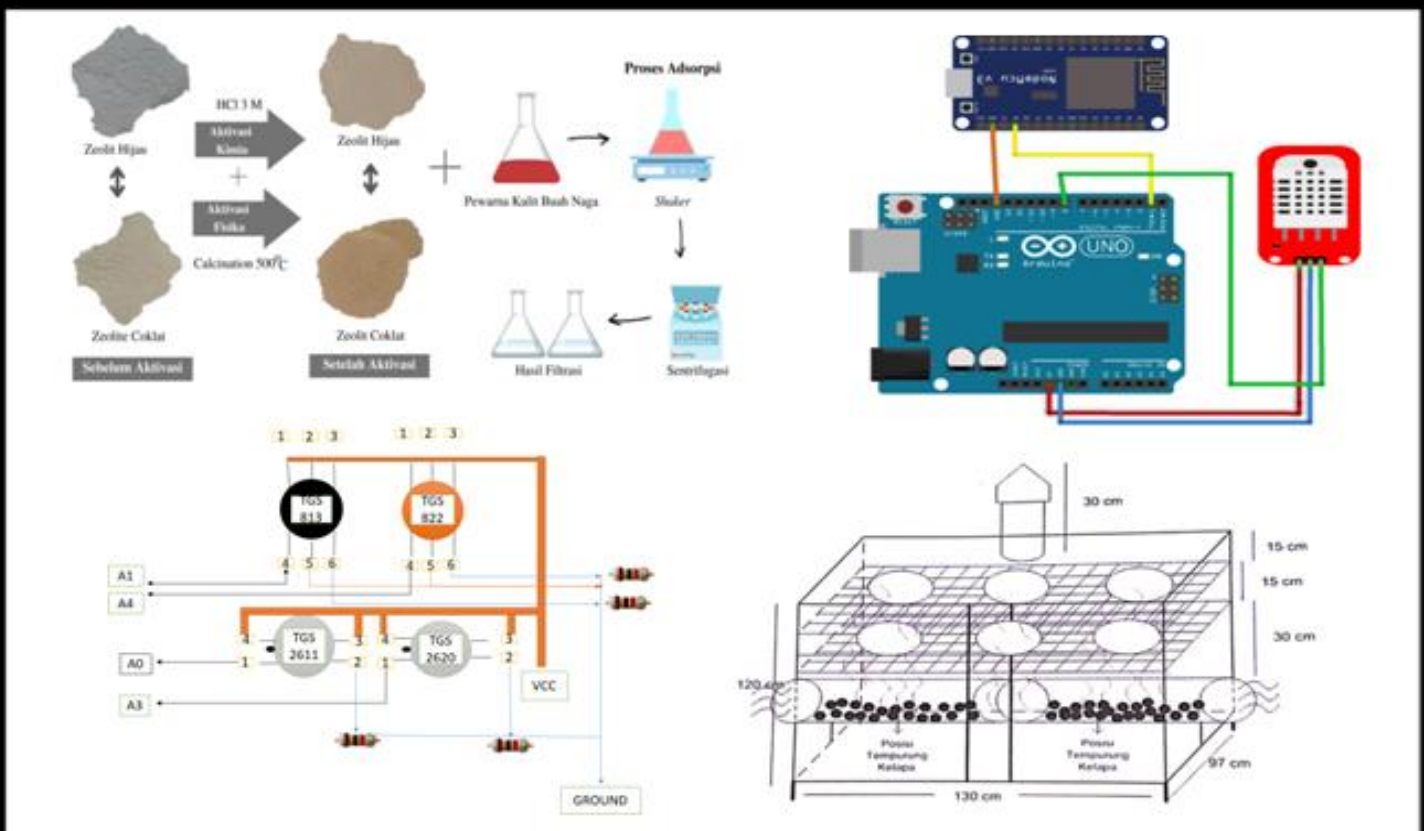


Komunikasi Fisika Indonesia





Susunan Dewan Redaksi Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia (KFI)

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

Penanggungjawab : Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

Pimpinan Redaksi : Drs. Usman Malik, M.Si

Managing Editor:

1. Dr. Rakhmawati Farma, M.Si, Universitas Riau
2. Romi Fadli Syahputra, S.Si, Universitas Riau
3. Wahyu Candra, S.Si, Universitas Riau
4. Yan Soerbakti, Universitas Riau

Dewan Reviewer / Editorial Board:

- Ketua** : Prof. Dr. Saktioto, S.Si., M.Phil (Universitas Riau)
- Anggota** :
1. Prof. Dr. Erwin, M.Sc (Universitas Riau)
 2. Prof. Dr. Warsito, DEA (Fisika FMIPA Univ. Lampung)
 3. Prof. Dr. Timbangan Sembiring, M.Sc (Universitas Sumatera Utara)
 4. Prof. Dr. Edy Saputra, M.Sc (Universitas Riau)
 5. Prof. Dr. Erman Taer, M.Si (Universitas Riau)
 6. Dr. Minarni, M.Sc (Universitas Riau)
 7. Dr. Okfalisa (UIN Suska Riau)
 8. Dr. Dedi Irawan (Universitas Riau)
 9. Dr. Ing. Rahmondia Nanda Setiadi, M.Si (Universitas Riau)
 10. Dr. Efizal, M.Sc (Universitas Islam Riau)
 11. Dr. Hamzah, M.Sc (Universitas Lancang Kuning)
 12. Rizadi Sasmita Darwis, S.T., M.T. (Politeknik Caltex Riau)

Alamat Redaksi:

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru
Homepage: <https://kfi.ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI>
E-mail: kfi@ejournal.unri.ac.id

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	i
DAFTAR ISI	ii
ANALISIS PENGARUH SUHU TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR PADA HIDUNG ELEKTRONIK UNTUK KEMATANGAN BUAH KELAPA SAWIT <i>Dian Eka Rachmawati, Minarni Shiddiq</i>	57-64
FABRIKASI ELEKTRODA KARBON DARI SABUT KELAPA MUDA DENGAN AKTIVASI FISIKA SEBAGAI APLIKASI SUPERKAPASITOR <i>Martha Theresia Simanjuntak, Awitdrus</i>	65-68
APLIKASI UJI COBA SKALA LABORATORIUM IMPLEMENTASI PROTOTYPE ALAT INOVASI TEKNOLOGI PASCA PANEN BERBASIS BIOMASSA UNTUK DETEKSI TEMPERATURE DENGAN SYSTEM INTERNET OF THINGS <i>Melyna Handayani, Juandi Muhammad</i>	69-74
PEROVSKITE SOLAR CELLS YANG STABIL UDARA DAN EFISIEN MENGGUNAKAN NANOSTRUKTUR ZnO SEBAGAI ELEKTRON TRANSPORT MATERIAL <i>Herna, Farhan Lutfi, Ebigail Nur Tabita Tambunan, Yessi Meinarti, Ari Sulistyo Rini</i>	75-82
ANALISIS HASIL KALIBRASI ALAT PHOTOTHEAPY MERK GEA MEDICAL TYPE XHZ-90 <i>Yeni Pertiwi, Nur Hadziqoh, M. Andriza Mustofa</i>	83-90
SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL OKSIDA BESI MENGGUNAKAN METODE BALL MILLING DAN KOPRESIPITASI <i>Riduan Alvinsen Sirait, Salomo, Juandi Muhammad, Erman Taer</i>	91-98
AKTIVASI ZEOLIT ALAM SEBAGAI ADSORBEN PEWARNA ALAMI KULIT BUAH NAGA (PITAYA) <i>Eka Nurul Hidayah, Munasir</i>	99-107
ANALISA DISTRIBUSI AIR BAWAH TANAH DI KELURAHAN TANGKERANG LABUAI KECAMATAN BUKIT RAYA KOTA PEKANBARU MENGGUNAKAN METODE COOPER JACOBS DAN GEOLISTRIK KONFIGURASI SCHLUMBERGER <i>Suryadi Simbolon, Usman Malik</i>	108-112
PENGARUH DOPING MANGAN TERHADAP KOMPOSISI DAN SIFAT KRISTALINITAS PARTIKEL OKSIDA BESI PASIR ALAM SUNGAI ROKAN DIPREPARASI DENGAN METODE BALL MILLING <i>Rahman Kurniawan, Salomo, Erwin, Defrianto</i>	113-118
POTENSI DAUN JAHE MERAH SEBAGAI BAHAN DASAR PEMBUATAN ELEKTRODA SUPERKAPASITOR <i>Erman Taer, Juwita Ade, Novi Yanti, Apriwandi, Rika Taslim</i>	119-127

ANALISIS PENGARUH SUHU TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR PADA HIDUNG ELEKTRONIK UNTUK KEMATANGAN BUAH KELAPA SAWIT

Minarni Shiddiq, Dian Eka Rachmawati*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: dian.eka0046@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Electronic noses have been developed for decades in many fields. Recently, electronic nose has been used in agriculture to detect the ripeness of fruits because fruits also produce volatile gas during ripening. Oil palm fresh fruit bunches (FFB) is the main source of crude palm oil, its quality depends on the ripeness levels of oil palm FFB. Therefore, electronic detections of oil palm FFB ripeness need to be developed. This study was aimed to investigate the effect of temperature variation on the sensitivity of gas sensors in an electronic nose designed for detecting the ripeness of oil palm FFB. The electronic nose used in this study consisted of 4 sensors which were TGS 2611, TGS 2620, TGS 813 and TGS 822. Samples were peeled fruitlets of ripe oil palm FFB which were heated to temperatures of 30°C, 45°C, and 60°C. Response of each sensor was represented as a trapezoid area of voltage versus time for convenience. The results showed that there was a significant difference in the output voltage of each sensor when the sample temperatures were varied. Fruitlets of oil palm FFB heated at 60°C resulted in higher trapezoid area which mean more volatile gas released. Based on the resulted trapezoid area for each sensor. Sensors of TGS 2611 and TGS 822 are the most sensitive which have higher trapezoid area for the variation of the temperatures.

Keywords: Electronic Nose, Gas Sensor, Ripeness, Temperature, Oil Palm FFB.

ABSTRAK

Hidung elektronik telah dikembangkan selama beberapa dekade di berbagai bidang. Baru-baru ini, hidung elektronik telah digunakan di bidang pertanian untuk mendeteksi kematangan buah karena buah-buahan juga menghasilkan gas yang mudah menguap selama pematangan. Tandan buah segar (TBS) kelapa sawit merupakan sumber utama minyak sawit mentah, kualitasnya tergantung pada tingkat kematangan TBS kelapa sawit. Oleh karena itu, deteksi elektronik terhadap kematangan TBS kelapa sawit perlu dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap sensitivitas sensor gas pada hidung elektronik yang dirancang untuk mendeteksi kematangan TBS kelapa sawit. Hidung elektronik yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 4 sensor yaitu TGS 2611, TGS 2620, TGS 813 dan TGS 822. Sampel berupa buah kupas TBS kelapa sawit matang yang dipanaskan pada suhu 30°C, 45°C, dan 60°C. Respon setiap sensor direpresentasikan sebagai area trapesium tegangan versus waktu untuk kemudahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tegangan keluaran yang signifikan dari masing-masing sensor ketika suhu sampel divariasikan. Buah TBS kelapa sawit yang dipanaskan pada suhu 60°C menghasilkan luas trapesium yang lebih tinggi yang berarti lebih banyak gas volatil yang dilepaskan. Berdasarkan luas trapesium yang dihasilkan untuk masing-masing sensor. Sensor TGS 2611 dan TGS 822 adalah yang paling sensitif yang memiliki area trapesium yang lebih tinggi untuk variasi suhu.

Kata kunci: Hidung Elektronik, Sensor Gas, Kematangan, Suhu, TBS Kelapa Sawit.

Diterima 12-11-2021 | Disetujui 28-06-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Hidung elektronik merupakan sistem elektronik yang sangat berkembang saat ini dan mempunyai berbagai aplikasi. Aplikasi hidung elektronik dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti, bidang lingkungan, medis, dan industri pertanian [1]. Aplikasi hidung elektronik dalam bidang lingkungan digunakan untuk mendeteksi kandungan gas berbahaya pada ruangan tertutup dan ruangan terbuka [2]. Bidang medis digunakan untuk mendiagnosis penyakit paru-paru melalui gas yang dikeluarkan dari nafas manusia [3]. Aplikasi hidung elektronik dalam bidang pertanian salah satunya untuk mendeteksi kualitas produk pertanian [4].

Kualitas produk pertanian dapat ditentukan berdasarkan warna, aroma dan rasa [5]. Produk pertanian memiliki aroma yang berbeda-beda karena mengandung senyawa volatil yang mudah menguap. Senyawa volatil yang mudah menguap terjadi karena adanya perbedaan proses biokimia. Komponen utama penyusun aroma terdiri dari fenolat, komposisi lipid, pound, asam amino, dan seskuiterpen [4]. Senyawa volatil juga dapat menentukan tingkat kematangan buah.

Kematangan buah dapat ditentukan berdasarkan warna kulit, volum, massa dan gas pada buah. Gas yang terdapat pada buah dapat dideteksi menggunakan sensor elektronik. Sensor gas merupakan salah satu sensor elektronik yang digunakan dalam sistem hidung elektronik. Prinsip kerja dari sensor gas mendeteksi partikel gas dengan ionisasi rendah yang mengenai permukaan sensor. Sensor gas yang terletak pada ruangan terbuka sangat sensitif terhadap partikel gas dengan ionisasi rendah sehingga untuk meningkatkan kinerja dan kestabilan sensor harus diletakkan pada wadah tertutup agar tidak terkontaminasi dengan gas lain.

Sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas buah, salah satunya sensor TGS (*Taguchi Gas Sensors*). Sensor TGS memiliki kelebihan dan kekurangan untuk mendeteksi gas. Kelebihan sensor TGS dapat mendeteksi gas dengan cepat dan mampu mendeteksi gas

pada jarak 50 cm [6]. Kelemahan sensor TGS harus memperhatikan jarak sensor terhadap tegangan karena dapat menimbulkan percikan api, selain itu sensor TGS memiliki sensitivitas dan kepekaan yang terbatas.

Sensitivitas sensor dapat ditingkatkan dengan memberikan variasi suhu [7]. Suhu merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi sensitivitas dari sensor TGS. Sensor TGS memiliki respon dan sensitivitas yang semakin meningkat apabila diberikan variasi suhu pada sensor dan sampel. Variasi suhu permukaan sensor TGS dengan cara memberikan variasi tegangan masukan pada pemanas sensor [8]. Pemanasan sensor dapat digunakan untuk membersihkan lapisan penginderaan sensor dari gas yang terserap [7].

Konsentrasi oksigen yang terserap dapat menarik elektron dari permukaan semikonduktor sehingga menimbulkan potensial *schottky* penghalang dibatas butir dan menyebabkan resistansi sensor meningkat. Sensitivitas sensor terhadap suhu dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya gas, semikonduktor oksida, struktur perangkat sensor, dan bahan penginderaan yang digunakan. Variasi suhu sampel juga dapat meningkatkan sensitivitas sensor dengan cara memanaskan sampel.

Pemanasan sampel TBS (Tandan Buah Segar) kelapa sawit dilakukan agar gas pada TBS kelapa sawit dapat berubah fase dari padat menuju gas. TBS kelapa sawit dipanaskan menggunakan *thermostat element* pemanas yang terhubung dengan arduino nano. *Thermostat element* pemanas dihubungkan menggunakan *power supply*. Tegangan dan arus diatur sesuai dengan suhu yang dibutuhkan. Pemanasan suhu sampel telah dilakukan lebih dahulu oleh [9]. Sampel dipanaskan untuk meningkatkan konsentrasi gas sehingga dapat dideteksi dengan menggunakan hidung elektronik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap sensitivitas sensor gas pada hidung elektronik yang dirancang untuk mendeteksi kematangan TBS kelapa sawit. Tingkat kematangan TBS kelapa

sawit dilakukan dengan memberikan variasi suhu pada sensor sampel. Sensor yang digunakan terdiri dari sensor TGS 2620, 2611, 822 dan TGS 813. Arduino nano digunakan sebagai objek kontrol dari kinerja sistem sensor TGS yang dirancang dan dibuat berbasis *open source*. Penelitian ini membandingkan tingkat sensitivitas sensor TGS dengan analisa pengaruh suhu untuk kematangan buah sawit dengan kategori matang.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen untuk melihat pengaruh suhu sampel terhadap sensitivitas sensor TGS. Alat dan bahan yang digunakan adalah sensor TGS 2611, TGS 822, TGS 813 dan TGS 2620, *thermostat element* pemanas, sensor DHT 22, mikrokontroler arduino nano, kabel jumper, selang, pompa vakum, chamber sampel, chamber sensor, *power supply*, penetrometer GY-3, kipas mini DC, termokopel, modul *converter USB power supply*, *adaptor charge* dan laptop. Sampel yang digunakan yaitu TBS kelapa sawit dengan varietas tenera. Bagian TBS yang digunakan pada penelitian ini yaitu bagian tengahnya saja dengan kategori matang.

Hidung elektronik terbagi menjadi dua ruang yaitu ruang alat dan ruang sampel. Ruang alat terbuat dari bahan akrilik yang berukuran $16 \times 17 \times 16$ cm. Bagian ruang sensor berukuran $7 \times 7 \times 7$ cm. Alat-alat yang terdapat pada ruang alat terdiri dari pompa, vakum, kabel jumper, arduino nano dan modul *converter power supply* USB step up/down DC. Ruang sensor terdiri dari sensor TGS 2611, TGS 822, TGS 813 dan 2620 dan sensor DHT 22. Ruang sampel terdapat 2 selang yang terhubung dengan 2 buah pompa. Pompa bertugas untuk menghisap molekul gas pada ruang sampel lalu diteruskan pada ruang sensor.

Ruang sampel hidung elektronik terbuat dari bahan aluminium berbentuk silinder dengan ukuran panjang 10 cm dan diameter 10 cm. Chamber sampel terbagi menjadi dua ruang. Ruang pertama diberi pembatas pada ketinggian

3 cm sebagai tempat *thermostat element* pemanas. *Thermostat element* pemanas digunakan untuk memanaskan sampel pada suhu 30°C, 45°C, dan 60°C. Sisi samping silinder diberi lubang dengan ukuran $1,5 \times 0,2$ cm. Sisi samping silinder diberi lubang agar kaki dari *thermostat element* pemanas dapat dihubungkan dengan menggunakan *power supply*. Bagian kedua ruang sampel diberi pembatas pada ketinggian 7 cm. Bagian ruang kedua sampel digunakan untuk meletakkan sampel. Ruang sampel terhubung dengan 2 buah selang untuk menghisap molekul gas lalu gas diteruskan melalui selang menuju ruang sensor.

Tabel 1. Sensor gas TGS.

Jenis sensor gas	Gas deteksi
TGS 813	Mendeteksi gas metana dan LPG gas
TGS 822	Mendeteksi gas toluene, Oxylene, Alkohol
TGS 2620	Alkohol, pelarut organik
TGS 2611	Metana

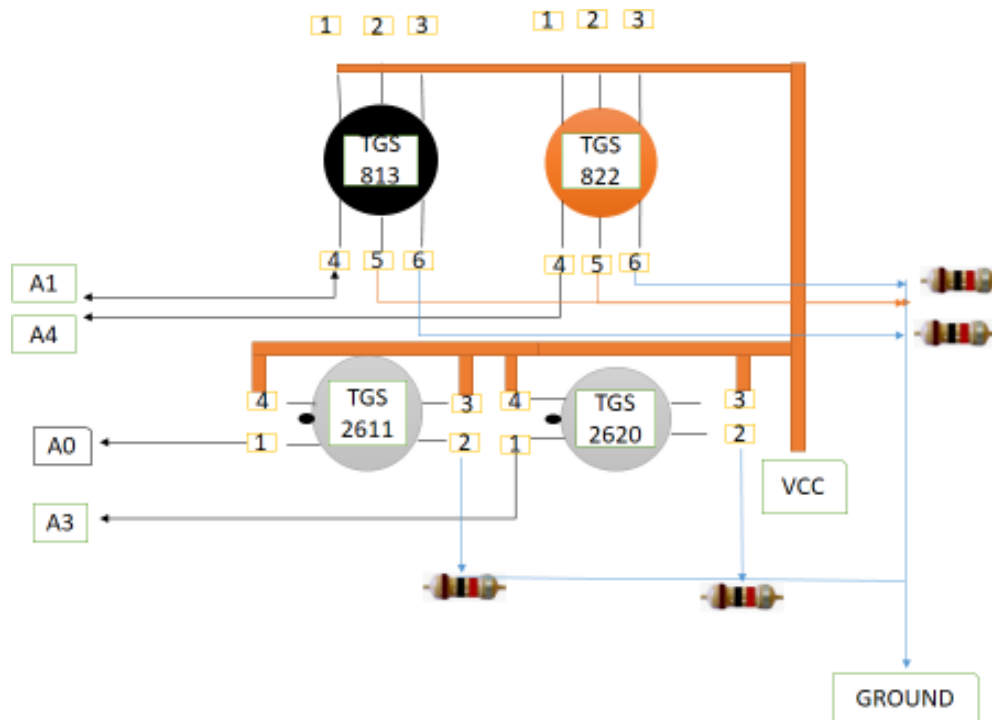
Rangkaian sensor TGS pada gambar 1 terdiri dari 4 sensor yaitu sensor TGS 2611, TGS 813, TGS 2620 dan TGS 822. Sensor TGS 2611 dan TGS 2620 terdiri dari 4 kaki. Kaki pertama sensor TGS 2611 terhubung dengan pin analog A0 pada arduino nano. Kaki kedua terhubung ke resistor bernilai 1 kilo ohm dan terhubung dengan ground pada arduino nano. Kaki ke tiga dan kaki ke empat dihubungkan ke VCC.

Sensor TGS 813 dan 822 memiliki 6 buah kaki. Kaki pertama, kedua dan ketiga sensor TGS 813 dihubungkan ke VCC. Kaki keempat terhubung dengan pin analog A1 pada arduino nano. Kaki kelima terhubung ke ground pada pin arduino nano. Kaki keenam terhubung dengan resistor bernilai 1 kilo ohm. VCC dihubungkan dengan menggunakan modul *converter power supply* USB step up/down DC dengan tegangan 5 V. Kaki kaki sensor yang digroundkan terhubung dengan pin ground pada arduino nano.

Sensor DHT 22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan pada ruang sensor.

Sensor DHT 22 memiliki 3 buah kaki yang terdiri dari kaki VCC, kaki digital dan ground. Kaki VCC dihubungkan dengan tegangan 5 V yang bersumber dari arduino nano. Kaki digital dihubungkan dengan pin digital 13 arduino

nano. Kaki ground dihubungkan dengan ground arduino nano. Kipas digunakan untuk menyebarkan gas buah kelapa sawit agar gas dapat tersebar secara merata.



Gambar 1. Rangkaian sensor TGS 2611, 813, 2620 dan 822.

Sistem akuisisi data dimulai dari pengenalan program. Pembuatan kodingan arduino nano disesuaikan dengan alat yang digunakan seperti kodingan sensor TGS dan kodingan sensor DHT 22. Sistem arduino dijalankan dengan menghubungkan *port* arduino ke laptop. Laptop akan membaca dalam bentuk *serial plotter* dan *serial monitor*. Kodingan *python* ditulis pada aplikasi editor *sublime text*. *Sublime text* dapat mempermudah proses memperbaiki kodingan. Kodingan *python* dijalankan menggunakan *command prompt window* dengan cara memanggil file kodingan *python*. Data yang diperoleh tersimpan pada Microsoft excel. Data yang diperoleh dari Microsoft dirubah ke dalam CSV terlebih dahulu sebelum data diproses menggunakan kodingan trapezoid.

Buah kelapa sawit dimasukkan dalam ruang sampel dan dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 30°C, 45°C, dan 60°C. Sampel dipanaskan menggunakan thermostat element pemanas yang terhubung dengan *power supply*. Molekul

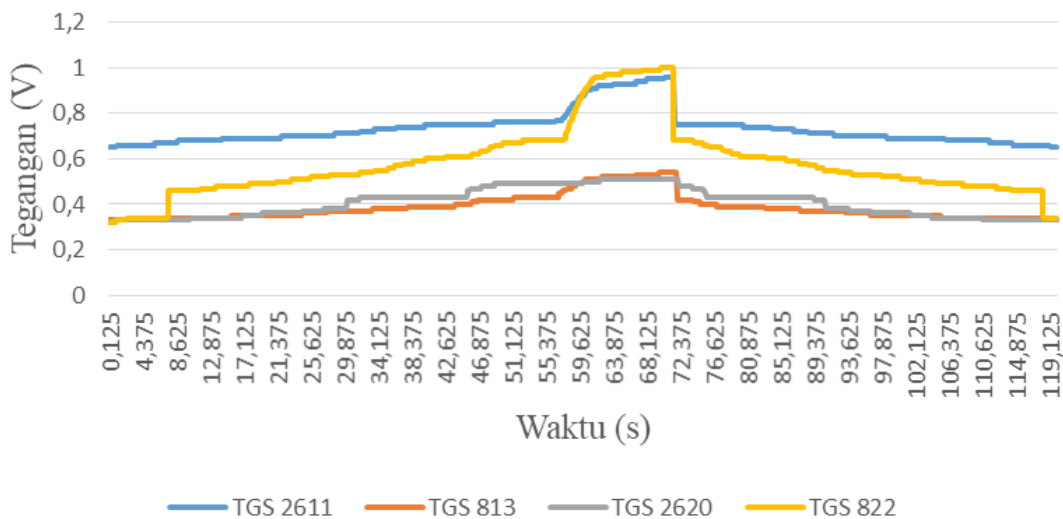
gas buah kelapa sawit dihisap menggunakan pompa dan diteruskan melalui selang yang terhubung ke ruang sensor. Gas yang terdapat pada ruang sensor disebarkan menggunakan kipas mini DC. Perangkat hidung elektronik dijalankan dengan menggunakan program *python* dan arduino nano. Pengambilan data dilakukan selama 2 menit. Data yang diperoleh setiap pengambilan data selama 2 menit berjumlah 120 data. Setiap selesai pengambilan data, pintu yang terdapat pada ruang sensor dibuka dan kipas menyala. Pintu ruang sensor dibuka bertujuan untuk pembersihan ruang sampel. Pembersihan ruang sampel dapat dideteksi dengan menggunakan program *python*. Sensor akan kembali bekerja apabila kondisi ruang sensor sudah dalam keadaan stabil dan pada layar laptop akan tertulis “Sensor TGS 2611, TGS 813, TGS 2620 dan TGS 822 sudah stabil”. Jika tulisan tersebut sudah muncul, maka dapat melakukan pengambilan data berikutnya.

Data tegangan yang diperoleh tersimpan pada Microsoft excel. Data tegangan yang terdapat pada Microsoft excel kemudian dipanggil menggunakan bahasa pemrograman *python* untuk merubah data tegangan menjadi luasan trapezoid setiap sensor. *Terminal command prompt* untuk menjalankan skrip, dan data luasan trapezoid yang dikonversi dalam bentuk excel. Data pengukuran tingkat kekerasan buah kelapa sawit secara manual menggunakan penetrometer. Data yang

diperoleh dianalisa dengan membandingkan data yang diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

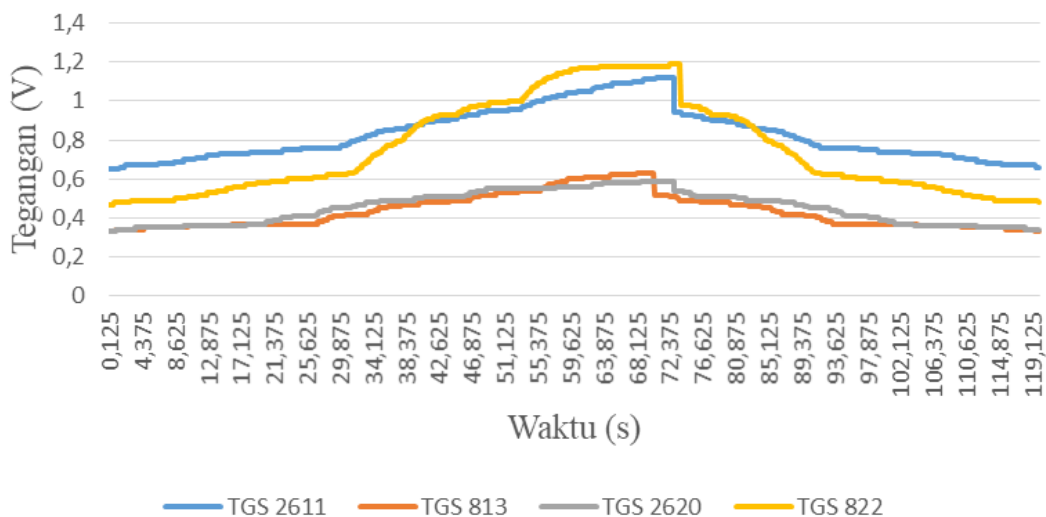
Sensor TGS memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap aroma sampel yang dipanaskan pada suhu 30°C, 45°C, dan 60°C. Sensitivitas sensor diamati dari nilai tegangan yang dihasilkan terhadap waktu.



Gambar 2. Nilai tegangan sensor terhadap waktu pada suhu 30°C dengan kategori sawit matang.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat sensitivitas sensor pada suhu 30°C memberikan respon paling baik yaitu sensor TGS 2611 dan TGS 822 dengan nilai tegangan 0,733656 dan 0,566937. Kemudian disusul oleh sensor lainnya yaitu TGS 2620 dan TGS 813 dengan

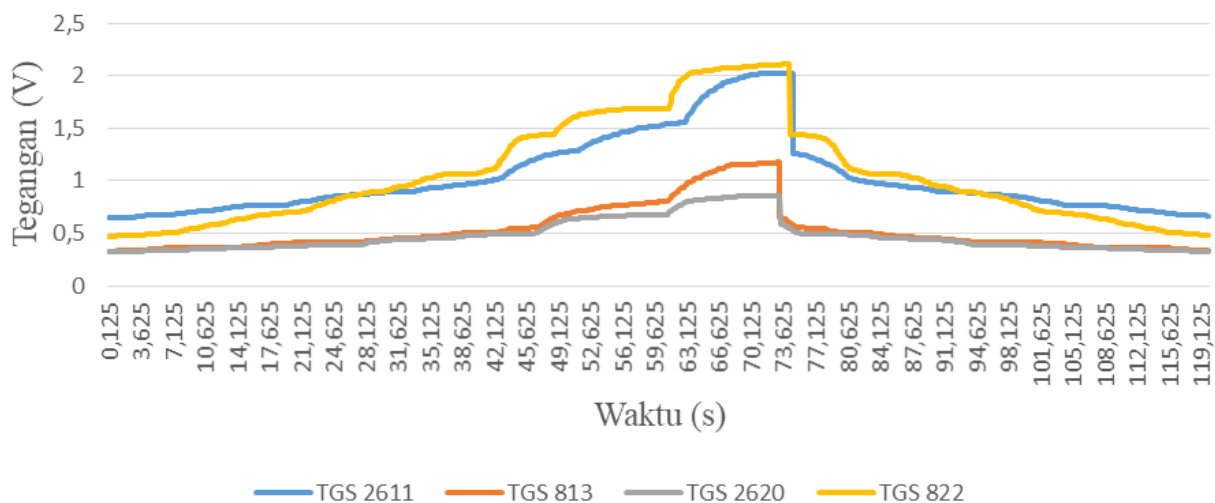
nilai tegangan 0,404344 dan 0,386323. Sensitivitas sensor pada suhu 30°C tidak memberikan nilai tegangan yang tinggi dikarenakan molekul gas yang terdapat pada buah kelapa sawit tidak terlalu menguap.



Gambar 3. Nilai tegangan sensor terhadap waktu pada suhu 45°C dengan kategori sawit matang.

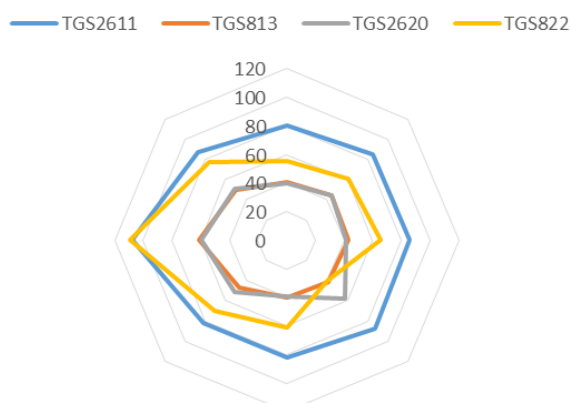
Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan respon nilai tegangan paling tinggi yaitu sensor TGS 2611 dan 822 menunjukkan nilai yang tinggi yaitu 1,17 dan 1,3. Sensor TGS lainnya yaitu sensor TGS 2620 dan TGS 813 menunjukkan nilai tegangan 0,36 dan 0,37 memberikan respon yang rendah terhadap kandungan gas sawit tersebut. Gambar 4 menunjukkan sensitivitas sensor TGS pada suhu 60°C dengan

nilai tegangan tertinggi yaitu sensor TGS 2611 dan TGS 822 dengan nilai 1,28 dan 1,43. Respon tegangan sensor TGS 2620 dan TGS 813 yaitu 0,49 dan 0,56. Sensor TGS 2611 dan 822 memberikan perubahan tegangan yang cukup tinggi karena sensor TGS 822 dapat mendeteksi uap pelarut organik seperti etanol. Sensor TGS 2611 dapat mendeteksi gas metana.

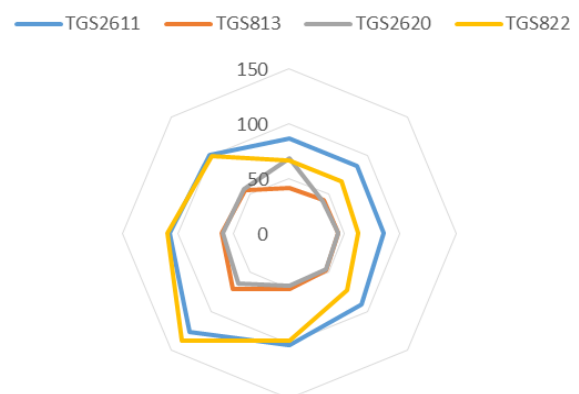


Gambar 4. Nilai tegangan sensor terhadap waktu pada suhu 60°C dengan kategori matang.

Tinggi rendahnya tegangan yang dihasilkan dari masing masing sensor bergantung pada kemampuan sensitivitas masing masing sensor dan persebaran gas pada ruang sensor. Berdasarkan grafik yang diperoleh seiring dengan peningkatan suhu maka sensitivitas sensor terhadap aroma sampel juga semakin meningkat.



Gambar 5. Grafik hubungan luasan daerah setiap sensor terhadap sampel pada suhu 30°C.

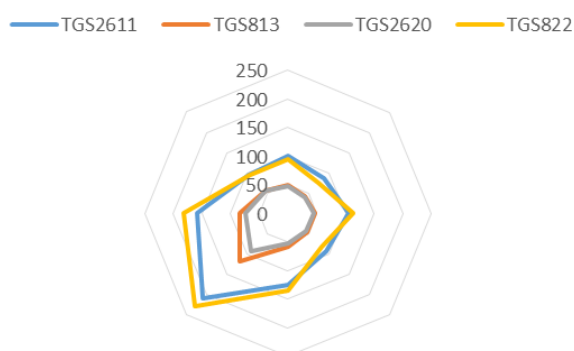


Gambar 6. Grafik hubungan luasan daerah setiap sensor terhadap sampel pada suhu 45°C.

