

Pengaruh *Annealing* Terhadap Kristalinitas MnO_2 Hasil Sintesis dengan Metode Elektrokimia

Reka Erdanto, Moh. Chafid Ma'ruf, Heru Setyawan, Minta Yuwana
Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: sheru@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Partikel MnO_2 dengan ukuran nano disintesis untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan dan konduktivitas material tersebut. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan metode elektrolisis pada suasana basa. Perbaikan kristalinitas dilakukan dengan proses lanjutan: *annealing*. Sintesa MnO_2 dilakukan dengan metode elektrokimia pada suhu ruang selama 4 jam menggunakan elektroda karbon dan larutan elektrolit berupa potasium permanganate (KMnO_4) dan potasium hidroksida (KOH) dengan dilakukan pengadukan. Percobaan ini dilakukan pada pH larutan 9 dan pada tegangan 2 V. Selanjutnya, pada kristal MnO_2 yang terbentuk dilakukan proses *annealing* dengan variasi suhu 100–400 °C selama 4 jam. Didapatkan MnO_2 hasil sintesis berbentuk bulat dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 534,83 nm dan luas permukaan sebesar 72,609 m^2/g . Ukuran kristal terkecil didapatkan pada variabel non sebesar 171,67 nm. Didapatkan kenaikan ukuran kristalit dan penurunan luas permukaan seiring naiknya suhu *annealing*. Kapasitansi terbesar didapatkan pada variabel tanpa *annealing* sebesar 1,33 F/g. Komposisi MnO_2 : sukrosa terbaik didapatkan pada 1:4 dengan besar kapasitansi sebesar 12,35 F/g.

Kata Kunci— *Annealing*, Elektrokimia, MnO_2 , Superkapasitor

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini permasalahan akan penyimpanan energi mulai terjawab dengan adanya superkapasitor. Superkapasitor adalah sistem penyimpanan energi yang dapat menyediakan energi dalam jumlah dan densitas yang lebih besar daripada kapasitor dielektrik[1]. Dari berbagai material yang dapat digunakan sebagai elektroda dalam sistem tersebut, mangan oksida (MnO_2) hadir sebagai salah satu material yang menarik untuk diteliti. MnO_2 dianggap sebagai material elektroda yang sangat menjanjikan sebagai superkapasitor elektrokimia (SE) karena harganya yang murah dan kinerja kapasitifnya yang tinggi dalam larutan elektrolit. Penggunaan MnO_2 sebagai elektroda kapasitor dipengaruhi oleh luas bidang kontak dan konduktivitas elektronik dan ioniknya. Semakin besar nilai kedua variabel tersebut, maka semakin baik pula kapasitor tersebut. Sehingga, banyak penelitian diarahkan untuk mensintesis nanopartikel MnO_2 [1].

Penelitian berkaitan dengan sintesa MnO_2 dengan elektrolisis telah dilakukan dengan memvariasikan variabel-variabel percobaan seperti pH dan potensial terpasang. Chrysty dan Prasetyo (2014) telah berhasil mensintesis MnO_2 dari KMnO_4 dengan metode elektrolisis pada suasana asam. Hasil

yang didapatkan sangat baik. Nanopartikel MnO_2 yang dihasilkan memiliki kemurnian yang tinggi dan kapasitansi spesifik yang baik untuk ukuran sebuah superkapasitor. Namun, sejumlah asam yang dibutuhkan untuk mensintesa MnO_2 tersebut dikhawatirkan berdampak korosif terhadap peralatan sintesa sehingga dirasa perlu dikembangkan pembuatan MnO_2 dalam suasana yang lebih tidak korosif. Viscariny dan Rokhimah (2015) juga berhasil melakukan sintesis nanopartikel MnO_2 dalam suasana basa. Dari percobaan tersebut didapatkan bahwa MnO_2 hasil sintesis dalam suasana basa memiliki kristalinitas yang rendah yang mempengaruhi kemampuan penyimpanan energinya. Kedua penelitian diatas disertai penggunaan membran Nafion dalam percobaan elektrolisisnya.

Daya elektrokimia MnO_2 juga dipengaruhi oleh struktur fisiknya. Parameter fisik yang mempengaruhi diantaranya fase amorf/kristalinitas, serta porositasnya[1]. Porositas dan luas permukaan yang lebih besar memungkinkan nanopartikel MnO_2 memiliki daya penyimpanan lebih baik[4]. Beberapa proses dapat dilakukan untuk mengatur struktur kristal MnO_2 , diantaranya adalah proses *annealing*. *Nanocrystalline* lithium ferrite telah berhasil dibentuk pada temperatur *annealing* yang rendah (573 K) [6]. Begitu juga dengan TiO_2 berhasil disintesis dan dinalisa perbedaan struktur dan daya impedansi elektrokimianya[8]. Oleh karena itu, perlu dikembangkan penelitian mengenai pengaruh temperatur *annealing* terhadap sifat fisik dan bentuk struktur kristal MnO_2 .

