

PENGARUH WAKTU POLIMERISASI TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT POLIPIROL/KARBON AKTIF (PPy/KA) DARI TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

M. Celcilia, I. Syahbanu*, dan A. B. Aritonang

Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

*Email: intan.syahbanu@chemistry.untan.ac.id

ABSTRAK

Komposit polipirol/karbon aktif tempurung kelapa (PPy/KA) telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi *in-situ*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lamanya waktu polimerisasi terhadap konduktivitas dan kapasitansi dari komposit PPy/KA. Tempurung kelapa dikarbonisasi pada suhu 250°C selama 2 jam dan diaktivasi dengan KOH 50%. Waktu polimerisasi yang digunakan pada sintesis PPy/KA yaitu 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 24 jam. Hasil karakterisasi menunjukkan karbon aktif tempurung kelapa yang diperoleh memenuhi syarat SNI 06-3730-1995. Hasil karakterisasi dari FTIR menunjukkan terjadi pergeseran serapan vibrasi ulur N-H pada 3433,29 cm⁻¹, vibrasi ulur C=C pada 1558,48 cm⁻¹ dan C-H *out of plane* pada 933,55 cm⁻¹ pada PPy, menjadi 3448,72 cm⁻¹; 1566,48 cm⁻¹ dan 925,83 cm⁻¹ pada komposit PPy/KA. Pergeseran serapan ini menunjukkan adanya interaksi antara PPy dengan karbon aktif. Dari data hasil pengukuran dengan LCR-meter dan multimeter menunjukkan bahwa nilai kapasitansi dan konduktivitas terbaik diperoleh pada komposit PPy/KA variasi 4 jam yaitu nilai tegangan sebesar 0,535 V, nilai kapasitansi sebesar 59,17 μF dengan waktu pengisian selama 200 detik dan waktu pelepasan selama 1994 detik.

Kata Kunci: karbon aktif, komposit PPy/KA, polipirol, waktu polimerisasi

ABSTRACT

Composite of polypyrrole/ coconut shell activated carbon (PPy/ KA) has been successfully synthesized by in-situ polymerization method. The aim of this research was to determine the effect of polymerization time on the conductivity and capacitance of PPy / KA composites. The coconut shell was carbonized at 250°C for 2 hours and activated with 50% KOH. The polymerization time for PPy/KA synthesis was 2 hours, 4 hours, 6 hours, and 24 hours. The characterization results of the coconut shell activated carbon have met the national standard of SNI 06-3730-1995. The results from FTIR characterization showed that there was a shift in the absorption vibration of N-H stretching at 3433,29 cm⁻¹, C=C stretching at 1558,48 cm⁻¹ and C-H out of plane at 933,55 cm⁻¹ for PPy, shifted to 3448,72 cm⁻¹; 1566,48 cm⁻¹ and 925,83 cm⁻¹ for PPy/KA composite. This indicated that there were interaction between KA and PPy. From the data measurement using LCR-meter and multimeter showed that the best capacitance and conductivity values were obtained in the 4-hour variation PPy / KA composites. Voltage and capacitance measurement showed 0.535 V and 59.17 μF, respectively, with a charging time of 200 seconds and discharging time of 1994 seconds.

Keywords: activated carbon, polymerization time, polypyrrole, PPy/KA composite.

PENDAHULUAN

Polipirol (PPy) merupakan salah satu jenis material konduktif yang dapat diperoleh dari sintesis kimia (Saville, 2005). PPy telah dikenal sebagai material aktif yang menjanjikan untuk superkapasitor kinerja tinggi (Huang *et al.*, 2016). Namun karena perubahan volume energi yang berulang-ulang biasanya merusak struktur dari PPy dan

mengakibatkan stabilitas yang buruk pada PPy selama proses pengisian dan pemakaian jangka panjang (Wang *et al.*, 2017). Upaya-upaya telah dilakukan untuk mendapatkan standar seperti *high performance*, elastis, *solid-state supercapacitors* dengan luas permukaan dan kemampuan penyimpanan energi volumetrik yang besar, konduktivitas yang tinggi, fleksibilitas mekanik yang kuat, dan stabilitas jangka panjang dengan cara mensintesis PPy

dengan berbagai macam morfologi dan berbagai teknik dan material-material karbon salah satunya karbon aktif (Balli *et al.*, 2019).