Dari tabel 2 dibuat grafik radar yang terdiri dari 4 sensor TGS terhadap 9 TBS dengan kaategori matang. Grafik radar dapat dilihat pada Gambar 5. Pola tegangan yang dihasilkan masing masing sensor terhadap aroma buah kelapa sawit yang dipanaskan pada suhu 30°C. Setiap pola yang dibentuk oleh masing-masing sampel merupakan susunan yang meningkatkan tegangan keluaran dari setiap sensor gas yang

terkena aroma buah kelapa sawit yang diwakili oleh luasan daerah. Gambar 6 menunjukkan pola respon dari kumpulan sensor. Sensor gas yang dapat merespon dengan baik terhadap aroma buah sawit adalah TGS 2611 dan TGS 822. Nilai rata-rata luasan trapezoid sensor TGS 2611 dan TGS 822 yaitu 87,32063 dan 67,4875.

Pola tegangan yang dihasilkan masing-masing sensor pada suhu 45°C menghasilkan luasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 30 °C. Berdasarkan grafik trapezoid yang ditunjukkan pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa sensor TGS 2611 dan TGS 822 memberikan nilai rata-rata luasan trapezoid yang paling tinggi yaitu 98,4705 dan 88,90822.



Grafik 7 Grafik hubungan luasan daerah setiap sensor terhadap sampel pada suhu 60°C.

Berdasarkan grafik radar yang ditunjukkan pada Gambar 7 sensor TGS yang memberikan respon tinggi terhadap kandungan VOC (*Volatile Organic Compound*) buah kelapa sawit yaitu sensor TGS 822 dan TGS 2611. Sensor TGS 822 dapat mendeteksi uap pelarut organik seperti etanol. Sensor TGS 2611 sensitif terhadap gas metana. Menurut Kuntum *et al* (1989), CPO (*Crude Palm Oil*) dan minyak sawit teroksidasi mengandung senyawa aroma volatil seperti 2,2,6-trimethylcyclohexanone, 3,3,5-trimethylcyclohex-2-enone, nonanone, nonanal, ethyl benzoat, linalol, trans-*allo-* ocimene, cyclocitral dan ionol berasosiasi dengan aroma minyak sawit segar sedangkan 3,3,5-Trimethylcyclohex-2-enone sendiri memiliki aroma palma yang sangat berbeda serta aroma yang terkait dengan kacang tanah dan kacang polong [10]. Sehingga sensor yang mampu

mendeteksi kandungan VOC buah kelapa sawit yaitu TGS 2611 dan TGS 822. Nilai luasan trapezoid pada suhu 60°C memberikan respon sensitivitas yang paling tinggi terhadap sensor TGS 2611 dan TGS 822 dengan nilai 122,1694 dan 125,6063. Nilai respon sensor TGS juga dipengaruhi oleh kemampuan deteksi masing-masing sensor. Sensor TGS 2611 memiliki konsentrasi gas deteksi sebesar 500 - 10.000 ppm. Sensor TGS 822 memiliki konsentrasi gas deteksi 200 - 5.000 ppm. Sensor TGS 813 memiliki konsentrasi gas deteksi 1.000 ppm. Sensor TGS 2620 memiliki konsentrasi gas deteksi 50 - 5.000 ppm.

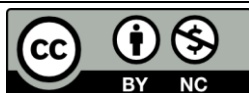
KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan respon sensor yang paling tinggi yaitu sensor TGS 2611 dan TGS 822. Sensor yang memiliki sensitivitas rendah terhadap aroma buah kelapa sawit yaitu sensor TGS 2620 dan TGS 813. Suhu optimal yang diberikan terhadap sampel yaitu pada suhu 60°C, karena pada suhu 60°C sensor TGS memberikan respon yang lebih tinggi dibandingkan pemnasan sampel pada suhu 30°C dan 45°C.

REFERENSI

1. Julian, T., Hidayat, S. N., Rianjanu, A., Dharmawan, A. B., Wasisto, H. S., & Triyana, K. (2020). Intelligent mobile electronic nose system comprising a hybrid polymer-functionalized quartz crystal microbalance sensor array. *ACS omega*, **5**(45), 29492–29503.
2. Casals, O., Šutka, A., Granz, T., Waag, A., Wasisto, H. S., Daniel Prades, J., & Fàbrega, C. (2020). Visible light-driven p-type semiconductor gas sensors based on CaFe₂O₄ nanoparticles. *Sensors*, **20**(3), 850.
3. Farraia, M. V., Rufo, J. C., Paciência, I., Mendes, F., Delgado, L., & Moreira, A. (2019). The electronic nose technology in

- clinical diagnosis: A systematic review. *Porto biomedical journal*, **4**(4).
4. Ali, M. M., Hashim, N., Abd Aziz, S., & Lasekan, O. (2020). Principles and recent advances in electronic nose for quality inspection of agricultural and food products. *Trends in Food Science & Technology*, **99**, 1–10.
 5. Yani, R. A., Minarni, Saktioto, S., & Husein, I. R. (2020). Volumetric prediction of symmetrical-shaped fruits by computer vision. *Science, Technology & Communication Journal*, **1**(1), 20–26.
 6. Sanubary, I. (2019). Perbandingan Kinerja Sensor TGS2610, MQ2, dan MQ6 pada Alat Pendeteksi Kebocoran Tabung Liquified Petroleum Gas (LPG) Menggunakan ATMega2560. *PRISMA FISIKA*, **7**(1), 14–19.
 7. Smulko, J. M., Trawka, M., Granqvist, C. G., Ionescu, R., Annanouch, F., Llobet, E., & Kish, L. B. (2015). New approaches for improving selectivity and sensitivity of resistive gas sensors: A review. *Sensor Review*, **35**(4), 340–347.
 8. Lee, A. P., & Reedy, B. J. (1999). Temperature modulation in semiconductor gas sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **60**(1), 35–42.
 9. Inca, I., Widodo, T. W., & Lelono, D. Klasifikasi Teh Hijau dan Teh Hitam Tambi-Pagilaran dengan Metode Principal Component Analysis (PCA) Menggunakan E-Nose. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, **8**(1), 61–72.
 10. Kuntom, A. H. J., Dirinck, P. J., & Schamp, N. M. (1989). Identification of volatile compounds that contribute to the aroma of fresh palm oil and oxidized oil. *Elaeis*, **1**(1), 53–61.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

FABRIKASI ELEKTRODA KARBON DARI SABUT KELAPA MUDA DENGAN AKTIVASI FISIKA SEBAGAI APLIKASI SUPERKAPASITOR

Martha Theresia Simanjuntak, Awitdrus*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: awitdrus@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Supercapacitors are energy storage devices consisting of electrodes, electrolytes, current collectors, and separators. Supercapacitor cells have components called electrodes. In this study, the basic material used to make supercapacitor cell electrodes is young coconut fiber with variations in physical activation temperature of 700°C, 750°C and 800°C. The process of preparing of supercapacitor cell electrodes begins with pre-carbonization using an electric oven, chemical activation using 0.5M KOH activator, carbonization process using N₂ gas at a temperature of 600°C and physical activation using CO₂ gas. Analysis of the supercapacitor cell electrodes made from young coconut fiber showed that the sample with a physical activation temperature of 750°C was the best sample, indicated by a low density value of 0.68 g/cm³ and the highest specific capacitance of 225.1736 F/g which was tested using Cyclic Voltammetry method.

Keywords: Young Cocofiber, Physical Activation Temperature, Activated Carbon Electrode, Density, Specific Capacitance.

ABSTRAK

Superkapasitor merupakan piranti penyimpanan energi yang terdiri dari elektroda, elektrolit, pengumpul arus, dan separator. Sel superkapasitor memiliki komponen yang bernama elektroda. Pada penelitian ini, bahan dasar yang digunakan untuk membuat elektroda sel superkapasitor adalah sabut kelapa muda dengan variasi suhu aktivasi fisika 700°C, 750°C dan 800°C. Proses pembuatan elektroda sel superkapasitor dimulai dengan pra-karbonisasi menggunakan oven listrik, aktivasi kimia dengan menggunakan aktivator KOH 0,5M, proses karbonisasi menggunakan gas N₂ pada suhu 600°C serta aktivasi fisika menggunakan gas CO₂. Analisis sel superkapasitor berbahan sabut kelapa muda menunjukkan bahwa sampel dengan suhu aktivasi fisika 750°C merupakan sampel terbaik, ditandai dengan rendahnya nilai densitas yaitu sebesar 0,68 g/cm³ dan kapasitansi spesifik tertinggi yaitu 225,1736 F/g yang diuji menggunakan metode Cyclic Voltammetry.

Kata kunci: Sabut Kelapa Muda, Suhu Aktivasi Fisika, Elektroda Karbon Aktif, Densitas, Kapasitansi Spesifik.

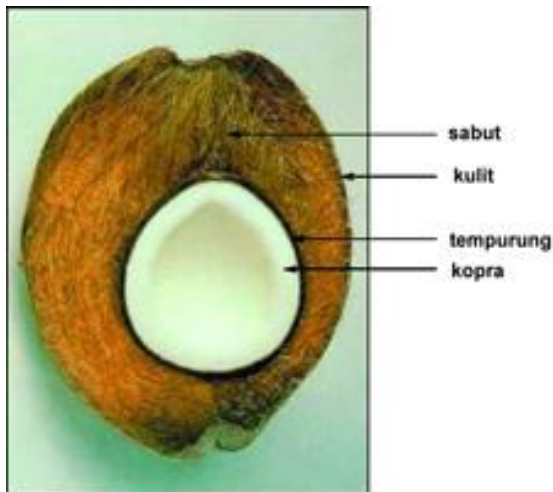
Diterima 09-03-2022 | Disetujui 06-04-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Pada era global ini banyak muncul pembicaraan mengenai energi, mulai dari sumber energi baru, energi alternatif hingga penyimpan energi semakin berkembang. Penyimpan energi yang sehari-hari digunakan dalam alat elektronik adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif menjadi penyimpan energi alat yang

bervoltase rendah. Namun, jika baterai sering digunakan maka akan mengalami *voltage drop* [1]. Sehingga diharapkan dapat menghasilkan penyimpan energi dalam jumlah besar, seperti superkapasitor. Superkapasitor merupakan piranti penyimpan energi yang memiliki kerapatan energi yang lebih besar jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional dan rapat daya yang lebih besar jika dibandingkan dengan baterai. Superkapasitor

juga memiliki potensi yang besar dengan paduan daya tinggi, waktu pengisian singkat, kestabilan yang tinggi, dan mampu bertahan lama [2].



Gambar 1. Lapisan buah kelapa.

Dalam satu buah kelapa terdapat sabut kelapa seberat 35% dari berat kelapa utuh. Dalam sabut kelapa terdapat 75% serat (*fiber*) dan 25% gabus (*pitch*) yang menghubungkan antar serat [3] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Serat sabut kelapa tersusun dari unsur organik dan mineral, yaitu pektin, hemiselulosa, lignin, selulosa, kalium, kalsium, magnesium, nitrogen dan protein [4]. Adapun persentase kandungan pada serat sabut kelapa, yaitu 45,84% lignin, 43,44% selulosa, dan 0,25% hemiselulosa. Hampir 60% penyusun lignin adalah karbon, yang menyebabkan sabut kelapa dapat digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif sebagai aplikasi superkapasitor [5].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan sabut kelapa muda sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon aktif superkapasitor.

Proses penelitian dimulai dengan memisahkan serat sabut kelapa dengan gabus dan dilanjutkan dengan proses pengeringan dengan bantuan sinar matahari. Kemudian dilakukan proses pra-karbonisasi dengan suhu 250°C selama 1 jam. Sampel yang sudah menjadi karbon dihaluskan dan diayak untuk

selanjutnya dilakukan tahap aktivasi kimia. Aktivasi kimia dilakukan menggunakan agen pengaktif kimia yaitu KOH 0,5M.

Tahap selanjutnya yaitu karbonisasi dan aktivasi fisika. Karbonisasi dilakukan pada suhu 600°C yang ditahan selama 1 jam menggunakan gas N₂, sementara aktivasi fisika dilakukan pada suhu yang divariasikan yaitu 700°C, 750°C dan 800°C, yang ditahan selama 2,5 jam menggunakan gas CO₂. Karakterisasi sifat fisis dilakukan dengan pengukuran densitas, sedangkan karakterisasi sifat elektrokimia dilakukan dengan analisa *Cyclic Voltammetry* (CV).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Densitas Elektroda Karbon

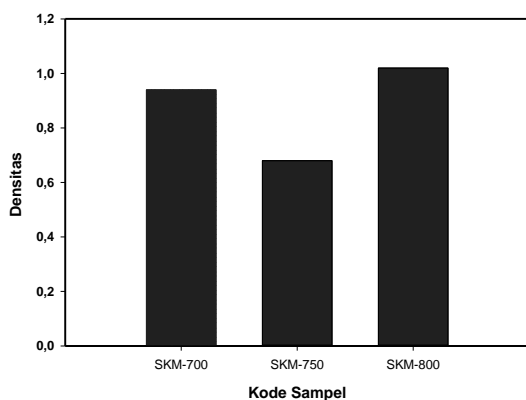
Hasil densitas diperoleh dengan mengukur massa, diameter, dan tebal dari karbon aktif. Densitas merupakan faktor yang dapat mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik dari sel superkapasitor, yang berkaitan dengan luas permukaan dan struktur pori yang dihasilkan elektroda karbon setelah proses karbonisasi dan aktivasi fisika [6]. Densitas dapat dihitung menggunakan Persamaan (1), yaitu:

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 t} \quad (1)$$

dimana *m* adalah massa dari *pellet*, *r* adalah jari-jari dari *pellet*, dan *t* adalah ketebalan *pellet*.

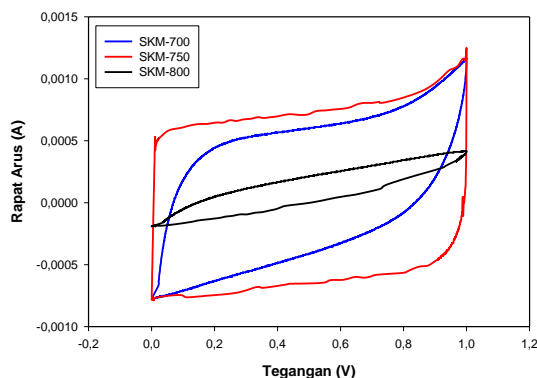
Gambar 2 menunjukkan nilai penyusutan densitas yang terjadi setelah proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Setelah proses karbonisasi dan aktivasi fisika, nilai densitas masing-masing sampel adalah SKM-700 0,94 g/cm³, SKM-750 0,68 g/cm³, dan SKM-800 1,02 g/cm³. Nilai densitas terkecil dimiliki oleh sampel SKM-750, diikuti sampel SKM-700 dan densitas terbesar dimiliki oleh sampel SKM-800. Penyusutan densitas dikarenakan menguapnya bahan-bahan selain karbon saat proses karbonisasi, dan pada proses aktivasi fisika terjadi proses pemutusan rantai karbon

pada senyawa yang lebih kompleks sehingga terbentuk pori-pori baru [7]. Penyusutan densitas suatu karon aktif mempengaruhi porositas dan kapasitansi spesifik dari sel superkapasitor, dimana semakin rendah nilai densitas suatu karbon aktif akan semakin tinggi porositas serta nilai kapasitansi spesifiknya. Hal ini dikarenakan selama proses karbonisasi dan aktivasi fisika terjadi penguapan bahan-bahan selain karbon yang menyebabkan terbentuknya pori pada elektroda.



Gambar 2. Densitas elektroda karbon sabut kelapa muda.

Cyclic Voltammetry (CV)



Gambar 3. Kurva cyclic voltammetry.

CV merupakan karakterisasi yang dilakukan menggunakan metode sensor elektrokimia untuk mengukur besar arus yang dihasilkan dari proses transfer elektron antara elektroda dengan larutan elektrolit 1M H₂SO₄ selama pemberian tegangan pada elektroda dalam sel elektrokimia. CV dilakukan untuk mengetahui sifat elektrokimia sel superkapasitor dengan mendapatkan nilai kapasitansi spesifik. Untuk

menghitung nilai kapasitansi spesifik dari superkapasitor dapat menggunakan persamaan berikut:

$$C_{sp} = \frac{(I_c - I_d)}{s \times m} \quad (2)$$

dimana I_c merupakan arus masuk (A), I_d merupakan arus keluar (A), s adalah laju pemindaian ($mV s^{-1}$), dan m adalah massa elektroda (g).

Gambar 3 memperlihatkan bahwa kurva *charge-discharge* dengan luas kurva yang berbeda-beda. Semakin besar luas kurva *charge-discharge* yang dihasilkan akan semakin tinggi nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon. Dibuktikan dengan luas terbesar dimiliki oleh sampel SKM-750 dengan nilai kapasitansi spesifiknya sebesar 225,1736 F/g. Diikuti dengan SKM-700 dan SKM-800 dengan nilai kapasitansi spesifik masing-masing 108,0426 F/g dan 47,07527 F/g. Nilai-nilai kapasitansi spesifik ini dihitung menggunakan Persamaan (2) dari data kurva CV (Gambar 3). Sampel SKM-750 memiliki nilai kapasitansi spesifik tertinggi karena pada suhu 750°C terjadi reaksi gasifikasi senyawa volatil secara cepat sehingga rantai karbon terlepas yang menyebabkan banyaknya pori yang terbentuk. Namun pada suhu 800°C nilai kapasitansi spesifik mengalami penurunan karena pada suhu yang terlalu tinggi dapat merusak struktur dari karbon aktif yang dikarenakan proses gasifikasi senyawa volatil yang berlebihan [8].

Tabel 1. Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor sabut kelapa muda.

Kode Sampel	C_{sp}
SKM-700	108,0426 F/g
SKM-750	225,1736 F/g
SKM-800	47,07527 F/g

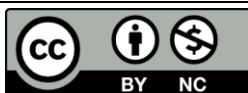
Elektroda karbon yang memiliki kapasitansi spesifik yang besar memiliki kemampuan yang baik untuk akumulasi muatan pada permukaan elektroda dan secara efektif membuat mikropori pada permukaan karbon yang mengarah pada peningkatan kapasitansi spesifik [9, 10].

KESIMPULAN

Dari data hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa suhu aktivasi fisika 750°C adalah suhu yang tepat digunakan dalam proses fabrikasi elektroda karbon aktif berbahan dasar sabut kelapa muda sebagai aplikasi superkapasitor, dengan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan sebesar 225,1736 F/g.

REFERENSI

1. Pasaribu, F. I., Lubis, S. A., & Alam, S. I. P. (2020). Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi Menggunakan Bahan Graphene. *RELE: Jurnal Teknik Elektro*, **2**(2), 66-72.
2. Halper, M. S. & Ellenbogen, J. C. (2006). *Supercapacitors: A Brief Overview*. Virginia: MITRE Corporation.
3. Carrijo, O. A., Liz, R. S., & Makishima, N. (2002). Fiber of Green Coconut Shell as Agriculture Substratum. *Horticultura Brasileira*, **20**(4), 533-535.
4. Palar, H. (2004). *Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
5. Sesuk, T., Tammawati, P., Somton, K., Limthongkul, P., & Kobsiriphat, W. (2019). Activated Carbon Derived from Coconut Coir Pith as High Performance Supercapacitor Electrode Material. *Journal of Energy Storage*, **25**, 1-9.
6. Qu, S., Wan, J., Dai, C., Jin, T., & Ma, F. (2018). Promising as High-Performance Supercapacitor Electrode Materials Porous Carbons Derived from Biological Lotus Leaf. *Journal of Allys and Compounds*, **751**, 107-116.
7. Natalia, K. & Taer, E. (2019). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Sifat Fisis dan Elektrokimia Elektroda Superkapasitor dari Limbah Daun Akasia (Acacia Mangium Wild). *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, **16**(2), 82-86.
8. Efendi, Z. & Astuti. (2016). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Morfologi dan Jumlah Pori Karbon Aktif Tempurung Kemiri sebagai Elektroda. *Jurnal Fisika Unand*, **5**(4), 297-302.
9. Wang, G., Zhang, L., & Zhang, J. (2012). A Review of Electrode Materials for Electrochemical Supercapacitor. *The Royal Society of Chemistry*, **41**(2), 797-828.
10. Hanifa, Z., & Awitdrus, A. (2022). Pembuatan Elektroda Karbon dari Biomassa Sabut Kelapa Muda dengan Aktivator KOH Sebagai Aplikasi Sel Superkapasitor. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **19**(1), 45-50.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

APLIKASI UJI COBA SKALA LABORATORIUM IMPLEMENTASI PROTOTYPE ALAT INOVASI TEKNOLOGI PASCA PANEN BERBASIS BIOMASSA UNTUK DETEKSI TEMPERATURE DENGAN SISTEM *INTERNET OF THINGS*

Melyna Handayani, Juandi Muhammad*
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: juandi@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Digital technology in the form of a drying oven is used for the drying process of a sample biomass fuel. There are 2 types of biomass used, namely Coconut Shell and Acacia tree branches. The biomass is used as fuel for the drying process in the drying oven. This study aims to analyze a change in temperature, humidity and heat with various mass variations in coconut shells and acacia tree branches. Mass variations used are 1000 gr, 1500 gr, 2000 gr, 2500 gr, and 3500 gr. The research process begins by burning biomass from the first mass variation to the last mass variation. Furthermore, in the process of burning biomass, the resulting data is accessed via the internet of things seen from a website. The results of the data have a time span of 5 minutes for each observation of temperature and humidity. The data results are the comparison of time with internal temperature on coconut shells with the highest temperature of 93.7°C with a long burning time of 440 minutes, while on wood twigs the highest temperature is 93.7°C and the time required for the combustion process is 445 minutes. The best heat produced in coconut shell of 3500 gr with a maximum heat of 377.43 Joules at an internal temperature of 61.8°C for 45 minutes. Acacia tree branches have the best calorific value with a mass of 1000 gr, it's maximum heat of 288.82 Joules at 37.7°C for 10 minutes.

Keywords: Coconut Shell, Acacia Tree, Internet of Things, Temperature, Drying Oven.

ABSTRAK

Teknologi digital berupa oven pengering yang digunakan untuk proses pengeringan suatu sampel dengan menggunakan bahan bakar biomassa. Biomassa yang digunakan ada 2 jenis yaitu tempurung kelapa dan ranting pohon akasia. Biomassa tersebut digunakan sebagai bahan bakar untuk proses pengeringan di oven pengering. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan suhu, kelembaban dan panas dengan berbagai variasi massa pada tempurung kelapa dan ranting pohon akasia. Variasi massa yang digunakan adalah 1000 gr, 1500 gr, 2000 gr, 2500 gr, dan 3500 gr. Proses penelitian dimulai dengan membakar biomassa dari variasi massa pertama hingga variasi massa terakhir. Selanjutnya dalam proses pembakaran biomassa, data yang dihasilkan diakses melalui internet of things yang dilihat dari sebuah website. Hasil data memiliki rentang waktu 5 menit untuk setiap pengamatan suhu dan kelembaban. Hasil data adalah perbandingan waktu dengan suhu dalam pada tempurung kelapa dengan suhu tertinggi 93,7°C dengan lama waktu pembakaran 440 menit, sedangkan pada ranting kayu suhu tertinggi adalah 93,7°C dan waktu yang dibutuhkan untuk proses pembakaran adalah 445 menit. Panas terbaik yang dihasilkan pada tempurung kelapa sebesar 3500 gr dengan panas maksimum sebesar 377,43 Joule pada suhu internal 61,8°C selama 45 menit. Cabang pohon akasia memiliki nilai kalor terbaik dengan massa 1000 gr, panas maksimum sebesar 288,82 Joule pada suhu 37,7°C selama 10 menit.

Kata kunci: Tempurung Kelapa, Pohon Akasia, *Internet of Things*, Suhu, Oven Pengering.

Diterima 17-04-2022 | Disetujui 25-06-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Perubahan pola kehidupan manusia mengalami perubahan dari awalnya menggunakan proses pengeringan tradisional menggunakan sinar matahari untuk pengeringan produk olahan bahan baku, akhirnya telah bergeser ke era milenial dengan menggunakan teknologi digital sehingga dapat membantu manusia dalam proses pengeringan suatu bahan [1, 2].

Limbah Biomassa dapat berupa limbah tempurung kelapa dapat digunakan sebagai energi alternatif yang dapat diperbaharui serta dapat dimanfaatkan untuk sumber energi panas guna keperluan pengeringan suatu produk bahan baku. Limbah biomassa telah dimanfaatkan dalam studi ini untuk bahan baku energi dalam alat teknologi pengering dengan sistim *internet of thing* (IoT) [3, 4].

Potensi limbah tempurung kelapa di Indonesia sangat besar. Tempurung kelapa dapat dengan mudah didapatkan karena jumlahnya melimpah dan untuk sekarang ini hanya dimanfaatkan sebagai arang saja. Pada umumnya jenis akasia gunung banyak ditanam di daerah lereng gunung berapi di Jawa sebagai tanaman penghasil kayu bakar dan tanin. Dengan tingkat pertumbuhan yang sangat tinggi, jenis akasia gunung dapat dipanen dengan daur yang relatif pendek yaitu kurang lebih 5 tahun. Jenis akasia ini merupakan jenis invasif sehingga berkembang dengan sangat cepat dan seringkali mengalahkan jenis-jenis asli yang ada di kawasan pegunungan [5].

Jenis akasia gunung merupakan jenis potensial pasca erupsi Gunung Merapi di Yogyakarta yang dapat dijadikan sumber pendapatan bagi penduduk lokal yang memanfaatkannya sebagai kayu bakar [6].

Derajat panasnya suatu benda merupakan suatu ukuran suhu yang dimiliki oleh suatu benda. Suhu yang ada dalam suatu benda ini dipengaruhi oleh energi yang ada dalam suatu benda. Bentuk energi atom dalam suatu benda yang dikarakteristikan dengan gerakan suatu atom dalam benda dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan suhu benda. Pengukuran

suhu suatu benda dapat menggunakan alat termometer. Klasifikasi suatu termometer dibedakan atas 4 jenis yaitu Kelvin, Fahrenheit, Reaumur dan Celsius [7].

Proses pengendalian suatu kegiatan dari jarak jauh merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi atau kemudahan dalam melakukan suatu aktivitas. IoT dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas suatu aktivitas manusia dalam proses pengeringan suatu bahan baku [8-10].

METODE PENELITIAN

Biomassa



Gambar 1. Tempurung kelapa.



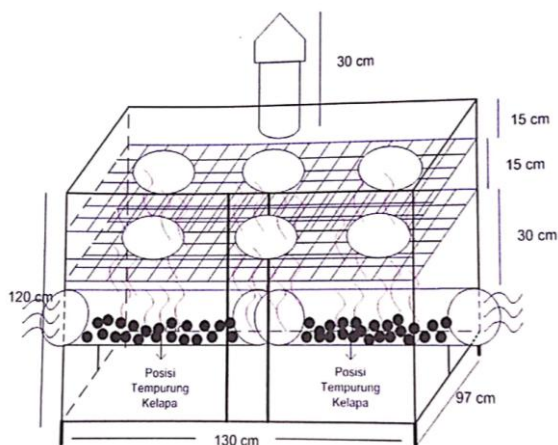
Gambar 2. Ranting pohon akasia.

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis biomassa dari tempurung kelapa dan ranting pohon akasia. Dalam penelitian ini tempurung kelapa dibagi menjadi 5 variasi massa. Kondisi tempurung kelapa harus kering agar mudah dalam proses pembakaran. Jika tempurung kelapa dalam

keadaan basah maka harus dilakukan proses pengeringan dengan sinar matahari.

Deskripsi Mesin

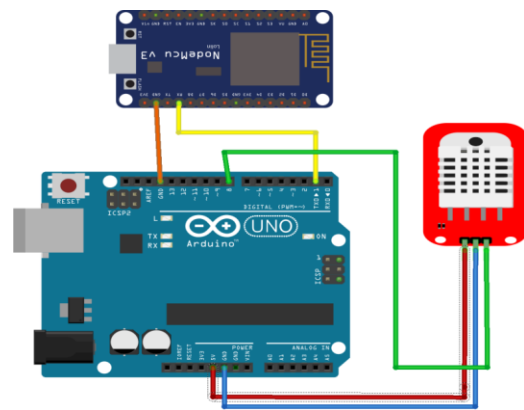
Oven yang digunakan dalam penelitian ini (Gambar 3) berbentuk persegi panjang dan memiliki tiga bagian fungsional yaitu ruang pemanas, ruang pengering (dengan tiga kompartemen) dan cerobong asap. Ruang pemanas berbentuk persegi panjang ($520 \times 410 \times 200$) mm dan pasokan udara untuk mendukung pembakaran dilakukan dengan aliran udara konvensional melalui pipa. Bahan bakarnya Kompartemen berada di dalam ruang bakar, terbuat dari baja ringan dan memiliki berat 11 kg. Berat total oven yang diukur termasuk kompartemen bahan bakar dan pemanggang adalah 35,3 kg. Ruang bakar dihubungkan ke cerobong asap yang terletak di bagian belakang oven agar gas yang terbakar bisa keluar. Ruang pemanas dipisahkan dari ruang pengering dengan pelat logam, yang melaluinya menyerap panas dari ruang pemanas dipindahkan ke ruang pengering, ($700 \times 580 \times 600$) mm dengan konduksi. Pengeringan ruangan itu dibangun dari pelat baja ringan dan dipartisi menjadi tiga lapisan. Lapisan pertama memiliki baki baja ringan persegi panjang sedangkan lapisan lainnya memiliki panggangan pengeringan untuk pemanggangan dan pengeringan (Gambar 3).



Gambar 3. Oven, menunjukkan ruang pengeringan dan bahan bakar kompartemen.

Internet of Things (IoT)

IoT merupakan alat sensor yang digunakan untuk menentukan suhu dalam proses pembakaran dan pengeringan. IoT diletakkan dalam alat pengering dan ditempel dibagian dindingnya agar mudah mendeteksi suhu pada proses pembakaran dan pengeringan. IoT berbasis *website* yang dihubungkan melalui handphone yang berada dilokasi pembakaran dan pengeringan lalu dideteksi melalui komputer dengan jarak jauh. Hasil datanya diprogram melalui situs pemograman berbasis komputer dan kita dapat mendapatkan hasil datanya melalui *website* tanpa harus memeriksa kondisi alat pengering dan mengukur suhu secara manual. Selain IoT merupakan alat teknologi yang mempermudah mendapatkan hasil data penelitian dengan melihat situs *websitenya* saja.



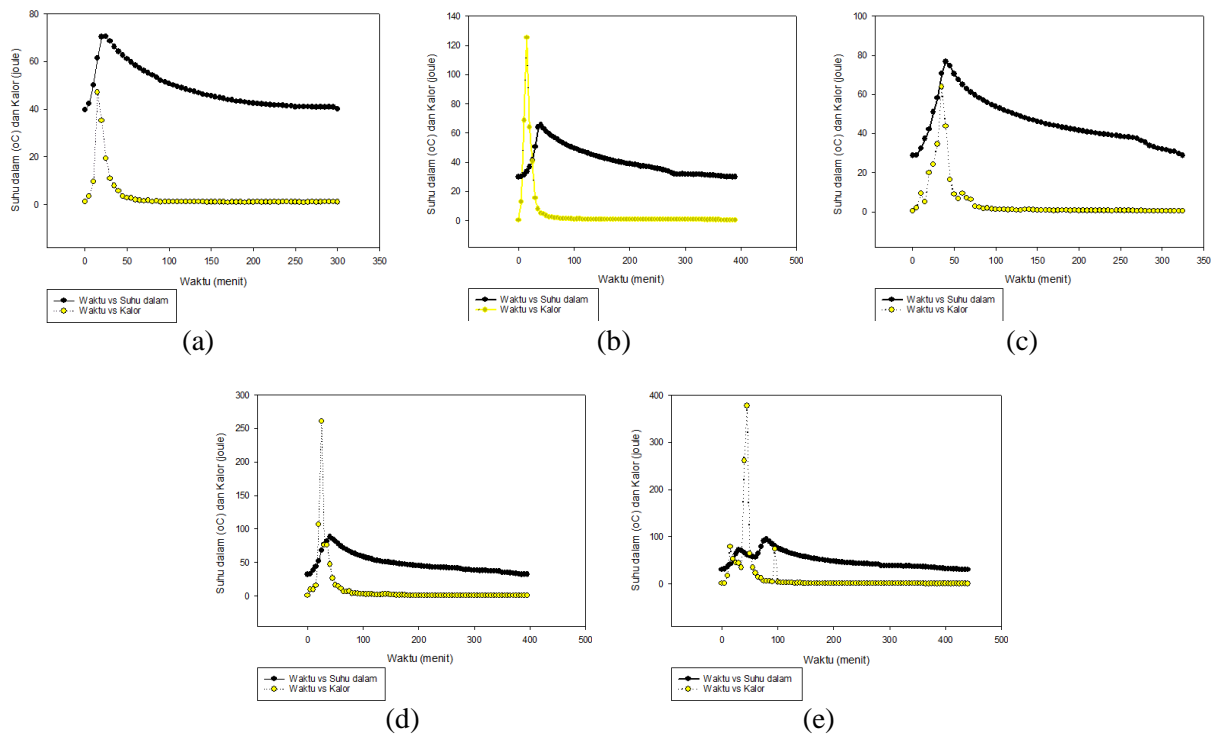
Gambar 4. Rancangan rangkaian alat IoT.

Metode Penelitian atau Prosedur Kerja

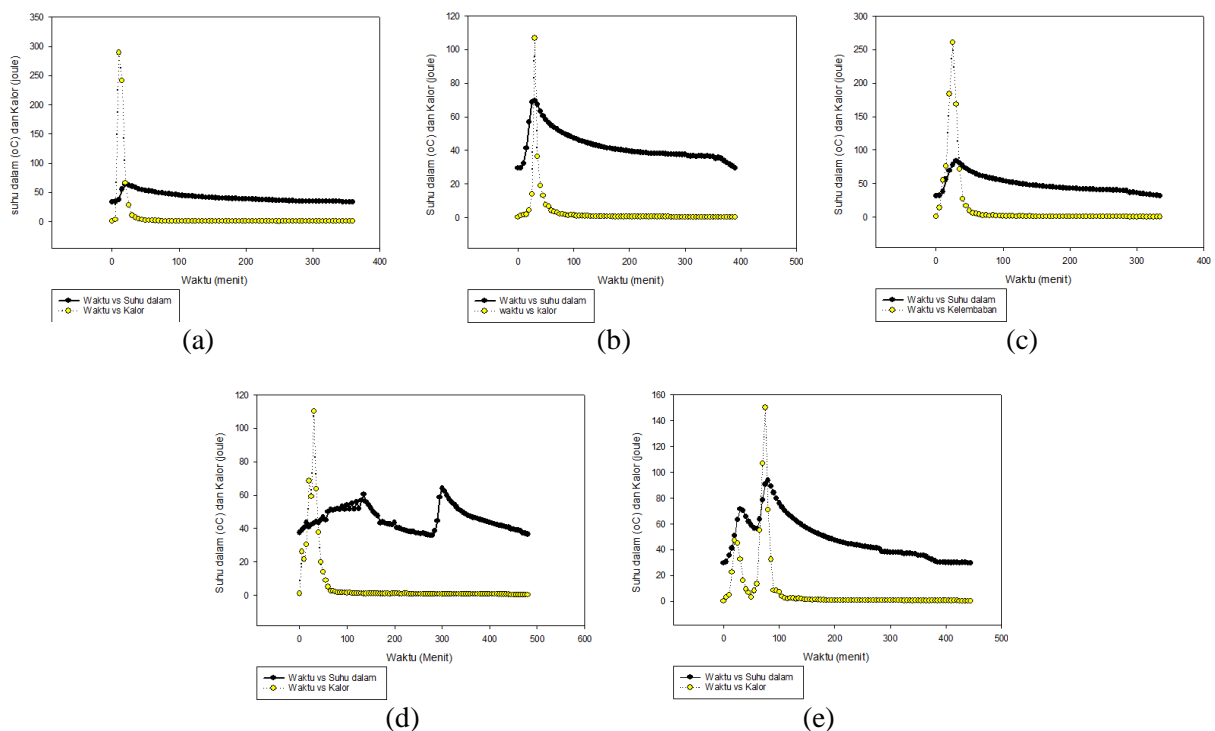
Penelitian ini membahas proses pengeringan beberapa jenis massa dalam biomassa tempurung kelapadan ranting pohon akasia untuk mendeteksi suhu menggunakan sistem IoT. Dalam penelitian ini, kami menentukan berapa banyak massayang dapat bertahan lama dalam proses pembakaran biomassa tersebut dan memperoleh hasilnya melalui IoT. Hasil data didapatkan melalui *website* dengan menghubungkan koneksi *handphone* yang berada dilokasi pembakaran dengan komputer dengan jarak jauh. Terdapat 5 Variasi massa yang digunakan dalam pembakaran tempurung

dan ranting pohon akasia. Setiap uji coba pembakaran biomassa dengan berbagai massanya selalu pantau suhu awal hingga suhu

akhir serta waktunya berapa lama yang dibutuhkan dalam pembakaran biomassa.