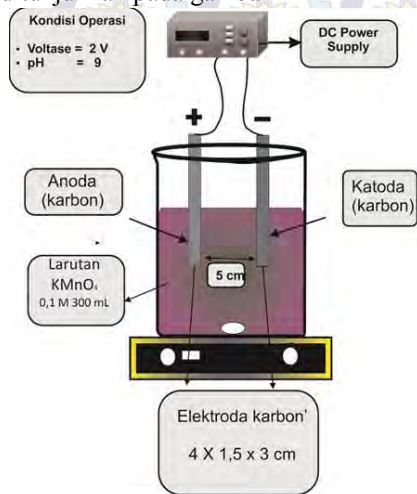
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik MnO_2 yang terbentuk dari reaksi elektrolisis pada suasana basa dengan variasi suhu *annealing*, dan mengaplikasikannya sebagai superkapasitor.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Sintesis MnO_2

Sintesa MnO_2 dilakukan pada sebuah sel elektrokimia. sel elektrokimia merupakan sebuah *beaker glass* berukuran 400 mL. Elektroda yang digunakan dalam proses elektrokimia ini adalah karbon dengan ukuran 4,5 x 0,3 x 1,5 cm dengan jarak antar elektroda 5 cm dan bagian elektroda yang tercelup sepanjang 3 cm. Elektroda karbon digunakan sebagai anoda maupun katoda. Pada setiap elektroda dihubungkan kepada

catu daya DC dimana anoda dihubungkan pada kutub positif dan katoda dihubungkan pada kutub negatif. Skema peralatan MnO_2 ditunjukkan pada gambar 1

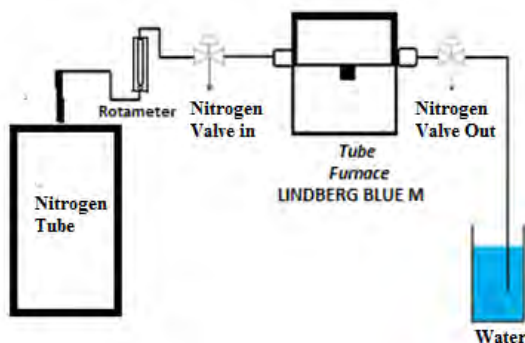


Gambar 1 Skema Pembuatan MnO_2 dengan Metoda Elektrokimia

Sintesa MnO_2 dimulai dengan membuat larutan $KMnO_4$ 0,105 M. Kemudian larutan tersebut ditambahkan KOH murni sampai PH larutan menjadi 9. Kemudian dilakukan proses elektrolisis selama 4 jam dengan tegangan 2 V. Partikel MnO_2 yang dipisahkan menggunakan *centrifuge* kemudian partikel dicuci sampai bersih dari impurities menggunakan aquadest. Endapan partikel yang terbentuk kemudian dikeringkan dalam oven sampai pelarut menguap.

B. Annealing

Proses *annealing* dilakukan menggunakan *tube furnace* LINDBERG BLUE M THERMO SCIENTIFIC. Pada perlakuan *annealing* dilakukan proses pengusiran oksigen dengan nitrogen sebagai gas pengusir. Skema Alat ditunjukkan pada gambar 2. Sistem tertutup digunakan dalam proses ini, yakni dengan meeringkap nitrogen di dalam tube furnace. Variasi dilakukan pada temperatur *annealing* yaitu 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C.

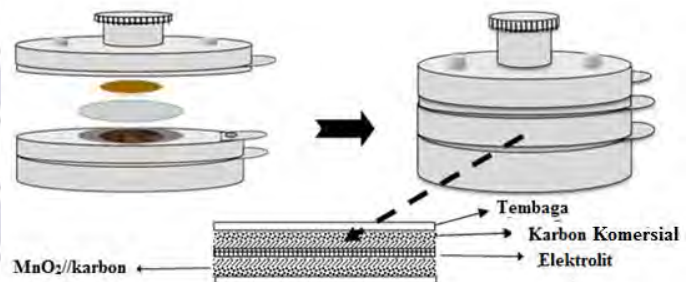


Gambar 2 Skema Alat *Annealing*

C. Pembuatan Superkapasitor dan Uji Elektrokimia

Sebelum dilakukan uji elektrokimia dilakukan perlu dilakukan pembuatan elektroda superkapasitor dari kristal MnO_2 dan karbon dari sukrosa. Cara pembuatan elektroda