Karbon aktif dari biomassa berpotensi diterapkan pada elektroda superkapasitor karena luas permukaannya yang besar, volume dan ukuran pori yang terdistribusi dengan baik, ketersediaan tinggi, dan harga murah. Indonesia memiliki sumber daya biomassa tempurung kelapa yang sangat besar dari 3,86 juta hektar perkebunan kelapa (31,2% dari total wilayah di dunia), menghasilkan 15 miliar kelapa setiap tahun (*US Energy Information Administration*, 2014). Dari penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan preparasi tempurung kelapa sebagai elektroda superkapasitor salah satunya yaitu penelitian dari Taer *et al.*, (2017) yang membahas tentang fleksibilitas elektroda karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa sebagai elektroda superkasitor. Dari penelitiannya tersebut elektroda superkapasitor yang memiliki kapasitansi 194,429 m²/g dan 10,55 F/g. Pada penelitian Kujundziski *et al* (2014) mensintesis komposit PPy/KA dengan ketebalan antara 0,5 dan 15^μm dipasangkan menjadi tiga sel elektroda yang mengandung 0,1 mol NaClO₄. Hasil dari pengukuran voltametri siklik, kapasitansi spesifik komposit PPy/KA mengalami peningkatan dari 216 F g⁻¹ menjadi 318 F g⁻¹.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan komposit polipirol/karbon aktif dari tempurung kelapa. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi waktu polimerisasi terhadap konduktivitas dan kapasitansi film komposit PPy/KA tempurung kelapa.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Akuades (H₂O), asam klorida (HCl), besi (III) klorida (FeCl₃), grafit, kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH), polipirol (PPy), polivinilalkohol (PVA), dan tempurung kelapa.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: alat-alat gelas standar, ayakan 120 mesh, blender, botol semprot, *furnace*, FTIR Shimadzu, *hot plate*, kertas saring, LCR-meter KRISBOW

(KW0600489), *magnetic stirrer*, multimeter SANWA (CD800A), mortar, neraca analitik, oven, parafilm, dan pipet volume 25 ml; 50 ml.

Cara Kerja

Sintesis Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Metode sintesis karbon aktif ini mengacu pada penelitian Yuliusman (2016), yaitu dimulai dengan membersihkan serabut pada tempurung kelapa. Tempurung kelapa yang sudah dibersihkan kemudian dijemur. Setelah dijemur, tempurung kelapa dihancurkan hingga ukurannya sekitar 2-4 cm. Tempurung kelapa yang sudah ditumbuk kemudian dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu 250°C selama 2 jam. Karbon tempurung kelapa yang sudah jadi kemudian digerus dan diayak dengan ayakan 120 mesh.

Sampel selanjutnya diaktivasi dengan mengacu pada penelitian Erlina *et al* (2015) dengan modifikasi. Proses aktivasi kimia dilakukan dengan merendam karbon aktif kedalam larutan KOH 50% selama 24 jam. Kemudian sampel dicuci dengan aquades dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 3 jam.

Sintesis Komposit PPy/KA

Metode ini mengacu pada penelitian Liu (2013) dengan adanya modifikasi. Sebanyak 0,2 gram karbon aktif ditambahkan dalam 80 ml akuades. Kemudian sebanyak 0,21 ml pirol dimasukkan ke dalam larutan sampel. Campuran tersebut kemudian disonikasi selama satu jam dan direaksikan dengan FeCl₃ (0,49 g dalam 0,1 M HCl) tetes demi tetes. Kemudian dilanjutkan dengan pengadukkan selama 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 24 jam. Sampel disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades, dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Sampel yang diperoleh kemudian dianalisis gugus fungsinya dengan spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

