

Pengaruh Waktu Polimerisasi Pada Pembentukan Poli Asam Humat Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Nindya Marsha, Hardeli*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp.0751 7057420

*hardelil@yahoo.com

Abstract—Dye Solar Cell (DSSC) is a solar cell that uses a dye as an absorber of photons from sunlight that will be converted into electrical energy. DSSC research continues in order to obtain DSSC components that will produce high efficiency, inexpensive and environmentally friendly. The number of π bonds in dyes affects the efficiency of DSSC, the more photons from absorbed sunlight will be converted into electrical energy. Polymerization is one of the methods used to increase π bonds in dyes. Polymerization is a combination of several monomers with repeated arrangements. The monomer used in this study is humic acid. Humic acid is an organic compound that has π bonds. Polymerization with humic acid will produce poly humic acid which is used for dyeing in DSSC. The assembled DSSC will be tested for resistance and voltage using a digital multimeter. The dyes will be characterized by UV-VIS and FTIR. UV-VIS test results showed a shift in the higher wavelength region and an increase in absorbance. FTIR characterization was performed to confirm the formation of poly humic acid which was characterized by the presence of formed ether / ester groups. The efficiency of DSSC using polymerized humic acid dye was obtained. The efficiency is higher than that of the humic acid dye which is not polymerized, ie an efficiency of 7,079%.

Keywords—DSSC, Polymerization, Humic Acid, Poly Humic Acid.

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar utama yang digunakan untuk memenuhi segala kebutuhan manusia akan energi. Bahan bakar fosil ini tidak hanya memenuhi kebutuhan yang mendasar tetapi juga kebutuhan komersial [1]. Konsumsi energi yang dibutuhkan saat ini semakin meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan semakin berkembangnya berbagai sektor dan teknologi sehingga menyebabkan kebutuhan energi fosil juga semakin tinggi dan menyebabkan terjadinya krisis energi karena energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui [2]. Penelitian mengenai energi alternatif dan terbaharukan terus dilakukan salah satunya energi matahari. Foton dari matahari dapat konversi menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya. Sel surya adalah suatu alat yang dapat mengubah sinar matahari menjadi energi listrik dengan menangkap foton dari matahari.

Sel surya terdiri dari tiga generasi. Generasi pertama kali diperkenalkan oleh Bell Laboratories pada tahun 1954, ia memperkenalkan sel surya yang terbuat dari silikon yang berbentuk wafer. Sel surya silikon paling banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi. Selain itu silikon merupakan unsur yang paling banyak terdapat di bumi, nomor

dua dari oksigen. Kemajuan akan teknologi sel surya ditujukan untuk menghasilkan sel surya yang murah, karena harga silikon yang mahal, dan fabrikasi yang besar maka dilakukanlah penelitian menuju *thin film solar cell*. Sel surya generasi kedua setelah silikon adalah *thin film solar cell*. Penggunaan *thin film solar cell* ini bertujuan agar biaya yang dikeluarkan untuk proses produksi yang lebih murah dan tidak mempengaruhi energi yang dihasilkan. *Thin film solar cell* ini juga memiliki kekurangan yaitu sebagian besar material penyusun sel terbuat dari material yang sangat beracun (cadmium) atau mulai langka dan mahal (indium). Jika diproduksi secara massal maka diperlukan fasilitas baru yang mengakibatkan biaya menjadi mahal, maka timbullah generasi baru. Generasi ketiga, *Dye sensitized solar cell* (DSSC) adalah jenis sel surya generasi ketiga yang diperkenalkan oleh Brian O'Regan dan Michael Gratzel pada tahun 1991 [3]. Penelitian mengenai DSSC ini dilakukan secara intensif oleh para peneliti di dunia [4]. DSSC merupakan jenis sel surya yang memiliki kelebihan dari sel surya jenis lain antara lain fabrikasi lebih sederhana karena tidak menggunakan bahan yang mahal dan rumit, ramah lingkungan karena bahan yang digunakan berasal dari bahan organik, bahan baku mudah didapatkan dan melimpah, dapat digunakan pada cahaya rendah. DSSC memakai *dye* yang merupakan suatu komponen

