat hasil adsorpsi dengan arang aktif *Averrhoa bilimbi* L. memiliki sisa mol paling sedikit yaitu hanya 0,035 mmol, kemudian disusul filtrat hasil adsorpsi dengan arang aktif aktivator *Citrus aurantifolia* S. dan HCl dengan masing-masing adalah 0,040 mmol dan 0,044 mmol.

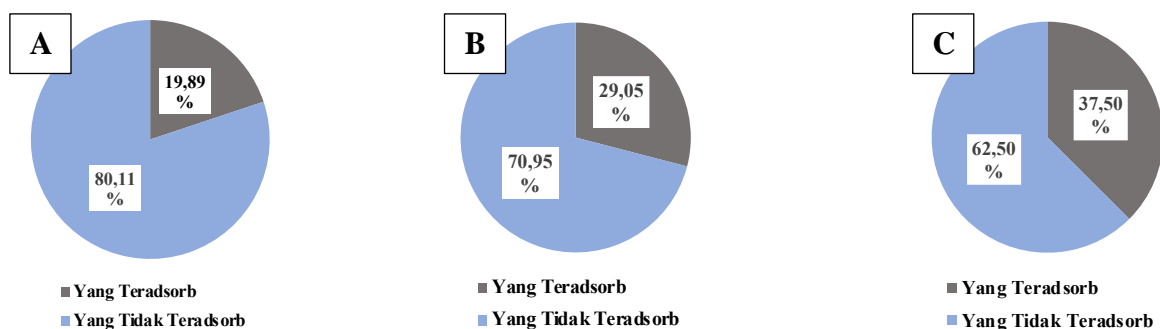


Gambar 4. Jumlah mol yang dapat diadsorb arang aktif (AA HCl: arang aktif aktivator HCl, AA JN: arang aktif aktivator *Citrus aurantifolia* S., AA BW: arang aktif aktivator *Averrhoa bilimbi* L.)

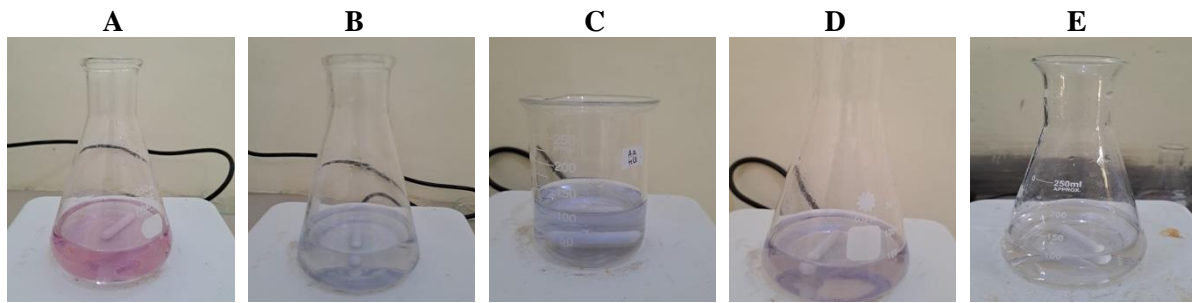
Dari hasil yang didapat, diketahui prosentase penurunan yang berhasil dilakukan oleh beragam arang aktif ditunjukkan pada gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa prosentasi kemampuan adsorpsi dari *Averrhoa bilimbi* L. mencapai 37,50% sementara untuk *Citrus aurantifolia* S. adalah 29,05% dan yang paling sedikit mengadsorb adalah arang aktif dengan aktivator HCl yang hanya 19,89%. Hasil prosentase ini terkonfirmasi pula dengan penampilan fisik filtrat hasil kontak analit dengan arang aktif beragam aktivator, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