Preparasi Sel Superkapasitor

Preparasi plat elektroda PPy/KA dan elektroda grafit

Plat Al dipotong menjadi ukuran 3x2 cm. Plat Al kemudian dicelupkan ke dalam larutan NaOH 1 M. Setelah itu plat dikeringkan. Sampel PPy/KA (2 jam; 4 jam; 6 jam; dan 24 jam) dicampur dengan polivinilalkohol (PVA) yang telah ditetesi dengan akuades dengan perbandingan massa 9:1 sambil dipanaskan

pada suhu 40°C. Setelah sampel mengental, kemudian dioleskan secara merata pada plat Al yang telah disiapkan. Setelah itu komposit dikeringkan pada suhu ruang. Untuk pembuatan plat elektroda grafit sama dengan prosedur pembuatan plat elektroda PPy/KA.

Pembuatan sel superkapasitor

Plat elektroda PPy/KA dirangkai dengan plat elektroda grafit sebagai elektroda lawan. Plat elektroda PPy/KA dan plat elektroda grafit dipisahkan oleh kertas saring yang telah ditetesi KOH 1 M sebagai elektrolit. Sel superkapasitor yang telah dirangkai kemudian dilapisi dengan parafilm. Sel superkapasitor ini selanjutnya dianalisis tegangan, kapasitansi dan waktu *charge-discharge* dengan multimeter dan LCR-meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Penelitian ini menggunakan tempurung kelapa sebagai sumber dari karbon aktif. Hasil karbonisasi tempurung kelapa menunjukkan bahwa karbon dari tempurung kelapa yang di karbonisasi pada suhu 250°C selama 2 jam berwarna hitam pekat. Proses Aktivasi karbon tempurung kelapa dilakukan dengan metode aktivasi kimia. Bahan yang digunakan sebagai aktivator adalah KOH. Pada prinsipnya metode aktivasi kimia dilakukan dengan merendam karbon dengan KOH yang bertindak sebagai agen aktivator selama 24 jam sebelum akhirnya di cuci dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam (Setyoningrum *et al.*, 2018).

Karakteristik pori dari karbon aktif merupakan faktor penting dalam sintesis PPy/KA. Molekul pirol yang merupakan prekursor polipirol diharapkan mampu menyisip ke dalam pori-pori karbon aktif. Untuk itu dilakukan beberapa uji terhadap karakteristik dari karbon aktif yang mengacu pada SNI 06-3730-1995. Jenis uji yang dilakukan antara lain: uji kadar air, uji kadar zat menguap, uji kadar abu, uji daya serap terhadap iodine, dan uji daya serap terhadap metilen biru. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil yang didapat, kadar air, kadar zat menguap, kadar abu, dan daya serap terhadap iodine karbon dari penelitian ini sudah memenuhi syarat SNI 06-3730-1995. Sedangkan daya serap terhadap

metilen biru karbon aktif tempurung kelapa masih belum memenuhi syarat SNI 06-3730-1995. Hal ini mungkin dikarenakan ukuran pori dari karbon aktif tempurung kelapa pada penelitian ini kecil, sehingga daya serap karbon aktif terhadap metilen biru lebih kecil dari syarat SNI 06-3730-1995 yaitu 120 mg/g (Prasetyo *et al.*, 2011).

Tabel 1. Karakteristik Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Uji	Hasil
Kadar air	0,356 %
Kadar zat menguap	2,28 %
Kadar abu	0 %
Daya serap terhadap iodine	1260,54 mg/g
Daya serap terhadap metilen biru	106,947 mg/g

Komposit Polipirol/Karbon Aktif (PPy/KA)

Sintesis PPy/KA dilakukan dengan metode polimerisasi in-situ. Interaksi antara pori-pori karbon aktif yang kosong dengan larutan pirol dibantu dengan proses sonikasi selama 1 jam yang menyebabkan monomer-monomer pirol dan KA mengalami pergerakan (Sun *et al.*, 2019). Dengan dilakukannya proses sonikasi dapat membantu mempercepat proses adsorpsi pirol ke dalam KA. Sampel dipolimerisasi dengan FeCl₃ yang berfungsi sebagai oksidan (Chitte *et al.*, 2011).