Gambar 5. Perbandingan waktu dengan suhu dalam dan kalor pada tempurung kelapa massa (a) 1000 gr, (b) 1500 gr, (c) 2000 gr, dan (d) 2500 gr.



Gambar 6. Perbandingan waktu dengan suhu dalam dan kalor pada ranting kayu pohon akasia massa (a) 1000 gr, (b) 1500 gr, (c) 2000 gr, (d) 2500 gr, dan (e) massa 3500 gram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Data Tempurung Kelapa

Berdasarkan Gambar 5 bisa kita lihat dimana nilai kalor yang lebih tinggi dari pada suhu dalam hanya percobaan dengan massa 1500 gr, 2500 gr, dan 3500 gr. Sedangkan percobaan bagian massanya 1000 gr dan 2000 gr nilai kalornya lebih rendah dari pada suhu dalam. Hal itu disebabkan semakin tinggi suhu luar maka semakin tinggi juga nilai kalor dan sebaliknya semakin rendah nilai suhu luar maka semakin rendah nilai kalornya. Grafik tersebut kita bisa mengetahui berapa energy panas yang dihantarkan dari suhu luar (suhu pembakaran) kedalam alat pengering sehingga kita bisa membandingkan dengan suhu dalamnya. Sedangkan untuk waktunya agar kita bisa membandingkan setiap percobaan dengan berbagi varian massanya.

Kalor merupakan suatu perpindahan panas dari tabung pembakaran kedalam alat pengering. Hasil data kalor merupakan hasil perhitungan suhu luar (suhu pembakaran) dengan interval waktu 5 menit setiap pengamatan. Hasil data kalor dilakukan perhitungannya secara manual lalu disusun dalam bentuk *excel* kemudian barulah dibuat grafik dengan *sigmaplot*.

Gambar 6 nilai kalor lebih tinggi dari pada nilai suhu dalam oleh karena itu suhu luar mengalami peningkatan yang begitu tinggi. Bisa kita nyatakan bahwa ranting pohon akasia lebih bagus dari pada tempurung kelapa karena nilai kalornya lebih tinggi dan proses pembakarannya lebih lama.

KESIMPULAN

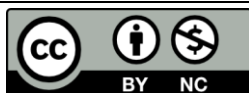
Berdasarkan hasil Suhu Dalam pada tempurung kelapa dan ranting pohon akasia dapat disimpulkan bahwa tempurung kelapa memiliki api panas yang tinggi sehingga membuat alat pengering cepat mudah menyerap panas namun tidak bertahan lama, begitupun sebaliknya ranting kayu bisa bertahan lama namun api yang dihasilkan tidak terlalu tinggi. Hasil data

rata-rata pada suhu dalam tempurung kelapa adalah 48,24°C (1000 gr), 40,04°C (1500 gr), 45,4°C (2000 gr), 48,1°C (2500 gr) dan 48,43°C (3500 gr). Sedangkan pada ranting kayu yaitu 44,3°C (1000 gr), 42,19°C (1500 gr), 47,9°C (2000 gr), 45,58°C (2500 gr) dan 47,93°C (3500 gr). Kalor merupakan hasil perhitungan dari suhu luar, oleh sebab itu semakin tinggi suhu luar maka semakin tinggi kalor yang dialirkan kedalam alat pengering. Kalor rata-rata pada variasi massanya dapat diperoleh yaitu pada tempurung kelapa adalah 3,32 J, 5,14 J, 4,5 J, 9,63 J, dan 4250,1 J. Ranting kayu adalah 434,5 J, 540,2 J, 59,5 J, 26,78 J, dan 7,9 J.

REFERENSI

1. Muhammad, J., Herman, H., Gimin, G., Risanto, J., & Syahril, S. (2020). Pemberdayaan kelompok masyarakat Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru dalam program inovasi teknologi pengering berbasis biomassa yang ramah lingkungan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk makanan berbahan baku ubi. *Unri Conference (C) Community Engagement*, 2
2. Saputra, D. I., Karmel, G. M., & Zainal, Y. B. (2020). Perancangan Dan Implementasi Rapid Temperature Screening Contactless Dan Jumlah Orang Berbasis Iot Dengan Protokol Mqtt. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 2(1).
3. Abbas, A., & Suhaeti, R. N. (2016). Pemanfaatan teknologi pascapanen untuk pengembangan agroindustri perdesaan di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 34(1), 21-34.
4. Nustini, Y., & Allwar, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Arang Tempurung Kelapa dan Granular Karbon Aktif Guna Meningkatkan Kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 4(3), 217-226.

5. Rusdiana, O., Mulyana, D., & Wilujeng, C. U. (2013). Pendugaan potensi simpanan karbon tegakan campuran Akasia dan kayu putih di area reklamasi PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. *Jurnal Silviculture Tropika*, **4**(3), 183-189.
6. Rahbini, R., Heryanto, H., Rachmat, B., & Rhofita, E. I. (2016). Rancang bangun alat pengering tipe rak sistem double blower. *SENTIA 2016*, **8**(2).
7. Natalia Bello, S. R., Adegbulugbe, T. A., & Onyekwere, P. S. N. (2010). Comparative study on utilization of charcoal, sawdust and rice husk in heating oven. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, **12**(2), 29-33.
8. Muhammad, J., & Risanto, J. (2021). Temperature characteristics of post-harvest technology equipment based on biomass waste energy using the internet of things telecontrol system. *Journal of Physics: Conference Series*, **2049**(1), 012023).
9. Juandi, Afriyani, E., & Salomo. (2015), Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa sebagai Energi Biomassa untuk Pengeringan Hasil Pertanian. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **12**(10), 644-650.
10. Juandi, Tulus, F., & Ginting, M. (2015). Penentuan Laju Penurunan Kadar Air Rengginang Ubi dengan Menggunakan Kolektor Plat Datar Berenergi Biomassa Limbah Kayu Akasia. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **12**(11), 714-719.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

PEROVSKITE SOLAR CELLS YANG STABIL UDARA DAN EFISIEN MENGGUNAKAN NANOSTRUKTUR ZnO SEBAGAI ELEKTRON TRANSPORT MATERIAL

Herna¹, Farhan Lutfi², Ebigail Nur Tabita Tambunan¹, Yessi Meinarti³, Ari Sulistyono Rini^{1*}

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

²Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Riau

³Jurusan Kimia FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: ari.sulistyono@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

The latest generation of photovoltaic cells are perovskite-based solar cells that can be fabricated through a simple and affordable process using high-efficiency solar power. This review also present zinc oxide (ZnO) adopted as an electron transport material (ETM) layer in the planar perovskite solar cells due to its simple synthesis and excellent electrical properties. ZnO ETM in conventional perovskite. Doping Aluminium (Al) with ZnO (AZO) was used the organic cation (CH_3NH^+) of perovskite. The AZO ETM was prepared by spin coating technique with AZO sol-gel 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 and 3% Al doping. The perovskite solar cells with AZO ETM above 1.5% Al doping exhibits better and stable the performance cells because doing so can encourage the charge transporting and match the band energy with MAPbI_3 compared to pure ZnO.

Keywords: Perovskite Solar Cells, ZnO ETM, AZO ETM.

ABSTRAK

Sel fotovoltaik generasi terakhir adalah sel surya berbasis perovskite yang dapat difabrikasi melalui proses sederhana dan terjangkau dengan menggunakan tenaga surya efisiensi tinggi. Ulasan ini menyajikan seng oksida (ZnO) yang diadopsi sebagai bahan transpor elektron (ETM) pada sel surya perovskite planar karena sintesisnya yang sederhana dan sifat listrik yang sangat baik. ZnO ETM dalam sel surya perovskite konvensional menunjukkan efisiensi yang rendah karena ZnO akan bereaksi dengan kation organik (CH_3NH^+) dari perovskite. Penyisipan unsur aluminium (Al) ke dalam ZnO (AZO) lazim digunakan untuk meningkatkan sifat fisikokimia ZnO. Pada ulasan ini akan dibahas tentang AZO ETM (Al-doped ZnO untuk ETM) yang dibuat dengan teknik spin coating dengan sol-gel pada 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3% doping Al. Sel perovskite dengan AZO ETM dengan konsentrasi doping Al >1,5% menunjukkan kinerja sel yang lebih baik dan pencocokan energi pita dengan MAPbI_3 dibandingkan dengan ZnO murni.

Kata kunci: Sel Surya Perovskite, ZnO ETM, AZO ETM.

Diterima 21-04-2022 | Disetujui 25-06-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Sumber energi berbasis bahan bakar fosil sebagian besar memenuhi semua kebutuhan energi saat ini. Konsumsi energi meningkat secara eksponensial karena pertumbuhan penduduk yang cepat dan peningkatan energi per kapita [1]. Namun, seiring dengan meningkatnya permintaan energi penipisan bahan bakar fosil pun semakin cepat. Sehingga perlu dikembangkan teknologi energi bersih

untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Energi matahari adalah sumber energi terbarukan yang paling melimpah, dimana melalui sel fotovoltaik energi matahari dapat langsung diubah menjadi energi listrik [2]. Sel surya adalah perangkat yang menggunakan tenaga surya dan diubah menjadi energi listrik menggunakan prinsip fotovoltaik.

Sel surya generasi terakhir yang merupakan pengembangan dari *dye sensitized solar cells* (DSSC) adalah *perovskite solar cells* (PSC).

PSC telah mencapai *power conversion efficiency* (PCE) hingga mencapai 23,3% dalam beberapa tahun terakhir [3]. Perovskite halida hibrida adalah senyawa organik dan anorganik dengan rumus umum ABX_3 , dimana A adalah kation ammonium ($CH_3NH_3^+$), B adalah logam Pb/Sn dan X adalah anion halida (Cl, Br, atau I) [4, 5]. Struktur kristal senyawa tipe perovskite umumnya digunakan untuk sel surya seperti $CH_3NH_3PbI_3$, $CH_3NH_3PbCl_3$, $CH_3NH_3PbBr_3$, $CH_3NH_3GeCl_3$, dan $CH_3NH_3SnCl_3$. Senyawa *methylammonium lead iodine perovskite* $CH_3NH_3PbI_3$ atau $MAPbI_3$ adalah perovskite halida hibrida pertama [4].

Stabilitas dan histeresis masih menjadi masalah yang menantang sehingga membatasi masalah komersialisasi PSC. Struktur perangkat tipikal untuk PSC berisi *electron transport layer* tipe-n (ETL), lapisan penyerap cahaya, dan *hole transport layer* tipe-p (HTL). Salah satu bahan yang berperan penting dalam pengoptimalan efisiensi PSC adalah bahan *electron transport material* (ETM) yang terbuat dari semikonduktor oksida logam seperti ZnO dan TiO_2 [3].

Pemilihan bahan ETM dalam PSC harus memenuhi kriteria yaitu ETM harus sepenuhnya menutupi lapisan elektroda atau perovskite untuk mencegah lubang kecil dan *shunting*, ETM yang digunakan dalam struktur planar dan mesopori PSC harus memiliki transmisi optik yang tinggi dan indeks bias yang sesuai untuk mengurangi kehilangan energi optik [6], ETM harus memiliki keselarasan yang sesuai antara *conduction band minimum* (CBM) atau *lowest unoccupied molecular orbital* (LUMO) dan mobilitas elektron ETM harus cukup tinggi untuk efisiensi transpor elektron, serta ETM harus memiliki stabilitas yang baik dan kondisi fabrikasi yang sesuai dan kompatibel dengan bahan dan proses sebelum atau selanjutnya [7].

Seng oksida (ZnO) adalah ETM yang banyak digunakan sebagai alternatif untuk TiO_2 di DSCC dan sel surya polimer [6]. Baru-baru ini PSC berbasis ZnO telah diteliti secara sistematis yang menunjukkan bahwa PSC berbasis ZnO memiliki keunggulan

dibandingkan TiO_2 dan lainnya yaitu ZnO memiliki CBM serupa ($\cong 4.3$ eV, relatif terhadap tingkat vakum dan lebar celah pita > 3 eV) [7]. ZnO memiliki transmisi optik yang sangat tinggi. Selain itu, ZnO memiliki mobilitas elektron lebih tinggi yang berpotensi meningkatkan efisiensi transpor elektron dan serta mampu mengurangi terjadinya rekombinasi yang dapat menurunkan efisiensi sel. Sebagai ETM, ZnO mudah dibuat dengan proses larutan suhu rendah sehingga ZnO ideal untuk pengendapan substrat yang sensitif terhadap panas [7] sehingga ZnO memiliki sifat yang mudah dikristalisasi dan dapat diproduksi dengan biaya dan anggaran termal yang lebih rendah karena anil suhu tinggi tidak diperlukan dalam sebagian proses fabrikasi ZnO sehingga dapat digunakan dalam perangkat fleksibel [6].

Namun, cacat pada permukaan ZnO seperti gugus hidroksil dan kekosongan oksigen membawa degradasi PSC yang serius saat menggunakan nanostruktur ZnO sebagai ETL [8]. Baru-baru ini, strategi untuk mengatasi masalah yang disebutkan di atas termasuk modifikasi ZnO dengan memasukkan bahan organik dan anorganik untuk menghalangi kontak langsung antara perovskite dan ZnO [9] atau doping Li^+ , Cs^+ , atau ion Al^{+3} untuk meningkatkan kinerja perangkat [10].

Pada artikel ini membahas tentang salah satu solusi yaitu ZnO doping Al atau yang disingkat dengan AZO. ZnO doping Al adalah lapisan ekstraksi yang sesuai untuk meningkatkan efek antarmuka ZnO/perovskite karena AZO ETM memiliki pencocokan pita yang lebih baik dengan perovskite dan lebih tahan terhadap asam daripada film ZnO [4]. AZO diterapkan sebagai ETL di PSC planar konvensional. AZO ETM secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi sel perovskite dengan meningkatkan kepadatan pembawa muatan.

METODE PENELITIAN

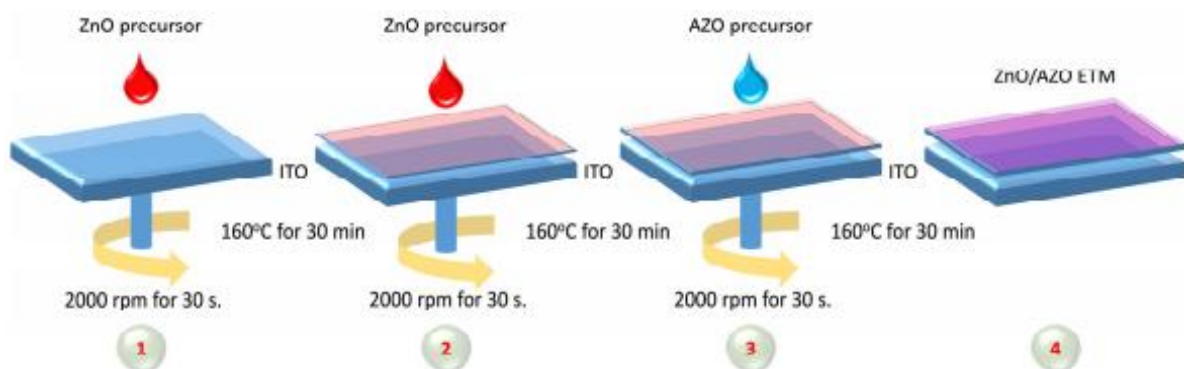
Teknik Preparasi Film ZnO dan AZO ETM

Film tipis ZnO dan AZO yang dilapiskan pada substrat kaca *indium-doped tin oxide*

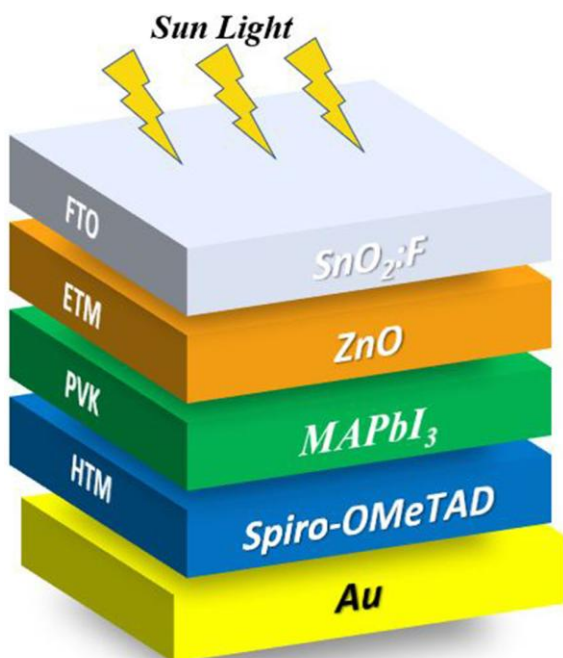
(ITO) yang dibuat dengan metode sol-gel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Pola ITO dibuat dengan menggunakan bubuk seng (Zn) dan larutan encer HCl [12]. Sebelum melakukan deposisi ETM yang dimodifikasi, substrat ITO yang telah di-*etching* terlebih dahulu dibersihkan di bawah sonikasi dengan larutan 2% deterjen pembersihalconox, air deionisasi, aseton, alkohol dan 2-proponal masing-masing selama 30 menit. Setelah itu substrat ITO dikeringkan dengan tembakan gas N₂ dan dirawat dengan ozon ultraviolet selama 30 menit. Untuk larutan prekursor ZnO dibuat dengan cara melarutkan 0.75 seng asetat dihidrat ZnAc, (Zn(CH₃COO)₂.2H₂O) dalam 2-*metheoxyethanol* (2-MOE, C₃H₈O₂) dengan molar yang setara dengan rasio etanolamin (ETA, C₂H₇NO), dan diaduk pada temperatur

60°C selama ± 3 jam, kemudian disimpan pada suhu ruang semalaman agar berbentuk larutan bening homogen. Selanjutnya, kondisi yang sama juga diterapkan pada larutan prekursor AZO yang menggunakan ammonium klorida heksahidrat (AlCl₃.6H₂O) sebagai agen doping dengan rasio molar Al/(Al+Zn) berbeda 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, dan 3,0%. Substrat ITO yang dibersihkan dilapisi dengan larutan prekursor 0% pada 2000 rpm untuk 30 detik, dan dianil diatas pelat panas pada suhu 160°C selama 30 menit. Proses tersebut diulangi sebanyak 2 kali, lalu film AZO teratas dengan rasio doping yang berbeda dilapisi pada substrat ITO/ZnO dengan kecepatan dan durasi yang sama. Substrat dianil lagi pada suhu 160°C selama 30 menit.



Gambar 1. Ilustrasi skema deposisi ETM sekuensial yang dimodifikasi [12].



Gambar 2. Struktur sel surya berbasis [13].

Preparasi Film Perovskite MAPbI₃

MAPbI₃ adalah bahan hemat biaya yang digunakan sebagai lapisan penyerap di PSC. MAPbI₃ dibuat dengan metode dua langkah. Sebelum persiapan film MAPbI₃ dilakukan, permukaan ETM dilapisi oleh Fenil-C₆₀-butyric acid methyl ester (PBCM) (10 mg/ml) sebagai lapisan kompak untuk memblokir lapisan, dan disimpan pada suhu 70°C semalaman sebelum pendeposisian 80 mikroliter bagian larutan PBCM ke ETM pada 2000 rpm selama 30 detik. Langkah pertama, larutan 1 M PbI₂ di dalam N, N-Dimetilformamida (DMF) disiapkan dan disimpan pada suhu 70°C selama semalaman. Lapisan PbI₂ diendapkan ke permukaan ZnO/AZO dengan spin coating bagian 80

mikroliter untuk larutan PbI_2 pada 3000 rpm selama 30 detik didalam N_2 . Lalu, film yang telah disimpan dianil di atas plat panas (*hotplate*) pada suhu 70°C selama 10 menit. Langkah kedua, sebanyak 200 mikroliter dari 10 mg/ml metilamonium iodide (MAI) yang dilarutkan ke dalam 2-propanol adalah ditetaskan ke film PbI_2 dan disimpan selama 40 detik sebelum dilakukan proses lapis putar (*spin coat*) pada 2000 rpm selama 30 detik sehingga terjadi pembentukan perovskite MAPbI_3 . Kemudian film langsung dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 menit.

Persiapan Sel Surya

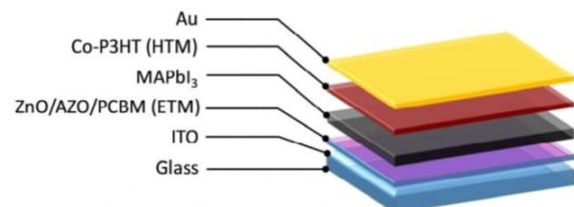
Setelah MAPbI_3 film perovskite diendapkan, bahan pengangkut ketahanan (HTM) dilapisi dengan poli (3-hexylthiophene-2,5-diyl) (Co-P3HT) dengan spin coating bagian 80 mikroliter larutan Co-P3HT pada 1000 rpm selama 30 detik. Larutan Co-P3HT disiapkan dalam 2 langkah yaitu pertama, 30 mg P3HT dilarutkan dalam 1 ml chlorobenzene (CB) [12]. Setelah sonikasi selama 30 menit, larutan P3HT diaduk pada suhu kamar selama 2 jam. Lalu, 16 mikroliter asetonitril, 8 mikroliter 40tert-butyl pridin (tBP) dan 8 mikroliter Co (II)-TFSI ditambahkan ke larutan P3HT, kemudian larutan Co-P3HT didiamkan pada suhu 40°C selama 1 jam lalu diaduk. Akhirnya, elektroda atas emas (Au) diuapkan secara termal ke film Co-P3HT dari sel surya perovskit. Struktur skematik ditunjukkan pada Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi dan Kristalinitas

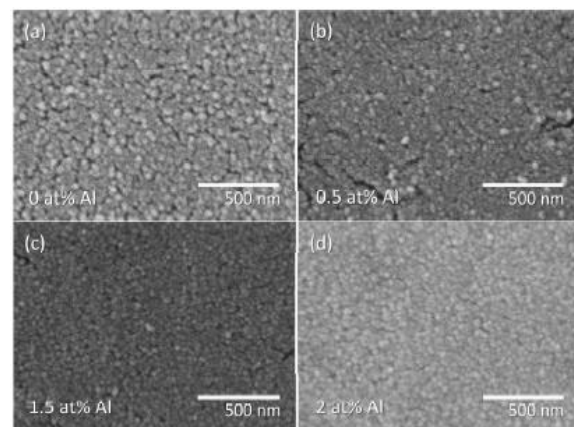
Morfologi permukaan dan penampang ETM dan MAPbI_3 film perovskite diamati dengan mikroskop elektron pemindai emisi (FE-SEM). Kristalinitas MAPbI_3 film perovskite diselidiki menggunakan geometri Bragg-Bretano dan difraktometri sinar-X (Cu K-alpha; $\lambda = 0.154056 \text{ nm}$). Sifat optik diperoleh dengan spektroskopi UV-Vis. Tegangan arus foto (JV) karakteristik kurva sel surya perovskite diukur

menggunakan simulasi sinar matahari AM 1.5 pada 100 mW/cm^2 dalam suasana ambien. Area aktif untuk penyinaran cahaya ditentukan dengan menggunakan photo mask seluas 0.038 cm^2 . Dinamika muatan sel surya perovskite diselidiki menggunakan pengukuran tegangan sirkuit terbuka (OVCD).



Gambar 3. Skema diagram struktur PSC [11].

Gambar permukaan FE-SEM dari film ETM dengan coating setelah di anil pada 160°C seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Lapisan permukaan ZnO/AZO dengan 2% doping Al lapisan permukaan yang lebih halus, lebih padat dan lebih sedikit retakan dibandingkan dengan lapisan permukaan yang lainnya dengan doping 0% Al, 0.5% Al, dan 1.5% Al. Gambar 4. menunjukkan bahwa keretakan pada lapisan permukaan semakin berkurang dengan bertambahnya konsentrasi doping Al.



Gambar 4. FE-SEM lapisan permukaan film ZnO ETM dengan AZO pada (a) 0%Al (b) 0.5% Al (c) 1.5% Al dan (d) 2% Al [11].

Sifat Optik dan Bahan Transport Elektron

Selain itu, film ZnO ETM dengan konsentrasi doping yang berbeda-beda menunjukkan transmisi rata-rata sekitar 80% pada rentang gelombang cahaya tampak (400-

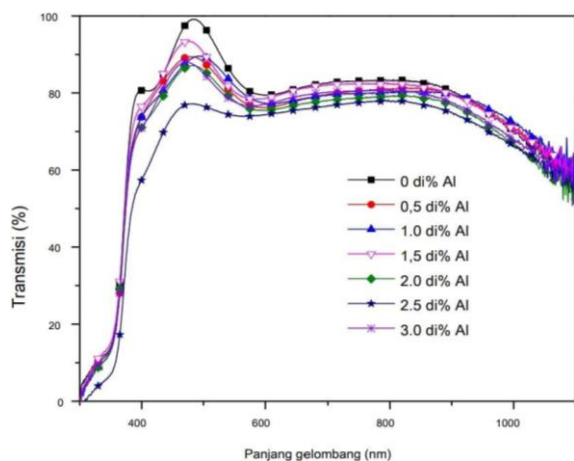
700 nm) dibandingkan dengan ITO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Energi celah pita optik dapat dihitung menggunakan persamaan Beer-Lambert sebagai berikut:

$$(\alpha h\nu)^2 = C(h\nu - E) \quad (1)$$

dimana C adalah sebuah konstanta, $h\nu$ adalah energi foton (eV) dan α adalah singkatan dari koefisien absorpsi. Koefisien absorpsi didefinisikan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

dimana T adalah transmisi dan d adalah ketebalan masing-masing.



Gambar 5. Sifat optik lapisan transpor elektron ZnO sol-gel AZO pada konsentrasi 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3% doping Al [11].

Tabel 1. Transmisi rata-rata (T) dan energi celah pita optik (E) dari film lapisan transpor elektron ZnO dengan sol-gel AZO.

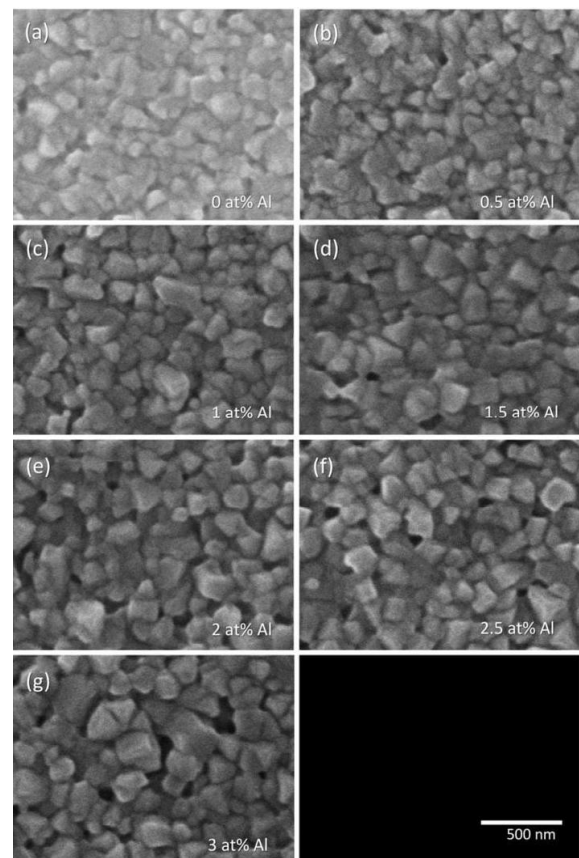
ZnO/AZO dengan doping pada % Al	T(%)	Eg(eV)
0	85.65	3.33 ± 0.01
0.5	80.98	3.33 ± 0.01
1	81.32	3.34 ± 0.01
1.5	83.27	3.33 ± 0.01
2	79.10	3.34 ± 0.01
2.5	73.81	3.32 ± 0.01
3	80.15	3.33 ± 0.01

Energi celah pita film lapisan transpor elektron ZnO dengan sol-gel AZO pada 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3% doping Al ditunjukkan

pada Tabel 1. berikut. Energi celah pita paling tinggi sekitar 3.32-3.34 eV. Sehingga, nilai energi celah pita tidak berkorelasi erat dengan konsentrasi doping Al karena memiliki kecil Al dalam struktur ZnO.

Morfologi, Kristalinitas dari MAPbI₃ Bahan Perovskite dan Karakterisasi Perangkat PSC

Gambar 6. menunjukkan permukaan film perovskite MAPbI₃ yang dibuat dengan spin coating di atas lapisan transpor elektron ZnO dengan persentasi Al pada ZnO 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3%. Semua film mempunyai lubang kecil dan besar yang menyebabkan kontak langsung antara lapisan ETM dan HTM.

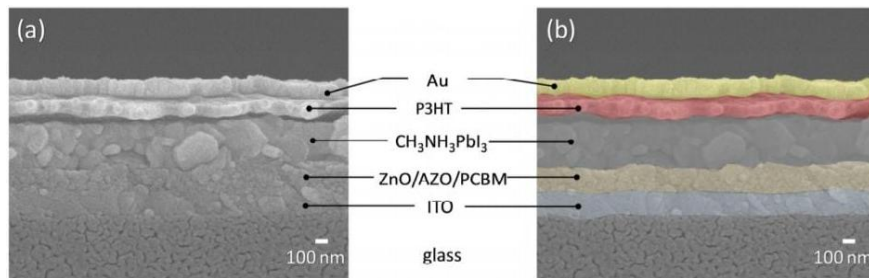


Gambar 6. FE-SEM dari MAPbI₃ film perovskite pada film ZnO dengan sol-gel AZO pada 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3% doping Al [11].

Gambar 7. menunjukkan citra penampang lintang FE-SEM sel surya perovskite. Lapisan ZnO/AZO ETM dilapisi substrat kaca ITO dengan spin coating memiliki ketebalan sekitar

200 nm. MAPbI₃ lapisan yang dipintal ke permukaan lapisan ETM memiliki ketebalan sekitar 400 nm. Lapisan terakhir, ketebalan lapisan pengangkut lubang (HTM) dengan P3HT sekitar 120 nm. Elektroda sel surya

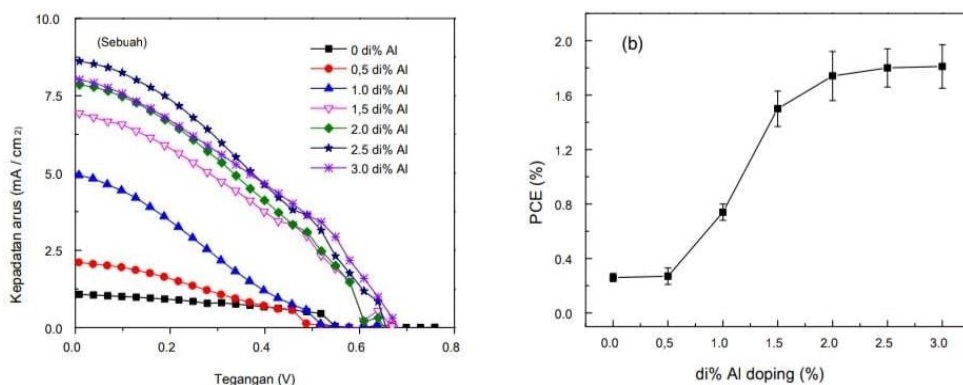
perovskite menggunakan teknik penguapan Au dengan ketebalan ±150 nm. Dibawah ini merupakan gambar perbedaan antara grafik sel surya perovskite asli dan sel surya perovskite dengan doping Al.



Gambar 7. Grafik sel surya perovskite (a) asli dan (b) didoping Al [11].

Karakteristik fotovoltaiik yang berbeda pada konsentrasi doping Al yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 8. Parameter fotovoltaiik seperti arus hubung singkat (Jsc), tegangan sirkuit terbuka (Voc), dan faktor pengisian (FF) dirangkum dalam Tabel 2. Awalnya, PCE sel untuk 0.5% doping Al menunjukkan sedikit peningkatan, tetapi ketika konsentrasi doping Al ditambah PCE sel meningkat secara signifikan dan stabilitas pada

doping Al > 1.5%. Karena ETM berbasis bisa bereaksi dengan kation organik (CH₃NH⁺³) dari perovskite, sehingga sel surya perovskite berbasis ZnO ETM memiliki stabilitas dan efisiensi yang lebih rendah. Oleh sebab itu, AZO ETM digunakan untuk meningkatkan sifat fisikokimia ZnO karena AZO memiliki konduktivitas yang lebih tinggi, pencocokan pita yang lebih baik dengan MAPbI₃ dan lebih tahan terhadap asam daripada ZnO murni [13].



Gambar 8. Karakterisasi perangkat sel surya perovskite (a) JV kurva (b) PCE dari sel surya perovskite oleh transpor elektron lapisan film ZnO dengan sol-gel AZO pada 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3% doping Al [11].

Tabel 2. Parameter fotovoltaiik dari sel surya perovskite oleh lapisan film transpor.

ZnO/AZO (% Al)	Jsc (MA/cm ²)	Voc (V)	FF	PCE (%)
0	1.02 ± 0.15	0.61 ± 0.03	0.40 ± 0.03	0.26 ± 0.03
0.5	1.70 ± 0.51	0.68 ± 0.10	0.23 ± 0.12	0.27 ± 0.12
1	4.55 ± 0.35	0.62 ± 0.03	0.27 ± 0.05	0.74 ± 0.05
1.5	6.59 ± 0.37	0.66 ± 0.02	0.35 ± 0.02	1.50 ± 0.02
2	7.71 ± 1.25	0.67 ± 0.03	0.34 ± 0.02	1.74 ± 0.02
2.5	8.46 ± 0.64	0.64 ± 0.01	0.34 ± 0.02	1.83 ± 0.02
3	8.59 ± 0.43	0.64 ± 0.02	0.33 ± 0.01	1.81 ± 0.01

KESIMPULAN

Hasil penelusuran literatur mengenai ZnO/AZO yang diaplikasikan sebagai lapisan ETM pada sel surya perovskite planar menunjukkan kenaikan efisiensi yang signifikan akibat pendopingan Al pada ZnO. Doping Al dapat meningkatkan sifat fisikokimia ZnO. Sel surya perovskite berdasarkan AZO ETM menunjukkan Voc dan Jsc dengan lebih baik dan kinerja yang stabil. Oleh karena itu, doping Al dapat meningkatkan pengangkutan muatan dan kesesuaian pita energinya dengan MAPbI₃ yang lebih baik daripada ZnO murni. AZO ETM dapat meningkatkan reaksi antara sifat dasar ZnO dengan proton CH₃NH³⁺.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud), Lembaga Pendidikan dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Riau yang telah memfasilitasi pelaksanaan kegiatan ini.