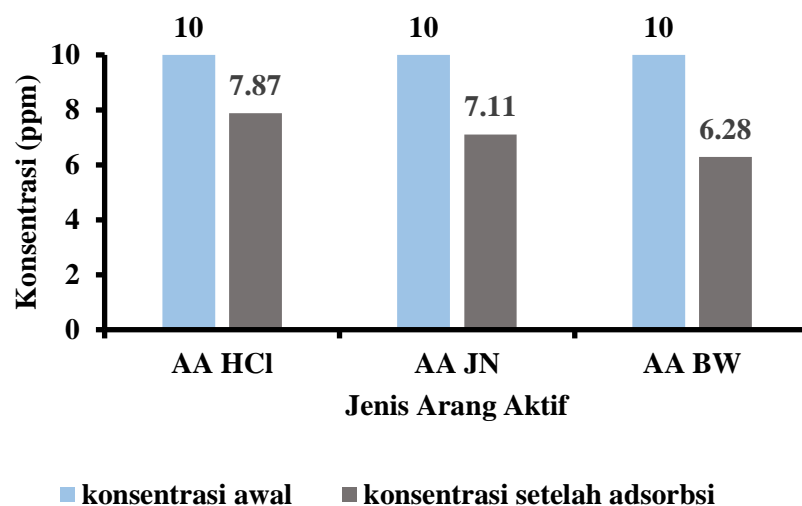
Merujuk pada data yang didapat dan penampilan fisik yang terlihat, didapatkan bahwa arang aktif yang diadsorpsi dengan baik muncul dari arang yang diaktivasi dengan *Averrhoa bilimbi* L.. Hal ini menjawab pertanyaan pertama, bahwa ternyata kita dapat mensubstitusi asam sintetik dengan asam alam untuk produksi arang aktif. Semakin diperkuat dengan hasil yang didapatkan, terlihat arang aktif yang diaktivasi dengan aktivator asam bahan alam memiliki performa yang signifikan, bahkan melewati hipotesa yang diterapkan. Mulanya kami menduga bahwa asam bahan alam hanya akan dapat mengadsorb dengan jumlah yang minimal, tidak akan melewati kemampuan adsorbasi yang dimiliki asam sintetik, namun nyatanya malah berkebalikan dan bahkan signifikan, seperti tertera pada gambar 7.



Gambar 5. Prosentase kemampuan adsorpsi berbagai jenis arang aktif (A: HCl B: *Citrus aurantifolia* S. C: *Averrhoa bilimbi* L.)



Gambar 6. Penampilan fisik filtrat (A) Sebelum titrasi (B) Setelah titrasi untuk blangko (C) Setelah titrasi untuk hasil adsorpsi arang aktif HCl (D) Setelah titrasi untuk hasil adsorpsi arang aktif *Citrus aurantifolia* S. (E) Setelah titrasi untuk hasil adsorpsi arang aktif *Averrhoa bilimbi* L.



Gambar 7. Penurunan Konsentrasi dalam ppm (AA HCl: arang aktif aktivator HCl, AA JN: arang aktif aktivator *Citrus aurantifolia* S., AA BW: arang aktif aktivator *Averrhoa bilimbi* L.)

Hal ini tentu mengindikasikan bahwa dalam proses-proses aktivasi arang aktif kedepannya tidak selalu menggunakan asam sintetik karena nyatanya asam dari bahan alam juga memiliki kemampuan yang tak kalah signifikan, dan kita benar-benar bisa menggunakan asam bahan alam sebagai pengganti asam sintetik dalam memproduksi arang aktif, dan muaranya kita bisa menerapkan prinsip nomor 7 dari 12 prinsip *green chemistry* (Ivanković, 2017).

Kemampuan *Averrhoa bilimbi* L. yang lebih besar dalam mengadsorb sangat diindikasikan karena keberagaman komponen kimia yang ada di dalamnya, banyak gugus fungsi yang terkandung dalam asam yang terkandung didalamnya. Meskipun sampai sini kita tidak bisa mengeksplorasi terlalu panjang dan hanya bisa memberikan simulasi (Elizabeth Sunny & Kumar Shanmugam, 2021).

SIMPULAN

Bonggol jagung dapat diproduksi menjadi arang aktif dengan tahapan memperlebar luas permukaan, dehidrasi, pengarangan dan aktivasi. Aktivasi biasanya dilakukan dengan menggunakan asam sintetik, namun saat ini terlihat bahwa aktivasi dapat disubstitusi dengan

menggunakan asam dari bahan alam yakni *Averrhoa bilimbi L.* dan *Citrus aurantifolia S.* Hal ini adalah temuan baru dan menjadi keterbaruan dari riset ini, karena selama ini peneliti tidak cukup fokus untuk menerapkan 12 prinsip *green chemistry*, karena fokus lebih banyak diberikan pada modifikasi aktivator yang digunakan. Selain dapat mengaktivasi, kinerja asam dari bahan alam juga signifikan dalam melakukan adsorpsi, berturut-turut prosentasi penurunan adsorpsi dari asam HCl, *Averrhoa bilimbi L.* dan *Citrus aurantifolia S.* adalah 19,89%; 37,50%; dan 29,05%. Hasil ini menunjukan masa depan yang cerah dalam penerapan prinsip nomor 7 dari 12 prinsip *green chemistry* dalam memproduksi arang aktif.