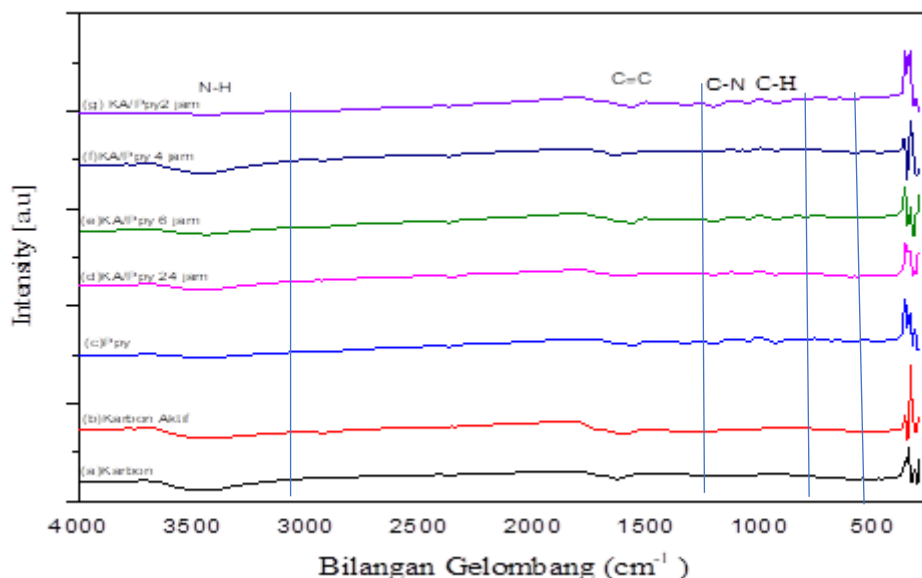
Sampel KA, PPy, dan PPy/KA dengan variasi waktu polimerisasi dikarakterisasi gugus fungsinya dengan instrument FTIR. Karakterisasi FTIR dilakukan pada rentang 4000-400 cm⁻¹. Hasil dari karakterisasi FTIR dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil analisis FTIR karbon dan karbon aktif, terdapat serapan pada 3425,58 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi gugus OH. Sedangkan serapan pada 1700 cm⁻¹ dan 1049,28 merupakan vibrasi gugus C=O dan C-H *in plane* dari KA (Thakur *et al.*, 2017).

Pada polipirol, bilangan gelombang 1319,31 cm⁻¹ dan 1558,48 cm⁻¹ secara berurutan menunjukkan vibrasi ulur C-N dan C=C dari PPy. Serapan pada kedua bilangan gelombang ini merupakan vibrasi dasar cincin PPy (Ahmad *et al.*, 2016). Pada komposit PPy/KA, tidak terjadi pergeseran pada bilangan gelombang 1319,31 cm⁻¹. Interaksi

antara PPy dan KA ditunjukkan dengan adanya pergeseran bilangan gelombang $933,55\text{ cm}^{-1}$ pada PPy yang merupakan serapan C-H *out of plane* cincin pirol menjadi $925,83\text{ cm}^{-1}$ pada PPy/KA 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 24 jam. Pada PPy dan KA/PPy 2 jam, muncul serapan pada bilangan gelombang $3433,29\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan dari gugus N-H. Namun, pada PPy/KA dengan waktu polimerisasi 4 jam, 6 jam dan 24 jam, terjadi pergeseran serapan vibrasi ulur gugus N-H menjadi $3448,72\text{ cm}^{-1}$. Selain itu, pergeseran juga terjadi pada bilangan gelombang $1558,48\text{ cm}^{-1}$ untuk PPy dan PPy/KA (2 jam) menjadi $1566,48\text{ cm}^{-1}$ untuk PPy/KA yang disintesis dengan waktu polimerisasi 4 jam, 6 jam dan 24 jam.