superkapasitor adalah dengan mencampur secara merata serbuk MnO_2 dan sukrosa dengan menggunakan *microtube homogenizer* dengan perbandingan tertentu, untuk variabel *annealing* menggunakan perbandingan massa MnO_2 dan massa sukrosa 1:2, dimana MnO_2 yang digunakan sesuai variabel *annealing* yaitu 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C dan MnO_2 yang tidak di*annealing*. Untuk variabel ini digunakan massa MnO_2 sebesar 0,1 gram dan massa sukrosa sebesar 0,2 gram. Untuk variabel selanjutnya adalah pembuatan elektroda superkapasitor dimana variabel yang divariasikan adalah perbandingan massa MnO_2 dan sukrosa yaitu 1:1; 1:2; 1:3 dan 1:4. Campuran MnO_2 dan sukrosa selanjutnya dikompositkan pada suhu 500 °C sehingga terbentuk komposit MnO_2 /karbon. Kemudian ditambahkan *Polyvinylidenedifluoride* (PVdF) sebanyak 2 mg. Campuran nanokomposit MnO_2 /karbon – PVdF ditambahkan 10 mikro liter *N-Methylpyrrolidone* (NMP). Elektroda MnO_2 /karbon kemudian ditumpuk dengan elektroda karbon komersial dipisahkan filter kaca tipis dalam suatu larutan elektrolit 0,1 M Na_2SO_3 pada *three electrode split cell*, seperti pada gambar 3



Gambar 3 Pembuatan superkapasitor pada *three electrode split cell*

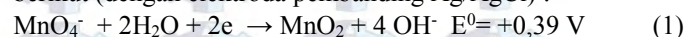
Setelah dilakukan pembuatan superkapasitor maka dilakukan uji karakterisasi dengan menggunakan AUTOLAB PGSTAT 302N untuk mendapatkan properti elektrokimia dan jumlah kapasitansi pada elektroda superkapasitor.

Elektroda MnO_2 /karbon yang sudah dibuat digunakan sebagai elektroda kerja dan *counter electrode* untuk pengukuran elektrokimia dan elektroda pembanding Ag/AgCl. Elektrolit yang digunakan adalah larutan elektrolit aqueous Na_2SO_3 1 M. Pengukuran voltametri siklik ini dilakukan berulang dalam 10 siklik pada rentang tegangan terpasang 0 sampai 0,7 V pada temperatur ruangan menggunakan *scan rate* yang bervariasi, yaitu 0,1 mV/s dan 0,01 mV/s.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik MnO_2 Hasil Sintesis pada Suasana Basa

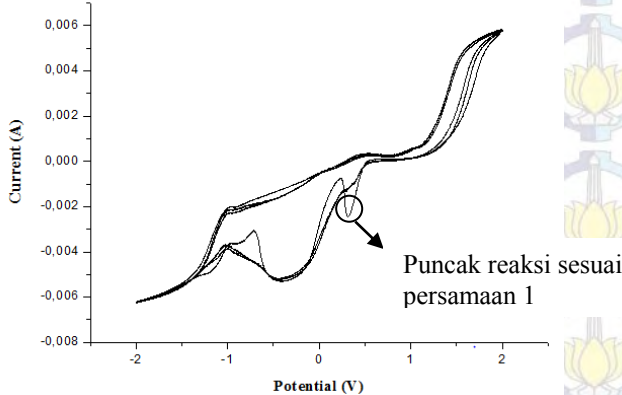
Reaksi yang terjadi pada proses elektrolisis adalah sebagai berikut (dengan elektroda pembanding Ag/AgCl) :



Pada persamaan (1), larutan $KMnO_4$ direduksi menjadi partikel MnO_2 di bagian katoda. Pada dasarnya hal tersebut akan sulit terjadi pada keadaan biasa, karena MnO_4^- yang bermuatan negatif akan cenderung bergerak ke anoda yang

bermuatan positif. Namun, pada penelitian ini dilakukan proses pengadukan sehingga membantu MnO_4^- bergerak menuju kutub negatif di katoda sehingga memungkinkan reaksi tersebut dapat berlangsung.

Untuk memastikan bahwa terjadi reaksi sesuai dengan persamaan 1, maka dilakukan uji *Cyclic Voltametry (CV)* untuk mengetahui reaksi-reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda dengan menggunakan $Ag/AgCl$ sebagai elektroda pembanding. Dari uji CV seperti ditunjukkan pada gambar 4 didapatkan puncak di kurva reduksi pada voltase +0,38 V. Nilai tersebut mendekati nilai E° teoritis reaksi pada persamaan (1). Hal tersebut membuktikan bahwa sistem reaktor menghasilkan material MnO_2 .