DSSC yang memiliki peran penting yang memiliki fungsi dalam menyerap energi matahari yang nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik [5]. Pada DSSC molekul zat warna akan menyerap cahaya matahari, elektron dari molekul zat warna tersebut akan mengalami eksitasi elektron zat warna yang tereksitasi tadi akan diinjeksikan ke semikonduktor nanokristal anorganik. Semikonduktor nanokristal anorganik yang sering digunakan adalah TiO_2 . TiO_2 sering digunakan karena TiO_2 memiliki sifat yang inert, mudah didapatkan, dan tidak beracun, sehingga aman saat pengaplikasiannya [6]. DSSC ramah lingkungan karena bahan yang digunakan dalam DSSC di fokuskan pada fotosensitizer alami yang diekstrak dari bahan organik [3].

Sel surya berbasis bahan organik ini terdapat masalah pada kestabilan dari bahan organik yang digunakan dan efisiensi yang dihasilkan [7]. Efisiensi sel surya merupakan hal yang sangat penting karena efisiensi ini menunjukkan kemampuan sel surya dalam menkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Efisiensi yang rendah dari DSSC yang dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon membuat para peneliti terus melakukan penelitian karena masih banyak potensi yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan nilai efisiensi [8] dan sensitifitas dari bahan organik sangat berpengaruh pada konversi energi.

Konversi energi yang rendah dari pewarna alami merupakan faktor paling penting untuk diperhatikan. Penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi maka salah satunya dilakukanlah penelitian dengan menggunakan zat organik makromolekul alami yang sangat melimpah di alam. Asam humat dapat dijadikan sebagai *dye sensitized* pada DSSC.

Asam humat merupakan makromolekul yang memiliki gugus fungsional diantaranya -OH fenolat maupun -OH alkoholat, dan -COOH, [9]. Asam humat ini dapat diekstraksi dari tanah, kayu, batu bara dan air laut [10]. Asam humat memiliki ikatan rangkap terkonjugasi yang berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari. Ikatan rangkap terkonjugasi yang semakin banyak menyebabkan energi matahari yang terserap juga semakin banyak [6]. Penambahan ikatan rangkap terkonjugasi bisa dilakukan dengan cara polimerisasi.

Polimerisasi adalah molekul besar yang tersusun dari unit-unit yang berulang. Polimerisasi dapat dilakukan dengan cara polimerisasi berikat silang. Polimerisasi berikat silang merupakan polimer yang terbentuk karena adanya ikatan antar rantai polimer satu sama lain pada rantai utamanya [11]. Asam humat dapat dipolimerisasi dengan senyawa yang memiliki gugus epoxy yang memiliki fungsi sebagai pengikat silang. Agen pengikat silang yang memiliki gugus epoxy yang dapat digunakan untuk polimerisasi asam humat diantaranya gliserol diglisidil eter (GDE) memiliki 2 gugus epoxy, diglycidyl ether (PEGGE) memiliki 2 gugus epoxy, trimethylolpropane triglycidyl ether (TMPGDE) memiliki 3 gugus epoxy, epichlorohydrine (ECH) memiliki 1 gugus epoxy. Trimethylolpropane triglycidyl ether (TMPGDE) merupakan pengikat silang yang memiliki 3 cincin gugus epoxy yang nantinya akan bereaksi dengan asam humat [12].

Gugus epoxy TMPGDE diharapkan dapat mengikat tiga asam humat untuk menjadi poli asam humat.