Waktu polimerisasi 2 jam hanya menunjukkan pergeseran bilangan gelombang

untuk serapan C-H *out of plane*, sedangkan serapan FTIR pada gugus fungsi yang lain sama dengan serapan FTIR pada PPy. Untuk waktu polimerisasi 4 jam, 6 jam dan 24 jam menunjukkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang untuk serapan C-H *out of plane*, vibrasi ulur N-H dan vibrasi ulur C=C pada cincin PPy. Adanya pergeseran bilangan gelombang menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara PPy dan KA (Thakur *et al.*, 2017) sehingga dapat disimpulkan PPy berhasil teradsorpsi ke dalam KA (Li *et al.*, 2017). Dalam hal ini, waktu polimerisasi 2 jam belum cukup untuk menginteraksikan KA dan PPy. Pada penelitian ini, waktu polimerisasi yang menunjukkan adanya interaksi antara KA dan PPy adalah 4 jam, 6 jam dan 24 jam.



Gambar 1. Karakterisasi FTIR dari (a) Karbon, (b) Karbon Aktif, (c) PPy, (d) PPy/KA 24 jam, (e) PPy/KA 6 jam, (f) PPy/KA 4 jam, (g) PPy/KA 2 jam

Selanjutnya PPy/KA diaplikasikan sebagai elektroda superkapasitor. PPy/KA hasil sintesis dilapiskan pada plat Al sebagai *current collector*. Plat Al dipotong menjadi ukuran 3x2 cm. Kemudian permukaan plat Al dicelupkan ke dalam larutan NaOH 0,1 M. Hal ini bertujuan agar reaksi berjalan lebih cepat (Porciúncula *et al.*, 2011). Komposit elektroda PPy/KA (2 jam; 4 jam; 6jam; dan 24 jam) dilapiskan pada plat Al dengan menambahkan PVA dan air hingga membentuk suspensi. PVA berfungsi sebagai perekat. Sel

superkapasitor dibuat dengan memasang elektroda PPy/KA dengan elektroda grafit sebagai elektroda lawan sehingga diperoleh sel superkapasitor asimetris. Elektroda PPy/KA dipasang dengan elektroda grafit dengan separator dari kertas saring yang ditetesi dengan KOH 1M yang berfungsi sebagai elektrolit.

Sel superkapasitor yang telah dibuat diukur dengan LCR-meter KRISBOW (KW0600489) dan multimeter SANWA (CD800A) untuk mengukur kapasitansi, tegangan, dan siklus

hidup dari sel superkapasitor dengan mengukur lamanya proses charging dan discharging. Hasil dari pengukuran ditunjukkan pada tabel 1. Berdasarkan hasil dari pengukuran, penggunaan PPy/KA sebagai elektroda menyebabkan mekanisme pengisian dan pelepasan mengikuti mekanisme gabungan EDLC dan pseudokapasitor (*Hybrid*). PPy merupakan polimer konduktif yang dapat mengalami reaksi oksidasi-reduksi sehingga memiliki prinsip kerja pseudokapasitor, sedangkan KA memiliki karakter pori yang berperan dalam adsorpsi-desorpsi elektron dan memiliki prinsip kerja EDLC. Ilustrasi mekanisme reaksi adalah selama pengisian (*charging*), anion dari elektrolit masuk ke dalam rantai polipirol dan elektron dilepaskan. Dalam hal ini, terjadi reaksi oksidasi polipirol. Elektron yang dihasilkan tersimpan pada pori-pori dari karbon aktif dan elektroda grafit. Pada proses pelepasan (*discharging*), terjadi penggunaan elektron yang tersimpan. Selama proses pelepasan, terjadi reaksi reduksi dari PPy. Reaksi oksidasi-reduksi yang terjadi diperkirakan sebagai berikut (Le *et al.*, 2017) :

Proses pengisian (*charging*) (reaksi oksidasi):



Proses pelepasan (*discharging*) (reaksi reduksi): $\text{PPy}^{n+} + n\text{OH}^- + ne \rightarrow \text{PPy} + n\text{OH}^-$