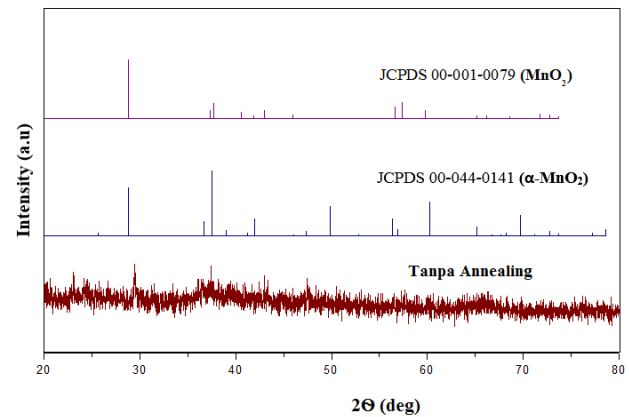


Gambar 4 Grafik *cyclic voltamogram* dari sistem reaktor MnO_2

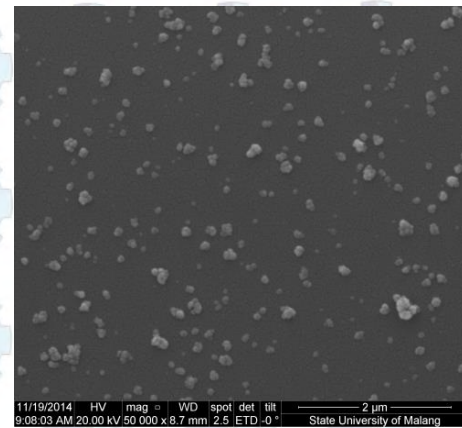
Karakteristik kristal MnO_2 diamati dengan melakukan uji XRD. Dari gambar 5 hasil XRD diperoleh puncak-puncak pada sudut $29,5^\circ$, 38° , dan $65,5^\circ$ yang sesuai dengan JCPDS 00-050-0866 (MnO_2). Analisa tersebut membuktikan bahwa proses yang dilakukan pada kondisi reaksi tersebut menghasilkan kristal MnO_2 , meskipun puncak yang didapat rendah. Untuk mengetahui morfologi MnO_2 hasil sintesis dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Dari Hasil uji SEM seperti ditunjukkan pada gambar 6, diketahui bentuk MnO_2 adalah bulat. MnO_2 memiliki beberapa bentuk diantaranya adalah bulat, batang, kubus, dan bulat beduri. Bentuk bulat umumnya digunakan sebagai material dalam proses adsorpsi amonia[5].

Untuk menentukan ukuran partikel dari kristal MnO_2 hasil sintesis dilakukan uji *Particle Size Analysis (PSA)*. Hasil uji PSA disajikan dalam gambar 7. Distribusi ukuran partikel MnO_2 yang terbentuk termasuk sangat rendah karena hanya mengerucut pada rentang ukuran 450-600 nm dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 534,83 nm, simpangan baku sebesar 58,29 nm dan koefisien variasi sebesar 10,9% yang terbilang cukup kecil sehingga ukuran partikel yang terbentuk dapat dikatakan cukup seragam. Distribusi paling besar berada pada ukuran 531,2 nm yang hampir mencakup 50% dari total partikel yang terbentuk. Untuk mengetahui luas permukaan dilakukan uji BET 5 titik dan didapatkan nilai sebesar 72,609 $m^2/gram$. Luas permukaan tersebut dapat dikatakan cukup besar bila dibandingkan dengan hasil sintesis pada suasana asam yang berkisar pada 20 $m^2/gram$. Hal tersebut dapat

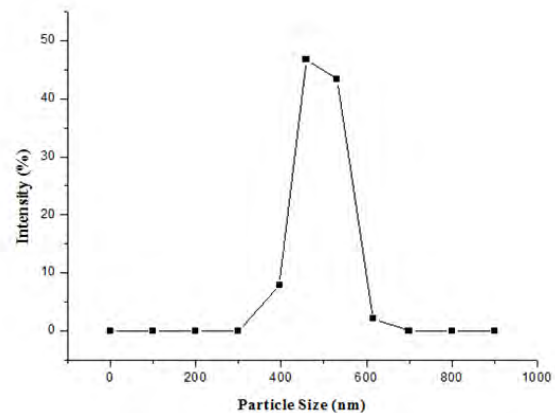
terjadi kemungkinan disebabkan oleh morfologi hasil sintesis basa yang berbentuk bulat dibandingkan hasil sintesis asam yang berbentuk batang (*rod*).



Gambar 5 Grafik X-Ray Difrraction (XRD) kristal MnO_2 hasil sintesis dengan metode elektrokimia dalam suasana basa



Gambar 6 Morfologi MnO_2 hasil sintesis dengan Elektrokimia dalam Suasana Basa

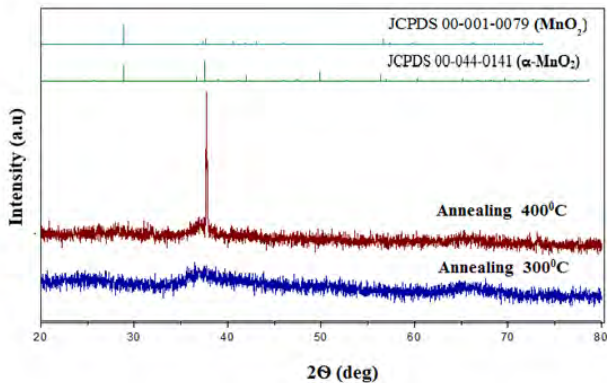


Gambar 7 Distribusi ukuran partikel MnO_2 hasil sintesis dengan metode elektrokimia dalam suasana basa