Reaksi polimerisasi ikat silang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang pertama konsentrasi inisiator dimana semakin tinggi konsentrasi dari inisiator maka radikal yang terbentuk akan semakin banyak, sehingga tumbukkan antara radikal inisiator dan monomer akan semakin cepat [13], kedua konsentrasi pengikat silang pada polimerisasi adalah semakin banyak agen pengikat silang yang dimasukkan maka semakin banyak radikal bebas yang terbentuk dan radikal bebas ini akan mengikat monomer sehingga monomer yang terikat silang dengan agen pengikat silang semakin banyak [14], ketiga konsentrasi monomer mempengaruhi reaksi konversi polimerisasi dimana semakin besar konsentrasi dari monomer maka akan semakin cepat laju reaksi yang terjadi dan semakin banyak polimerisasi yang dihasilkan [11], keempat waktu polimerisasi juga akan mempengaruhi produk polimerisasi karena semakin lama waktu reaksi maka semakin lama kontak antara agen pengikat silang dan monomer sehingga produk polimerisasi dihasilkan semakin banyak [14], pH juga mempengaruhi proses polimerisasi dimana semakin tinggi pH maka akan semakin cepat reaksi polimerisasi, tapi pH yang melebihi pH 10 juga akan mengakibatkan hasil polimerisasi yang akan dihasilkan tidak baik [12] dan yang keenam adalah suhu polimerisasi. Pengaruh suhu pada polimerisasi adalah semakin tinggi suhu maka laju reaksi polimerisasi akan semakin cepat, karena meningkatnya suhu akan menyebabkan tumbukkan antar molekul semakin tinggi [15].

Faktor-faktor polimerisasi sangat mempengaruhi hasil dari polimerisasi dan efisiensi DSSC yang dihasilkan dimana hasil polimerisasi tersebut akan digunakan sebagai zat warna pada DSSC. Polimer yang dihasilkan semakin banyak maka efisiensi DSSC juga semakin besar karena ikatan rangkap juga semakin banyak dimana ikatan phi akan tereksitasi ketingkat yang lebih tinggi saat menyerap energi matahari yang akan dikonversikan menjadi energi listrik.

II. Metoda Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas, *magnetic stirrer*, spatula, corong *buchner*, batang pengaduk, cawan petri, selotip, oven, multimeter digital, *shacker*, pompa vakum, bola hisap, botol penyimpanan, *rotary vacuum evaporator*, *sentrifuge*, spektrofotometerspektronik 21, *furnace*, timbangan analitis. Instrumen yang digunakan adalah spektrofotometer UV – Vis, FTIR, dan XRD.

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah asam Humat, aquades, etanol 96 %, alkohol 70%, bensin, lesitin glanular, trimethylolpropane triglycidyl ether (TMPGDE), kaca ITO, TiO_2 degusa P-25, polietilen glikol (PEG), I_2 (iodine), KI (kalium iodide), asetonitril, lesitin glanular, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, lilin.

2.2 Preparasi Zat Warna

Dilarutkan asam humat 1 g asam humat dengan 10 mL NaOH 0,2 M Dicampurkan 0,4 mL larutan ini dengan lesitin 0,1 M dalam bensin (C_8H_{18}) sebanyak 30 mL. Diaduk dengan

kecepatan 1200 rpm selama 60 menit. Ditambahkan 0,2 mL TMPGDE. Distirer campuran tersebut dengan variasi pengadukkan selama (30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, 90 menit) pada suhu ruang. Campuran reaksi dikumpulkan dan disentrifugasi larutan pada suhu ruang selama 10 menit dengan kecepatan 1200 rpm. Poli asam humat yang didapatkan dicuci dengan campuran air dan aseton. Dikeringkan poli asam humat pada suhu ruang [16].

2.3 Preparasi Kaca ITO

Kaca ITO dipotong pada ukuran 1,25×1,25 cm dan pada bagian tepinya diampelas. Kaca ITO dicuci menggunakan detergen dan kaca ITO dibilas menggunakan alkohol 70%. Kaca ITO dikeringkan dan resistensinya diukur menggunakan alat multimeter [17].

2.4 Preparasi Elektrolit Semi Padat

Potassium iodide sebanyak 0,498 gram dicampurkan dengan 6 mL asetonitril dan diaduk. Ditambahkan 0,076 gram iodine sambil diaduk. Dicampurkan kedua larutan tersebut dan ditambahkan 2,4 gram PEG, diaduk hingga membentuk gel [18].

2.5 Preparasi Pasta TiO₂/Cu

Dilarutkan 1 gram PVA dalam 10 mL aquades. Diaduk dan dipanaskan pada hot plate pada suhu 80°C. ditambahkan 1 gram TiO₂ kedalam larutan sambil diaduk dan dipanaskan. Ditambahkan 0,05 gram Cu kedalam larutan sambil diaduk dan dipanaskan sampai berbentuk pasta [19].