REFERENSI

1. Benami, A. (2019). Effect of CZTS parameters on photovoltaic solar cell from numerical simulation. *J. Energy Power Eng*, **13**, 32-36.
2. Et-taya, L., Ouslimane, T., & Benami, A. (2020). Numerical analysis of earth-abundant Cu₂ZnSn (S_xSe_{1-x})₄ solar cells based on Spectroscopic Ellipsometry results by using SCAPS-1D. *Solar Energy*, **201**, 827-835.
3. Chen, R., Cao, J., Duan, Y., Hui, Y., Chuong, T. T., Ou, D., ... & Zheng, N. (2018). High-efficiency, hysteresis-less, UV-stable perovskite solar cells with cascade ZnO-ZnS electron transport layer. *Journal of the American Chemical Society*, **141**(1), 541-547.
4. AitDads, H., Bouzit, S., Nkhaili, L., Elkissani, A., & Outzourhit, A. (2016). Structural, optical and electrical properties of planar mixed perovskite halides/Al-doped Zinc oxide solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **148**, 30-33.
5. Suhaili, N., Taib, M. F. M., Yaakob, M. K., Hassan, O. H., & Yahya, M. Z. A. (2017). Properties of lead-free hybrid organic-inorganic halide perovskite CH₃NH₃BX₃ using density functional theory. *Materials Today: Proceedings*, **4**(4), 5154-5160.
6. Li, S., Zhang, P., Wang, Y., Sarvari, H., Liu, D., Wu, J., ... & Chen, Z. D. (2017). Interface engineering of high efficiency perovskite solar cells based on ZnO nanorods using atomic layer deposition. *Nano Research*, **10**(3), 1092-1103.
7. Li, N., Song, L., Jia, Y., Dong, Y., Xie, F., Wang, L., ... & Zhao, N. (2020). Stabilizing perovskite light-emitting diodes by incorporation of binary alkali cations. *Advanced Materials*, **32**(17), 1907786.
8. Song, J., Bian, J., Zheng, E., Wang, X. F., Tian, W., & Miyasaka, T. (2015). Efficient and environmentally stable perovskite solar cells based on ZnO electron collection layer. *Chemistry Letters*, **44**(5), 610-612.
9. Si, H., Liao, Q., Zhang, Z., Li, Y., Yang, X., Zhang, G., ... & Zhang, Y. (2016). An innovative design of perovskite solar cells with Al₂O₃ inserting at ZnO/perovskite interface for improving the performance and stability. *Nano Energy*, **22**, 223-231.
10. An, Q., Fassel, P., Hofstetter, Y. J., Becker-Koch, D., Bausch, A., Hopkinson, P. E., & Vaynzof, Y. (2017). High performance planar perovskite solar cells by ZnO electron transport layer engineering. *Nano Energy*, **39**, 400-408.
11. Bhoomanee, C., Ruankhama, P., Choopun, S., Prathan, A., & Wongratanaphisan, D. (2019). Effect of Al-doped ZnO for electron transporting layer in planar perovskite solar cells. *Materials Today: Proceedings*, **17**, 1259-1267.

12. Ruankham, P., Wongratanaphisan, D., Gardchareon, A., Phadungdhithhada, S., Choopun, S., & Sagawa, T. (2017). Full coverage of perovskite layer onto ZnO nanorods via a modified sequential two-step deposition method for efficiency enhancement in perovskite solar cells. *Applied Surface Science*, **410**, 393-400.
13. Ouslimane, T., Et-Taya, L., Elmaimouni, L., & Benami, A. (2021). Impact of absorber layer thickness, defect density, and operating temperature on the performance of MAPbI₃ solar cells based on ZnO electron transporting material. *Heliyon*, **7**(3), e06379.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

ANALISIS HASIL KALIBRASI ALAT *PHOTOTHERAPY* *MERK GEA MEDICAL TYPE XHZ-90*

Yeni Pertiwi*, Nur Hadziqoh, M. Andriza Mustofa

Program Studi Teknologi Rekayasa Elektromedis, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Al Insyirah Pekanbaru

*E-mail korespondensi: yenipertiwi@stikes-alinsyirah.ac.id

ABSTRACT

Babies born prematurely always increase every year. For this reason, it is necessary to take proper care so that the baby remains in good health. One of the treatments for premature babies is phototherapy to reduce bilirubin levels in the baby's body. In order for the phototherapy process to run as expected, of course the phototherapy equipment used in the treatment must be of good quality and quality. For this reason, quality assurance and phototherapy equipment need to be carried out through a calibration process. In this study, calibration of the GEA medical type XHZ-90 phototherapy tool was carried out. Calibration is carried out by following the standard reference work method from the Ministry of Health in 2018. Calibration is carried out by checking the physical and function of the equipment which gains a weight of 10%, electrical safety inspection of the appliance with a weight gain of 36%, and measuring the performance of the instrument, namely spectral irradiance with a weight gain of 50%. So that the total weight gain can be 96% and it can be concluded that this tool is functioning properly and within the tolerance limits of use. The uncertainty value in the measurement of spectral irradiance takes into account the sources of uncertainty types A and B. The combined uncertainty calculation from several sources for the measurement of spectral irradiance is 1.116. This value has met the uncertainty tolerance limit value of ≥ 4 .

Keywords: Calibration, Phototherapy, Infant, Premature.

ABSTRAK

Bayi yang lahir prematur selalu meningkat tiap tahunnya. Untuk itu perlu melakukan perawatan yang tepat agar bayi tetap berada dalam keadaan sehat. Salah satu perawatan bayi lahir prematur adalah dengan melakukan fototerapi untuk mengurangi kadar bilirubin dalam tubuh bayi. Agar proses fototerapi berjalan sesuai dengan yang diharapkan tentunya alat fototerapi yang digunakan dalam perawatan harus berada dalam mutu dan kualitas yang baik. Untuk itu perlu dilakukan penjaminan mutu dan alat fototerapi melalui proses kalibrasi. Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi terhadap alat phototherapy merk GEA medical type XHZ-90. Kalibrasi dilakukan dengan mengikuti standar metode kerja rujukan dari kementerian kesehatan tahun 2018. Kalibrasi dilakukan dengan memeriksa fisik dan fungsi alat yang memperoleh bobot 10%, pemeriksaan keselamatan listrik alat dengan perolehan bobot 36%, dan pengukuran kinerja alat yaitu spectral irradiance dengan perolehan bobot 50%. Sehingga dapat ditotalkan perolehan bobot sebesar 96% dan dapat disimpulkan alat ini berfungsi dengan baik dan dalam batas toleransi pemakaian. Adapun nilai ketidakpastian dalam pengukuran spectral irradiance ini dengan memperhatikan sumber-sumber ketidakpastian tipe A dan B. Perhitungan ketidakpastian gabungan dari beberapa sumber terhadap pengukuran spectral irradiance didapat 1,116. Nilai ini telah memenuhi nilai batas toleransi ketidakpastiannya sebesar ≥ 4 .

Kata kunci: Kalibrasi, Fototerapi, Bayi, Prematur.

Diterima 25-06-2022 | Disetujui 04-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Kasus bayi lahir prematur meningkat dari 7,5% menjadi 8,6% didunia [1]. Bayi prematur

adalah bayi yang lahir preterm atau kurang bulan yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti preklamsia dan biasanya ditangani melalui pencegahan hipotermi, infeksi, dan

pemenuhan nutrisi [2]. Salah satu pencegahan hipotermi dengan melakukan terapi penyinaran atau yang sering disebut fototerapi [3]. Terapi penyinaran dengan perlakuan nesting dan pengaturan siklus pencahayaan dapat meningkatkan berat badan bayi prematur [3].

Selain itu kelahiran bayi prematur di RSUD Jombang bulan Januari-Juni tahun 2019 rentan terjadi *Ikterus* atau bayi kuning [4]. Sebanyak 30 responden yang diteliti pada wilayah kerja puskesmas dikecamatan hamparan perak deli serdang pada tahun 2020 terdapat hubungan kelahiran prematur, proses persalinan, berat badan lahir terhadap peningkatan kadar bilirubin [5].



Gambar 1. *Phototherapy merk GEA medical type XHZ-90* [10].

Proses fototerapi pada bayi menggunakan alat medis *Phototherapy*. Alat ini terdiri dari beberapa lampu yang menghasilkan cahaya biru seperti terlihat pada Gambar 1. Alat ini sering digunakan untuk menghangatkan bayi yang lahir secara prematur. Proses terapi secara berkala dengan menggunakan alat ini dapat memperkecil kadar bilirubin pada bayi [6, 7]. Selain itu penggunaan lampu ultraviolet juga berfungsi dalam proses perawatan penyakit kulit seperti inflamasi, malignasi dan kanker kulit [8]. Pengobatan dengan alat ini dilakukan dengan menggunakan penyinaran sinar dengan intensitas tinggi, penggunaan terapi ini akan dilakukan jika kadar bilirubin total > 10 mg/dl dalam 24 jam kelahiran [9].

Lampu *phototherapy* jenis *GEA medical type XHZ-90* terdiri dari dua jenis lampu yaitu tabung blue fluorescent dan LED, timer untuk pengatur lamanya proses fototerapi, roda dan pengaturan sudut lampu yang fleksibel [10]. Lampu blue fluorescent yang berbentuk persegi panjang menghasilkan area penyinaran yang lebih luas, sedangkan lampu LED area penyinarannya pada permukaan bidang kerja [11]. Prinsip kerja dari fototerapi ini adalah dengan memaparkan sinar pada kulit bayi secara langsung pada jarak penyinaran berkisar dari 30-50 cm dan lama penyinaran 3-6 jam per hari [12].

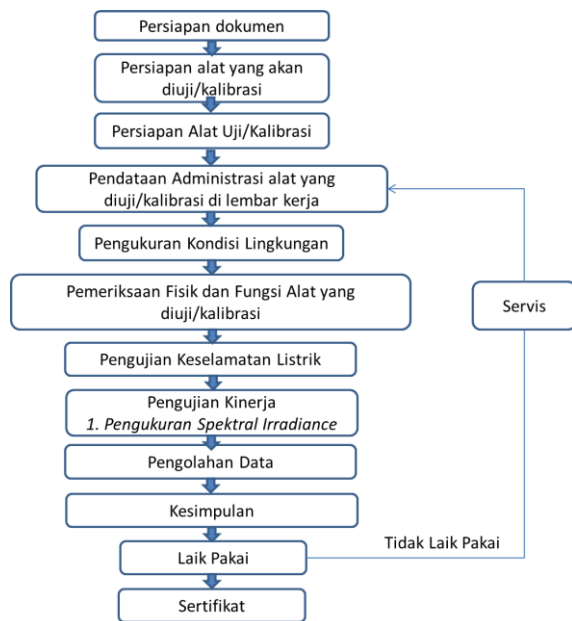
Pentingnya penggunaan alat fototerapi ini dalam mengatasi kasus bayi prematur dan bayi kuning, maka pihak pengguna alat ini harus dapat memastikan alat ini berfungsi dengan baik ketika digunakan dalam perawatan. Penggunaan alat secara terus menerus tentu akan mengakibatkan presisi dan keakuratan alat tersebut menurun. Lampu LED yang digunakan pada alat fototerapi yang digunakan secara terus menerus tentu akan mengalami penurunan iluminasi terhadap proses penyinaran. Pemakaian lampu LED merk Hancochs dari 0 - 168 jam mengalami penurunan iluminasi dari 58,9 Lux menjadi 6,5 Lux dengan persentase penurunan sebesar 88,96 % [13].

Salah satu cara dalam memjamin mutu dan kualitas alat medis adalah dengan melakukan kalibrasi terhadap alat medis secara berkala [13]. Kalibrasi merupakan proses membandingkan alat ukur dengan alat ukur lainnya yang telah terstandar baik secara nasional maupun internasional [14]. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan studi kelayakan untuk menilai mutu dan kualitas alat *phototherapy merk GEA Type XHZ-90* melalui kegiatan kalibrasi.

METODE PENELITIAN

Adapun proses kalibrasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sebelum melakukan penelitian penulis melakukan studi literatur terhadap metode yang digunakan

dalam proses kalibrasi alat fototerapi. Literatur yang digunakan dalam proses kalibrasi ini berasal dari metode kementerian kesehatan khusus untuk alat fototerapi [15].



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Tahap pertama dilakukan persiapan dokumen berupa metode kerja, instruksi kerja kalibrasi dan lembar kerja kalibrasi alat fototerapi. Instruksi kerja dan lembar kerja dianalisis dari metode kerja yang diadopsi dari metode kerja kemenkes. Selanjutnya mempersiapkan alat fototerapi yang akan dikalibrasi beserta alat uji atau kalibratornya. Tahap berikutnya masuk kepada proses kalibrasi fototerapi dengan langkah seperti dibawah ini :

1. Pendataan administrasi alat fototerapi dengan alat ukur yang digunakan.
2. Pengukuran kondisi lingkungan berupa nilai suhu dan kelembaban ruangan
3. Pemeriksaan fisik dan fungsi alat
4. Pengujian keselamatan listrik alat
5. Pengukuran spektral irradiance atau panjang gelombang foton dari suatu sumber cahaya dengan satuan $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ [16].

Semua data hasil pengukuran pada ke empat langkah diatas ditulis pada lembar kerja. Selanjutnya data tersebut dianalisis dan dihitung angka ketidakpastian pengukurannya dengan cara:

1. Analisis hasil pengukuran kondisi lingkungan saat kalibrasi alat dilakukan dengan membandingkan nilai yang didapat dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan dalam metode kerja.
2. Analisis hasil pemeriksaan fisik dan fungsi alat dilakukan sesuai prosedur yang ada pada metode kerja dengan melakukan pengecekan dan pengamatan. Analisis ini menyumbang nilai sebesar 10 % dari nilai total yang diperoleh.
3. Analisis pengujian keselamatan listrik alat fototerapi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *electrical safety analyzer* (ESA). Pengujian ini menyumbang nilai sebesar 40% dalam penarikan kesimpulan akhir dari total nilai yang didapat.
4. Analisis hasil dari pengukuran spektral irradiance yang diperoleh dilakukan dengan membandingkan nilai batas toleransi. Analisis ini menyumbang nilai sebesar 50% dari nilai total keseluruhan pengujian.
5. Analisa perhitungan ketidakpastian dilakukan dengan memperhatikan sumber-sumber ketidakpastian pengukuran dari tipe A & tipe B. Tipe A mencakup pengamatan berulang spektral irradiance oleh standar, dengan nilai koefisien sensitivitasnya adalah 1 (satu) dan derajat kebebasannya untuk 5 kali pengukuran. Sedangkan untuk tipe B nilai ketidakpastian standar berdasarkan sertifikat kalibrasi dari kalibratornya, resolusi UUT, dan nilai Drift Standar. Selanjutnya sumber sumber ketidakpastian yang diperoleh dihitung ketidakpastian gabungannya menggunakan tabel *uncertainty budget*.

Setelah didapat nilai dari ketiga pengukuran diatas, semua nilai yang berkontribusi pada penarikan kesimpulan akhir dijumlahkan. Jika nilai total didapatkan $\geq 70\%$ maka alat dikatakan memenuhi persyaratan dan alat dapat digunakan dalam pelayanan.

Kalibrator pada penelitian ini menggunakan alat radiometer seperti pada Gambar 3. dengan merk DALE40 *phototherapy radiometer* dengan nomor seri 9469025. Alat ini memiliki spesifikasi spectral range sebesar 429-473 nm

dengan range pengukuran sebesar 0-1999 $\mu\text{W}/\text{cm}$ dan resolusi 1 $\mu\text{W}/\text{cm}$ [17]. Selanjutnya alat ukur lainnya adalah alat ukur pengujian keselamatan listrik ESA pada Gambar 4 dengan nomor seri 9390 dan Pengukuran kondisi lingkungan thermo-hygrometer pada Gambar 5.



Gambar 3. Alat kalibrator fototerapi Merk DALE40 phototherapy radiometer [17].



Gambar 4. ESA Mextron Type QA-90 [18].



Gambar 5. Thermo-hygrometer model DM-303 [19].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat fototerapi yang dikalibrasi adalah merk GEA medical type XHZ-90 dengan nomor seri

72170902067. Kondisi suhu ruangan pada awal pengukuran didapat 25,9°C dan pada akhir 25,1°C, sedangkan nilai kelembaban ruangan pada awal dan akhir pengukuran berada pada 46% RH. Nilai pengukuran kondisi lingkungan ini telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan yaitu $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu ruangan dan $50\% \text{RH} \pm 15\% \text{RH}$ untuk kelembaban ruangan. Jadi nilai hasil pengukuran kondisi lingkungan saat pengukuran masih berada dalam batas toleransi dengan nilai ketidakpastian pengukurannya 0,2 seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Selanjutnya pemeriksaan fisik dan fungsi alat dilakukan dengan memperhatikan parameter badan permukaan alat, kontak-kontak alat, kabel catu utama, sekering pengaman, keberfungsian tombol-tombol serta tampilan dan indikator. Semua parameter diamati dan diperiksa dengan mengacu pada batas pemeriksaan yang terdapat pada Tabel 1. Hasil yang didapatkan dari pemeriksaan semua parameter, semuanya berada dalam keadaan baik dan diberi score 100.

Pada Tabel 2 merupakan hasil pengukuran keselamatan listrik. Pengukuran ini dilakukan dengan menguji parameter *insulation Resistance*, *earth leakage current normal condition*, *patient leakage current normal condition*, *Protective Earth Resistance*, *current consumption (switch on)*, *voltage L1 - L2*, *voltage L1 - GND*, *voltage L2 - GND*, *enclosure leakage current normal condition*. Hasil pengukuran keselamatan listrik yang didapatkan dibandingkan dengan nilai ambang batas toleransi yang ditetapkan. Dari hasil perbandingan dengan nilai ambang batasnya terdapat nilai N/A pada parameter *enclosure leakage current normal condition* sehingga parameter ini mendapatkan nilai 0. Parameter lainnya mendapatkan nilai 1. Jika ditotalkan nilai semua parameter maka didapatkan nilai 90 dengan persentase sumbangan nilai sebesar 36%.

Tabel 3 merupakan hasil pengukuran kinerja spectral irradiance dari alat Phototherapy. Pengukuran iradiasi blue light dilakukan pada jarak ± 50 cm. Adapun toleransi pengukuran sebesar $\geq 176 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Pada tabel 5 merupakan hasil perhitungan nilai ketidakpastian dari

spectral irradiance. Ketidakpastian dihitung dimulai dari mencari nilai rata-rata dari 5 pengukuran, nilai standar deviasi, dan memperhatikan sumber sumber yang menyumbang nilai ketidakpastian terhadap parameter yang terlihat pada Tabel 5. Nilai akhir atau gabungan dari ketidakpastian pengukuran *spectral irradiance* adalah 1,116. Nilai ini telah memenuhi persyaratan toleransi dimana batas toleransi ketidakpastian

pengukuran adalah ≥ 4 . Sehingga perolehan nilai dari pengukuran kinerja ini adalah 100.

Dari Tabel 6 dapat dilihat hasil dari telaah teknis keseluruhan alat Phototherapy. Hasil pengukuran pemeriksaan fisik dan fungsi alat memperoleh bobot 10%, pemeriksaan keselamatan listrik memperoleh bobot 36%, dan pengujian *spectral irradiance* sebesar 50%. Sehingga total bobot yang didapatkan adalah 96%, nilai ini telah memenuhi standar yang telah ditetapkan yaitu $\geq 70\%$.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan fisik dan fungsi alat.

No.	Parameter	Batasan Pemeriksaan	Hasil Pengamatan
1	Badan dan permukaan alat	Periksa bagian luar unit, pastikan bersih, terpasang ketat satu dan lainnya dan tidak ada bekas tertimpa cairan ataupun gangguan lainnya	1 Baik Tidak baik
2	Kotak Kontak alat	Periksa apakah ada gangguan pada kotak kontak (AC-Power). Gerak gerakan kotak kontak untuk memastikan keamanannya. goyang-goyangkan kontak untuk memastikan tidak ada baut atau mur yang longgar.	1 Baik Tidak baik
3	Kabel catu utama	Periksa kabel, apakah terlihat ada kerusakan atau bagian isolasi yang terkelupas	1 Baik Tidak baik
4	Sekering Pengaman	Periksa sekering yang terdapat pada bagian luar rangkaian, apakah nilai tahanan dan tipenya sesuai dengan spesifikasi yang tertulis pada alat.	1 Baik Tidak baik
5	Tombol	Periksa tombol tombol fungsi dan manset pada blood pressure monitor, untuk memastikan blood pressure monitor berfungsi dengan sempurna.	1 Baik Tidak baik
6	Tampilan dan Indikator	Pastikan lampu indikator dan tampilan berfungsi seluruhnya, yakinlah bahwa bagian tampilan digital berfungsi.	1 Baik Tidak baik

Tabel 2. Hasil pengukuran keselamatan listrik.

No.	Parameter	Measured		Limit
1	<i>Insulation resistance</i>	>200	MΩ	NL
2	<i>Earth leakage current normal condition</i>	64.2	μA	5000
3	<i>Patient leakage current normal condition</i>	0	μA	≤100 (B & BF) or ≤10 (CF)
4	<i>Enclosure leakage current normal condition</i>	N/A	μA	100
5	<i>Protective earth resistance</i>	169	mΩ	≤ 200
6	<i>Current consumption (switch on)</i>	0,8	A	NL
7	<i>Current consumption (switch off)</i>	N/A	A	NL
8	<i>Voltage L1 - L2</i>	205,6	Vac	NL
9	<i>Voltage L1 - GND</i>	204,5	Vac	NL
10	<i>Voltage L2 - GND</i>	2,9	Vac	NL
11	<i>Class: I, II, III</i>			
12	<i>Applied part type: B, BF, CF, NA</i>			

Tabel 3. Hasil pengukuran spektral *irradiance*.

Setting Standar	Penunjukan alat					Toleransi
	1	2	3	4	5	
Pengukuran iradiasi <i>blue light</i> jarak \pm 50 cm	512	512	511	510	512	$\geq 176 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Tabel 4. Hasil perhitungan ketidapastian pengukuran dari pengukuran kondisi lingkungan.

No.	Parameter	Terukur	Rata	Rata Terkoreksi	Koreksi Sertifikat	KTPS
1	Temperatur Ruang	Awal: 25,9°C Akhir: 25,1°C	25,5	25,55683742	0,05683742179	0,2
2	Kelembaban Ruang	Awal: 46% Akhir: 46%	46	45,93187477	0,06812523091	0,2

Tabel 5. Hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran *spectral irradiance*.

Jumlah Pengulangan	5									
Resolusi UUT	1									
Komponen	Derajat kebebasan									
	Distribusi	U	Pembagi	Ui	v	c	(Ui*c)	(Ui*c) ²	(Ui.c) ⁴ /v	
Pengukuran berulang	Normal	0,894	2,236	0,400	4,000	1,000	0,400	0,160	0,006	
Sertifikat standar	Normal	0,010	2,000	0,005	50,000	1,000	0,005	0,000	0,000	
Resolusi	Segiempat	0,500	1,732	0,289	50,000	1,000	0,289	0,083	0,000	
Drift	Segiempat	0,001	1,732	0,001	50,000	1,000	0,001	0,000	0,000	
Jumlah								0,243	0,007	
Ketidapastian baku gabungan, Uc								0,493		
Derajat kebebasan efektif, V _{eff}								9,057		
Faktor cakupan, k-student untuk V _{eff} dan CL 95%								2,262		
Ketidapastian bentangan, U=k,Uc								1,116		

No,	Setting Alat	Pembacaan Standar					Rata	Stdv	KTPS Spektral Radasnsi	Toleransi (MikroW/cm2/nm)	Score
		1	2	3	4	5					
1	FIX	512	512	511	510	512	511,4	0,894	1,116	≥ 4	100

Tabel 6. Telaah teknis semua hasil pengukuran kinerja.

No.	Parameter	Persentase	score	Bobot	Hasil	Fungsi Alat	Telaah Teknis	Kesimpulan
1	Pemeriksaan fisik dan fungsi	10%	100	10				Laik pakai
2	Pengukuran keselamatan listrik	40%	90	36	96	Baik	Dalam batas toleransi	Lakukan kalibrasi ulang sesuai jadwal secara berkala
3	Spektral <i>irradiance</i>	50%	100	50				

KESIMPULAN

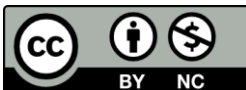
Dari hasil telaah teknis hasil pengukuran mendapat bobot 96% dan dapat disimpulkan bahwa alat *phototherapy merk GEA medical*

type XHZ-90 dengan nomor seri 72170902067 berfungsi dengan baik dan berada dalam batas toleransi sehingga layak untuk digunakan dalam pelayanan kesehatan.

REFERENSI

1. Kartika, A. C. O. (2019). Asuhan Keperawatan Bayi Baru Lahir Prematur dengan Fokus Studi Risiko Ikterik Nephatus di Ruang Melati RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto. Diakses: 22 Juni 2022, URL: <http://r2kn.litbang.kemkes.go.id:8080/handle/123456789/59723>.
2. Tania, M. (2020). Asuhan Kebidanan Pada Bayi Baru Lahir Dengan Kelahiran Prematur. *Studi Kasus DIII Kebidanan Fak. Kesehatan*. Diakses: 24 Juni 2022, URL: <http://repository.unism.ac.id/1662/>.
3. Andhini, D., Sekarwana, N., & Fitri, S. Y. R. (2021). Peningkatan Berat Badan Bayi Prematur Melalui Pengaturan Siklus Pencahayaan dan Nesting. *Jurnal Keperawatan Sriwijaya*, **8**(1), 26-35.
4. Irianti, A. P., Mudrikatin, S., & Sari, W. A. (2019). Hubungan Persalinan Prematur dengan Kejadian Ikterus di Rsud Jombang Bulan Januari-Juni Tahun 2019. *Jurnal Akademika Husada*, **1**(2), 14-26.
5. Safitri, Y., & Hafilah, N. (2021). Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Bayi Kuning pada Bayi Baru Lahir di Wilayah Kerja Puskesmas Kota Datar Kecamatan Hampan Perak Kabupaten Deli Serdang Tahun 2021. *Jurnal Keluarga Sehat Sejahtera*, **19**(2), 70-75.
6. Irawati, I. (2018). Efektivitas Perubahan Posisi Tidur Selama Fototerapi terhadap Penurunan Kadar Bilirubin Total pada Bayi Hiperbilirubinemia di Rumah Sakit Khusus Ibu dan Anak Kota Bandung Tahun 2017. Diakses: 22 Juni 2022, URL: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1851>.
7. Bukhori, A. (2020). Pengaruh Pemberian Fototerapi Terhadap Penurunan Kadar Bilirubin Total Pada Bayi. *Jurnal Akademi Keperawatan Sumber Waras*, **2**(1), 18-25.
8. Batubara, I. S., Paramitha, L., Pusponegoro, E., Budianti, W. K., Rahmayunita, G., & Yusharyahya, S. N. (2021). Ultraviolet phototherapy for treatment of various dermatoses. *Journal of the Medical Sciences (Berkala Ilmu Kedokteran)*, **53**(4).
9. Indrayani, T., Riani, A., & Lubis, R. (2019). Hubungan Fototerapi Dengan Penurunan Kadar Billirubin Total Pada Bayi Baru Lahir Di RS Aulia Jagakarsa Jakarta Selatan Tahun 2019. *Dinamika Kesehatan: Jurnal Kebidanan dan Keperawatan*, **10**(1), 448-460.
10. Medica, G. (2022). Jual Lampu Fototerapi GEA XHZ 90 Termurah. Diakses: 22 Juni 2022, URL: <https://glorya.co.id/produk/lampu-fototerapi-xhz-90/>.
11. Santiari, D. A. S. (2018). Kajian area penyinaran dan nilai intensitas pada peralatan blue light therapy. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, **17**(2), 279-286.
12. Ahrian, F. R. (2022). *Inovasi Sistem Monitoring Alat Terapi Blue Light* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta).
13. Permenkes No. 54. (2015). Peraturan Menteri Kesehatan No. 54 Tahun 2015 Tentang Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan.
14. Fatwasauri, I., Erawati, S. T., Sasono, M., & Surakusumah, R. F. Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran dalam Kalibrasi Termometer Digital Menggunakan Persamaan Regresi Kalibrasi. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(2), 131-136.
15. Dirjen Pelayanan Kesehatan. (2018). Metode Kerja Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. *Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*.
16. Mirwald, J., Nura, D., Eberhardsteiner, L., & Hofko, B. (2022). Impact of UV-Vis light on the oxidation of bitumen in correlation to solar spectral irradiance data. *Construction and Building Materials*, **316**, 125816.
17. Biomedical, F. (2022). DALE40 Phototherapy Radiometer. Diakses : 22 Juni 2022, URL: <https://www.flukebiomedical.com/products/biomedical-testequipment/phototherapy->

- radiometers/dale40-phototherapy-radiometer.
18. Celyontecnica. (2022). QA-90 Electrical Safety Analyzer. Diakses : 22 Juni 2022, URL:<https://www.celyontecnica.es/var/celyon-1052-qa90.pdf>.
 19. TME - Electronic components (WFS). (2022). DM-303 - Thermo-hygrometer | LCD; -20÷50°C; 10÷95%RH; Accur: ±1°C; 0,1°C. Diakses : 24 Juni 2022, URL:<https://www.tme.eu/en/details/dm-303/thermohygrometers/>.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL OKSIDA BESI MENGGUNAKAN METODE *BALL MILLING* DAN KOPRESIPITASI

Riduan Alvinsen Sirait*, Salomo, Juandi Muhammad, Erman Taer
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: riduan.alvinsen1978@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This Research has carried out on natural sand originating from the Rokan river, Riau Province by converting it into magnetic iron oxide nanoparticles to determine changes in magnetic properties and particle size. Natural sand samples of the Rokan river were separated between magnetic and non-magnetic particles using an iron sand separator (ISS). ISS products are further synthesized using ball milling and coprecipitation methods. 70-hour ball milling products, coprecipitation without ball milling and coprecipitation with 70-hour ball milling are then given NdFeB (neodymium iron boron) magnets to clean impurities containing non-magnetic elements. The results of this study showed that the highest magnetic acceptability value was obtained in coprecipitation products with ball milling, which was 12.9×10^{-2} . This is because coprecipitation products have an abundant content of chemicals in the form of magnetic elements. Based on the results of chemical composition testing using X-ray fluorescence (XRF) it was found that in coprecipitation products with ball milling there was 64.504% iron (Fe) content, while 70-hour ball milling products and coprecipitation without ball milling the percentage of Fe protection was 15.023% and 54.152%, respectively. Based on the results of the identification of the chemical composition in the sample, coprecipitation products with 70-hour ball milling have high magnetic induction values and magnetic susceptibility caused by the magnetic content in products such as Fe which are very high and non-magnetic content is very low such as Si compared to 70-hour ball milling products and coprecipitation products without ball milling.

Keywords: Natural River Sand, Ball Milling, Coprecipitation Method, Iron Sand Separator (ISS), X-Ray Fluorescence (XRF), Magnetic Probe Pasco PS-2162.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pada pasir alam yang berasal dari sungai Rokan Provinsi Riau dengan mengubahnya menjadi nanopartikel oksida besi magnetik untuk mengetahui perubahan sifat magnetik dan ukuran partikelnya. Sampel pasir alam sungai Rokan dipisahkan antara partikel magnetik dan non magnetik menggunakan iron sand separator (ISS). Produk ISS di selanjutnya disintesis menggunakan metode ball milling dan kopresipitasi. Produk ball milling 70 jam, kopresipitasi tanpa ball milling dan kopresipitasi dengan ball milling 70 jam kemudian diberikan magnet NdFeB (neodymium iron boron) untuk membersihkan bahan pengotor yang mengandung elemen non magnetik. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai susceptibilitas magnetik tertinggi diperoleh pada produk kopresipitasi dengan ball milling yaitu sebesar $12,9 \times 10^{-2}$. Hal ini disebabkan karena produk kopresipitasi memiliki kandungan bahan kimia berupa elemen magnetik yang melimpah. Berdasarkan hasil pengujian komposisi bahan kimia menggunakan X-ray fluorescence (XRF) ditemukan bahwa pada produk kopresipitasi dengan ball milling terdapat 64,504% kandungan besi (Fe), sedangkan produk ball milling 70 jam dan kopresipitasi tanpa ball milling persentase kadungan Fe berturut-turut adalah 15,023% dan 54,152%. Berdasarkan hasil identifikasi komposisi bahan kimia pada sampel, produk kopresipitasi dengan ball milling 70 jam memiliki nilai induksi magnetik dan susceptibilitas magnetik yang tinggi yang disebabkan oleh kandungan magnetik pada produk seperti Fe yang sangat tinggi dan kandungan non magnetik yang sangat rendah seperti Si dibandingkan produk ball milling 70 jam dan produk kopresipitasi tanpa ball milling.

Kata kunci: Pasir Alam Sungai, Ball Milling, Metode Kopresipitasi, Iron Sand Separator (ISS), X-Ray Fluorescence (XRF), Probe Magnetic Pasco PS-2162.

Diterima 30-06-2022 | Disetujui 10-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi bahan magnetik alam yang melimpah, salah satunya yaitu pasir besi. Pasir besi merupakan bahan magnetik alam yang terbentuk akibat adanya erosi batuan pembentuk daratan yang terdiri dari andesit, tufa, aglomerat dan bahan piroklastik lainnya. Penyebaran pasir besi di Indonesia tersebar di beberapa pulau yaitu Sumatera, Jawa, Sulawesi, Kalimantan dan Papua. Pada pulau Sumatera terdapat sebanyak 29 titik lokasi tersedianya pasir besi di alam dimana 10 titik lokasi memiliki cadangan lebih dari satu juta ton. Pemanfaatan pasir besi di Indonesia saat ini masih belum optimal karena pasir besi hanya digunakan sebagai bahan tambahan pada pembuatan semen [1].

Pasir besi merupakan material yang memiliki kandungan oksida besi magnetik didalamnya yang terdiri dari *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan *maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Kandungan magnetik yang terdapat dalam pasir besi menjadikan pasir besi memiliki aplikasi yang luas diberbagai bidang seperti elektronik, energi, kimia, ferrofluida, katalis, diagnosis medis dan lain-lain. Aplikasi pasir besi yang luas tersebut dapat dilakukan dengan pengolahan lebih lanjut terhadap pasir besi. Salah satu pengolahan lebih lanjut terhadap pasir besi yaitu mengubah pasir besi menjadi nanopartikel oksida besi magnetik [2].

Pada bidang industri, oksida besi Fe_3O_4 dapat digunakan sebagai rekayasa elektronika, sebagai bahan pembuatan magnet permanen dan bahan pembuatan *thin film*. Sedangkan oksida besi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dapat digunakan sebagai pembuatan bahan baku katoda pada baterai *lithium*, sensor gas etanol, maupun superkapasitor. Oksida besi $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ juga dapat digunakan sebagai bahan superkapasitor pada elektroda dan sebagai bahan dasar tinta kering pada mesin fotokopi dan printer laser [3].

Ball milling merupakan metode fisika yang digunakan untuk menghasilkan nanomaterial dengan cara mengubah ukuran partikel menjadi lebih kecil. Metode *ball milling* menggunakan teknologi *planetary ball mill* sebagai alat dalam

proses penghancuran material menjadi sangat halus. *Planetary ball mill* adalah salah satu metode pengurangan ukuran partikel dengan teknik *mechanical alloying powder* yang menggunakan energi tumbukan antara bola penghancur dengan bola dinding wadahnya untuk dapat menghasilkan material berukuran nano dalam waktu yang singkat [4]. Pada sintesis nanopartikel dari pasir besi menggunakan metode *ball milling*, unsur pengotor yang ikut bersama pasir besi yang telah di *ball milling* dapat dipisahkan dengan menggunakan magnet.