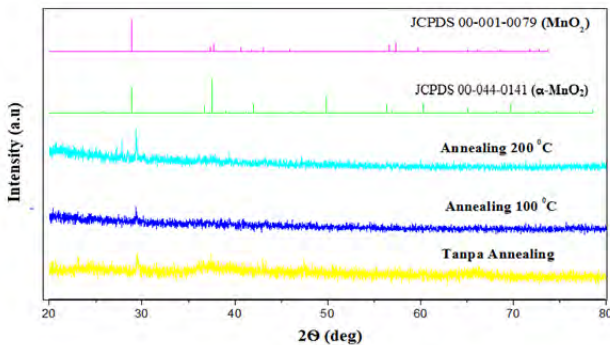
B. Pengaruh Annealing terhadap Karakteristik Kristal

Untuk mengetahui jenis kristal, dilakukan pengujian dengan menggunakan XRD dengan hasil tampak seperti gambar 8 dan 9. Uji dilakukan dengan besar sudut antara 20° - 80° dimana rentang sudut tersebut merupakan daerah

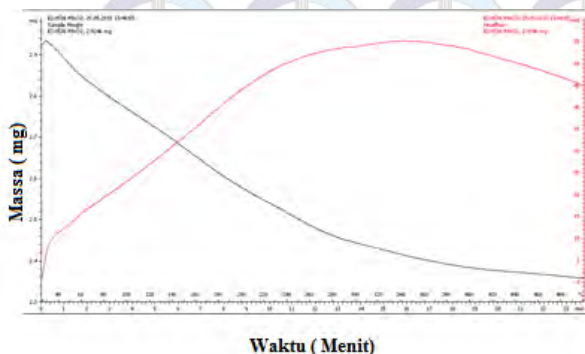
munculnya *puncak* (puncak) MnO_2 . Diketahui pada grafik hasil analisa MnO_2 non-annealing dan hasil annealing 100°C hingga annealing 200°C menunjukkan puncak-puncak pada sudut $28,7^\circ$, $37,4^\circ$ dan $56,8^\circ$ dimana ketiganya berkesesuaian dengan standar JCPDS 01-050-0866 (MnO_2). Sedangkan pada MnO_2 dengan variabel annealing 300°C dan 400°C menunjukkan adanya puncak-puncak pada sudut $36,7^\circ$, $37,5^\circ$ dan $65,2^\circ$ yang berkesesuaian dengan standar JCPDS 00-044-0141 ($\alpha\text{-MnO}_2$). Perubahan karakter puncak hasil uji XRD pada peningkatan variabel annealing tidak disebabkan karena adanya reaksi, melainkan hanya karena perubahan bentuk kristal MnO_2 . Hal tersebut dibuktikan dengan tidak munculnya puncak lain yang menandakan adanya materi baru serta dikuatkan dengan hasil uji *Thermogravimetric Analysis (TGA)*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Dari uji tersebut tidak didapati adanya puncak yang menandakan tidak adanya reaksi yang terjadi pada rentang suhu $0\text{-}500^\circ\text{C}$. Hal tersebut mendukung hasil uji XRD.



Gambar 8 Grafik hasil analisa XRD Variabel annealing 300°C dan 400°C



Gambar 9 Grafik hasil analisa XRD Variabel non annealing, annealing 100°C , dan annealing 200°C



Gambar 10 Grafik hasil uji thermogravimetry analysis

Untuk mengamati ukuran kristal MnO_2 hasil penelitian, dapat dianalisa melalui hasil uji XRD. Secara umum, sudut puncak yang sempit dan tajam menunjukkan kristalinitas yang baik serta ukuran partikel yang besar, sedangkan puncak yang melebar dengan intensitas rendah menunjukkan sifat kristal yang lebih rendah. Perhitungan untuk menentukan ukuran kristal menggunakan persamaan (2)

$$D_p = \frac{0.94\lambda}{\beta_{1/2} \cos \theta} \quad (2)$$

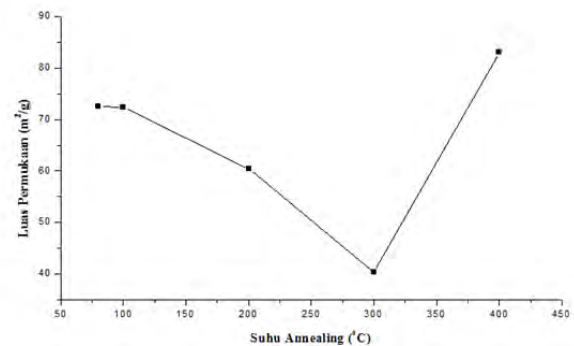
Dimana λ adalah panjang gelombang sebesar $1,54 \text{ \AA}$ dan $\beta_{1/2}$ adalah setengah dari nilai *Full Width at Half Maximum (FWHM)*. Hasil perhitungan ukuran kristal disajikan pada tabel 1, dimana ukuran kristal terkecil didapatkan pada variabel non-annealing dan meningkat hingga variabel annealing 200°C . Hal itu terjadi karena pada puncak dengan sudut 2θ yang sama, dalam perhitungan ini $28,7^\circ$ menunjukkan nilai FWHM yang kian mengecil dari variabel non-annealing ke variabel dengan annealing 200°C .