2.6 Preparasi Counter Elektroda

Kaca ITO ditentukan bagian konduktifnya. Bagian konduktif kaca ITO dipanaskan diatas lilin sampai terbentuk lapisan hitam. Dirapikan dengan *cotton bud* bagian pinggir kaca ITO [20].

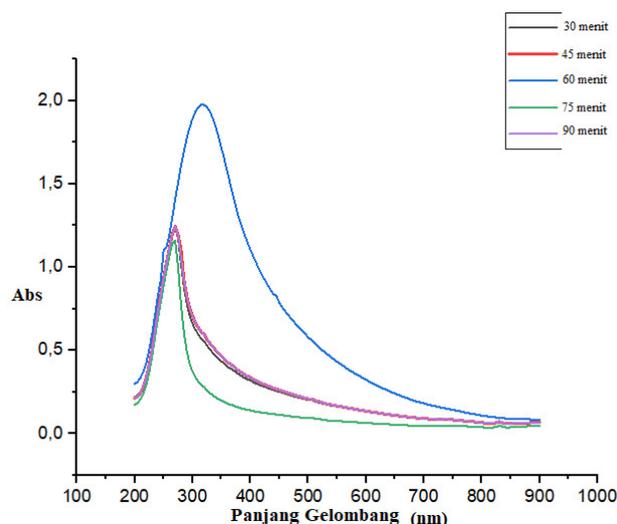
2.7 Perakitan Dye sensitized Solar Cell (DSSC)

Dideposisikan kaca ITO dengan selotip pada bagian kaca yang konduktif yang berukuran 1.25 × 1.25 cm dibentuk area tempat TiO₂/Cu sehingga terbentuk area sebesar 1 × 1 cm. Dideposisikan pasta TiO₂/Cu pada area yang dibuat pada kaca ITO dengan metoda *doctor blade*. Dipanaskan diatas hot plate yang telah di lapiasi aluminium foil pada suhu 100°C selama 30 menit. Dilarutkan *dye* dengan aquades dengan konsentrasi 1%. Direndam TiO₂ /Cu didalam *dye* selama 30 menit. Pada proses ini terjadi penyerapan *dye* pada permukaan TiO₂/Cu [21]. Dilapisi lapisan TiO₂ / Cu dengan *Counter Elektroda* karbon dibagian atas dan diletakkan dawai diantara lapisan TiO₂ / Cu dan *Counter Elektroda* karbon sehingga membentuk struktur *sandwich*. Dijepit kedua sisi dengan penjepit kertas untuk menyatukan kedua elektroda. Ditetaskan elektrolit pada bagian ruang antara kedua elektroda. DSSC siap diuji tegangan dan hambatanya [22].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Spektrometer Uv-Vis

Uji karakterisasi spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui pengaruh polimerisasi terhadap zat warna. Hasil uji spektrofotometer UV-Vis menunjukkan terjadinya efek batokromik pada zat warna yang telah dipolimerisasi. Penyerapan panjang gelombang maksimum asam humat 219 nm bergeser menjadi 265-315 nm pada poli asam huma