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan PPy ke dalam KA dapat menaikkan nilai kapasitansi dan tegangan dari KA. Nilai kapasitansi dan tegangan terbaik diperoleh pada komposit PPy/KA variasi 4 jam, yaitu nilai kapasitansi sebesar 59,17 μF dan nilai tegangan sebesar 0,535 V. Penggabungan PPy ke dalam matriks KA dapat meningkatkan kestabilan dan kinerja sel dibanding kinerja KA dan PPy masing-masing. Hal ini dapat dilihat dari waktu *discharge* untuk sel PPy/KA lebih lama dibanding sel PPy dan sel KA tunggal. Sel superkapasitor PPy/KA 4 jam memberikan hasil yang paling optimum dengan nilai kapasitansi yang paling besar dan waktu *discharge* paling panjang. Hal ini dikarenakan interaksi antara PPy dan KA selama waktu polimerisasi paling efektif adalah waktu 4 jam. Setelah 4 jam, dimungkinkan terjadinya desorpsi PPy dari kerangka KA, sehingga menyebabkan nilai tegangan dan kapasitansi mengalami penurunan (Wan, 2009). Sehingga penting untuk ditentukannya waktu polimerisasi optimum dari PPy/KA. Modifikasi waktu polimerisasi dapat memengaruhi karakteristik dari PPy (Sasso *et al.*, 2011).

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan dan kapasitansi sel superkapasitor

Sampel	Tegangan (V)	Kapasitansi (μF)	Charging (s)	Discharging (s)
KA	0,309	1,66	200	107
PPy	0,580	10,5	200	354
PPy/KA 2 jam	0,501	28,32	200	1780
PPy/KA 4 jam	0,535	59,17	200	1994
PPy/KA 6 jam	0,392	13,55	200	737
PPy/KA 24 jam	0,382	14,58	200	829

SIMPULAN

Komposit PPy/KA telah berhasil disintesis. Karbon aktif dari tempurung kelapa yang diperoleh memenuhi syarat SNI 06-3730-1995. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang untuk komposit PPy/KA, yang menunjukkan terjadinya interaksi antara PPy dan KA. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggabungan polipirol dengan karbon aktif tempurung kelapa terbukti dapat menaikkan konduktivitas dan kapasitansi

dari karbon aktif. Komposit PPy/KA dengan variasi waktu polimerisasi 4 jam memiliki konduktivitas dan kapasitansi tertinggi yaitu konduktivitas sebesar 0,535 V dan kapasitansi sebesar 59,17 μF , serta waktu pengisian dan pelepasan terbaik, yaitu 200 detik dan 1994 detik.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Z., Chuodary, M. A., Mehmood, A., Wakeel, R., Akhtar, T., Rafiq, M. A.