Tabel 1
Ukuran kristal MnO_2 berbagai variabel temperatur annealing

Variabel	FWHM (2θ)	Ukuran Kristalit (nm)
non-annealing	0,1004	171,67
annealing 100°C	0,0902	174,03
annealing 200°C	0,0502	341,88

*FWHM = *Full Width at Half Maximum*

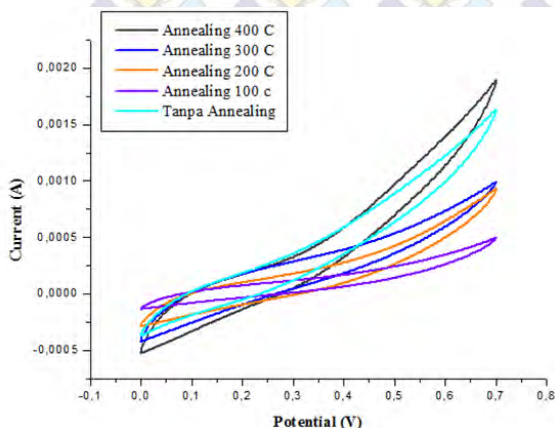
Estimasi luas permukaan kristal dilakukan dengan melakukan uji *Brunauer-Emmet-Teller (BET)*. Hasil analisa pada gambar 11 menunjukkan adanya penurunan luas permukaan pada variabel non-annealing hingga pada variabel 300°C . Namun, luas permukaan meningkat dari variabel 300°C ke 400°C . Pada suhu 300°C kristal MnO_2 dimungkinkan berubah menjadi $\alpha\text{-MnO}_2$. Luas permukaan terbesar didapatkan pada variabel non-annealing (80°C) yakni sebesar $72,609 \text{ m}^2/\text{gram}$ dan variabel dengan temperatur annealing sebesar 400°C yakni sebesar $83,3 \text{ m}^2/\text{gram}$. Luas permukaan dari variabel non-annealing menurun hingga variabel dengan annealing 300°C . Penurunan luas permukaan seiring dengan kenaikan ukuran kristalit. Sedangkan, kenaikan terjadi dari variabel annealing 300°C menuju variabel dengan annealing 400°C . Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena adanya perubahan bentuk kristal dari MnO_2 menjadi $\alpha\text{-MnO}_2$ yang memiliki struktur kristal berbeda.



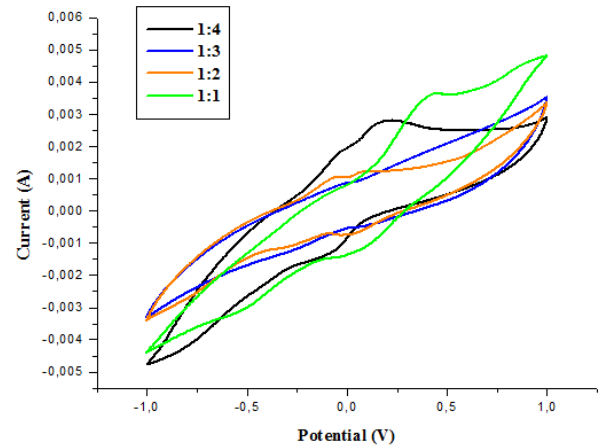
Gambar 11 Grafik perubahan luas permukaan