Metode kopresipitasi adalah salah satu metode sintesis nanopartikel magnetik yang sederhana. Partikel yang dihasilkan dari metode ini relatif stabil dan sangat sulit larut dalam pelarut [5]. Prinsip kerja yang dimiliki metode kopresipitasi adalah dengan mengubah suatu garam logam menjadi sebuah endapan dengan menambahkan pengendap basa hidroksida yang akan diubah ke bentuk oksidanya dengan melakukan pemanasan [6].

X-ray fluorescence (XRF) merupakan salah satu uji karakterisasi material yang paling sering digunakan dalam mengidentifikasi komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri yang terkandung pada sampel [7]. *scanning electron microscope* (SEM) merupakan suatu alat uji berbentuk mikroskop yang menggunakan berkas elektron untuk mengetahui ukuran partikel dan morfologi permukaan dari sampel yang diuji [8].

Dalam penelitian ini akan dibahas pengaruh metode kombinasi yang dilakukan saat proses sintesis nanopartikel oksida besi terhadap nilai induksi magnetik, susceptibilitas magnetik, dan komposisi kimia pada sampel menggunakan karakterisasi XRF.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu pasir alam sungai rokan sebagai sampel penelitian, *iron sand separator*

(ISS) sebagai alat pemisah partikel magnetik dan non magnetik, *ball milling* sebagai alat penghancur sampel, magnet batang NdFeB (*neodymium iron boron*) sebagai alat pemisah partikel magnetik dengan elemen pengotor, asam klorida (HCl) sebagai zat pelarut pasir besi, amonium hidroksida (NH₄OH) sebagai zat pembentuk endapan, aquades sebagai larutan pencuci, *poly ethylene glycol* (PEG)-6000 sebagai polimer yang mengontrol ukuran partikel dari sampel yang disintesis, kertas saring sebagai bahan untuk menyaring larutan, gelas ukur sebagai alat pengukur volume zat yang digunakan, timbangan digital sebagai alat penimbang bahan yang akan digunakan, *magnetic stirrer* sebagai alat pengaduk dengan kecepatan tinggi, ultrasonic bath sebagai alat untuk menembakkan gelombang ultrasonik pada sampel, *furnace* sebagai alat untuk mengeringkan sampel pada suhu yang tinggi, dan XRF sebagai alat karakterisasi untuk mengetahui komposisi kimia pada sampel.

Prosedur Penelitian

Sampel pasir alam sungai rokan dilakukan proses pemisahan partikel magnetik dengan non magnetik menggunakan ISS dengan kecepatan putaran *belt* 0,9 cm/s dan frekuensi getar 2 Hz. Proses ISS dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali hingga terbentuk produk ISS sebanyak 300 gram. Hasil dari pemisahan menggunakan ISS dinamakan produk ISS. Produk ISS sebanyak 300 gram dibagi menjadi 3 bagian masing-masing 100 gram dan selanjutnya disebut sebagai sampel A, B, dan C. Sampel A dan B masing-masing 100 gram di *ball milling* selama 70 jam menggunakan bola besi berdiameter 2 cm sebanyak 16 buah dengan kecepatan 200 rpm. Sampel A hasil *ball milling* selanjutnya disebut produk *ball milling* 70 jam. sampel B hasil *ball milling* dan sampel C produk ISS selanjutnya melalui sintesis menggunakan metode kopresipitasi. Sampel B dan C diambil masing-masing sebanyak 10 gram dan dicampurkan dengan HCl 12M sebanyak 20 ml dan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit pada suhu 90°C. Larutan B dan C selanjutnya disaring

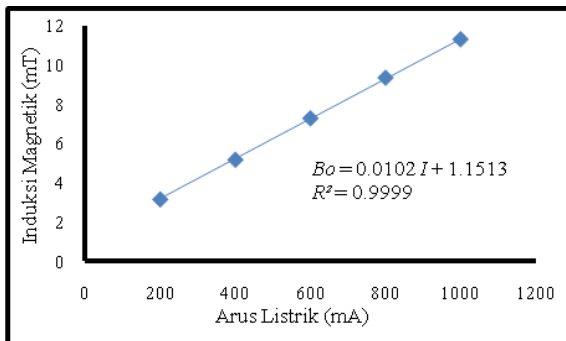
menggunakan kertas saring dan ditambahkan NH₄OH 25% sebanyak 25 ml dan didiamkan selama 30 menit hingga terbentuk endapan berwarna hitam pekat. Selanjutnya larutan B dan C yang telah memiliki endapan dicuci menggunakan aquades sebanyak 3 kali hingga pH larutan menjadi netral yaitu pH 7. Endapan yang dicuci selanjutnya ditambahkan PEG-6000 yang dipanaskan pada suhu 100°C dengan perbandingan 5:1 dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan B dan C yang telah ditambahkan PEG-6000 dimasukkan kedalam *ultrasonic bath* selama 3 jam pada suhu 50°C. Larutan B dan C yang kental selanjutnya dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama 3 jam. Sampel B yang telah dikeringkan selanjutnya disebut produk kopresipitasi dengan *ball milling* dan sampel C disebut produk kopresipitasi tanpa *ball milling*. Produk *ball milling* 70 jam, produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan produk kopresipitasi dengan *ball milling* dilakukan pengukuran nilai induksi magnetik, perhitungan suseptibilitas magnetik dan karakterisasi menggunakan XRF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

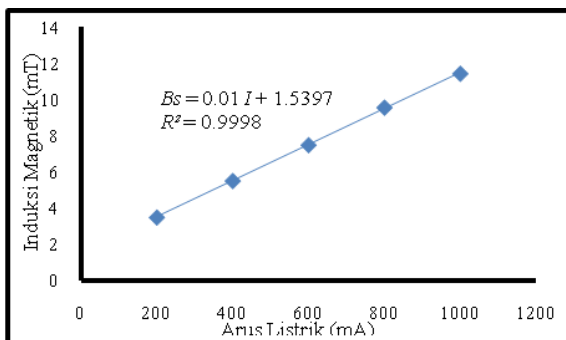
Induksi dan Suseptibilitas Magnetik

Pengukuran induksi magnetik dengan solenoid dilakukan menggunakan sensor Pasco Probe PS-2162 dihubungkan ke perangkat laptop yang sudah diinstal *software* data audio. Pengukuran induksi magnetik *solenoid* terdiri dari pengukuran induksi tanpa inti (B_0), pengukuran induksi magnetik sampel pasir alam sungai rokan (B_S), pengukuran induksi magnetik produk ISS (B_{ISS}), pengukuran induksi magnetik pada produk *ball milling* 70 jam (B_{BM70}), pengukuran induksi magnetik pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* (B_{KTBM}) dan pengukuran induksi magnetik pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam (B_{KDBM}). Pada pengukuran nilai induksi magnetik *solenoid* dilakukan pemberian arus listrik dengan menggunakan 5 variasi arus listrik yaitu 200 mA, 400 mA, 600 mA, 800 mA, dan 1000 mA. Pengukuran nilai induksi

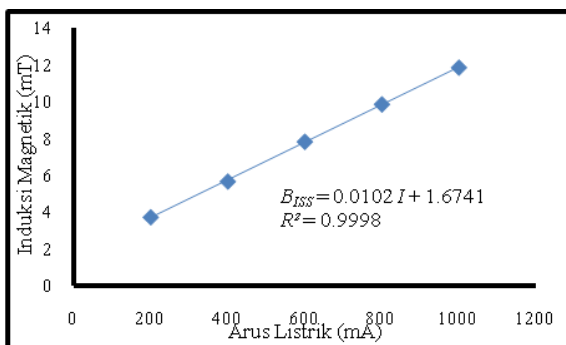
magnetik *solenoid* menggunakan sensor Pasco Probe PS-2162 yang diletakkan pada jarak tetap sebesar 1 mm dari *solenoid*.



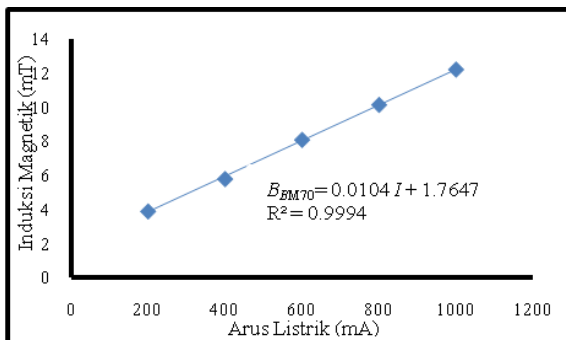
Gambar 1. Grafik hubungan antara arus listrik dengan induksi magnetik B_0 .



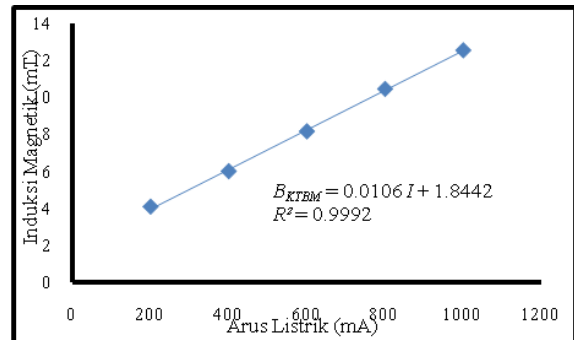
Gambar 2. Grafik hubungan arus listrik dengan induksi magnetik B_s .



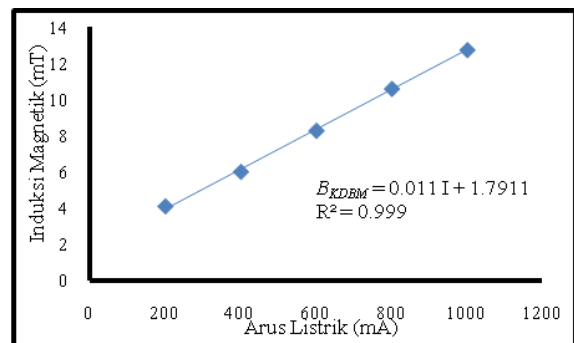
Gambar 3. Grafik hubungan antara arus listrik dengan induksi magnetik B_{ISS} .



Gambar 4. Grafik hubungan antara arus listrik dengan induksi magnetik B_{BM70} .



Gambar 5. Grafik hubungan arus listrik dengan induksi magnetik B_{KTBM} .



Gambar 6. Grafik hubungan arus listrik dengan induksi magnetik B_{KDBM} .

Berdasarkan Gambar 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 bahwa nilai induksi magnetik yang diperoleh sebanding dengan nilai arus listrik yang diberikan sebagai fungsinya. Berdasarkan Gambar 1, nilai induksi magnetik B_0 tertinggi sebesar 11,308 mT. Berdasarkan Gambar 2, nilai induksi magnetik B_s tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 11,452 mT. Berdasarkan Gambar 3, nilai induksi magnetik B_{ISS} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 11,981 mT. Berdasarkan Gambar 4, nilai induksi magnetik B_{BM70} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 12,964 mT. Berdasarkan Gambar 5, nilai induksi magnetik B_{KTBM} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 13,098 mT. Berdasarkan Gambar 6, nilai induksi magnetik B_{KDBM} tertinggi diperoleh ketika diberikan arus sebesar 1000 mA yaitu sebesar 13,118 mT.

Suseptibilitas magnetik (χ_m) pada setiap sampel dapat dihitung berdasarkan nilai induksi magnetik yang diperoleh. Nilai χ_m dihitung dengan cara induksi magnetik total dengan inti

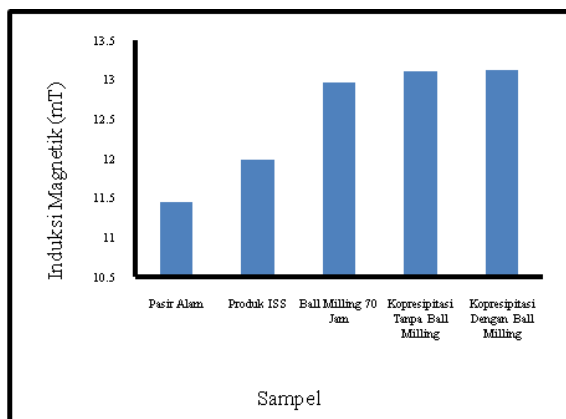
(B_T) pada setiap sampel dikurangkan dan dibagi dengan induksi magnetik B_0 . Nilai induksi

magnetik B_T dan χ_m pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai induksi magnetik B_T dan suseptibilitas magnetik setiap sampel pada arus 1000 mA.

Sampel	B_T (mT)	χ_m (10^{-2})
Pasir alam	11,45	1,27
Produk ISS	11,98	5,07
Produk <i>ball milling</i> 70 jam	12,96	7,84
Kopresipitasi tanpa <i>ball milling</i>	13,01	10,52
Kopresipitasi dengan <i>ball milling</i>	13,12	12,91

Data dalam Tabel 1 dapat digambarkan dalam bentuk grafik batang untuk menampilkan perbandingan nilai induksi magnetik B_T pada arus 1000 mA masing-masing sampel seperti terlihat pada Gambar 7.

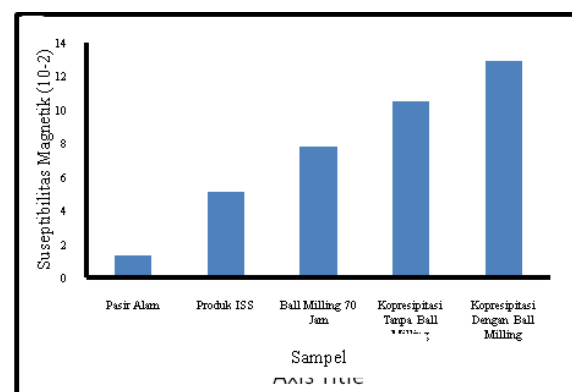


Gambar 7. Grafik perbandingan nilai induksi magnetik B_T sampel pada arus 1000 mA.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa sampel kopresipitasi dengan *ball milling* memiliki nilai induksi magnetik tertinggi dibandingkan sampel lainnya. Nilai induksi magnetik pada sampel kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam ketika dialiri arus listrik sebesar 1000 mA adalah 13,118 mT. Hal ini disebabkan karena sampel mengalami dua kali proses sintesis yaitu sintesis secara fisika dilakukan dengan menggunakan metode *ball milling* yaitu dengan memasukkan sampel hasil ISS dengan 16 bola besi berukuran 2 cm kedalam mesin penggiling dan diputar dengan kecepatan 200 rpm selama 70 jam dan secara kimia dilakukan dengan cara mencampurkan sampel dengan bahan-bahan kimia untuk dapat menghasilkan sampel dengan ukuran partikel yang lebih kecil. Hasil sintesis dengan menggunakan *ball milling* sendiri sudah

menghasilkan partikel berukuran kecil dengan nilai induksi magnetik yang cukup tinggi yaitu sebesar 12,964 mT. Pada sampel pasir alam sungai rokan menghasilkan nilai induksi magnetik yang cukup rendah yaitu 11,452 mT. Hal ini disebabkan oleh partikel magnetik yang terdapat pada sampel pasir alam masih sangat besar dan sampel masih tercampur dengan pasir yang tidak mengandung bahan magnetik.

Data dalam Tabel 1 diplot kembali dalam bentuk grafik untuk menampilkan perbandingan suseptibilitas magnetik total pada arus 1000 mA masing-masing sampel seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai suseptibilitas magnetik setiap sampel pada arus 1000 mA.

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik pada sampel pasir alam sangat rendah yaitu $1,27 \times 10^{-2}$. Dimana nilai tersebut hanya satu per dua belas dari nilai suseptibilitas magnetik pada sampel kopresipitasi dengan *ball milling* yaitu sampel yang melalui dua metode sintesis (*ball milling* dan kopresipitasi). Hal ini disebabkan karena

kandungan magnetik yang terdapat pada sampel pasir alam sungai rokan sangat sedikit sehingga berakibat pada rendahnya nilai induksi magnetik dan berdampak kepada hasil perhitungan nilai suseptibilitas magnetik. Pada sampel hasil *ball milling* 70 jam, nilai suseptibilitas magnetik yang diperoleh adalah $7,84 \times 10^{-2}$. Nilai suseptibilitas magnetik

produk *ball milling* 70 jam dapat meningkat sebesar 64,785% jika sampel di sintesis kembali menggunakan metode kopresipitasi. Sedangkan pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling*, nilai suseptibilitas dapat meningkat sebesar 22,689% jika sampel sebelum disintesis menggunakan metode kopresipitasi, sampel terlebih dahulu di *ball milling*.

Tabel 2. Hasil identifikasi komposisi kimia pada produk *ball milling* 70 jam menggunakan XRF.

Unsur	Kosentrasi (%)	Senyawa Oksida	Kosentrasi (%)
Si	57,894	SiO ₂	67,177
Fe	15,023	Fe ₂ O ₃	8,286
Al	12,251	Al ₂ O ₃	14,262
Ca	5,996	CaO	3,611
K	2,964	K ₂ O	1,580
Mg	2,032	MgO	2,242
Ti	1,737	TiO ₂	1,190
P	1,064	P ₂ O ₅	1,123
Ag	0,532	Ag ₂ O	0,255
Mn	0,296	MnO	0,15
Unsur lain	0,211	Senyawa oksida lain	0,124

Komposisi Kimia pada Sampel

Karakterisasi menggunakan XRF diperlukan pada penelitian ini untuk dapat mengidentifikasi kandungan bahan kimia yang terkandung pada masing-masing sampel. Hasil identifikasi akan digunakan untuk mengetahui keterkaitan antara kandungan bahan kimia pada sampel terhadap nilai induksi magnetik dan nilai suseptibilitas magnetik. Hasil identifikasi komposisi bahan kimia pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat pada produk *ball milling* 70 jam terdapat unsur dan senyawa oksida yang beragam. Elemen yang terkandung dalam produk *ball milling* 70 jam teridentifikasi berupa elemen atau unsur yang mengandung magnetik dan non magnetik. Unsur yang mengandung elemen magnetik antara lain Fe (besi), Al (aluminium), Ca (kalsium), Ti (titanium), Ag (argentum), K (kalium), Mg (magnesium) dan Mn (mangan). Sedangkan unsur yang mengandung elemen non magnetik antara lain Si (silikon) dan P (fosfor). Pada produk hasil *ball milling* 70 jam, kandungan Si baik pada unsur maupun senyawa

oksidanya sangat mendominasi adalah yaitu sebesar 57,894% pada unsur dan 67,177% pada senyawa oksida. Hal ini yang menyebabkan hasil pengukuran nilai induksi magnetik dan perhitungan suseptibilitas magnetik cukup rendah pada produk *ball milling* 70 jam, karena produk hasil *ball milling* masih didominasi oleh unsur yang mengandung elemen non magnetik yaitu berupa silikon.

Berdasarkan data pada Tabel 3, produk hasil kopresipitasi tanpa *ball milling* juga mengandung elemen magnetik dan elemen non magnetik didalamnya. Elemen magnetik yang terkandung antara lain Fe, Al, Ca, Ti, Ag, K, dan Mn. Sedangkan elemen yang mengandung elemen non magnetik antara lain Si dan P. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa elemen-elemen magnetik mendominasi diantaranya seperti Fe sebesar 54,152%, Al sebesar 24,86% dan elemen-elemen magnetik lainnya. Sementara itu, elemen non magnetik hanya terdapat sebesar 1,279% berupa Si dan 1,294% berupa P. Kandungan elemen magnetik yang tinggi pada suatu bahan akan menyebabkan peningkatan nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik pada bahan tersebut.

Hal ini yang menyebabkan nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* menjadi

lebih tinggi dibandingkan produk *ball milling* 70 jam.

Tabel 3. Hasil identifikasi komposisi kimia pada kopresipitasi tanpa *ball milling* menggunakan XRF.

Unsur	Kosentrasi (%)	Senyawa Oksida	Kosentrasi (%)
Fe	54,152	Fe ₂ O ₃	46,046
Al	24,86	Al ₂ O ₃	34,349
Cl	5,786	ClO	3,969
Ca	5,664	CaO	5,190
Ti	3,741	TiO ₂	3,997
Si	1,279	SiO ₂	1,930
P	1,294	P ₂ O ₅	2,074
Ag	0,949	Ag ₂ O	0,681
K	0,618	K ₂ O	0,495
Mn	0,652	MnO	0,511
Unsur lain	1,005	Senyawa oksida lain	0,758

Tabel 4. Identifikasi komposisi kimia pada kopresipitasi dengan *ball milling* menggunakan XRF.

Unsur	Kosentrasi (%)	Senyawa Oksida	Kosentrasi (%)
Fe	64,504	Fe ₂ O ₃	58,41
Al	17,404	Al ₂ O ₃	24,755
Cl	6,359	ClO	4,567
Ca	3,912	CaO	3,775
Ti	2,914	TiO ₂	3,285
P	1,104	P ₂ O ₅	1,849
Ag	1,069	Ag ₂ O	0,805
Mn	0,840	MnO	0,698
Si	0,399	SiO ₂	0,628
K	0,364	K ₂ O	0,306
Unsur Lain	1,131	Senyawa Oksida lain	0,750

Berdasarkan data pada Tabel 4 terlihat bahwa elemen magnetik kembali mendominasi didalam kandungan produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam. Elemen magnetik pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam seperti Fe meningkat jika dibandingkan dengan produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan produk *ball milling* 70 jam. Elemen Fe pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam meningkat 10,352% jika dibandingkan dengan elemen Fe pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan meningkat pesat sebesar 49,481% jika dibandingkan dengan *ball milling* 70 jam.

Sedangkan pada elemen non magnetik seperti silikon pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam mengalami penurunan sebesar 57,495% jika dibandingkan dengan produk *ball milling* 70 jam sedangkan jika dibandingkan dengan produk kopresipitasi

tanpa *ball milling*, kandungan Si masih mengalami penurunan walaupun sangat kecil yaitu sebesar 0,88% yang berarti produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam akan memiliki sifat kemagnetan yang lebih baik dibandingkan produk *ball milling* 70 jam maupun produk kopresipitasi tanpa *ball milling*. Hal ini sejalan dengan diperolehnya nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* yang meningkat pesat jika dibandingkan dengan produk hasil *ball milling* 70 jam dan meningkat cukup signifikan jika dibandingkan dengan produk kopresipitasi tanpa *ball milling*.

KESIMPULAN

Nilai induksi magnetik dipengaruhi oleh arus listrik sebagai fungsinya. Berdasarkan

pengukuran nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik saat diberikan arus sebesar 1000 mA pada produk ISS diperoleh sebesar 11,881 mT dan $5,1 \times 10^{-2}$ sedangkan pada produk hasil *ball milling* 70 jam diperoleh sebesar 12,194 mT dan $7,8 \times 10^{-2}$. Berdasarkan pengukuran nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik saat diberikan arus sebesar 1000 mA pada produk *ball milling* 70 jam diperoleh sebesar 12,194 mT dan $7,8 \times 10^{-2}$, pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* diperoleh sebesar 12,498 mT dan $10,5 \times 10^{-2}$ serta pada produk kopresipitasi dengan *ball milling* 70 jam diperoleh sebesar 12,768 mT dan $12,9 \times 10^{-2}$ dimana arus listrik sebagai fungsi dari nilai induksi magnetik dan suseptibilitas magnetik yang diperoleh. Berdasarkan hasil identifikasi bahan kimia menggunakan XRF, persentase unsur Fe pada setiap produk adalah 15,023% pada produk *ball milling* 70 jam, 54,152% pada produk kopresipitasi tanpa *ball milling* dan 64,504% pada produk kopresipitasi dengan *ball milling*.

REFERENSI

1. Ningsih, S. (2018). Potensi nanopartikel magnetit pasir besi Lampanah Aceh Besar melalui studi kajian teknik pengolahan, sintesis dan karakteristik struktur. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, **2**(1).
2. Purwanto, S., & Dani, M. (2017). Strukturmikro dan Sifat Magnet Pasir Besi Pasca Ultrasonifikasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **19**(1), 14-18.
3. Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*, **5**(1), 724-725.
4. Burmeister, C. F., & Kwade, A. (2013). Process engineering with planetary ball mills. *Chemical Society Reviews*, **42**(18), 7660-7667.
5. Ningsih, S. K. W. (2016). Sintesis Anorganik. Padang: UNP Press.
6. Aygar, G., Kaya, M., Özkan, N., Kocabiyik, S., & Volkan, M. (2015). Preparation of silica coated cobalt ferrite magnetic nanoparticles for the purification of histidine-tagged proteins. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **87**, 64-71.
7. Malvern, A. (2012). Basic Guide to Particle Characterisation. *Malvern Instruments, Ltd.: Malvern, UK*.
8. Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. P. (2013). Analisis kegagalan material pipa ferrule nickel alloy n06025 pada waste heat boiler akibat suhu tinggi berdasarkan pengujian: mikrofografi dan kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, **1**(4), 33-39.
9. Alisna, S., & Sinuraya, S. (2021). Pemetaan Suseptibilitas Magnetik dan Penentuan Kandungan Logam pada Air Gambut di Kelurahan Tuah Madani Kecamatan Tampan Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 12-17.
10. Sinuraya, S., Amiruddin, E., Nurrohmah, D., & Wulandari, T. (2021). Analisa Perubahan Suseptibilitas Magnetik dan Komposisi Partikel Pasir Alam Sungai Rokan Sebagai Fungsi Kecepatan Putar Tabung Ball Milling. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(3), 225-229.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

AKTIVASI ZEOLIT ALAM SEBAGAI ADSORBEN PEWARNA ALAMI KULIT BUAH NAGA (*PITAYA*)

Eka Nurul Hidayah, Munasir*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya

*E-mail korespondensi: munasir_physics@unesa.ac.id

ABSTRACT

Natural zeolite is one of the alternative adsorbents with good absorption capabilities, including in absorbing color. The adsorption ability of zeolite can be increased by the activation process because it can increase the Si/Al ratio and pore size. Dragon fruit peel is a natural material that can be used as a natural dye because it contains betacyanin pigments which are equivalent to synthetic dyes. This study aimed to investigate the characteristics of activated green and brown zeolite and their adsorption ability on natural dyes of dragon fruit peel. Zeolite was activated chemically using 3M HCl solution and physically through a heating process of 500°C, then characterized using XRD and FTIR. The zeolite adsorption process was carried out with variations in contact time of 30, 60 and 90 minutes and variations in the mass of the adsorbent 0.1, 0.3 and 0.5 grams. The results of XRD analysis showed that the green and brown zeolite contained mordenite, nepheline and quartz minerals. The highest percentage of color degradation in the adsorption process was in brown zeolite at 27.70% at a contact time of 90 minutes and 88.2% at an adsorbent mass of 0.5 grams. Differences in brown zeolite before and after adsorption can be seen from the shift in the wavelength of each functional group due to the interaction with dragon fruit peel.

Keywords: Natural Zeolite, Adsorbent, Dragon Fruit Peel Dye.

ABSTRAK

Zeolit alam menjadi salah satu alternatif adsorben dengan kemampuan penyerapan yang baik, termasuk dalam menyerap warna. Kemampuan adsorpsi zeolit dapat ditingkatkan dengan proses aktivasi karena dapat meningkatkan rasio Si/Al dan ukuran pori. Kulit buah naga termasuk bahan alam yang dapat dijadikan pewarna alami karena mengandung pigmen betasianin yang setara dengan pewarna sintesis. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki karakteristik zeolit hijau dan coklat yang telah diaktivasi serta kemampuan adsorpsinya terhadap pewarna alami kulit buah naga. Zeolit diaktivasi secara kimia menggunakan larutan HCl 3M dan secara fisika melalui proses pemanasan 500°C, kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR. Proses adsorpsi zeolit dilakukan dengan variasi waktu kontak 30, 60 dan 90 menit serta variasi massa adsorben 0,1; 0,3 dan 0,5 gram. Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa zeolit hijau dan coklat mengandung jenis mineral mordenite, napheline dan kuarsa. Pesentase degradasi warna tertinggi dalam proses adsorpsi yaitu pada zeolit coklat sebesar 27,70% pada waktu kontak 90 menit dan 88,2% pada massa adsorben 0,5 gram. Perbedaan zeolit coklat sebelum dan sesudah adsorpsi dapat dilihat dari pergeseran panjang gelombang pada setiap gugus fungsinya karena adanya interaksi dengan kulit buah naga.

Kata kunci: Zeolit Alam, Adsorben, Pewarna Kulit Buah Naga.

Diterima 01-07-2022 | Disetujui 14-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Zeolit alam merupakan bahan mineral aluminosilikat dari proses hidrotermal yang memiliki unit kerangka 3 dimensi terdiri dari tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang

terhubung satu sama lain dengan berbagi atom oksigen [1]. Muatan pada kerangka aluminosilikat yang dibentuk oleh polimerisasi SiO_4 dan AlO_4 menghasilkan muatan negatif yang berasal dari muatan +4 pada silikon dan +3 pada aluminium [2], untuk

menyeimbangkan muatan negatif zeolit mengandung kation yaitu Na^+ , K^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} [3]. Pada struktur kerangka zeolit terdapat rongga antar kristal yang ditempati oleh kation dan molekul air yang sifatnya mudah terlepas saat mengalami pemanasan. Ketika molekul air dihilangkan, pori mikro dan rongga akan melebar dan dapat membentuk 50% dari volume kristal [4].

Sruktur rongga yang saling berhubungan ke segala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi luas serta kemampuan dalam menukar kation yang tinggi membuat zeolit menjadi salah satu alternatif adsorben dengan kemampuan adsorpsi yang baik. Zeolit murni pada dasarnya tidak berwarna, namun zeolit ditemukan dengan beberapa jenis warna, zeolit yang masih segar umumnya berwarna putih kehijauan, hijau gelap, hingga putih keabu-abuan sedangkan ketika mengalami pelapukan zeolit akan berwarna kecoklatan. Warna dari zeolit tergantung dari kadar mineral, jenis, zat pengotor atau komposisi kimia yang berbeda sebelum dan sesudah aktivasi [5].

Kemampuan zeolit alam dalam menyerap dan menukar ion dapat ditingkatkan dengan melakukan metode aktivasi yang bertujuan untuk menghilangkan unsur pengotor yang masih menempel pada zeolit, meningkatkan rasio Si/Al dan meningkatkan ukuran pori pada zeolit [6]. Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan secara fisika dan kimia. Metode aktivasi kimia dengan penambahan larutan asam akan mengalami proses dealuminasi, yaitu proses reduksi atom alumina dari kerangka zeolit yang menyebabkan peningkatan rasio Si/Al dan keasaman zeolit. Sedangkan metode aktivasi fisika dilakukan dengan proses penghancuran dan pemanasan dengan suhu tinggi untuk menghilangkan pengotor yang bersifat organik, memperbesar pori dan memperluas permukaan zeolit. Menurut Hor *et al.* [7] aktivasi zeolit alam menggunakan HCl memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi pada *methylene blue* yaitu sekitar 98,8% daripada NaOH sekitar 52,2%.

Pemanfaatan zeolit alam sebagai adsorben pewarna sudah cukup sering digunakan, Amelia & Maryudi [8] menggunakan pewarna

methylene blue menghasilkan penyerapan warna menggunakan zeolit sekitar 32,11%, *yellow dye* juga pernah digunakan pada penelitian Alabbad [9] menunjukkan bahwa zeolit 0,05 gram dapat menyerap *yellow dye* sekitar 58,63%, sementara pada penelitian Sarabadan *et al.* [10] menggunakan pewarna kristal violet menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum zeolit alam adalah 177,75 mg/g. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat dilihat bahwa belum terdapat pewarna alami yang diaplikasikan sebagai bahan adsorbat pada zeolit. Seperti diketahui, pewarna alami memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dari pewarna sintetis dan juga mudah didapatkan.

Pigmen betasianin merupakan pigmen yang dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami. Salah satu bahan alam yang mengandung pigmen betasianin adalah kulit buah naga (*pitaya*). Kulit buah naga kaya akan kandungan betalain yang terdiri dari betasianin menunjukkan warna merah-ungu dan betaxanthins menunjukkan warna kuning-oranye. Betasianin sangat ideal digunakan sebagai pewarna alam karena setara dengan pewarna sintetis dan dapat mempertahankan warnanya pada rentang pH yang luas dari 3 hingga 7 [11]. Studi lain mengungkapkan bahwa betasianin tiga kali lebih kuat dari pewarna merah ungu biru yang dihasilkan oleh antosianin [12]. Saat ini penggunaan kulit buah naga sebagai pewarna alami sudah banyak digunakan oleh beberapa industri seperti industri kosmetik, sandang dan pangan sebagai salah satu upaya dalam pemanfaatan limbah buah-buahan agar tidak merusak ekosistem dan pemborosan senyawa bioaktif.

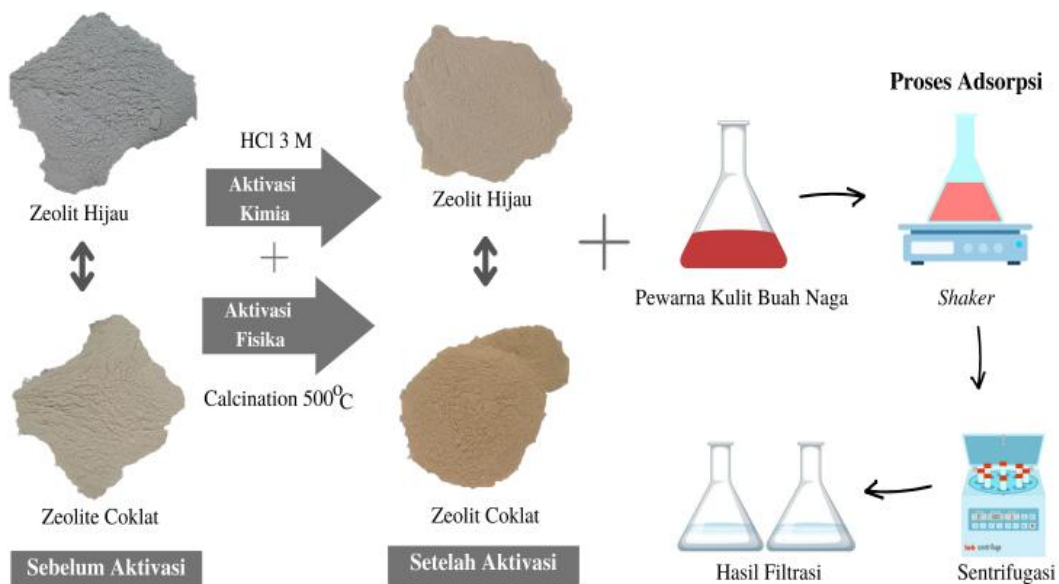
Pada penelitian ini dilakukan aktivasi zeolit hijau dan coklat secara kimia dengan penambahan larutan HCl dan secara fisika melalui proses pemanasan pada suhu 500°C untuk mengetahui karakteristik dari zeolit alam menggunakan instrumen XRD dan FTIR serta kemampuannya dalam menyerap pewarna kulit buah naga. Hasil dari penelitian ini dapat diterapkan sebagai bahan adsorben pewarna dalam pengelolaan limbah di bidang industri termasuk pewarna alami.

METODE PENELITIAN

Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit alam dari Malang yang terdiri dari 2 warna yaitu zeolit coklat dan zeolit hijau digerus hingga halus dan lolos ayakan 200 mesh, serbuk zeolit kemudian dicuci menggunakan aquadest dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 4 jam. Pada proses aktivasi kimia, 20 gram sampel zeolit alam ditambahkan larutan HCl 3 M sebanyak

100 ml, campuran dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer selama 2 jam pada suhu 80°C dengan kecepatan 350 rpm, larutan kemudian dicuci dengan aquadest hingga pH netral (pH = 7), selanjutnya larutan disaring menggunakan kertas saring dan hasil endapan yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 5 jam. Sementara proses aktivasi secara fisika dilakukan dengan kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 500°C selama 3 jam.