SARAN

Perlu ada analisa lebih lanjut tentang gugus fungsi apa saja yang terekam dalam arang aktif dengan menggunakan pendekatan instrumentasi seperti FTIR atau XRD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan pada Universitas Bojonegoro melalui lembaga penelitian dan pengabdian masyarakat yang telah memfasilitasi penelitian internal dosen atas dana penelitian tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Wira Prasetya, I., Ratnasari Ekawati, E., Sungging Pradana, M., Al Batati, N., Rizkiana Pratiwi, E., Studi, P. S., Ilmu Kesehatan, F., & Maarif Hasyim Latif, U. (2023). Uji Potensi Antibakteri Ekstrak Kulit Jeruk Nipis Citrus Aurantifolia (Christm) Swingle Terhadap *Vibrio Sp.* *Jurnal SainHealth*, 7(1).
- Ahmad, N., Suryani Arsyad, F., Royani, I., & Lesbani, A. (2023). Charcoal activated as template Mg/Al layered double hydroxide for selective adsorption of direct yellow on anionic dyes. *Results in Chemistry*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100766>
- Alfreds Rorong, J., & Fenny Wilar, W. (2020). Keracunan Makanan Oleh Mikroba. *Techno Science Journal*, 2(2), 47–60.
- Ardila-Fierro, K. J., & Hernández, J. G. (2021). Sustainability Assessment of Mechanochemistry by Using the Twelve Principles of Green Chemistry. In *ChemSusChem* (Vol. 14, Issue 10, pp. 2145–2162). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/cssc.202100478>
- Aryani, F., Mardiana, F., Teknologi Pertanian, J., & Pertanian Negeri Samarinda, P. (2019). Aplikasi Metode Aktivasi Fisika Dan Aktivasi Kimia Pada Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera L.*). *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2), 16–20.
- Aula Prasetya, D., & Evanuarini, H. (2019). Kualitas Mayones Menggunakan Sari Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi L.*) Sebagai Pengasam Ditinjau dari Kestabilan Emulsi, Droplet Emulsi dan Warna. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak*, 19(1), 20–29. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2019.014.01.3>
- Costa Louzada, T. C., Weschenfelder, S. E., dos Passos, B. T., Mazur, L. P., Marinho, B. A., da Cunha, M. de F. R., da Silva, A., Ulson de Souza, A. A., & Guelli Ulson de Souza, S. M. A. (2023). New insights in the treatment of real oilfield produced water: Feasibility of