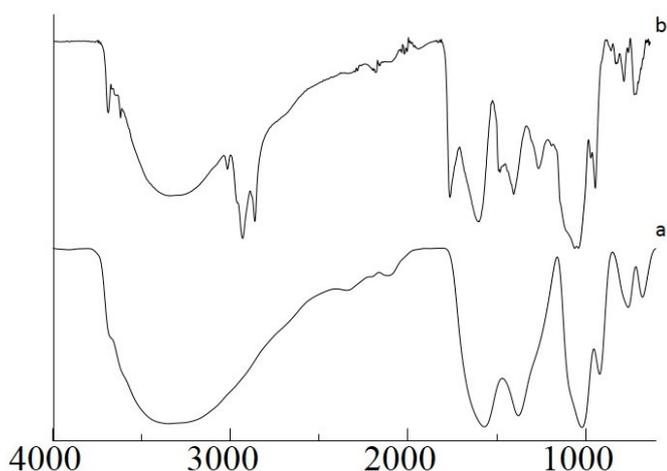


Gambar 1. Panjang Gelombang Maksimum dan Absorbansi Poli Asam Humat

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat luas daerah serapan absorbansi poli asam humat lebih luas dibandingkan dengan luas daerah serapan asam humat. Pada asam humat serapan absorbansi terjadi pada range panjang gelombang 200-400 nm dan pada poli asam humat serapan absorbansi terjadi pada range panjang gelombang 200-800 nm. Pergeseran luas daerah serapan ini terjadi akibat bertambahnya elektron π pada zat warna asam humat yang telah di polimerisasi sehingga penyerapan sinar akan bergeser pada panjang gelombang yang lebih panjang. Pergeseran luas daerah serapan dan absorbansi tersebut diharapkan akan meningkatkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dari DSSC.

3.2 Karakterisasi FTIR

uji karakterisasi FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengetahui gugus fungsi dari zat warna poli asam humat. Pengujian poli asam humat menggunakan bilangan gelombang 4000-600 cm^{-1} .

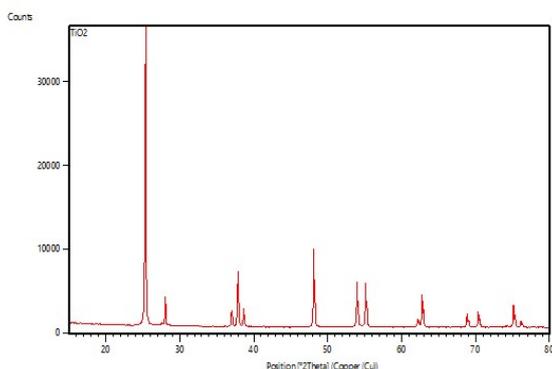


Gambar 2. spektrum bilangan gelombang a. asam humat b. poli asam humat waktu polimerisasi 60 menit dengan suhu 28°C

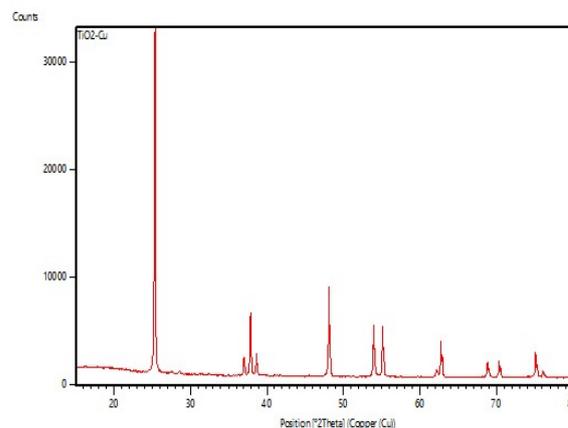
Hasil FTIR Poli asam humat dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan dengan adanya puncak tajam pada panjang gelombang 3689.60 cm⁻¹ dan 3619.25cm⁻¹. Serapan kuat pada panjang gelombang 3343.22 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi OH pada senyawa polifenol. Daerah serapan panjang gelombang 2923.75 cm⁻¹ dan 2853.63 cm⁻¹ mengacu pada peregangan C-H dan puncak 1741.15, 1575.55, dan 1378.07 bersesuaian dengan ester dan asam karboksilat karbonil dan CH stretching. Agen pengikat silang memiliki karakteristik FTIR pada 823.09 cm⁻¹, 724.13cm⁻¹, dan 750.42 cm⁻¹ yang mewakili adanya peregangan epoxy, dari karakteristik FTIR tersebut dapat mengkonfirmasi terbentuknya poli asam humat.