2016. Synthesis of Polypyrrole Nano/Microspheres Using Cobalt(III) as an Oxidizing Agent and Its Ammonia Sensing Behavior. *Macromol. Res.* 24 (7): 596-601.
- Balli, B., Şavk, A., dan Şen, F. 2019. Graphene and polymer composites for supercapacitor applications. Nanocarbon and Its Composite: Preparation, Properties and Applications. *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering.* 123-151.
- Chitte, H. K., Bhat, N. V., Walunj, V. E., dan Shinde, G.N. 2011. Synthesis of Polypyrrole Using Ferric Chloride (FeCl₃) as Oxidant Together with Some Dopants for Use in Gas Sensors. *Journal of Sensor Technology.* 1: 47-56.
- Chougule, M. A., Pawar, S. G., Godse, P. R., Mulik, R. N., Sen, S., dan Patil, V. B. 2011. Synthesis and Characterization of Polypyrrole (PPy) Thin Films. *Soft Nanoscience Letters.* 1: 6-10.
- Erlina, Umiatin, dan Budi, E. 2015. Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Cu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika.* 4: VII-55 – VII-60.
- Huang, Y., Hong, F. L., Wang, Z. F., Zhu, M. S., Pei, Z. X., Xue, Q., Huang, Y., dan Zhi, C.Y. 2016. Nanostructured Polypyrrole as a flexible electrode material of supercapacitor. *Nano Energy.* 22: 422-438.
- Kujundziski, A. P., Chamovcska, D., dan Grchev, T. 2014. Capacitive Properties of Polypyrrole/Activated Carbon Composite. *Hemijaska Industrija.* 68(6): 709-719.
- Le, T. H., Kim, Y. K., dan Yoon, H. S. 2017. Electrical and Electrochemical Properties of Conducting Polymers. *Polymers.* 9(4): 150.
- Li, S., Qian, K. K., wang, S., Liang K. Q., dan Yan, W. 2017. Polypyrrole-Grafted Coconut Shell Biological Carbon as a Potential Adsorbent for Methyl Tert-Butyl Ether Removal: Characterization and Adsorption Capability. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 14: 113.
- Liu, Y., Wang, H. H., Zhou, J., Bian, L. Y., Zhu, E.W., dan Hai, J.F. 2013. Graphene/polypyrrole Intercalating Nanocomposites as Supercapacitor Electrode. *Electrochimica Acta.* 112: 44-52.
- Nurdiati, D. 2015. Sintesis Komposit PANI/Karbon Dari Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*) Sebagai Elektroda Kapasitor. *Jurnal Fisika Unand.* 4(1): 51-57.
- Prasetyo, A., Yudi, A., dan Astuti, N. 2011. Adsorpsi Metiloen Blue Pada Karbon Aktif Dari Ban Bekas Dengan Variasi Konsentrasi NaCl Pada Suhu Pengaktifan 600°C dan 650 °C. *Journal Neutrino.* 4 (1): 16-23.
- Porciúncula, C. B., Marcilio, N. R., Tessaro, I. C., dan Gerchmann, M. 2012. Production of Hydrogen in the Reaction Between Aluminum and Water in the Presence of NaOH and KOH. *Braz. J. Chem. Eng.* 29 (2): 337 – 348.
- Sasso, C., Beneventi, D., Zeno, E., Chaussy, D., Conil, M.P., dan Belgaceum, N. 2011. Polypyrrole and Polypyrrole/Wood-Derived Material Conducting Composite. *BioResources.* 6(3): 3585-3620.
- Saville, P. 2005. *Polypyrrole Formation and Use.* Defence R&D Canada. Atlantic.
- Setyoningrum, T. M., Setiawan, A., dan Pamungkas, G. 2018. Pembuatan Karbon Aktif dari Hasil Pirolisis Ban Bekas. *Eksergi.* 15 (2): 54-58.
- Sun, H., Cannon, F. S., He, X. 2019. Polypyrrole-Tailored Activated Carbon for Trifluoroacetate Removal from Groundwater. *Environ. Eng. Sci.* 36 (11): 0453.
- Taer, E., Mustika, W. S., Agustino, Fajarini, Hidayu, N., Taslim, R. 2017. The Flexible Carbon Activated Electrodes Made From Coconut Shell Waste for Supercapacitor Application. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 58: 012065
- Thakur, A. K., Choudary, R. B., Majumder, M., Gupta, G. 2017. In-Situ Integration of Waste Coconut Shell Derived Activated Carbon/ Polypyrrole/Rare Earth Metal Oxide (Eu₂O₃): A Novel Step Towards Ultrahigh Volumetric Capacitance. *Electrochimica Acta.* 251: 532-545.
- Turangan, T. M. B., Tiwow, V. A., dan Simandjuntak, S. 2017. Coconut

Pengaruh Waktu Polimerisasi terhadap Karakteristik Komposit Polipirol/Karbon Aktif (Ppy/Ka) dari Tempurung Kelapa Sebagai Elektroda Supercapacitor
(M. Celcilia, I. Syahbanu, dan A. B. Aritonang)

- Shellwaste Pyrolysis Potency as a Carbon Material From Minahasa Charcoal, Indonesia. *Int. J. of Appl. Chem.* 13(3): 721-731.
- Wan, M. X. 2009. Conducting Polymer with Micro or Nanometer Structure. Tshinghua University Press. Beijing.
- Wang, J. P., Li, X., Du, X. F., Wang, J., Ma, H.R., dan Jing. X. L. 2017. Polypyrrole Composite with Carbon Material for Supercapacitor. *Chemical Papers.* 71: 293–316.
- Yuliusman. 2016. Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Melalui Proses Aktivasi Kimia Dengan KOH dan Fisika Dengan CO₂. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono.* 12: B.1-1 – B.1-6.