Gambar 1. Mekanisme aktivasi zeolit sebagai adsorben pewarna kulit buah naga.

Pembuatan Ekstrak Kulit Buah Naga

Kulit buah naga merah yang sudah diambil dari dagingnya dicuci hingga bersih dari kotoran yang menempel, kulit buah naga kemudian dipotong kecil-kecil dan dihaluskan menggunakan mortal alu untuk menghasilkan tekstur yang lebih lembut dan ditimbang hingga mendapatkan berat 50 gram, sampel kemudian dilarutkan menggunakan ethanol dengan perbandingan 1:10 (wt/v), selanjutnya sampel distirer selama 1 jam agar larutan menjadi homogen, larutan dimaserasi selama 24 jam dalam kondisi vakum kemudian filtrat hasil ekstrak dipisahkan dengan residu menggunakan. Hasil ekstrak yang telah disaring telah siap digunakan sebagai bahan pewarna alami.

Karakterisasi Zeolit dan Ekstrak Kulit Buah Naga

Zeolit alam yang telah diaktivasi dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kristalinitas dan jenis mineral yang terbentuk pada kedua jenis zeolit. kemudian ekstrak kulit buah naga serta zeolit dengan kemampuan adsorpsi terbaik (sebelum dan sesudah proses adsorpsi) dianalisa menggunakan *Fourier Transformasi Infrared* (FTIR) untuk mengetahui perbedaan gugus fungsinya.

Uji Adsorpsi

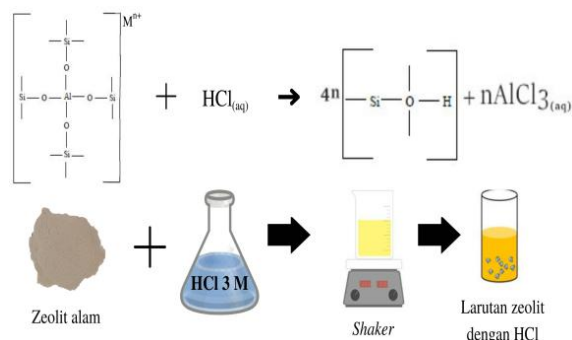
Uji adsorpsi zeolit terhadap pewarna kulit buah naga dilakukan dengan variasi waktu

kontak (30, 60 dan 90 menit) dan variasi massa zeolit (0,1; 0,3 dan 0,5 gram) untuk mengetahui kemampuan adsorpsi yang paling efektif. Serbuk zeolit alam yang telah ditambahkan ekstrak kulit buah naga kemudian di shaker sesuai waktu kontak yang digunakan, larutan disentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit untuk memisahkan filtrat dengan residu, filtrat yang diperoleh serta larutan ekstrak kulit buah naga murni diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 350-370 nm untuk mengetahui perbedaan nilai absorbansinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Aktivasi Zeolit Alam

Aktivasi zeolit alam dilakukan secara kimia dan fisika, pada aktivasi kimia zeolit yang telah dipreparasi dilarutkan dengan asam klorida 3M. Proses aktivasi kimia bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada zeolit sehingga pori-pori zeolit semakin besar dan meningkatkan rasio Si/Al diikuti dengan meningkatnya adsorptivitas karena pelepasan Al dari sisi aktif Si-O-Al menjadi Si-O-Si [13].



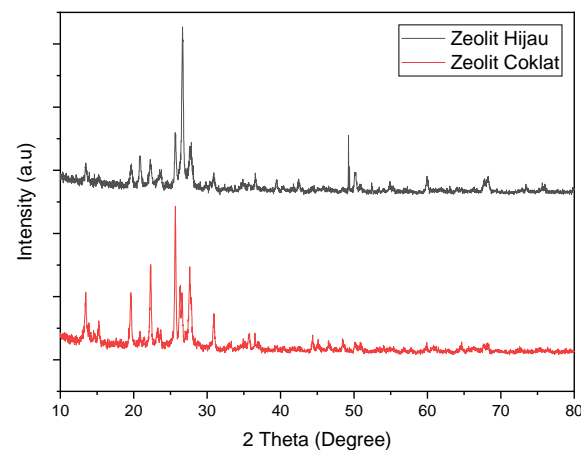
Gambar 2. Reaksi pelepasan ikatan Al pada zeolit setelah aktivasi larutan HCl [14].

Ion H^+ yang berasal dari HCl akan menggeser ikatan Al yang awalnya berada pada kerangka menjadi keluar dari kerangka zeolit namun proses ini tidak sampai menghilangkan aluminium pada kerangka zeolit. Ion H^+ juga akan menghilangkan pengotor lain seperti katio-kation menyeimbang pada zeolit seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} sehingga kandungan logam pada zeolit setelah aktivasi semakin

berkurang. Larutan zeolit yang telah tercampur dengan HCl mengalami perubahan warna dari bening menjadi kuning, hal tersebut menandakan adanya reaksi antara HCl dengan senyawa logam yang berasal dari zeolit tersebut.

Aktivasi fisika bertujuan agar menstabilkan kembali struktur alumina silika akibat proses dealuminasi, mengoksidasi pengotor alkali, alkali tanah ataupun impuritas lain serta membuat pori-pori zeolit semakin terbuka dan bersih [15]. Setelah proses kalsinasi zeolit coklat mengalami perubahan warna menjadi coklat kemerahan, sedangkan pada zeolit hijau mengalami perubahan warna menjadi coklat terang. Perubahan warna ini menandakan bahwa kandungan hidrat (air) pada kerangka zeolit setelah kalsinasi sangat sedikit.

Karakteristik Zeolit Alam



Gambar 3. Hasil Pola Difraktogram zeolit hijau dan zeolit coklat setelah proses aktivasi.

Analisis kualitatif zeolit alam yang telah teraktivasi dilakukan dengan menggunakan XRD untuk mengetahui jenis kandungan mineralnya. Gambar 3 menunjukkan pola difraksi zeolit alam yaitu warna hijau dan coklat. Hasil difraktogram zeolit alam berwarna hijau menunjukkan adanya puncak pada $2\theta = 13,4963^\circ$; $19,6482^\circ$; $22,2609^\circ$; $25,6715^\circ$; $27,7184^\circ$ yang merupakan karakteristik dari zeolit alam Mordenit berdasarkan data dari JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) no 6-239. Sedangkan puncak pada $2\theta = 20,8555^\circ$; $26,6503^\circ$ menurut JCPDS no 5-

0490 merupakan puncak kuarsa (SiO₂) dan puncak 2θ = 30,8944° berdasarkan JCPDS no 19-1176 menunjukkan puncak mineral napheline. Selain itu muncul intensitas tajam pada 2θ = 49,25170 yang menunjukkan zeolit terdealuminasi akibat dari proses aktivasi, hal ini didasarkan pada penelitian Afidah & Khamidinal [16] dimana zeolit dengan perlakuan larutan asam HCl dan kalsinasi pada suhu 500°C muncul intensitas tajam pada 2θ = 47,79°.

Sedangkan zeolit alam berwarna coklat muncul refleksi dengan intensitas yang tajam pada 2θ = 13,4540°; 19,6285°; 22,2930°; 25,6632°; 26,3102°; 27,6264° yang merupakan karakteristik dari zeolit alam mordenit. Puncak pada 2θ = 26,5993° menunjukkan puncak mineral kuarsa (SiO₂) dan puncak 2θ = 30,9121° merupakan puncak mineral napheline. Mordenit merupakan jenis mineral pembentuk zeolit alam yang memiliki sifat fisik seperti struktur ortorombik dengan volume rongga 28% dan biasanya ditemukan pada batuan kaya silika. Perlakuan asam HCl pada zeolit menyebabkan sudut puncak menjadi lebih tajam disertai dengan meningkatnya rasio Si/Al [17]. Dalam proses kalsinasi terdapat pengotor mineral zeolit yang masih stabil pada suhu kalsinasi seperti mineral kuarsa [18].

Analisis Adsorpsi Zeolit terhadap Pewarna Kulit Buah Naga

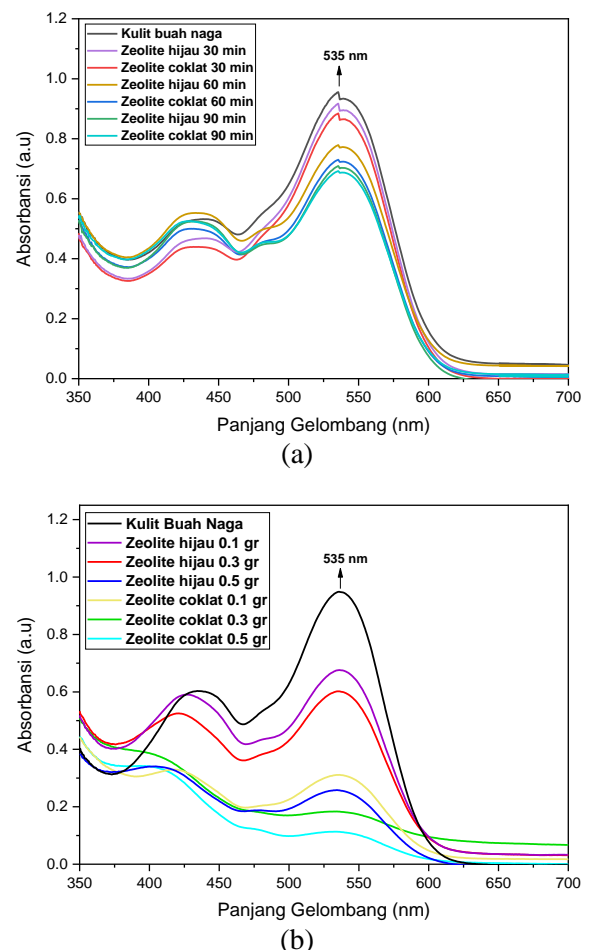
Pewarna kulit buah naga yang diekstraksi menggunakan ethanol menunjukkan spektra penyerapan warna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Penyerapan maksimum terjadi pada panjang gelombang 535 nm dimana menunjukkan adanya pigmen betasianin yang menjadi penyebab warna merah dalam ekstrak kulit buah naga. Pigmen betasianin memiliki rentang panjang gelombang maksimum 534-555 nm. [19].

Gambar 4 menunjukkan spektra penyerapan pada pewarna kulit buah naga yang telah teradsorpsi oleh zeolit, terlihat bahwa terjadi penurunan intensitas seiring lamanya waktu kontak maupun massa adsorben. Munculnya

penurunan nilai absorbansi tersebut dapat digunakan untuk menentukan persentase degradasi warna larutan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{A_{\text{kontrol}} - A_{\text{sampel}}}{A_{\text{kontrol}}} \times 100\% \quad (1)$$

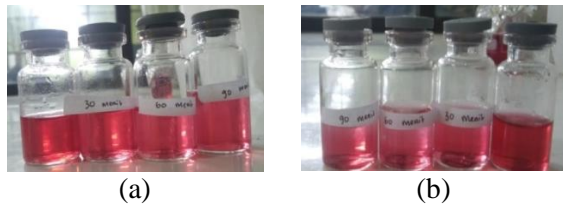
dimana A = nilai absorbansi pada larutan



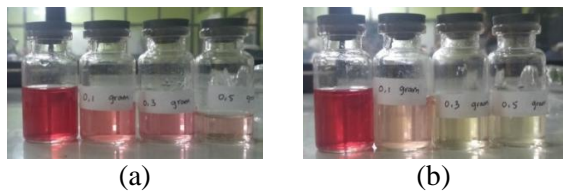
Gambar 4. Hasil spektrometer Uv-vis kulit buah naga (a) variasi waktu kontak (b) massa adsorben.

Berdasarkan persamaan tersebut, ekstrak kulit buah naga digunakan sebagai larutan kontrol dengan nilai absorbansi sebesar 0,9535. Sehingga nilai persentase degradasi warna pada zeolit hijau dengan variasi waktu kontak 30, 60 dan 90 menit sebesar 5,11%; 22,52%; 24,30%. Sedangkan zeolit coklat sebesar 7,65%; 23,77%; 27,70%. Semakin lama waktu kontak adsorben (zeolit) dengan adsorbat (pewarna kulit buah naga), maka jumlah adsorbat yang terjerap semakin banyak dan adsorpsi semakin

meningkat. Variasi waktu kontak tidak terlalu terlihat perubahan warna yang signifikan seperti pada Gambar 5, akan tetapi masih menunjukkan perbedaan nilai absorbansi pada uji Uv-Vis.



Gambar 5. Hasil filtrat adsorpsi dengan variasi waktu kontak (a) zeolit hijau (b) zeolit coklat.



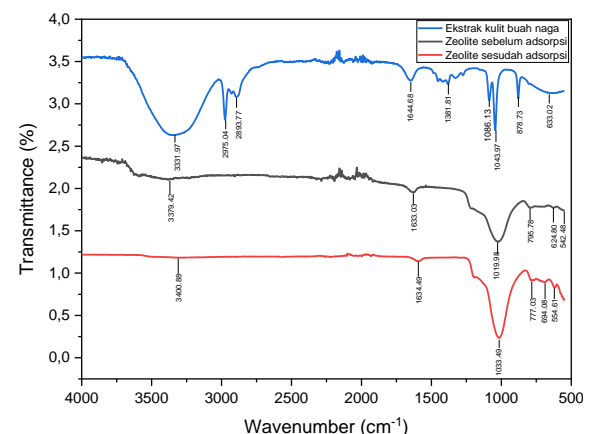
Gambar 6. Hasil filtrat adsorpsi dengan variasi massa adsorben (a) zeolit hijau (b) zeolit coklat.

Banyaknya massa adsorben yang digunakan juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan proses adsorpsi terhadap pewarna yang akan diserap. Variasi massa zeolit 0,1; 0,3 dan 0,5 gram menunjukkan persentase degradasi warna pada zeolit hijau sebesar 28,7%; 35,6% dan 73,4% dan zeolit coklat sebesar 67,9%; 79,0% dan 88,2%. Semakin banyak massa zeolit membuat warna hasil filtrasi semakin memudar dan bening. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan (sisi aktif zeolit) semakin luas sehingga adsorptivitas juga semakin baik. Degradasi warna akan meningkat seiring bertambahnya waktu kontak dan massa adsorben [20, 21]

Analisis Gugus Fungsi Zeolit sebelum dan sesudah mengadsorpsi Kulit Buah Naga

Ekstrak kulit buah naga dan zeolit coklat baik sebelum dan sesudah adsorpsi dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengidentifikasi jenis ikatannya. Berdasarkan Gambar 7, pada kulit buah naga terdapat pita serapan di daerah $3331,97 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi *stretching* gugus hidroksil (O-H). Vibrasi gugus O-H memiliki

daerah cukup lebar yang dapat disebabkan karena adanya gugus amina (N-H) yang umumnya muncul di daerah $3300-3500 \text{ cm}^{-1}$ dan tertutupi oleh gugus O-H. Panjang gelombang $2893,77 \text{ cm}^{-1}$ dan $2975,05 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-H alkana, pada vibrasi ini terdapat rengangan (*stretch*) pada pigmen betasianin [22]. Penyerapan pada regangan cincin muncul pada panjang gelombang $1644,68 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi C=C alkena *stretching*. Pita serapan pada bilangan gelombang $1361,81 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi C-H alkana *bending*. Pita pada daerah bilangan $1043,97 \text{ cm}^{-1}$ dan $1086,13 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang cukup tinggi menunjukkan adanya vibrasi *stretching* dari gugus ester (C-O) atau asam karbosilat. Pita serapan pada panjang gelombang $633,02 \text{ cm}^{-1}$ dan $878,73 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi C-H *bending* yang ditemukan dalam senyawa aromatik. Berdasarkan penelitian Sari *et al.* [23] menyatakan bahwa vibrasi *stretching* O-H dan C-O menunjukkan adanya senyawa polar berupa *fenolik* dan *flavonoid*; gugus N-H menandakan senyawa *alkaloid* dan gugus C - H menunjukkan senyawa yang bersifat non polar yaitu *terpenoid* dan *steroid*.



Gambar 7. Spektrogram FTIR kulit buah naga, zeolit sebelum dan sesudah proses adsorpsi.

Hasil spektrofotometer FTIR pada zeolit sebelum proses adsorpsi menunjukkan bahwa terdapat vibrasi ulur O-H pada panjang gelombang $3379,42 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang cukup rendah akibat dari proses aktivasi

sehingga menyebabkan molekul air yang terikat pada kerangka zeolit mengalami pelepasan dan membuat zeolit menjadi bersih dan pori-pori menjadi terbuka [24], vibrasi tekuk Si-OH atau Al-OH menandakan adanya air yang terikat secara molekuler dalam struktur zeolit [25], vibrasi ulur simetris Si-O-Si atau Al-O-Al menunjukkan fase alotropik SiO₂ pada zeolit [26].

Sementara hasil FTIR zeolit setelah proses adsorpsi pewarna kulit buah naga menunjukkan adanya pergeseran di setiap puncak serapan ke bilangan yang lebih tinggi dan lebih rendah seperti pada Tabel 1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa ketika proses adsorpsi, pewarna alami kulit buah naga

berinteraksi dengan bagian vibrasi ulur O-H, vibrasi tekuk Si-OH atau Al-OH, vibrasi ulur asimetris Si-O-Si atau Al-O-Al, vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Al-O-Al, gugus Na-O dan deformasi Si-O-Al pada zeolit. Pada vibrasi ulur asimetris Si-O-Si atau Al-O-Al terlihat bahwa bentuk puncak lebih tajam dan intensitas lebih tinggi daripada zeolit sebelum proses adsorpsi, spektra ekstrak kulit buah naga pada gugus C-O dengan panjang gelombang 1043,97 cm⁻¹ juga memiliki puncak yang cukup tajam sehingga hal tersebut mengindikasikan bahwa gugus vibrasi ulur asimetris Si-O-Si pada zeolit setelah adsorpsi telah bereaksi dengan gugus C-O pada ekstrak kulit buah naga.

Tabel 1. Karakteristik spektra FTIR pada zeolit sebelum dan sesudah adsorpsi.

Sebelum adsorpsi (cm ⁻¹)	Setelah adsorpsi (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Referensi
3379,42	3400,88	O-H <i>stretching</i>	[25]
1633,03	1634,49	Si-OH/Al-OH <i>bending</i>	[24]
1019,98	1033,49	Si-O-Si/Al-O-Al <i>stretching</i> asimetri	[24]
795,78	777,03	Si-O-Si/Al-O-Al <i>stretching</i> simetri	[24]
624,80	694,08	Na-O <i>bond</i>	[27]
542,48	554,61	Si-O-Al <i>bond deformation</i>	[28]

KESIMPULAN

Nilai Karakterisasi zeolit alam yang telah diaktivasi menggunakan analisa XRD menunjukkan bahwa zeolit hijau dan coklat memiliki kandungan jenis mineral yang hampir sama yaitu mordenite, napheline dan kuarsa. Dari kedua zeolit tersebut kemampuan adsorpsi yang paling efektif yaitu zeolit warna coklat pada waktu kontak 90 menit dan massa adsorben 0,5 gram dengan persentase degradasi warna sebesar 27,70% dan 88,2%. Perbedaan gugus fungsi pada zeolit coklat sebelum dan sesudah proses adsorpsi ditandai dengan adanya pergeseran panjang gelombang pada setiap puncak serapan karena berinteraksi dengan kulit buah naga. Sehingga zeolit yang telah diaktivasi dapat digunakan sebagai media adsorben yang baik terhadap pigmen betasianin pada kulit buah naga.

UCAPAN TERIMA KASIH

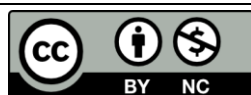
Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Material jurusan Fisika Universitas Negeri Surabaya, Laboratorium jurusan kimia Universitas Negeri Surabaya, Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, dan Laboratorium Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh November yang telah membantu memberikan fasilitas dalam proses pengujian XRD, UV-Vis dan FTIR.

REFERENSI

- Georgiev, D., Bogdanov, B., Angelova, K., Markovska, I., & Hristov, Y. (2009, June). Synthetic zeolites—structure, classification, current trends in zeolite synthesis. Review. *International Science Conference*, 4-5.
- KP Veerapandian, S., De Geyter, N., Giraudon, J. M., Lamonier, J. F., & Morent, R. (2019). The use of zeolites for

- VOCs abatement by combining non-thermal plasma, adsorption, and/or catalysis: a review. *Catalysts*, **9**(1), 98.
3. Ola, P. D., Djami, A. G., & Wogo, H. E. (2013). The Use of Activated Natural Zeolite as an Adsorbent on Removing of Rhodamine B from Aqueous Solution. *Journal of Applied Chemical Science*, **2**(2), 252-258.
 4. Nazir, L. S. M., Yeong, Y. F., & Chew, T. L. (2020). Methods and synthesis parameters affecting the formation of FAU type zeolite membrane and its separation performance: a review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, **8**(3), 553-571.
 5. Neolaka, Y. A., Kalla, E. B., Malelak, G. A., Rukman, N. K., Supriyanto, G., & Puspaningsih, N. N. T. (2018). Adsorption of methylene blue using acid activated green color natural zeolite from Ende-Flores, Indonesia. *Rasayan Journal of Chemistry*, **11**(2), 494-504.
 6. Palentin, E. R., Hindryawati, N., & Gunawan, R. (2019). Adsorption of Fe Metal Ion in Solution Using Natural Zeolite Activated by KOH. *Jurnal Atomik*, **4**(2), 82-85.
 7. Hor, K. Y., Chee, J. M. C., Chong, M. N., Jin, B., Saint, C., Poh, P. E., & Aryal, R. (2016). Evaluation of physicochemical methods in enhancing the adsorption performance of natural zeolite as low-cost adsorbent of methylene blue dye from wastewater. *Journal of cleaner production*, **118**, 197-209.
 8. Amelia, S., & Maryudi, M. (2019). Application of natural zeolite in methylene blue wastewater treatment process by adsorption method. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, **8**(2), 144-147.
 9. Alabbad, E. A. (2021). Efficacy assessment of natural zeolite containing wastewater on the adsorption behaviour of Direct Yellow 50 from; equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *Arabian Journal of Chemistry*, **14**(4), 103041.
 10. Sarabadan, M., Bashiri, H., & Mousavi, S. M. (2019). Removal of crystal violet dye by an efficient and low cost adsorbent: modeling, kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Korean Journal of Chemical Engineering*, **36**(10), 1575-1586.
 11. Archana, D., Chougule, B. S., Assma, P., Lahan, J. P., Madhumita, B., & Boro, R. C. (2015). Natural pigment betacyanin as tracking dye for gel electrophoresis. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, **6**(1), 23-26.
 12. Raj, G. B., & Dash, K. K. (2020). Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from dragon fruit peel: Optimization, kinetics and thermodynamic studies. *Ultrasonics Sonochemistry*, **68**, 105180.
 13. Yosefi, L., Haghighi, M., Allahyari, S., & Ashkriz, S. (2015). The beneficial use of HCl-activated natural zeolite in ultrasound assisted synthesis of Cu/clinoptilolite–CeO₂ nanocatalyst used for catalytic oxidation of diluted toluene in air at low temperature. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **90**(4), 765-774.
 14. Oktaviani, R., Hindryawati, N., & Panggabean, A. S. (2019). Modification And Characterization of Tasikmalaya Natural Zeolites With Fe₂O₃. *Jurnal Atomik*, **4**(1), 30-35.
 15. Mara, A., Wijaya, K., & Mudasir, W. T. (2016). Effect of Sulfuric Acid Treatment and Calcination on Natural Zeolites of Indonesia. *Asian Journal of Chemistry*, **28**(1), 11.
 16. Afidah, L. T., & Khamidinal, K. (2019). Pengaruh variasi temperatur kalsinasi zeolit alam terhadap kemampuan adsorpsi limbah fenol. *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, **2**(2), 35-42.
 17. Wirawan, S. K., Sudibyo, H., Setiaji, M. F., Warmada, I. W., & Wahyuni, E. T. (2015). Development of natural zeolites adsorbent: chemical analysis and preliminary TPD adsorption study. *Journal of Engineering Science and Technology*, **10**(Spec. issue4), 87-95.

18. Seraj, S., Ferron, R. D., & Juenger, M. C. (2016). Calcining natural zeolites to improve their effect on cementitious mixture workability. *Cement and Concrete Research*, **85**, 102-110.
19. Vellano, P., Morais, R., Soares, C., SOUZA, A. R. D., SANTOS, A. D., Martins, G. A., & Damiani, C. (2022). Extraction and stability of pigments obtained from pitaya bark flour (*Hylocereus costaricensis*). *Food Science and Technology*, **42**.
20. Munasir, N., Kusumawati, R. P., Kusumawati, D. H., Supardi, Z. A. I., Taufiq, A., & Darminto, D. (2020). Characterization of Fe₃O₄/rGO composites from natural sources: application for dyes color degradation in aqueous solution. *International Journal of Engineering*, **33**(1), 18-27.
21. Taufiq, A., Teraningtyas, A., Kusumawati, D. H., & Supardi, Z. A. I. (2022). Nanosized Fe₃O₄/SiO₂ core-shells fabricated from natural sands, magnetic properties, and their application for dye adsorption. *Engineering and Applied Science Research*, **49**(3), 340-352.
22. Sambasevam, K. P., Yunos, N., Rashid, H. N. M., Baharin, S. N. A., Suhaimi, N. F., Raoov, M., & Shahabuddin, S. (2020). Optimization of Natural Colour Extraction from Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel. *Scientific Research Journal*, **17**(2), 33-44.
23. Sari, D. N., Wahdaningsih, S., & Kurniawan, H. Analisis gugus fungsi ekstrak kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*)| Analysis functional groups of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Mahasiswa Farmasi Fakultas Kedokteran UNTAN*, **5**(1).
24. Fitriana, N. (2019). Pembuatan Zeolit Alam Teraktivasi HCl dan Karakterisasinya Making Activated Natural Zeolite And Characterization. *UNESA Journal of Chemistry*, **8**(1), 17-19.
25. Rashid, T., Iqbal, D., Hazafa, A., Hussain, S., Sher, c F., & Sher, F. (2020). Formulation of zeolite supported nano-metallic catalyst and applications in textile effluent treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **8**(4), 104023.
26. Ruíz-Baltazar, A., Esparza, R., Gonzalez, M., Rosas, G., & Pérez, R. (2015). Preparation and characterization of natural zeolite modified with iron nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, **2015**.
27. Purwaningsih, H., & Rosdiana, T. (2008). Pencirian dan uji aktivitas katalitik zeolit alam teraktivasi. *Jurnal Riset Kimia*, **1**(2), 107-107.
28. Saputra, O. A., Prameswari, M. D., Kinanti, V. T. D., Mayasari, O. D., Sutarni, Y. D., Apriany, K., & Lestari, W. W. (2017, February). Preparation, characterization and methylene blue dye adsorption ability of acid activated-natural zeolite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **172**(1), 012039.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

ANALISA DISTRIBUSI AIR BAWAH TANAH DI KELURAHAN TANGKERANG LABUAI MENGGUNAKAN METODE COOPER-JACOBS DAN GEOLISTRIK KONFIGURASI SCHLUMBERGER

Suryadi Simbolon*, Usman Malik
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: suryadi.simbolon@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Groundwater, one part of water resources is the most needed by humans for life. The availability of ground water and the increasing population growth in Tangkerang Labuai Village require the use of clean water. This study aims to determine the rock layers that makes up the soil and soil aquifers and the quality of groundwater. For the soil layer, it uses the Schlumberger configuration geoelectric method, for the aquifer test, uses the Jacobs step drawdown method to determine the decrease of groundwater level is time. For air quality uses radian where the pH, TDS, turbidity values describe the resistivity value. The results of the research based on data processing on a 90 m long track, ground water is found at a depth of 7-10 m with a resistivity value of 114 Ω m, which is categorized as granite, sand, gravel, alluvium constituent layers with a resistivity value of < 1000 Ω m or the aquifer is partially connected due to the presence of a porous rock layer having small pores. To test the aquifer in the well based on the relatively small decrease in groundwater, namely 0.2 and 0.1 cm with a discharge of 0.43 liter/second with a transmissivity value of 971.901 m^2/day , categorized as free or connected aquifer. Groundwater could not be consumed from the results as stated to the regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia number 492 of 2010, because the pH obtained was < 6.5 or acidic nature and categorized as partially connected aquifers because the more acid of water is formal, the higher the resistivity value is obtained.

Keywords: Groundwater, Geoelectricity, Aquifer, Resistivity, Water Quality.

ABSTRAK

Air tanah sebagai salah satu bagian sumber daya air merupakan yang paling diperlukan oleh manusia, karena air merupakan sumber kehidupan. Ketersediaan air tanah dan pertambahan penduduk yang meningkat di kelurahan tangkerang labuai mengakibatkan semakin tingginya penggunaan air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lapisan batuan penyusun tanah dan akuifer tanah serta kualitas air tanah. Untuk lapisan penyusun batuan tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi schlumberger, untuk uji akuifer menggunakan metode cooper Jacobs step drawdown guna mengetahui penurunan muka air tanah terhadap waktu dan untuk kualitas air menggunakan metode radian dimana nilai pH, TDS, kekeruhan mendeskripsikan nilai Resistivitas nya. Hasil penelitian berdasarkan pengolahan data pada lintasan sepanjang 90 m air tanah terdapat pada kedalaman 7-10 m dengan nilai resistivitas 114 Ω m dapat dikategorikan lapisan penyusun nya granite, pasir, kerikil, aluvium dengan nilai resistivitas <1000 Ω m atau akuifer nya terhubung sebagian karena adanya lapisan batuan yang memiliki pori-pori yang kecil. Untuk uji akuifer pada sumur berdasarkan penurunan air muka tanah relatif kecil yaitu 0,2 dan 0,1 cm dengan debit 0,43 liter/detik dengan nilai transmissivitas 971,901 $m^2/hari$ dikategorikan akuifer bebas atau terhubung. Sampel air bawah tanah diuji dengan parameter pH, TDS, kekeruhan, air tanah belum dapat dikonsumsi dari hasil uji kualitatif air dengan parameter parameter yang disebutkan merujuk dari peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 492 tahun 2010 dikarenakan pH yang didapat bernilai <6,5 atau sifat asam dan dikategorikan akuifer terhubung sebagian karena semakin asam nilai pH yang terukur semakin besar nilai resistivitas.

Kata kunci: Air tanah, Geolistrik, Akuifer, Resistivitas, Kualitas Air.

Diterima 01-07-2022 | Disetujui 16-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan, baik itu manusia, hewan, maupun tumbuhan, semua membutuhkan air untuk kelangsungan hidupnya, naun keberadaan air sangat terbatas baik menurut ruang dan waktu maupun kualitas dan kuantitas nya [1]. Solusinya manusia mengeksplorasi dan mengeksploitasi air bawah tanah permukaan bumi agar kebutuhan air bersih tetap tersedia, begitu pula di kelurahan Tangkerang Labuai.

Namun ketersediaan air tanah di setiap daerah tidaklah sama, dimana Sebagian daerah memiliki potensi air tanah yang besar, tetapi ada juga daerah dengan potensi yang kecil. Faktor faktor potensi air tanah dipengaruhi oleh besar kecil nya curah hujan, banyak sedikitnya vegetasi, kemiringan lereng serta derajat porositas dan permeabilitas batuan penyusun akuifernya [2]. Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk menyelidiki potensi akuifer untuk eksploitasi air tanah yaitu menggunakan metode Cooper-Jacobs dengan Analisis data uji pemompaan. Tes pemompaan dilakukan untuk mengukur nilai penurunan tingkat air, yang dihasilkan dari proses pemompaan di sumur [3] Data uji pemompaan kemudian dapat dianalisis dengan menggunakan model statistik seperti persamaan Cooper-Jacobs untuk mengetahui parameter-parameter akuifer [4].

Eksplorasi air bawah tanah yang dilakukan secara berlebihan dapat menyebabkan persediaan air bawah tanah menipisdan menyebabkan keberadaan air tanah semakin berkurang. Selain itu, Perubahan fungsi lahan juga menyebabkan yang seharusnya dapat terserap menjadi run off yang mengalir ke dalam sungai dan terus ke laut, oleh sebab itu untuk mendapatkan informasi data tentang potensi air bawah tanah dengan melihat kondisi geologi bawah permukaan tanah ditempat tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode salah satunya adalah Metode geolistrik.

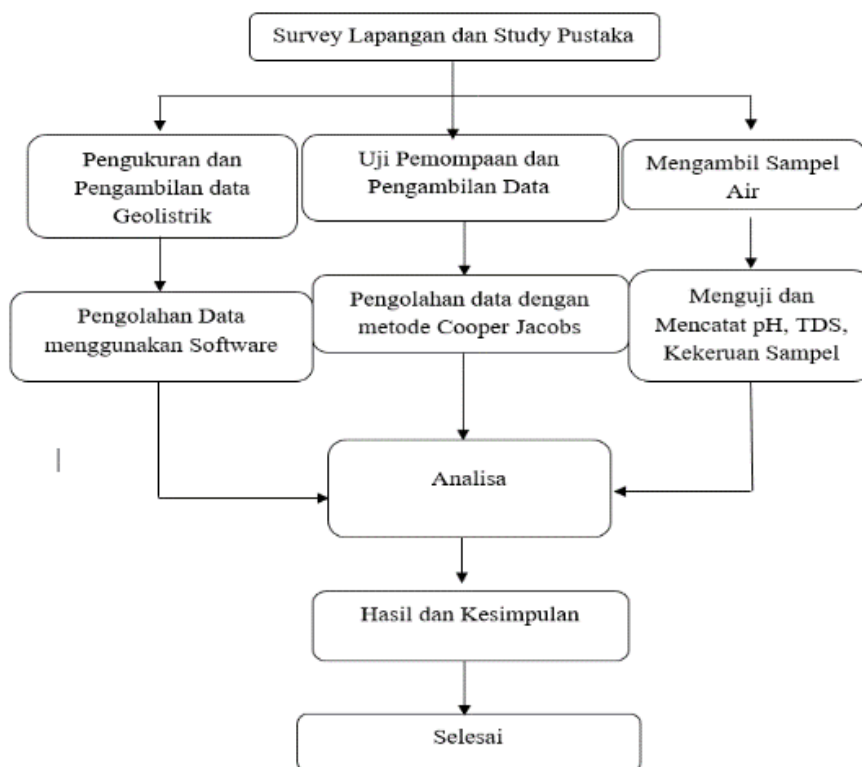
Geolistrik merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui sifat aliran listrik

di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi [5]. Metode ini dapat meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi baik itu oleh injeksi arus maupun secara alamiah. Metode geolistrik merupakan metode yang banyak sekali digunakan dan hasilnya cukup baik [6]. Pendugaan geolistrik ini didasarkan pada jenis material yang berbeda akan mempunyai tahanan jenis yang berbeda. Salah satu metode geolistrik yang sering digunakan dalam pengukuran aliran listrik untuk mempelajari keadaan geologi bawah permukaan adalah metode tahanan jenis atau resistivitas [7, 8].