- adsorption process with coconut husk activated charcoal. *Journal of Water Process Engineering*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104026>
- Da Cunha, T. M., Fone, M. Y. B., Dho Tawa, B., & Ola, A. R. B. (2022). Karakteristik Pelumas Bekas Hasil Adsorpsi Menggunakan Arang Batang Kesambi (*Schleichera oleosa*) dan Zeolit Alam Ende Teraktivasi H₃PO₄. *Chem. Notes*, 3(1), 1–11.
- Darajat, Z., Septiani, M., Teknik Kimia, J., Negeri Ujung Pandang, P., Studi Teknik Kimia, P., & Tinggi Teknologi Industri Bontang, S. (2023). Pengaruh Waktu Aktivasi Terhadap Karakterisasi Arang Aktif Tongkol Jagung dengan Menggunakan Aktivator H₂SO₄. In *Jurnal Juara* (Vol. 3, Issue 1).
- Datu, J. T., Mita, N., & Rusli, R. (2015). Aktivitas Antibakteri Sari Buah Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn.) Terhadap Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* Dan *Staphylococcus Epidermidis*. *Prosiding Seminar Nasional Kefarmasian Ke-1*, 36–42.
- Ekka, B., Mierina, I., Juhna, T., Kokina, K., & Turks, M. (2022). Synergistic effect of activated charcoal and chitosan on treatment of dairy wastewaters. *Materials Today Communications*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103477>
- Elizabeth Sunny, N., & Kumar Shanmugam, V. (2021). Anti-blight effect of green synthesized pure and Ag-doped tin oxide nanoparticles from *Averrhoa bilimbi* fruit extract towards *Xanthomonas oryzae*-the leaf blight pathogen of rice. *Inorganic Chemistry Communications*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108866>
- Hadila, S., Felindia, E., Syaharani, N., Pamungkas Panji Kumara, S., Fajar Hidayah, I., Saroja, G., Budi Pranata, K., & Ghufron, M. (2021). Simulasi Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Terhadap Tegangan Dan Konsentrasi Permukaan Elektroda Pada Lead Acid Redox Flow Battery. *Jurnal ROTOR*, 14(1), 12–17.
- Hatibie, R. W., Aladin, A., & Ifa, L. (2022). Pembuatan Karbon Aktif Hasil Pirolisis Tongkol Jagung (*Zea Mays* Var. *Ceratina* L.) Menggunakan Aktivator Asam dari Buah Belimbing Wuluh. *Journal of Technology Process*, 2(1), 38–49.
- Huda, S., Dwi Ratnani dan Laeli Kurniasari Jurusan Teknik Kimia, R., Teknik, F., Wahid Hasyim Jl Menoreh Tengah, U. X., Mungkur Kota Semarang Jawa Tengah, G., & Berkembangnya, A. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Ori (*Bambusa Arundinacea*) Yang Di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Inovasi Teknik Kimia*, 5(1), 22–27.
- Inayah, S., Wayan Dasna, I., Kimia Universitas Negeri Malang, P., & Aliyah Negeri, M. (2022). Implementasi Green Chemistry Dalam Pembelajaran Kimia: Literatur Review. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 10(1), 42–49. <http://ojs.ikipmataram.ac.id/index.php/hydrogen/>
- Ivanković, A. (2017). Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 6(3), 39. <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20170603.12>
- Karadeniz, F. (2004). Main Organic Acid Distribution of Authentic Citrus Juices in Turkey. *Turk J Agric For*, 28(4), 267–271.
- Khalimah, M. (2019). *Identifikasi Kristal Kalsium (Ca) Oksalat Pada Orang Yang Mengonsumsi Air Sumur Pompa Di Dusun Juwet Desa Ngradin Kecamatan Padangan Kabupaten Bojonegoro*. Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Insan Cendikia Medika.

- Kurniasih, A., Pratiwi, D. A., & Amin, M. (2021). Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Arang Aktif Dengan Aktivator Larutan Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(2), 56. <https://doi.org/10.26630/rj.v14i2.2287>
- Kusuma, A. A., Lathifaturrohmah, B., & Dyah Lestari, E. E. (2020). Pengaruh Penambahan Arang Aktif Limbah Tongkol Jagung Untuk Mengurangi Kadar Kesadahan Total. *Walisongo Journal of Chemistry*, 3(1), 31. <https://doi.org/10.21580/wjc.v3i1.6128>
- Lempang, M. (2014). Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif. *Info Teknis EBONI*, 11(2), 65–80.
- Li, X., Yang, B., Xiao, K., Duan, H., Wan, J., & Zhao, H. (2021). Targeted degradation of refractory organic compounds in wastewaters based on molecular imprinting catalysts. In *Water Research* (Vol. 203). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117541>
- Li, X., Zhang, R., Wang, C., Wang, X., Yang, Y., Cui, S., & Guo, Y. (2022). Use of β -cyclodextrin and milk protein-coated activated charcoal for rapid detection of *Listeria monocytogenes* in leafy greens by PCR without pre-enrichment. *Food Control*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109118>
- Maran, A. A., & Pare, B. N. (2019). Penurunan Kesadahan Pada Air Sumur Gali Melalui Proses Pemanasan Menggunakan Wadah Periuk Tanah. *Oehonis: The Journal of Environmental Health Research*, 3(1), 153–157.
- Martin, G. D., Lara, B., Bounoukta, C. E., Domínguez, M. I., Ammari, F., Ivanova, S., & Centeno, M. Á. (2023). Glucose dehydration reaction over metal halides supported on activated charcoal catalysts. *Catalysis Today*, 423. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2023.01.019>
- Muchtadi, T. R., Sugiyono, & Ayustaningwarno, F. (2013). *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan* (1st ed.). Alfabeta.
- Muliani, Khaeruman, & Ayu Dewi, C. (2019). Pengembangan Perangkat Pembelajaran POE Berorientasi Green Chemistry Untuk Menumbuhkan Sikap Ilmiah Siswa Pada Materi Asam Basa. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 7(1), 37–45. <http://ojs.ikipmataram.ac.id/index.php/hydrogen>
- Narakaew, S., Thungprasert, S., Janprommin, S., & Chaisena, A. (2022). Silver-nanowire/bamboo-charcoal composite percolation network on nylon sheet for improved PM2.5 capture efficiency. *Applied Surface Science*, 596. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.153666>
- Nour, V., Trandafir, I., & Elena IONICA, M. (2010). HPLC Organic Acid Analysis in Different Citrus Juices under Reversed Phase Conditions. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*, 38(1), 44–48. www.notulaebotanicae.ro
- Nyika, J., & Dinka, M. (2022). Activated bamboo charcoal in water treatment: A mini-review. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1904–1907. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.167>
- Oktaviany, H., Sunardi, S., & Wardani, R. M. A. A. S. (2021). Sintesis Zeolit Dari Ekstrak Sekam Padi Dan Kaleng Bekas Sebagai Adsorben Penurunan Kesadahan Air. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 9(2), 185–192. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v9i2.293>