C. Pengaruh Annealing terhadap Karakteristik Elektrokimia

Salah satu aplikasi MnO_2 yang akan diuji pada penelitian ini adalah kemampuannya dalam menjadi material superkapasitor. Uji *Cyclic Voltametry (CV)* dilakukan untuk mendapatkan pola charge-discharge dan nilai kapasitansinya sebagai parameter kemampuan elektrokimianya. Pada penelitian ini, variasi dilakukan pada temperatur proses annealing. Proses annealing dilakukan tanpa oksigen dengan variasi temperatur 100-400°C. Sebelum dilakukan uji elektrokimia dengan *Cyclic Voltametry (CV)*, terlebih dahulu dibuat komposit dengan perbandingan massa MnO_2 :sukrosa sebesar 1:2. Pengkompositan dilakukan pada suhu 500°C selama 4 jam untuk mendapatkan komposit MnO_2/C . Semua pengujian dengan CV dilakukan dalam *three electrode split cell* dengan karbon dari baterai komersial sebagai *counter electrode*. Uji elektrokimia dilakukan pada rentang potensial 0-0,7 Volt/detik. Sampel hasil annealing 100°C hingga 400°C menunjukkan kenaikan pada puncak arus yang dihasilkan. Sedangkan sampel non-annealing bersaing dengan variasi annealing 400°C. Luas area terbesar juga didapat pada temperatur annealing 100°C dan 400°C. Uji karakteristik elektrokimia juga dilakukan dengan variasi komposisi MnO_2/C . Karbon yang digunakan dalam percobaan ini didapatkan dari senyawa organik sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). Percobaan memiliki rentang variasi perbandingan MnO_2 :Sukrosa dari 1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4. Selanjutnya, komposit dibuat dari keempat variabel dengan perbandingan komposisi yang berbeda tersebut. Pengkompositan dilakukan untuk saling menutupi sifat konduktivitas MnO_2 yang kecil dan kapasitansi karbon yang kecil yang pada akhirnya memunculkan perpaduan yang baik. Perlakuan komposit juga diharapkan dapat menambah luas permukaan sehingga mampu meningkatkan kapasitansi material tersebut. Variasi dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi MnO_2 dan karbon yang paling optimal. Pengaruh *Annealing* terhadap karakteristik elektrokimia ditunjukkan pada gambar 12 dan pengaruh komposisi terhadap karakteristik elektrokimia ditunjukkan pada gambar 13. Pada uji CV untuk variasi komposisi digunakan potensial sebesar -1 V hingga 1 V. Dari hasil uji dengan variasi komposisi didapatkan luas area terbesar pada variabel 1:1 diikuti oleh 1:4. Pada variabel 1:2 dan 1:3 didapatkan grafik yang hampir berhimpit dengan luas area yang hampir sama besar.

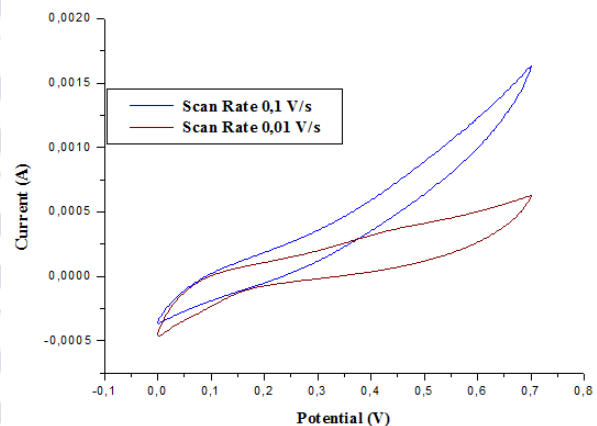


Gambar 12 Grafik hasil uji CV dengan variasi temperatur annealing

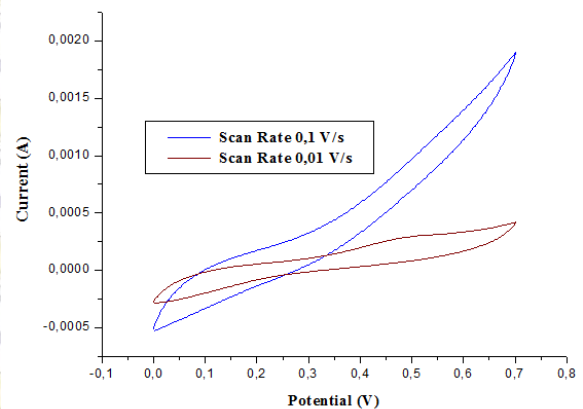


Gambar 13 Grafik hasil uji CV dengan variasi komposisi MnO_2 :Sukrosa

Pada percobaan selanjutnya dilakukan variasi *scan rate* pada MnO_2 annealing dan non-annealing. Percobaan dilakukan pada scan rate 0,1 dan 0,01 Volt/s. Variasi scan rate dilakukan untuk menguji dan mendapatkan rentang potensial terbaik untuk penggunaan material ini sebagai superkapasitor nantinya. Grafik hasil analisa ditunjukkan pada gambar 14 dan 15.



Gambar 14 Grafik hasil uji CV MnO_2 non-annealing dengan variasi scan rate



Gambar 15 Grafik hasil uji CV MnO_2 hasil annealing dengan variasi scan rate

Pada uji dengan scan rate lebih besar menunjukkan kenaikan arus yang besar pula. Hal tersebut terjadi baik pada variabel annealing maupun tanpa annealing. Selanjutnya dari data hasil uji CV, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan

nilai kapasitansi dari berbagai variasi kondisi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.

$$C = \frac{\int I \cdot dV}{2wsR} \quad (3)$$

Dimana C adalah nilai spesifik kapasitansi (F/g). Dari hasil perhitungan didapatkan nilai kapasitansi dari semua variasi yang diberikan pada tabel 2.