Daerah Kelurahan Tangkerang Labuai ini adalah daerah dengan kepadatan penduduk yang cukup tinggi di Kecamatan Bukit Raya dimana kepadatan sebesar 17.669 penduduk dariluas wilayahnya. Hal ini dipengaruhi oleh karena letaknya yang tidak jauh dari pusat kota sehingga akan mempengaruhi dan mempercepat kemajuan di kelurahan tersebut. Disamping itu juga dipengaruhi dengan pesatnya pertumbuhan industri, ekonomi, dan pertumbuhan kepadatan penduduk, tentu akan berbanding lurus dengan semakin banyaknya air yang di butuhkan. Dalam hal ini maka pemanfaatan air tanah merupakan salah satu solusi terbaik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mula-mula dilakukan studi literatur dan survei lapangan. Terdapat tiga tahapan dalam pengujian kadar air bawah permukaan. Tahapan pertama dilakukan pengukuran dan pengambilan data geolistrik dengan menggunakan metode Schlumberger dan pengolahan data dengan bantuan *software*. Tahapan kedua dilakukan uji pemompaan dan pengambilan data dengan menggunakan metode Cooper-Jacobs. Tahapan ketiga dilakukan dengan pengambilan sampel air yang akan diuji dengan kadar kasaman pH, TDS, dan kekeruhan. Seluruh data yang terkumpul kemudian dianalisa dan dibandingkan dengan beberapa parameter yang telah diperoleh. Ilustrasi tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme tahapan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini didasarkan pada 2 metode penelitian yaitu Metode geolistrik konfigurasi Schlumberger dan metode Cooper-Jacobs serta menguji kualitas air.

Interpretasi Geolistrik Lintasan

Lintasan sepanjang 90 meter terletak pada titik koordinat $0^{\circ}27'47,5374''\text{LU}$ dan $101^{\circ}30'47,9056''\text{BT}$. Hasil perhitungan dan pengolahan data dengan *software progress v3.0*

untuk metode schlumberger diperoleh nilai Root Mean Square-error sebesar 12,8320% dengan kedalaman lapisan yang terbaca oleh software hingga 35 meter dan perolehan nilai resistivitas $< 1200 \Omega\text{m}$, seperti pada Tabel 1.

Berdasarkan nilai resistivitas dan kedalaman yang diperoleh dari penelitian dapat dikatakan lapisan penyusun batuan daerah berupa batu pasir, kerikil hingga batuan beku, dengan ini dapat dikatakan bahwa akuifer pada penelitian ini merupakan akuifer bebas atau akuifer terhubung.

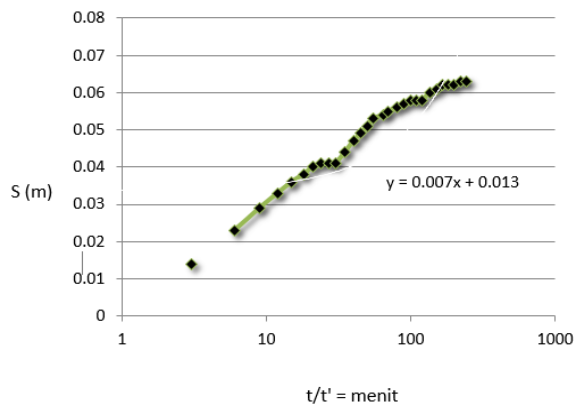
Tabel 1. Nilai resistivitas dan kedalaman.

Kedalaman (m)	Tahanan jenis (Ωm)	Lapisan batuan
0-6	412	Batu Pasir
7-10	114	Air tanah
12-17	523	Pasir dan Kerikil
17-24	1097	Batuan Pasir
25-35	888	Batuan Pasir dan Kerikil

Analisa Uji Pemompaan

Uji pemompaan dilakukan dengan debit konstan sebesar 0,43 L/detik atau 37,152 m^3/hari selama 280 menit, namun pemompaan

dihentikan pada menit ke 240 hal ini dikarenakan pada menit 240 air permukaan mencapai *steady state* atau tidak terjadi penurunan lagi, terlihat pada kurva seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva pemompaan.

Berdasarkan Gambar 2 pada kurva pemompaan dapat dikatakan bahwa kurva diatas mencirikan akuifer primer dimana batuan penyusunnya merupakan batuan berupa pasir dengan ukuran sedang hingga kasar. Akuifer primer yang didominasi oleh pasir juga ditunjukkan oleh respon kelulusan air mengisi air tanah kembali ke posisi awal pemompaan. Sehingga dapat disimpulkan akuifer di lokasi tersebut merupakan termasuk akuifer bebas dengan keterusan sedang. Analisa uji akuifer untuk menentukan besarnya koefisien keterusan air atau nilai transmisivitas (T) dengan menggunakan rumus Cooper-Jacobs, dimana dari gambar 2 yaitu kurva diperoleh persamaan:

$$y = 0,007x + 0,0013 \quad (1)$$

pada saat $s = 0$, $t = t_0$ sehingga:

$$s = 0,007 (\log t/t^2)_0 + 0,0013 \quad (2)$$

sedangkan untuk menentukan transmisivitas:

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi \Delta s} \quad (3)$$

Dari nilai T yang diperhitungkan maka dapat dicari nilai storativitas (S):

$$S = \frac{2,25 \times T \times t_0}{r^2} \quad (4)$$

Berdasarkan perhitungan diatas dengan menggunakan nilai Q (debit air), waktu penurunan air (t) dan penurunan air muka ier

dapat diketahui nilai Transmisivitas (T) sebesar 971,901 m²/hari dan nilai storativitas 0,3 dengan nilai ini dapat dikategorikan akuifer pada lokasi penelitian adalah akuifer bebas atau terhubung dengan pori-pori berbeda pada setiap batuan nya terlihat dari pemulihan air muka tanah nya selama 21,09 menit dan batuan penyusun nya sebagian memiliki pori-pori yang kecil seperti pada Tabel 1 dimana nilai Resistivitas nya 800-1097 Ωm.

Analisis Uji pH dan Kualitas Air

Air normal memiliki pH berkisar 6,5-8,5 nilai TDS 0-500 dan kekeruhan 0-5, terlihat seperti pada tabel berikut nilai pH, TDS dan kekeruhan berdasarkan jarak terhadap limbah pembuangan.

Tabel 2. Nilai kadar pH.

Jarak sampel terhadap limbah (m)	pH
5	4,41
10	5,03
15	5,31
20	5,89

Tabel 3. Nilai TDS.

Jarak sampel terhadap limbah (m)	TDS
5	73
10	47
15	13
20	14

Tabel 4. Nilai Kekeruhan.

Jarak sampel terhadap limbah (m)	Kekeruhan
5	1,97
10	1,51
15	0,57
20	0,49

Berdasarkan nilai pH yang didapat jarak sumur terhadap pembuangan sangat mempengaruhi nilai keasaman, TDS dan kekeruhan suatu air tanah. Dimana air tanah pada daerah penelitian ini bersifat asam, nilai TDS yang tinggi dan kekeruhan yang tinggi, selain jarak nya yang dekat dengan limbah

pengaruh dari partikel penyusun suatu lapisan tanah cukup berpengaruh adanya padatan terlarut seperti kalsium, magnesium, garam karbonat, sulfat dan ion lainnya serta adanya lahan warga yang dekat dengan sumur karena penggunaan pupuk yang berlebihan. Oleh karena itu perlu adanya perlakuan khusus untuk menetralkan kadar pH, TDS, Kekeruhan sehingga air dapat dikonsumsi

Berdasarkan nilai pH, TDS, dan kekeruhan diatas dapat dikategorikan akuifer pada daerah penelitian ini akuifer bebas atau terhubung ditinjau dari nilai nya, yaitu semakin tinggi nilai suatu keasaman dan kekeruhan air maka semakin tinggi nilai Resistansinya, sebaliknya semakin tinggi nilai TDS maka semakin rendah pula nilai Resistansinya [9, 10].

KESIMPULAN

Nilai resistivitas untuk lintasan sepanjang 90 m berkisar antara 114-1200 Ω m dengan kedalaman mencapai 35 m dan RMS 12,01% dengan perkiraan berlitologi batuan pasir, kerikil dan batuan beku. Untuk uji pemompaan metode Cooper-Jacobs akuifer diperkirakan akuifer bebas atau terhubung dengan pori pori tertentu berdasarkan lapisan penyusunnya dan daerah Tangkerang Labuai cocok digunakan sebagai daerah pembangunan dan pertumbuhan industri dilihat dari nilai transmisivitasnya yaitu sebesar 971,901 m²/hari dan nilai Storitivitas sebesar 0,03. Ditinjau dari nilai pH, TDS, dan kekeruhan yang diperoleh dari uji air tanah terhadap jarak pembuangan limbah dapat dikatakan bahwa air pada daerah penelitian ini dapat dikonsumsi tetapi tidak layak dikonsumsi merujuk pada peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Tahun 2010.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan termakasih ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud), Lembaga Pendidikan dan Pengabdian

Masyarakat (LPPM), Universitas Riau dan Orang Tua Penulis yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

1. Bouwer, H., & Bouwer, H. (1978). *Groundwater hydrology* (Vol. 480). New York: McGraw-Hill.
2. Juandi, J. (2008). Analisis Air Bawah Tanah dengan Metode Geolistrik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 2(2), 48-54.
3. Maliva, R. G. (2016). *Aquifer characterization techniques* (Vol. 10). Berlin: Springer.
4. Kasenow, M. (2001). *Applied groundwater hydrology and well hydraulics*. Water Resources Publication.
5. Wijaya, A. S. (2015). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55).
6. Bisri, M. (1991). Aliran Air Tanah. Malang. *Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*.
7. Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
8. Rega, A., & Malik, U. Penggunaan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger untuk Mengetahui Lapisan Struktur Litologi Bawah Tanah di Taman Ilmu Universitas Riau. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 19(1), 35-38.
9. Riputra, B. Y., & Malik, U. (2021). survei sumber air panas dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner (Studi kasus: Wisata air panas Pawan, Pasirpangaraian). *Komunikasi Fisika Indonesia*, 18(2), 146-150.
10. Menteri Kesehatan. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.



Artikel ini menggunakan lisensi [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

PENGARUH DOPING MANGAN TERHADAP KOMPOSISI DAN SIFAT KRISTALINITAS PARTIKEL OKSIDA BESI PASIR ALAM SUNGAI ROKAN DIPREPARASI DENGAN METODE *BALL MILLING*

Rahman Kurniawan*, Salomo, Erwin, Defrianto

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: rahman.kurniawan3874@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The composition, crystallinity and magnetic susceptibility of nanoparticles in natural sand of the Rokan River, Riau Province have been investigated. After the iron sand separator (ISS) process, the natural sand samples were separated using NdFeB magnets to separate iron oxide particles and other non-ferrous oxides. For 70 hours, the NdFeB product was prepared using the ball milling method to produce BM products. The BM products were ball milled for 30 hours with a manganese doping concentration of 0 wt.%; 5 wt.%, and 10 wt.% produced DM 0, DM 5 and DM 10 products. Magnetic susceptibility values increased based on the values of B_0 and B_T measured using Pasco Magnetic Probe PS-2162. The results of XRD analysis of DM products contain a hematite phase (α -Fe₂O₃) which has a hexagonal structure. The crystal size increased along with the increasing concentration of Manganese from 25.494 nm; 25,542 nm to 25.669 nm. The results of XRF analysis of DM products on Fe elements decreased in percentage with increasing Manganese concentration from 18.083%; 15.407% to 12.947%. Other chemical elements such as Si, Al, K, P, Ti, Ca, Ti, Cr, Zn, V and Pb also decreased.

Keywords: Natural Sand, Ball Milling, Doping, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF).

ABSTRAK

Penelitian mengenai komposisi, sifat kristalinitas serta suseptibilitas magnetik nanopartikel pada pasir alam Sungai Rokan, Provinsi Riau. Setelah dilakukan proses iron sand separator (ISS), sampel pasir alam dipisahkan kembali menggunakan magnet NdFeB untuk memisahkan partikel oksida besi dan non-oksida besi lainnya. Selama 70 jam produk NdFeB dilakukan proses preparasi dengan metode ball milling menghasilkan produk BM. Produk BM di ball milling kembali selama 30 jam dengan konsentrasi doping mangan yang diberikan 0 wt.%; 5 wt.%, dan 10 wt.% menghasilkan produk DM 0, DM 5 serta DM 10. Nilai suseptibilitas magnetik mengalami peningkatan berdasarkan nilai dari B_0 dan B_T yang diukur menggunakan Pasco Magnetik Probe PS-2162. Hasil analisis XRD produk DM mengandung fasa hematite (α -Fe₂O₃) yang memiliki struktur hexagonal. Ukuran kristal mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi Mangan dari 25,494 nm; 25,542 nm menjadi 25,669 nm. Hasil analisis XRF produk DM pada unsur Fe mengalami penurunan persentase dengan meningkatnya konsentrasi Mangan dari 18,083%; 15,407% menjadi 12,947%. Unsur lain seperti Si, Al, K, P, Ti, Ca, Ti, Cr, Zn, V dan Pb juga mengalami penurunan.

Kata kunci: Pasir Alam, Ball Milling, Doping, Difraksi Sinar-X (XRD), Fluoresensi Sinar-X (XRF).

Diterima 05-07-2022 | Disetujui 18-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Kekayaan alam Indonesia salah satunya yaitu mineral magnetik banyak terdapat dipasir alam. Pasir yang terdapat bahan mineral

magnetik ini disebut pasir besi yang dijumpai di daerah sungai, pantai dan gunung [1].

Saat ini dalam kehidupan sehari-hari, pasir besi banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku bangunan atau bahan campuran semen. Pemanfaatan tersebut kurang optimal, dimana

mineral magnetik yang terkandung pada pasir besi sangat berpotensi untuk diaplikasikan lebih luas [2]. Mineral magnetik pasir besi antara lain magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang dalam skala nanometer dapat dimanfaatkan lebih luas di berbagai bidang [3].

Penelitian ini menggunakan metode berupa ball milling untuk mensintesis nanopartikel $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, yaitu salah satu metode sederhana untuk menghancurkan dan mengurangi ukuran partikel dalam sebuah tabung yang berputar dengan menggunakan bola yang terbuat dari bahan keramik maupun besi. Adanya tumbukan antara konsentrat pasir alam dengan bola-bola besi dalam *ball milling* menyebabkan perpecahan konsentrat yang menjadi ukuran yang lebih kecil hingga mencapai ukuran nanometer (nm) [4].

Dalam ukuran nanometer, sifat magnetik dan struktur kristal hematit sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, tingkat kristalinitas dan doping. Doping ion logam terhadap $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dapat meningkatkan sifat magnetik dan akan memperbaiki kinerja aplikasi yang ada [5]. Metode doping bertujuan untuk memodifikasi sifat magnetik dari nanopartikel oksida dengan menggunakan logam transisi seperti cobalt, nikel, tembaga, mangan dan lain-lain [6].

Mangan (Mn) bersifat sebagai logam transisi pada doping dalam Fe_2O_3 . Doping Mn yang digunakan dalam pasir besi yaitu Mn^{2+} (127 pm) dengan jari-jari atomnya hampir sama dengan Fe (26 pm). Semakin tinggi konsentrasi Mn maka atom Fe akan tersubstitusi oleh atom Mn yang menyebabkan terjadinya kekerasan sehingga ukuran kristal meningkat [7].

Proses preparasi *ball milling* dimulai dari sampel dimasukkan kedalam sebuah tabung berisi beberapa bola yang terus bergerak dan berputar secara terus menerus. Terjadinya pertumukan terhadap antar bola dan sampel menyebabkan partikel sampel tersebut akan pecah menjadi ukuran yang lebih kecil [8-10].

Penelitian ini menggunakan pasir alam Sungai Rokan Provinsi Riau. Sampel disintesis menggunakan metode *ball milling* dan dikarakterisasi menggunakan uji *X-ray*

fluorescence (XRF) untuk mengetahui pengaruh doping terhadap komposisi mineral magnetik serta uji difraksi *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui pengaruh doping terhadap sifat kristalinitas partikel magnetik.

METODE PENELITIAN

Sampel penelitian berasal dari Sungai Rokan Provinsi Riau berupa pasir alam dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari. Pengeringan sampel ini bertujuan agar pasir tidak mengandung air sehingga mempermudah dalam proses pemisahan partikel magnetik dan nonmagnetik.

Sampel yang telah melalui proses pengeringan dan penimbangan tersebut dilakukan proses *iron sand separator* (ISS) untuk memisahkan oksida besi dengan non oksida besi dengan satu kali pemisahan menggunakan kecepatan belt sekitar 0.9 cm/s dan frekuensi penabur adalah 2 Hz. Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan sampel sedikit demi sedikit ke dalam penabur ISS. Produk ISS dipisahkan kembali menggunakan magnet kuat NdFeB (*Neodymium Iron Boron*).

Produk NdFeB dipreparasi dengan metode *ball milling* dengan kecepatan 100 rpm selama 70 jam. Produk BM didapatkan dari hasil pemisahan lanjutan dengan menggunakan magnet NdFeB yang telah di *ball milling*.

Produk BM didoping unsur Mn dengan konsentrasi 0 wt.%; 5 wt.% dan 10 wt.%. Selanjutnya masing-masing produk di *ball milling* dengan waktu 30 jam menggunakan variasi bola besi berdiameter 2 cm (16 bola) dan 0,7 cm (40 bola). Kemudian hasil dari Doping ini dinamakan produk DM 0, DM 5 dan DM 10.

Nilai induksi magnetik didapatkan dengan menggunakan solenoid tanpa inti 2500 lilitan berdiameter 0,03 m dengan panjang 0,1 m dan sensor Probe Magnetik Pasco PS-2162. Sensor magnetik ini terhubung ke komputer yang kemudian direkam oleh *software* data studio. Jarak 1 mm dijaga konstan antara solenoid dengan sensor Probe Pasco PS-2162 dengan variasi arus diuji yaitu 0,2 A; 0,4 A; 0,6 A; 0,8

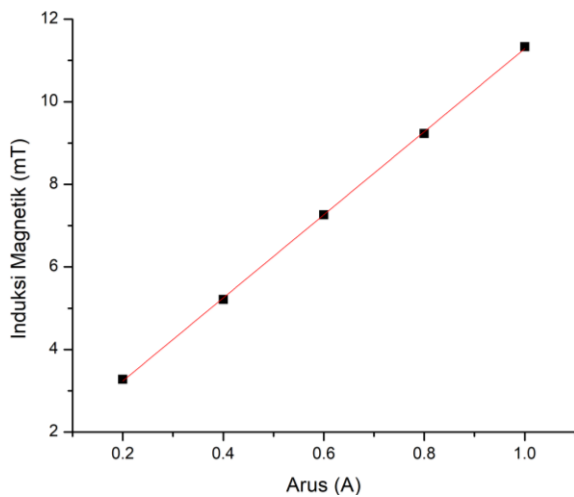
A; dan 1 A. Nilai suseptibilitas magnetik χ_m dapat ditentukan dari selisih nilai B_T dan B_0 , kemudian dibagi B_0 .

Selanjutnya produk DM 0, DM 5, dan DM 10 dianalisis sifat kiralinitas dan komposisi menggunakan XRD dan XRF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Induksi Magnetik

Hasil pengukuran nilai induksi magnetik solenoid tanpa inti (B_0) dengan variasi arus listrik ditampilkan oleh Gambar 1.

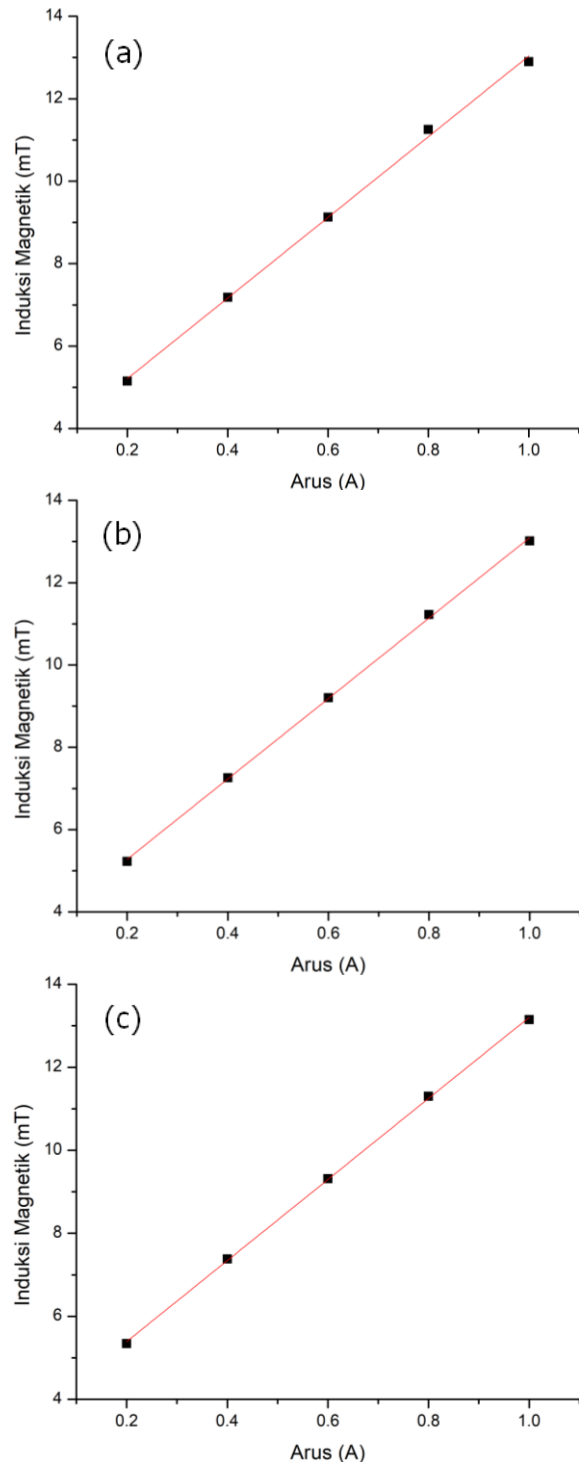


Gambar 1. Grafik induksi magnetik solenoid tanpa inti (B_0) dengan variasi arus listrik.

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa adanya peningkatan nilai induksi magnetik seiring dengan bertambahnya arus listrik yang diberikan. Pada arus listrik 0,2 A didapatkan nilai induksi magnetik tanpa inti sebesar 3,277 mT dan pada arus listrik 1 A mengalami peningkatan nilai induksi magnetik sebesar 11,332 mT. Hasil pengukuran B_t dengan inti produk doping mangan (DM 0, DM 5, dan DM 10) dengan variasi arus listrik seperti yang terlihat pada Gambar 2.

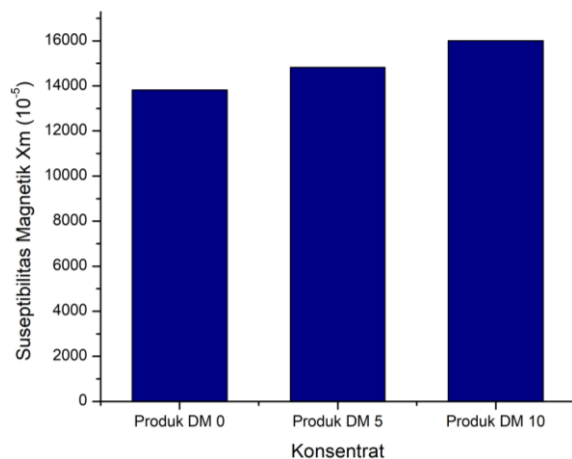
Berdasarkan Gambar 2 produk DM 0, DM 5, dan DM 10 nilai induksi magnetik meningkat disebabkan adanya pengaruh dari penambahan konsentrasi unsur Mangan pada proses *ball milling*. Konsentrasi unsur mangan pada produk DM 0 sebesar 0 wt.%; produk DM 5 sebesar 5 wt.% dan produk DM 10 sebesar 10 wt.%.

Semakin tinggi konsentrasi unsur mangan yang diberikan pada proses *ball milling* maka akan mempengaruhi sifat kemagnetan dan semakin tinggi juga nilai induksi magnetiknya karena mangan merupakan unsur yang memiliki sifat hampir mirip dengan ferromagnetik.



Gambar 2. Grafik induksi magnetik produk doping mangan dengan variasi arus listrik produk (a) DM 0, (b) DM 5, dan (c) DM 10.

Suseptibilitas Magnetik



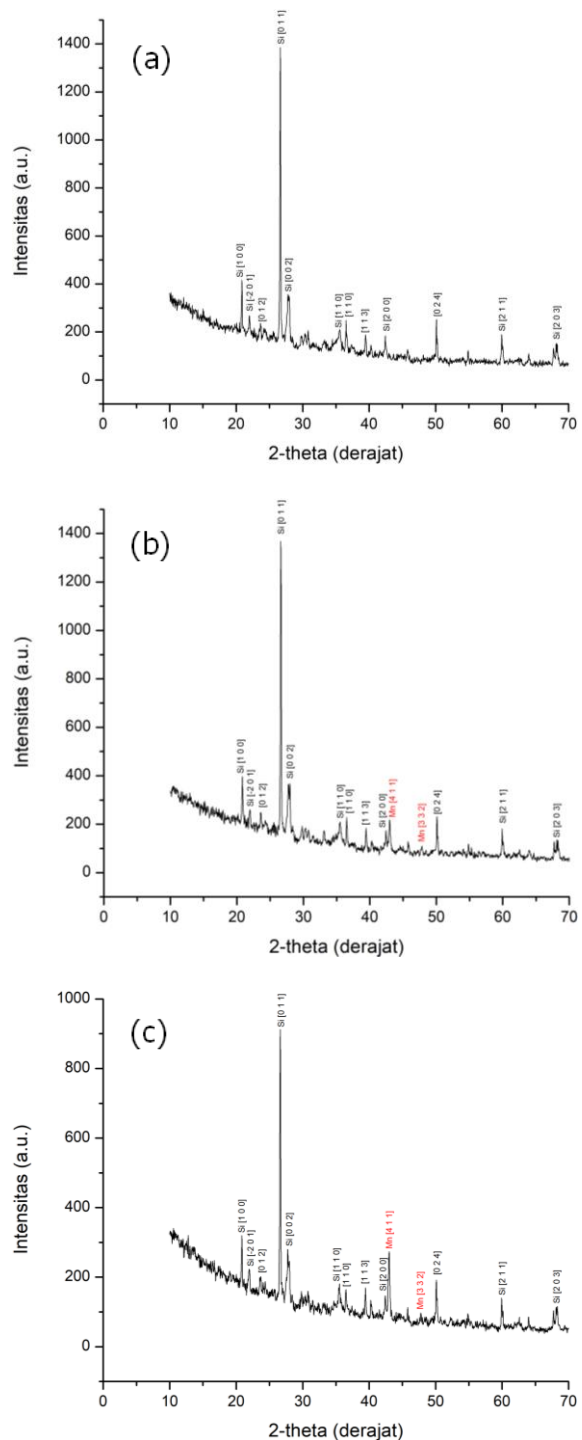
Gambar 3. Grafik nilai suseptibilitas magnetik χ_m pada produk DM 0, DM 5, dan DM 10.

Pada Gambar 3 menunjukkan produk DM 0, DM 5, dan DM 10 nilai suseptibilitas magnetik meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi mangan (Mn). Hal ini dikarenakan Mn merupakan bahan yang mendekati ferromagnetik dengan momen magnetiknya cukup besar sehingga terjadinya superposisi yang disebabkan karena meningkatnya nilai induksi magnetik solenoid yang dapat mempengaruhi nilai suseptibilitas magnetik pada partikel magnetik Mn dan Fe.

Analisis Data Hasil XRD

Analisis XRD dari produk DM 0, DM 5, dan DM 10 dilihat pada pola difraksi. Berdasarkan Gambar 4 didapatkan 12 puncak dominan pola difraksi dengan fasa magnetik yang sama berupa hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan struktur kristal hexagonal dan Silikon Dioksida (SiO_2) dengan struktur kristal hexagonal. Munculnya puncak-puncak kristal SiO_2 pada pola difraksi menunjukkan ketidakberhasilan proses *ball milling* dalam memisahkan partikel magnetik dengan senyawa pengotor lainnya, hal ini juga dikonfirmasi oleh data XRF.

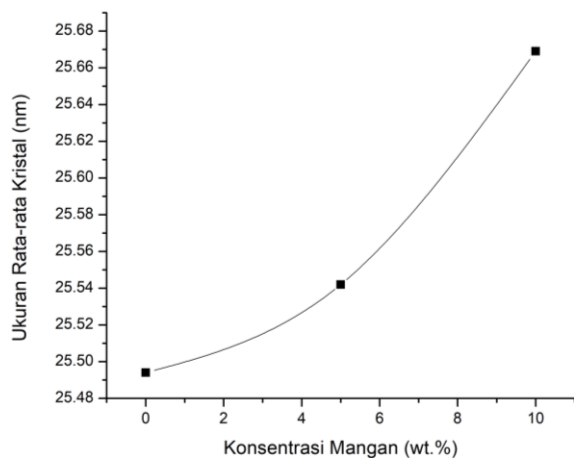
Pada pola difraksi DM 5 dan DM 10 muncul dua sudut pola difraksi. Sudut pola difraksi yang muncul pada DM 5 pada sudut $43,032^\circ$ dan $47,84^\circ$; sedangkan DM 10 pada sudut $43,016^\circ$ dan $47,882^\circ$ yang diidentifikasi sebagai puncak Mn dengan struktur kristal kubik.



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X produk (a) DM 0, (b) DM 5, dan (c) DM 10.

Pergeseran sudut puncak dominan tertinggi produk DM 0 bergeser ke arah kiri pada produk DM 5 dari sudut $26,625^\circ$ menjadi $26,606^\circ$. Kemudian sudut puncak difraksi (2θ) produk DM 10 juga mengalami pergeseran ke arah kiri menjadi $26,601^\circ$. Pergeseran ini disebabkan adanya keberhasilan penggabungan nanopartikel Mn dengan magnetik Fe. Dengan

adanya pergeseran sudut (2θ) mengakibatkan terjadinya perubahan parameter kisi yang dipengaruhi oleh perubahan jarak antar bidang (d_{hkl}), hal ini sesuai dengan hukum *Bragg*.



Gambar 5. Ukuran rata-rata kristal sebagai fungsi konsentrasi Mangan (Mn).

Berdasarkan Gambar 5 ukuran rata-rata kristal terhadap penambahan konsentrasi doping Mn mengalami peningkatan. Dimana pada produk DM 0 (0 wt.%) ukuran rata-rata kristal sebesar 25,494 nm mengalami peningkatan pada produk DM 5 (5 wt.%) menjadi 25,542 nm dan pada produk DM 10 (10 wt.%) juga mengalami peningkatan ukuran rata-rata kristal sebesar 25,669 nm. Hal ini disebabkan karena sebagian doping Mn dapat mengaktifasi pertumbuhan ukuran kristal dan sisanya akan tersegregasi dibatas partikel. Tersubstitusinya Mn terhadap Fe dimana jari jari atom Mn yang lebih besar dari Fe dimana Mn menggantikan Fe yang menyebabkan meningkatnya parameter kisi kristal.

Analisis Data Hasil XRF

Identifikasi komposisi pasir alam Sungai Rokan menggunakan XRF yang bertujuan untuk mengetahui elemen dan persentase yang terkandung pada produk DM 0 (0 wt.%), DM 5 (5 wt.%) dan DM 10 (10 wt.%).

Pada Tabel 1 menampilkan beberapa elemen yang merupakan elemen oksida besi dan non oksida besi. Elemen yang tergolong kedalam elemenmagnetik antara lain Al, Ti, K, Mn, V, Ag, Fe, dan Ni. Sedangkan elemen yang

tergolong kedalam elemen non-magnetik antara lain Si, P, Ca, Cr, Zn, dan Pb. Pada Tabel tersebut juga menunjukkan perubahan persentase komposisi pada setiap elemen yang mengalami peningkatan dan penurunan pada produk doping Mn 0 wt.%; 5 wt.% dan 10 wt.%.

Tabel 1. Data Identifikasi produk doping Mn pasir alam Sungai Rokan.

Elemen	Konsentrasi Mn 0 wt.%	Konsentrasi Mn 5 wt.%	Konsentrasi Mn 10 wt.%
Al	13,304	12,438	12,048
Si	53,991	50,878	47,709
P	1,036	0,935	0,886
K	2,929	2,513	2,214
Ca	7,443	5,704	5,207
Ti	1,697	1,655	1,482
V	0,046	0,047	0,039
Cr	0,049	0,035	0,024
Mn	0,285	9,305	16,428
Fe	18,083	15,407	12,947
Ni	0,012	0,013	0,014
Zn	0,041	0,035	0,031
Ag	0,617	0,777	0,829
Pb	0,014	0,01	0,007
Elemen lain	0,453	0,238	0,135

Elemen Fe pada produk doping mengalami penurunan persentase dari 18,083%; 15,407% menjadi 12,947%. Elemen lainnya juga mengalami penurunan persentase yaitu Si, Al, K, P, Ti, Ca, Ti, Cr, Zn, V dan Pb. Sedangkan elemen Mn, Ni, dan Ag mengalami peningkatan persentase, dimana pada konsentrasi Mn 0 wt.% persentase elemen Mn sebesar 0,285%; sedangkan pada konsentrasi Mn 5 wt.% dan 10 wt.% persentase elemen Mn mengalami peningkatan berturut-turut 9,305% dan 16,428%. Hal ini disebabkan karena pendopingan Mn dapat meningkatkan persentase elemen Mn dalam sampel nanopartikel oksida besi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data XRD menunjukkan produk doping memiliki fasa magnetik berupa hematite (α -Fe₂O₃) dengan struktur kristal hexagonal dan fasa Silikon Dioksida (SiO₂) dengan struktur kristal hexagonal serta mangan (Mn) dengan struktur kristal kubik yang membuktikan ketidakmurnian produk serta

keberhasilan substitusi nanopartikel Mn terhadap partikel magnetik Fe. Ukuran rata-rata kristal mengalami peningkatan dari 25,494 nm; 25,542 nm menjadi 25,669 nm disebabkan karena mangan dapat mengaktivasi pertumbuhan ukuran kristal. Dan hasil data XRF menunjukkan adanya penurunan kandungan elemen Fe seiring meningkatnya konsentrasi doping mangan yang diberikan dari 18,083% menjadi 12,947%. Sedangkan elemen Mn mengalami peningkatan dari 0,285% menjadi 16,428% disebabkan karena pendopingan mangan dapat meningkatkan persentase elemen Mn dalam sampel nanopartikel oksida besi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud), Lembaga Pendidikan dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Riau dan Orang Tua Penulis yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

1. Shindharatna, S. D. (2015). *Analisis suseptibilitas magnetik sedimen Sungai Metro Kota Malang sebagai indikator pencemaran*. Doctoral dissertation, Universitas Negeri Malang.
2. Anggraini, M. S., Ramli, R., & Hidayati, H. (2017). Pengaruh waktu milling terhadap struktur kristal magnetit (Fe_3O_4) berbahan mineral vulkanik dari Gunung Marapi Sumatera Barat. *Pillar of Physics*, **10**(1), 47-54.
3. Teja, A. S., & Koh, P. Y. (2009). Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. *Progress in crystal growth and characterization of materials*, **55**(1-2), 22-45.
4. Wang, Z., Liu, Y., & Zeng, X. (2006). One-step synthesis of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles by laser ablation. *Powder technology*, **161**(1), 65-68.
5. Gandha, K., Mohapatra, J., Poudyal, N., Elkins, K., & Liu, J. P. (2017). Enhanced coercivity in Co-doped $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ cubic nanocrystal assemblies prepared via a magnetic field-assisted hydrothermal synthesis. *AIP Advances*, **7**(5), 056324.
6. Malviya, K. D., Dotan, H., Shlenkevich, D., Tsyganok, A., Mor, H., & Rothschild, A. (2016). Systematic comparison of different dopants in thin film hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) photoanodes for solar water splitting. *Journal of Materials Chemistry A*, **4**(8), 3091-3099.
7. Syafiudin, I. (2016). *Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Paduan Fe-17Cr-Xmn Melalui Metode Peleburan*. Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
8. Djaprie, S., Hardani, H. W., Simarmata, S. L., Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (2000). *Metalurgi Fisik Modern Dan Rekayasa Material Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga.
9. Sinuraya, S., Amiruddin, E., Nurrohmah, D., & Wulandari, T. (2021). Analisa Perubahan Suseptibilitas Magnetik dan Komposisi Partikel Pasir Alam Sungai Rokan sebagai Fungsi Kecepatan Putar Tabung Ball Milling. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(3), 225-229.
10. Alisna, S., & Sinuraya, S. (2021). Pemetaan Suseptibilitas Magnetik dan Penentuan Kandungan Logam pada Air Gambut di Kelurahan Tuah Madani Kecamatan Tampan Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 12-17.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

POTENSI DAUN JAHE MERAH SEBAGAI BAHAN DASAR PEMBUATAN ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Erman Taer^{1*}, Juwita Ade Putri¹, Novi Yanti¹, Apriwandi¹, Rika Taslim²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

²Jurusan Teknik Industri FST Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim

*E-mail korespondensi: erman.taer@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Red ginger leaf waste (*Zingiber Officinale Var Rubrum*) has been successfully processed as an active carbon base material for supercapacitor electrodes. The process of making carbon electrodes starts from the preparation of the original material, drying, refining, chemical activation, integrated pyrolysis and neutralization. The focus of this research is on the chemical activator $ZnCl_2$ which is used with different concentrations of (0.1 and 0.5) M. Activated carbon powder is printed using a press to produce carbon in the form of solid coins of uniform size. The optimization of the carbon element in the sample is carried out through a pyrolysis process at high temperature with a one-stage integrated technique. Where, carbonization in the N_2 gas environment is carried out starting from room temperature $30^\circ C$ up to $600^\circ C$ followed by physical activation until the high temperature reaches $800^\circ C$ in CO_2 gas environment. Characterization of activated carbon samples from red ginger leaves begins with determining the amount of shrinkage that occurs in the pyrolysis process by measuring the mass, diameter and thickness of the carbon coins. Furthermore, the electrochemical properties were tested using two methods, namely cyclic voltammetry (CV) and galvanostatic charge-discharge (GCD) in a symmetrical two-electrode system. The electrochemical characterization was carried out under the influence of an aqueous electrolyte of 1M KOH and 1M Na_2SO_4 at a low potential window of 0-1 V. The optimum conditions of electrochemical properties were found in the red ginger leaf activated carbon sample with a $ZnCl_2$ activator concentration of 0.5M for the electrolyte. KOH with a specific capacitance value of 115.9 F/g. while for electrolyte Na_2SO_4 found in $ZnCl_2$ activator 0.1M with a value of 72 F/g. Through these results, red ginger leaves are known to have great potential as a base material for activated carbon electrodes to improve the performance of supercapacitors.