- Permenkes RI. (2017). *Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*.
- Purwanti, E., Rahmadewi, R., Efelina, V., & Sugihartono, I. (2020). Synthesis And Characterization Activated Carbon From Fish Bone By Using Activator CaCl₂. *Jurnal Teknologika*, 10(1), 1–4.
- Putra, P. W. K., Purwanto, D., & Zulaika, E. (2021). Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan dalam Kulkas untuk Proses Dry Aging pada Daging Sapi Menggunakan Logika Fuzzy. *JURNAL TEKNIK ITS*, 10(2), 244–251.
- Rownok, M. H., Sabrin, M., Sultana, M., Md, A., Soumma, S. B., Saha, Z. R., Rahman, M. S., & Nur, A. S. M. (2022). Fabrication of charcoal-nickel (II)-poly(acrylic acid) nanocomposite hydrogels for photodegradation of rhodamine B under direct sunlight irradiation. *Results in Engineering*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100695>
- Shanmugan, S., Madupu, R. K., Selvaraju, P., & Ravichandran, S. (2021). Systematic growth on antibacterial activities use of silver nanoparticles with citrus aurantifolia. *Materials Today: Proceedings*, 51, 998–1005. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.055>
- Simbolon, R. A., & Amna, U. (2020). Uji Kadar Disolusi Tablet Kalsium Laktat Menggunakan Titrasi Kompleksometri. *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(2), 11–13. <https://ejournalunsam.id/index.php/JQ>
- Stefanus Batu, M., Magdalena Kolo, M., Fridolina Taek, M., Rosalia Saka Program Studi Kimia, A., Pertanian, F., & Timor, U. (2023). Utilization of Borrassus flabellifer L. Palm Coir Activated with Potassium Hydroxide (KOH) as an Efficient Adsorbent for Rhodamine B Dye Removal. *HYDROGEN JURNAL KEPENDIDIKAN KIMIA* . <https://doi.org/10.33394/hjkk.v11i3.7673>
- Susilawati, Sihombing, Y. A., Rahayu, S. U., Sembiring, Y. Y. B., Waldiansyah, L., & Irma, M. (2023). Filter material based on zeolite-activated charcoal from cocoa shells as ammonium adsorbent in greywater treatment. *South African Journal of Chemical Engineering*, 43, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.11.006>
- Yuningsih, L. M., Mulyadi, D., & Kurnia, A. J. (2016). Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Jerap Iodin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 30–34. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3091>
- Yunus, R., Mikrianto, E., Abdurrahman, H., & Agung Kaharapen Jaya, dan. (2021). Karakteristik Arang Aktif Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dengan Aktivator H₃PO₄, ZnCl₂, Dan KOH. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 6.
- Zhao, Q., Zhang, S., Huang, X., Tan, Y., Zhang, Y., & Chen, Y. (2023). Coffee charcoal as a green catalyst for oxidative dehydrogenation. *Chemical Engineering Journal*, 147784. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.147784>