Pada analisa dengan variasi temperatur annealing didapatkan kapasitas terbesar pada variasi non-annealing sebesar 1,33 F/g diikuti variabel dengan temperatur annealing 400°C sebesar 1,25 F/g. Hal tersebut dapat dipahami mengingat luas permukaan paling besar dan ukuran kristalit yang terkecil pada penelitian ini. Semakin besar luas permukaan dan kecil ukuran partikel maka semakin besar energi listrik yang dapat disimpan. Pada variasi komposisi MnO₂, didapatkan nilai kapasitansi terbesar pada variabel 1:4 yakni sebesar 12,35 F/g, diikuti dengan variabel 1:1 dengan besar kapasitansi 11,09 F/g. Dapat dikatakan bahwa perbandingan komposisi tersebut merupakan perbandingan paling optimal dalam penelitian ini untuk mendapatkan komposit MnO₂/C.

Tabel 2 Perbandingan nilai kapasitansi dengan berbagai variasi

Annealing (Celsius)	Kapasitansi (F/gr)	Perbandingan (MnO ₂ :sukrosa)	Kapasitansi\ (F/gr)
non-annealing	1.33	1:1	11.09
100	0.47	1:2	7.79
200	0.94	1:3	9.75
300	0.86	1:4	12.35
400	1.25		

IV. KESIMPULAN

Telah dipelajari karakteristik MnO₂ hasil sintesis dengan metode elektrolisis pada suasana basa dan didapatkan hasil berupa MnO₂ dengan bentuk bulat dan rentang ukuran rata-rata partikel 534,83 nm dan ukuran kristal sebesar 171,67 nm. Annealing berpengaruh pada perubahan ukuran kristal. Ukuran kristal membesar seiring bertambahnya suhu annealing, menyebabkan luas permukaan berkurang. Uji performansi MnO₂ dalam aplikasinya sebagai superkapasitor telah dilakukan dan diperoleh kapasitansi terbesar didapatkan pada perlakuan tanpa annealing dengan 1,33 F/g, diikuti oleh perlakuan annealing 400°C dengan 1,25 F/g. Kapasitansi terbesar pada variasi komposisi didapatkan pada perbandingan MnO₂ : sukrosa sebesar 1:4 dengan besar kapasitansi 12,35 F/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan kali ini atas segala bantuannya dalam pengerjaan skripsi ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Kedua orang tua kami dan keluarga yang telah banyak memberikan dukungan moral, spiritual, dan material. Bapak Prof. Dr. Heru Setyawan, M.Eng dan Bapak Ir. Minta Yuwana, M.S. selaku dosen pembimbing kami dan. Rekan - rekan seperjuangan dari laboratorium Elektrokimia dan Korosi, Teknik Kimia FTI-ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shen C, Wang X, Siwei L, Wang J, Zhang W, Feiyu K. 2013. *A high- energy-density micro supercapacitor of asymmetric MnO₂-carbon configuration by using micro-fabrication technologies.* Journal of power sources vol 234, 302-309
- [2] Cao J, Mao Q, Shi L, Qian Y. 2011. *Fabrication of g-MnO₂/ α-MnO₂ hollow core/ shell structures and their application to water treatment.* Journal of material chemistry. vol 40: 1697-1721
- [3] Conway. 1999. *Electrochemical Supercapacitors Scientific Fundamental and Technological Applications.* Kluewer, New York
- [4] Devaraj S, Munichandraiah N. 2007. *Effect of Crystallographic Structure of MnO₂ on Its Electrochemical Capacitance Properties.* Journal of Physical Chemistry. C 112, 4406-4417.
- [5] Lili F, Zhewen X, Hongbo Z. 2014. *MnO₂ prepared by hydrothermal method and electrochemical performance as anode for lithium-ion battery.* Nanoscale Research Letters 9/290 1
- [6] Miller, Jovic .R., Burke, A.F. 2008. *Electrochemical capacitor: challenges and opportunities for real world applications.* Electrochem. Soc. Interf. 17(1), 53-57
- [7] Xing L, Cui C, Ma C, Xue X. 2011. *Facile synthesis of α-MnO₂/graphene nanocomposites and their high performance as lithium-ion battery anode.* Material letter. Vol 65. 2011. pp 2104-2106
- [8] Xu M, Kong L, Zhao W, Li H. 2007. *Hydrothermal synthesis and pseudocapacitance properties of γ-MnO₂ hollow spheres and hollow urchins.* Journal of Physical Chemistry C .111:19141-19147
- [9] Yu P, Zhang X, Wang D, Wang L, Ma Y. 2009. *Shape-controlled synthesis of 3d hierarchical MnO₂ nanostructures for electrochemical supercapacitor.* Cryst Growth Des, 9:528-533
- [10] Zhang W, Zeng C, Kong M, Pan Y, Zang Y, Yang Z. 2012. *Water-evaporation-induced self-assembly of α-MnO₂ hierarchical hollow nanosphere and their application in ammonia gas sensing.* Sens Actuators B. 162:292-299