Keywords: Red Ginger Leaf, Supercapacitor, Carbon Electrode, Specific Capacitance.

ABSTRAK

Limbah daun jahe merah (*Zingiber Officinale Var Rubrum*) telah berhasil diolah sebagai bahan dasar karbon aktif untuk elektroda superkapasitor. Proses pembuatan elektroda karbon dimulai dari tahap persiapan bahan asal, pengeringan, penghalusan, aktivasi kimia, pirolisis terintegrasi dan penetralan. Fokus penelitian ini terikat pada aktivator kimia $ZnCl_2$ yang digunakan dengan perbedaan konsentrasi (0,1 dan 0,5) M. Serbuk karbon teraktivasi dicetak menggunakan alat pengepress untuk menghasilkan karbon berupa kepingan koin padat dengan ukuran yang seragam. Optimalisasi unsur karbon pada sampel dilakukan melalui proses pirolisis pada suhu tinggi dengan teknik terintegrasi satu tahap. Dimana, karbonisasi dalam lingkungan gas N_2 dilakukan mulai dari suhu ruang $30^\circ C$ hingga mencapai $600^\circ C$ yang dilanjutkan dengan aktivasi fisika hingga suhu tinggi mencapai $800^\circ C$ dalam lingkungan gas CO_2 . Karakterisasi sampel karbon aktif daun jahe merah dimulai dengan penentuan besar penyusutan yang terjadi pada proses pirolisis melalui pengukuran massa, diameter dan ketebalan koin karbon. Selanjutnya, sifat elektrokimia diuji menggunakan dua metode yaitu siklik voltametri (CV) dan galvanostatik charge-discharge (GCD) dalam sistem dua elektroda simetris. Karakterisasi sifat elektrokimia ini dilakukan di dalam pengaruh elektrolit berair KOH 1M dan Na_2SO_4 1M pada jendela potensial rendah yaitu 0-1 V. Kondisi optimum dari sifat elektrokimia ditemukan pada sampel karbon aktif daun jahe merah dengan konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ 0,5M untuk elektrolit KOH dengan nilai kapasitansi spesifik 115,9 F/g. sedangkan untuk elektrolit Na_2SO_4 ditemukan pada aktivator $ZnCl_2$ 0,1M dengan nilai 72 F/g. Melalui hasil ini daun jahe merah diketahui memiliki potensi besar sebagai bahan dasar elektroda karbon aktif untuk meningkatkan kinerja dari superkapasitor.

Kata kunci: Daun Jahe Merah, Superkapasitor, Elektroda Karbon, Kapasitansi Spesifik.

Diterima 13-07-2022 | Disetujui 23-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Perkembangan industri dan teknologi modern meningkatkan kebutuhan energi listrik yang diiringi pertumbuhan jumlah penduduk juga perkembangan di bidang industri, dan teknologi informasi bersamaan dengan globalisasi. Berdasarkan ketersediannya sumber energi diklasifikasikan menjadi dua yaitu energi terbarukan (*renewable energy*) dan energi tak terbarukan (*nonrenewable energy*). Energi yang tidak dapat diperbaharui terutama fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara yang dapat menyebabkan kelangkaan. Permasalahan ini diatasi dengan mencari sumber energi untuk dikembangkan sebagai energi alternatif seperti cahaya matahari, angin, air, ombak laut dan biomassa. Namun, pada kenyataannya pemanfaatan sumber-sumber energi tersebut masih belum maksimal.

Pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi sangat tergantung pada teknologi dan cara konversinya. Laptop dan handphone merupakan contoh perkembangan teknologi yang membutuhkan baterai sebagai penyimpan energi. Namun, baterai memiliki kelemahan dalam menyimpan energi karena rapat daya kecil dan waktu penyimpanan energi cukup lama. Karena itu, dibutuhkan penyimpanan energi dengan kapasitas besar dengan rapat energi dan rapat daya tinggi dan waktu penyimpanan singkat untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang dikenal dengan superkapasitor.

Superkapasitor adalah piranti penyimpan energi listrik dengan kapasitas penyimpanan diantara kapasitor dan baterai. Superkapasitor memiliki kerapatan daya lebih tinggi, waktu pengisian singkat, siklus hidup lebih panjang, serta dapat menyimpan muatan per kubik 10^6 lebih besar dari kapasitor biasa. Superkapasitor disebut juga sebagai kapasitor elektrokimia lapis ganda listrik (*electrochemical double layer capacitors*, EDLC) karena terdiri dari dua elektroda karbon sejenis. Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pemisah (separator), dan pengumpul arus.

Superkapasitor dapat dibuat dari biomassa karena terdiri dari komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi tinggi sebagai sumber karbon. Keuntungan superkapasitor berbasis biomassa yaitu dapat menghasilkan struktur pori alami, dan mudah diperoleh karena keseterdaan melimpah. Pembuatan elektroda dimulai dengan pengolahan biomassa menjadi karbon, dan proses aktivasi. Karbon aktif dari biomassa mempunyai luas permukaan spesifik mencapai $2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Proses aktivasi dilakukan menggunakan nitrogen, oksigen, karbon dioksida, dan air untuk menghilangkan unsur selain karbon dan pembentukan struktur pori untuk meningkatkan luas permukaan spesifik elektroda [1]. Karbon aktif yang terdiri dari senyawa amorf yang dapat mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu, tergantung besar volume pori dan luas permukaannya. Karena itu, daya serap karbon aktif juga sangat besar [2]. Bahan baku karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik dari tumbuhan, binatang, atau barang tambang. Karbon aktif dapat dipergunakan untuk berbagai industri, seperti bidang medis, pangan, penjernihan air dan lain-lain. Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi, dan kimia [3]. Proses pembuatan karbon aktif sebagai material elektroda untuk superkapasitor dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi.

Telah banyak dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif menggunakan biomassa berbeda seperti batang ubi kayu muda [4], kulit durian [5], pelepah kelapa sawit [6], dan tandan kosong kelapa sawit [7]. Penelitian ini menggunakan bahan dasar daun jahe merah sebagai material elektroda. Karena memiliki kandungan karbon dari senyawa kimia hemiselulosa selulosa yang tinggi, dan komponen atsiri. Secara morfologi jahe merah tersusun atas akar, batang, bunga, dan daun. Rimpang jahe merah digunakan sebagai obat tradisional oleh masyarakat Indonesia karena memiliki komponen atsiri paling tinggi sekitar 2,58-3,90% dan oleoresin 3%. Menurut

penelitian Hemani dan Haryani (2011), jahe merah mempunyai kandungan pati sebanyak 52,9% [8]. Berdasarkan kandungannya ini, jahe merah diharapkan mampu menghasilkan karbon aktif berpori dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Selain itu daun jahe merah belum pernah diteliti sebagai bahan dasar elektroda. Penelitian ini fokus pada perbedaan konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ 0,1M dan 0,5M serta perbedaan elektrolit 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 . Perbedaan ini diharapkan menghasilkan pengaruh pada kinerja superkapasitor. Pembuatan karbon aktif dengan menggunakan limbah daun jahe merah diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan serta menambah nilai guna dari daun jahe merah.

METODE PENELITIAN

Pengolahan limbah biomassa daun jahe merah menjadi karbon aktif berpori sebagai elektroda pada sel superkapasitor dilakukan dengan beberapa tahapan. Ruang lingkup penelitian ini adalah sintesis material karbon nanoteknologi. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah daun jahe merah sebagai material dasar karbon, $ZnCl_2$ 0,1M dan 0,5M sebagai bahan pengaktif kimia, H_2SO_4 1M dan KOH 1M sebagai sumber larutan elektrolit, aquades sebagai agen penetral. Adapun alat penting yang digunakan adalah oven, mortar, ballmilling, ayak, seperangkat *hot plate*, *hydraulic press*, dan *furnace*.

Bahan dasar limbah daun jahe merah yang dikumpulkan dari perkebunan masyarakat daerah Rengat Kabupaten Indragiri Hulu, Riau. Sebanyak 3 kg sampel dipotong hingga ukuran 3-5 cm untuk mempermudah proses pengeringan. Pengeringan dilakukan di bawah sinar matahari selama 3 hari, dilanjutkan menggunakan oven pada suhu $110^\circ C$ selama 48 jam untuk mengurangi kadar air pada sampel. Pengeringan dilakukan hingga susut massa di bawah $\leq 6\%$. Selanjutnya, prakarbonisasi dilakukan pada rentang suhu $50-250^\circ C$ selama 2,5 jam menggunakan oven vakum. Prakarbonisasi dilakukan dengan cara menyiapkan sampel sebanyak 30 gram,

kemudian dimasukkan kedalam tabung *stainless steel*. Suhu awal oven diatur $50^\circ C$, setiap 30 menit suhu dinaikan sebesar $50^\circ C$ hingga suhu $250^\circ C$. Proses ini mengubah sampel menjadi lebih rapuh dan berwarna cokelat kehitaman. Selanjutnya, sampel dihaluskan menggunakan mortar dengan cara menumbuk sampel secara langsung untuk menghasilkan sampel dalam skala millimeter. Sampel dihaluskan kembali menggunakan *ballmilling* untuk menghasilkan partikel dalam ukuran mikro. Prinsip kerja *ball milling* yaitu memanfaatkan pertumbukan antar bola baja di dalam tabung vakum selama 20 jam. Setelah sampel daun jahe merah selesai di *ball milling*, sampel tadi di ayak menggunakan ayakan $60 \mu m$. Proses pengayakan dilakukan dengan bantuan kuas untuk mempermudah meloloskan sampel. Pengayakan ini bertujuan agar mendapatkan sampel dengan partikel karbon $\leq 60 \mu m$. Selanjutnya, sampel diaktivasi menggunakan penambahan bahan kimia $ZnCl_2$ 0,1M dan 0,5M untuk melihat pengaruh dari aktivator terhadap kapasitas elektroda. Proses aktivasi kimia dilakukan pada suhu konstan $80^\circ C$ dengan kecepatan pengadukan 300 rpm untuk menghomogenkan sampel. Sampel dicetak menggunakan alat pengepress dengan massa penekanan hingga 8 ton untuk memadatkan karbon. Proses pirolisis karbon daun jahe merah dilakukan dalam sistem terintegrasi satu langkah. Dimana, karbonisasi dimulai dari suhu ruang hingga $600^\circ C$ dengan serapan gas N_2 dilanjutkan dengan aktivasi fisika hingga suhu $800^\circ C$ dalam pengaruh gas CO_2 . Selanjutnya, sampel dinetralkan menggunakan metode perendaman dalam 1 L air suling. Setelah itu sampel dikeringkan kembali di dalam oven suhu konstan $110^\circ C$ selama 2 hari. Sampel koin karbon kering di poles untuk dikarakterisasi sifat elektrokimianya.

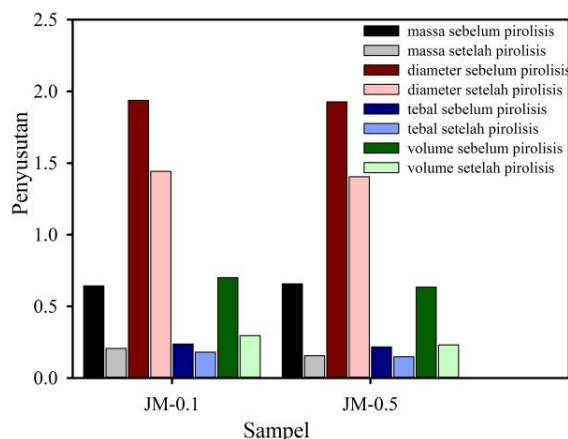
Metode karakterisasi yang digunakan terdiri dari pengujian sifat fisis dan elektrokimia dari elektroda. Pengujian sifat fisis dikarakterisasi melalui analisis susut massa, diameter dan ketebalan koin karbon sebelum dan setelah pirolisis. Lebih lanjut, karakterisasi sifat

elektrokimia dilakukan menggunakan metode siklik voltametri (*cyclic voltammetry*, CV) dan *galvanostatic charge discharge* (GCD). Pengujian dilakukan pada jendela potensial rendah 0 sampai 1 V, dalam pengaruh elektrolit KOH dan NaOH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyusutan Massa

Data perubahan penyusutan koin karbon didapat dengan mengukur massa, diameter dan ketebalannya sebelum dan setelah pirolisis. Tingkat kemurnian karbon diperoleh melalui proses karbonisasi. Struktur pori, dan pertambahan diameter pori dihasilkan melalui aktivasi fisika gas CO₂ [9]. Data penyusutan ini ditampilkan dalam bentuk grafik berdasarkan variasi konsentrasi zat pengaktif ZnCl₂ yaitu 0,1M dan 0,5M. Penyusutan massa, diameter, ketebalan dan volume untuk elektroda karbon daun jahe merah sebelum dan setelah proses pirolisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penyusutan massa, diameter, tebal, dan volume sampel koin karbon sebelum dan setelah pirolisis untuk karbon daun jahe merah.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kedua sampel mengalami penyusutan yang cukup signifikan setelah berlangsungnya proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Penyusutan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti aktivasi kimia, karbonisasi, dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia menyebabkan zat pengaktif bereaksi dengan serbuk karbon. Proses

karbonisasi menghilangkan unsur pengotor selain karbon melalui penguapan yang menghasilkan strukturpori [10]. Sedangkan proses aktivasi fisika yang terjadi pada suhu 600°C sampai 800°C dapat menghilangkan zat pengotor yang menutupi pori, sehingga dapat menyempurnakan struktur pori [11].

Tabel 1. Persentase penyusutan massa, diameter, tebal dan volume koin karbon daun jahe merah.

Sampel	Persentase penyusutan (%)			
	Massa	Diameter	Tebal	Volume
JM-0,1	66	26	25	57
JM-0,5	76	27	32	63

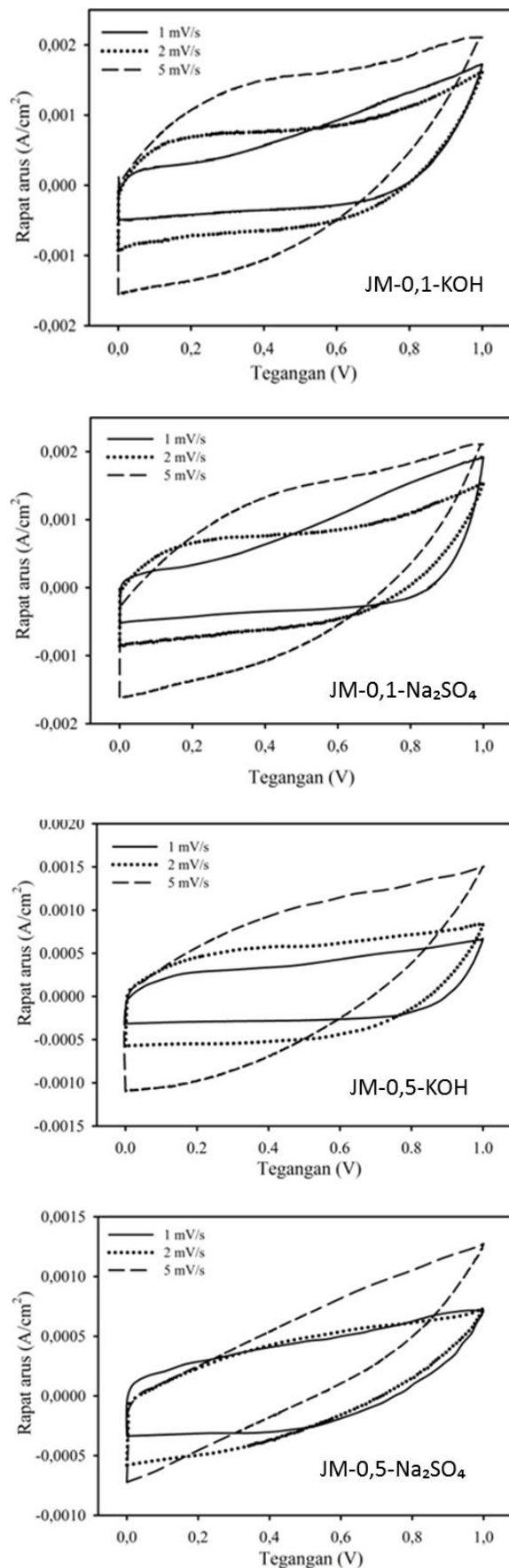
Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat besar nilai bahwa penyusutan massa, diameter dan ketebalan yang dialami koin karbon berbasis daun jahe merah untuk aktivator ZnCl₂ 0,1M dan 0,5M. penambahan konsentrasi aktivator ZnCl₂ dari 0,1M menjadi 0,5M dapat meningkatkan penguapan sampel yang ditandai dengan pertambahan nilai penyusutan. Hal ini karena penambahan aktivator ZnCl₂ pada konsentrasi rendah 0,1M dapat membantu proses penguapan unsur selain karbon yang terdapat pada sampel. Penambahan konsentrasi aktivator ZnCl₂ menjadi yaitu 0,5M dapat menambah pengurangan massa elektroda hingga dari 66% sampai 76%. Penurunan densitas pada konsentrasi 0,5M ini merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan struktur dan ukuran poripaling baik untuk karbon aktif pada sebuah elektroda. Kondisi ini, juga dapat mengoptimalkan daya serap sehingga mengindikasikan luas permukaan spesifik karbon aktif yang lebih tinggi. Penguapan unsur-unsur selain karbon seperti kelembapan, air, gas, dan zat volatil lainnya dapat menghasilkan struktur pori yang berbeda pada sampel karbon aktif. Diharapkan dari adanya pembentukan struktur pori ini dapat meningkatkan daya serap ion oleh elektroda yang dihasilkan. Dimana, pembuatan elektroda untuk superkapasitor dengan prinsip penyerapan ion-ion yang berasal dari elektrolit yang terurai untuk menyimpan energi.

Cyclic Voltammetry (CV)

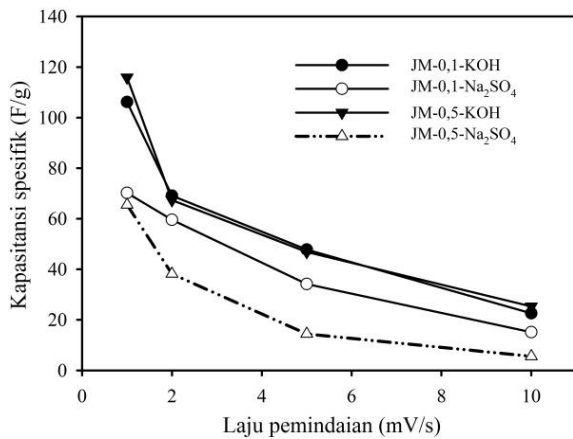
Sifat elektrokimia karbon aktif dari elektroda superkapasitor dapat diukur menggunakan CV. CV digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon dengan menggunakan alat *Physics CV UR Rad-ER 6481*. Hasil dari pengukuran ini berupa kurva persegi panjang terdistorsi yang menandakan bahwa superkapasitor memiliki sifat EDLC yang normal untuk bahan biomassa [12].

Luas kurva yang dihasilkan menunjukkan besarnya nilai kapasitansi spesifik. Kurva yang luas menandakan nilai kapasitansi spesifik yang besar. Pada pengukuran ini, data arus terbagi menjadi dua yaitu arus *charge* (I_c) dan *discharge* (I_d). Arus *charge* merupakan arus yang terjadi saat pengisian muatan yang berasal dari elektrolit yang terurai menjadi ion bermuatan saat tegangan dinaikkan dari 0 hingga 1 V, dan arus *discharge* (I_d) merupakan arus saat pengosongan muatan ketika tegangan di turunkan kekeadaan semula. Pada pengujian ini elektroda karbon daun jahe merah dalam pengaruh elektrolit berair 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 . Grafik hasil pengukuran CV untuk konsentrasi aktivator ZnCl_2 0,1M dan 0,5M dari elektroda daun jahe merah dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara rapat arus dan tegangan pada laju pemindaian (1, 2 dan 5) mV/s dari tegangan 0 sampai 1 V untuk elektroda karbon daun jahe merah dengan perbedaan konsentrasi aktivator dan pengaruh elektrolit. Luas daerah yang terbentuk antara arus *charge* (I_c) dan arus *discharge* (I_d) mengindikasikan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa nilai kapasitansi spesifik untuk sampel dengan aktivator ZnCl_2 0,1M dan 0,5M dalam pengaruh elektrolit berair 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 memiliki kurva pemindaian terbesar pada laju pemindaian 1 mV/s yang menandakan nilai kapasitansi spesifik tinggi. Sedangkan grafik laju pemindaian dan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif daun jahe merah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Kurva CV untuk karbon daun jahe merah dengan konsentrasi aktivator dan elektrolit berbeda.



Gambar 3. Hubungan laju pemindaian dan nilai kapasitansi spesifik dari sifat elektrokimia karbon aktif daun jahe merah

Gambar 3 memperlihatkan bahwa laju pemindaian 1 mV/s merupakan kelajuan ion optimum dalam mengisi pori elektroda dan memiliki kemampuan untuk menyimpan energi elektrokimia paling besar [13]. Hal ini dikarenakan pada waktu serapan ion yang berasal dari elektrolit yang terurai maksimal dalam mengisi pori elektroda karbon aktif daun jahe merah. Berikut nilai kuantitatif kapasitansi spesifik elektroda karbon daun jahe merah dengan aktivator ZnCl₂ 0,1M dan 0,5M di bawah pengaruh elektrolit 1M KOH dan 1M Na₂SO₄

Tabel 2. Nilai kuantitatif kapasitansi spesifik elektroda karbon daun jahe merah dengan konsentrasi aktivator dan elektrolit berbeda.

Sampel	Laju pemindaian (mV/s)			
	1	2	5	10
JM-0,1-KOH	106,2	69,15	47,78	22,57
JM-0,1-Na ₂ SO ₄	70,22	59,61	34,16	15,11
JM-0,5-KOH	115,90	67,40	46,86	25,32
JM-0,5-Na ₂ SO ₄	65,50	38,15	14,40	5,54

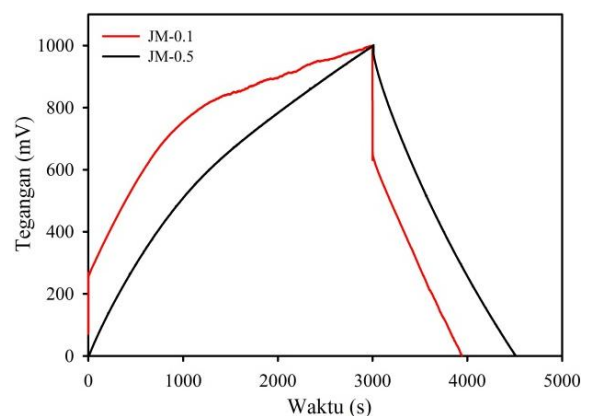
Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh dari penelitian ini dapat dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya menggunakan biomassa berbeda dengan aktivator yang sama.

Berikut kami sajikan nilai perbandingan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon daun jahe merah dengan elektroda dari bahan berbeda.

Tabel 3. Perbandingan nilai kapasitansi spesifik dari berbagai biomassa berbeda dengan karbon aktif daun jahe merah.

Biomassa	Aktivator	(Csp) (F/g)	Referensi
Wortel busuk	ZnCl ₂	235	[14]
Daun ketapang	ZnCl ₂	144	[1]
Daun Serai	ZnCl ₂	256	[15]
Limbah teh	ZnCl ₂	140	[16]
Batang jagung	ZnCl ₂	108,9	[17]
Daun jahe merah	ZnCl ₂	215	Penelitian Sekarang

Galvanostatic Charge Discharge (GCD)



Gambar 4. Grafik GCD elektroda daun jahe merah.

Analisa sifat elektrokimia diperkuat melalui pengukuran metode GCD. Sifat elektrokimia ini dievaluasi menggunakan dua elektroda dibawah pengaruh elektrolit berair 1M KOH untuk sampel JM-0,1 dan JM-0,5 menggunakan alat CD UR Red-ER 2018 dengan arus konstan 1 A. Gambar 4. menampilkan kurva hasil pengukuran GCD untuk kedua sampel, yang menunjukkan hubungan antara tegangan

terhadap waktu selama proses pengisian dan pengosongan elektroda berbasis daun jahe merah. Kurva yang dihasilkan dari karakterisasi metode ini memiliki bentuk kurva seperti segitiga sama kaki terdistorsi. Berikut disajikan tampilan kurva GCD untuk elektroda daun jahe merah dengan aktivator $ZnCl_2$ konsentrasi 0,1M dan 0,5M.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa waktu charge memiliki peran besar dalam meningkatkan nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda daun jahe merah. Pengukuran GCD dilakukan pada rentang tegangan potensial 0 V hingga 1 V dengan arus konstan 1 mA dan laju pemindaian 1 mV/s. Menurut Ismanto *et al.* (2010) perbedaan waktu pada saat proses *charge-discharge* merupakan faktor yang dapat mempengaruhi bentuk simetri dari kurvapengukuran [18]. JM-0,5 menunjukkan waktu pengukuran yang lebih panjang dari JM-0,1 yang ditandai dengan bentuk kurva segitiga sama kaki yang lebih besar. Hal ini mengkonfirmasi bahwa sampel JM-0,5 memiliki sifat elektrokimia yang sangat baik. Berikut disajikan tabel dan nilai kapasitansi spesifik, rapat energi, dan rapat daya untuk setiap variasi konsentrasi elektroda daun jahe merah.

Tabel 4. Nilai kapasitansi spesifik, energi, daya dari elektroda karbondaun jahe merah berdasarkan uji GCD.

Kode Sampel	Csp (F/g)	E (Wh/kg)	P (W/kg)
JM-0,1	74	10,28	37,07
JM-0,5	96,03	13,33	48,11

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa nilai kapasitansi yang dihasilkan pada pengujian GCD menunjukkan bahwa kapasitansi spesifik tertinggi dan kondisi optimum dimiliki oleh sampel JM-0,5 di bawah pengaruh elektrolit 1M KOH. Elektroda karbon aktif dengan konsentrasi aktivator 0,5M memiliki waktu pengosongan yang lebih lama dibandingkan dengan konsentrasi 0,1M. Hal ini dikarenakan waktu yang cukup untuk ion berdifusi mengisipori elektroda selama pengukuran dan meningkatkan nilai kapasitansi spesifik. Yuhe

et al. (2016) menyatakan bahwa waktu pengosongan sangat berpengaruh pada kinerja elektroda superkapasitor [19]. Penurunan yang signifikan selama proses pengosongan disebabkan oleh jari-jari pori yang lebih kecil sehingga mengganggu proses transportasi ion elektrolit. Oleh karena itu, dibutuhkan waktu bagi ion elektrolit untuk mencapai permukaan elektroda karbon aktif. Hasil pengujian GCD ini bersesuaian dengan pengujian CV dimana sampel JM-0,5 juga menghasilkan nilai kapasitansi tertinggi dari pada JM-0,1. Hal ini juga didukung oleh datapenyusutan massa, diameter, tebal, dan volume koin karbon setelah pirolisis.

KESIMPULAN

Limbah daun Jahe merah telah berhasil diolah menjadi karbon aktif berpori untuk elektroda superkapasitor. Pengolahan yang tidak rumit dan hemat biaya karena tidak memerlukan perekat tambahan dalam pengolahannya, dan dapat meningkatkan nilai guna dari limbah biomassa. Aktivasi kimia $ZnCl_2$ dalam pirolisis terintegrasi satu tahap dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan muatan listrik. Sifat elektrokimia diuji pada sistem dua elektroda simetris dengan elektrolit 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 pada tegangan 0-1 V laju pemindaian pemindaian 1, 2, 5 dan 10 (mV/s). Perbedaan konsentrasi aktivator dan elektrolit yang digunakan dapat meningkatkan kemampuan elektrokimia dari 65,50 F/g menjadi 115,90 F/g. Hasil ini mendukung potensi tinggi dalam pembuatan elektroda karbon berbasis daun jahe merah untuk meningkatkan kinerja penyimpanan energi elektrokimia superkapasitor.

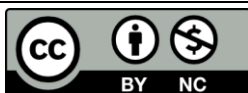
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Republik Indonesia melalui Proyek Tahun Kedua World Class Riset (WCR) (1627/UN.19.5.1.3/PT.01.03/2022).

REFERENSI

1. Taer, E., Padang, E., Yanti, N., & Taslim, R. (2021). Etlingera elatior leaf agricultural waste as activated carbon monolith for supercapacitor electrodes. *Journal of Physics: Conference Series*, **2049**(1), 012072.
2. Darmawan, S. (2008). *Sifat arang aktif tempurung kemiri dan pemanfaatannya sebagai penyerap emisi formaldehida papan serat berkerapatan sedang*. Tesis, Institut Pertanian Bogor.
3. Pari, G., dan Sailah, I. 2001. Pari, G., & Sailah, I. (2001). Pembuatan Arang Aktif dari Sabut Kelapa Sawit dengan Bahan Pengaktif NH_4HCO_3 dan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ Dosis Rendah 1. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, **19**(4), 231-244.
4. Taer, E., Apriwandi, A., Taslim, R., Agutino, A., & Yusra, D. A. (2020). Conversion *Syzygium oleana* leaves biomass waste to porous activated carbon nanosheet for boosting supercapacitor performances. *Journal of Materials Research and Technology*, **9**(6), 13332-13340.
5. Febriyanto, P., Jerry, J., Satria, A. W., & Devianto, H. (2019). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif berbahan baku limbah kulit durian sebagai elektroda superkapasitor. *Jurnal Integrasi Proses*, **8**(1), 19-24.
6. Gea, S., Muis, Y., Novita, T., & Piliang, A. F. (2018). Synthesis of carbon nanodots from cellulose nanocrystals oil palm empty fruit by pyrolysis method. *Journal of Physics: Conference Series*, **1120**(1), 012071.
7. Hardi, A. D., Joni, R., Syukri, S., & Aziz, H. (2020). Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*, **9**(4), 479-486.
8. Ekasari, V., & Yudoyono, G. (2013). Fabrikasi DSSC dengan dye ekstrak jahe merah (*Zingiber officinale* linn var. *rubrum*) variasi larutan TiO_2 nanopartikel berfase anatase dengan teknik pelapisan spin coating. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **2**(1), B15-B20.
9. Sembiring, S. (2014). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan*. Buku Ajar Jurusan Fisika Universitas Lampung: Universitas Lampung.
10. Yusriwandi, E. T., Farma, R., & Taer, E. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif dengan Karbonisasi dan Aktivasi Bertingkat Menggunakan Gas CO_2 dan Uap Air. *Edu Research*, **6**(1), 21-21.
11. Miller, E. E., Hua, Y., & Tezel, F. H. (2018). Materials for energy storage: Review of electrode materials and methods of increasing capacitance for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, **20**, 30-40.
12. Zhao, L., Cao, X., Zheng, W., Scott, J. W., Sharma, B. K., & Chen, X. (2016). Copyrolysis of biomass with phosphate fertilizers to improve biochar carbon retention, slow nutrient release, and stabilize heavy metals in soil. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, **4**(3), 1630-1636.
13. Song, K., Ni, H., & Fan, L. Z. (2017). Flexible graphene-based composite films for supercapacitors with tunable areal capacitance. *Electrochimica Acta*, **235**, 233-241.
14. Ahmed, S., Ahmed, A., & Rafat, M. (2018). Supercapacitor performance of activated carbon derived from rotten carrot in aqueous, organic and ionic liquid based electrolytes. *Journal of Saudi Chemical Society*, **22**(8), 993-1002.
15. Taer, E., Yanti, N., Taslim, R., & Apriwandi, A. (2022). Interconnected micro-mesoporous carbon nanofiber derived from lemongrass for high symmetric supercapacitor performance.

- Journal of Materials Research and Technology*, **19**, 4721-4732.
16. Inal, I. I. G., & Aktas, Z. (2020). Enhancing the performance of activated carbon based scalable supercapacitors by heat treatment. *Applied Surface Science*, **514**, 145895.
 17. Juliani, R. (2019). Carbon Electrodes from Corn Stalk Core for Supercapacitor Application. *Journal of Technomaterial Physics*, **1**(1), 22-29.
 18. Ismanto, A. E., Wang, S., Soetaredjo, F. E., & Ismadji, S. (2010). Preparation of capacitor's electrode from cassava peel waste. *Bioresource Technology*, **101**(10), 3534-3540.
 19. Cao, Y., Wang, K., Wang, X., Gu, Z., Fan, Q., Gibbons, W., ... & Shrestha, M. (2016). Hierarchical porous activated carbon for supercapacitor derived from corn stalk core by potassium hydroxide activation. *Electrochimica Acta*, **212**, 839-847.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Nomor 200/M/KPT/2020
Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020
Nama Jurnal Ilmiah
Komunikasi Fisika Indonesia

E-ISSN: 2579521X

Penerbit: Universitas Riau

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 4

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 15 Nomor 1 Tahun 2018 sampai Volume 19 Nomor 2 Tahun 2022

Jakarta, 23 Desember 2020

Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Republik Indonesia,



Bambang P. S. Brodjonegoro
Bambang P. S. Brodjonegoro