3.3 Karakteristik lapisan TiO₂ dan TiO₂/Cu

Karakterisasi lapisan TiO₂ dan TiO₂/Cu dilakukan dengan analisa XRD. Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui ukuran dan struktur kristal dari TiO₂ dan TiO₂ yang telah didoping dengan logam Cu. Hasil difraktogram dari karakterisasi XRD didoping dengan Cu dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Pola Difraksi TiO₂



Gambar 4. Pola Difaktogram TiO₂/Cu

Hasil analisa XRD menunjukkan adanya beberapa perbedaan pada spectrum difraktogram antara TiO₂ dengan TiO₂/Cu. Pada lapisan TiO₂/Cu terdapat puncak pada 2θ = 32.3683, 68.8670, 70.4003, dan 75.1484 yang menunjukkan adanya logam Cu yang terdeteksi pada permukaan TiO₂. Puncak ini sesuai dengan puncak logam Cu dari kartu interpretasi data Cu.

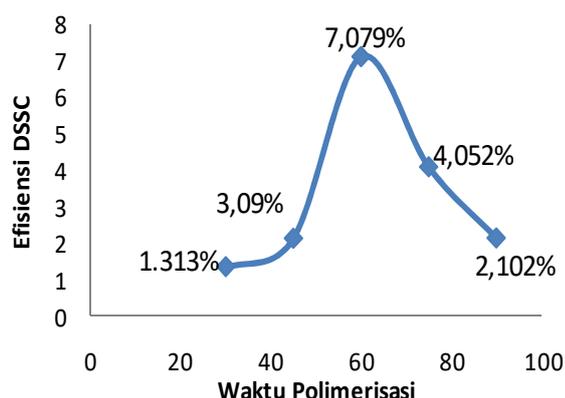
Pola difraktogram dari data XRD dapat digunakan untuk mengetahui ukuran dari TiO₂ dan TiO₂/Cu berdasarkan nilai full width at halfmaximum (FWHM) dengan menggunakan persamaan Scherrer.

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Dimana ukuran kristal adalah D, nilai konstanta adalah k, panjang gelombang sinar X adalah λ, nilai FWHM dari puncak karakteristik masing-masing adalah β, dan sudut difraksi adalah θ. Ukuran kristal dari TiO₂ tanpa doping Cu didapatkan ukurannya sebesar 27,05 nm dengan nilai FWHM 0,3149 dan pada ukuran kristal TiO₂ doping Cu didapatkan ukuran kristal yaitu 18,04 nm dengan FWHM 0,4723. Saat penambahan logam Cu pada TiO₂ dapat memperkecil ukuran. Semakin kecil ukuran maka luas permukaan semakin besar dan penyerapan zat warna juga semakin banyak, sehingga foton dari energi cahaya matahari yang terserap juga semakin banyak dan menghasilkan efisiensi yang tinggi.

3.3 Uji Efisiensi DSSC

DSSC yang telah dirakit diuji efisiensinya dengan menggunakan lampu uv 24 watt sebagai sumber cahaya dan diukur dengan alat multimeter untuk mengetahui nilai tegangan dan hambatannya. Arus yang dihasilkan oleh DSSC dapat dihitung dengan persamaan V = I.R dimana tegangan adalah V (Volt), arus listrik yang mengalir adalah I, dan hambatan (Ω) adalah R [23].



Gambar.4. Grafik pengaruh waktu polimerisasi terhadap efisiensi DSSC

Grafik waktu polimerisasi dapat dilihat mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu polimerisasi. Semakin lama waktu polimerisasi maka reaksi silang juga semakin lama sehingga monomer yang berikatan dengan pengikat silang juga semakin banyak[13]

Efisiensi optimum terjadi pada variasi waktu polimerisasi 60 menit dengan Efisiensi 7,09% dan mengalami penurunan setelah waktu 60 menit hal ini terjadi karena waktu polimerisasi yang semakin lama dapat meningkatkan kontak antara monomer dan pengikat silang semakin besar tetapi, waktu polimerisasi yang telah mencapai titik optimumnya mengakibatkan reaksi tidak akan memperbesar hasil karena terjadi perlambatan reaksi akibat tidak ada lagi monomer dan pengikat silang yang dapat bereaksi lagi [21] sehingga setelah waktu polimerisasi optimum efisiensi menjadi menurun. Pada waktu polimerisasi 30 menit dan 45 menit didapatkan efisiensi yang kecil karena belum maksimalnya monomer (asam humat) bereaksi dengan *crosslinker* (TMPGDE) sehingga masih ada monomer dan *crosslinker* yang belum bereaksi.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan :

1. Proses polimerisasi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi *dye* yaitu asam humat.
2. Efisiensi DSSC maksimum yang didapatkan dari variasi waktu polimerisasi didapatkan pada variasi waktu polimerisasi 60 menit dengan efisiensi 7,079%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Hardeli M.Si sebagai dosen pembimbing didalam pembuatan artikel riset ini dan semua yang terlibat dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan Direktorat Penelitian dan Pengabdian Universitas Negeri Padang, untuk Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas sarana dan dukungannya.

REFERENCES

- [1] Kholiq, I. (2012). Editorial Board. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1), i. [https://doi.org/10.1016/s1877-3435\(12\)00021-8](https://doi.org/10.1016/s1877-3435(12)00021-8)
- [2] Rho, W. Y., Jeon, H., Kim, H. S., Chung, W. J., Suh, J. S., & Jun, B. H. (2015). Recent progress in dye-sensitized solar cells for improving efficiency: TiO₂ nanotube arrays in active layer. *Journal of Nanomaterials*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/247689>
- [3] Hamid, N. N. A., Suhaimi, S., & Yatim, N. M. (2018). Effect of natural dye sensitizers towards the improvement of dye-sensitized solar cell (DSSC) efficiency. *AIP Conference Proceedings*, 1972(June). <https://doi.org/10.1063/1.5041230>
- [4] Kumara, M. S. W., & Prajitno, G. (2012). Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (*Amaranthus Hybridus L .*) Dssc. *Jurnal Fisika. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya*, 11.
- [5] Abidin, R. H. (2017). Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Antosianin Daun Jati Dan Bunga Krisan Merah Ruzaini.
- [6] Hardeli. (2013). Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 155–162.
- [7] Setyawan, L. B. (2018). Perkembangan dan Prospek Sel Fotovoltaik Organik: Sebuah Telaah Ilmiah. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 17(02), 93–100. <https://doi.org/10.31358/techné.v17i02.175>
- [8] Ridha Alfidharisti, S., Nurosyid, F., & Iriani, Y. (2018). Pengaruh Waktu terhadap Efisiensi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.13057/ijap.v8i1.14462>
- [9] Setyowati, D. (2007). *Optimasi Kondisi Penyerapan Ion Aluminium Oleh Asam Humat*. 2(2), 85–91.
- [10] Vekariya, R. L., Sonigara, K. K., Fadadu, K. B., Vaghasiya, J. V., & Soni, S. S. (2016). Humic Acid as a Sensitizer in Highly Stable Dye Solar Cells: Energy from an Abundant Natural Polymer Soil Component. *ACS Omega*, 1(1), 14–18. <https://doi.org/10.1021/acsomega.6b00010>
- [11] Andika, C. K., (2008). Studi Polimerisasi *Core Stirena* dengan Teknik *Seeding*... *Citra Andika Putri, FMIPA UI*, 2008.
- [12] Sahiner, N., Sagbas, S., & Aktas, N. (2016). *AC. Microporous and Mesoporous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.02.012>
- [13] Sahiner, N., Sagbas, S., Aktas, N., & Silan, C. (2016). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces Inherently antioxidant and antimicrobial tannic acid release from poly (tannic acid) nanoparticles with controllable degradability. *Colloids and Surfaces B:*

- Biointerfaces*,142,334–343.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.03.006>
- [14] Wivanius, N., & Budianto, E. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel Superabsorben Kitosan Poli(N-Vinilkaprolaktam) (PnvcI) Dengan Metode Full IPN (Interpenetrating Polymer Network). *Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(3), 152–168.
<https://doi.org/10.7454/psr.v2i3.3483>
- [15] Astuti, K. Y. (2018). Pembentukan Nanopartikel TiO₂ dengan Metode Bervariasi. *Jurnal Jieom*, 1(1), 19–23.
- [16] Sagbas, S., Kantar, C., & Sahiner, N. (2014). *Preparation of Poly (Humic Acid) Particles and Their Use in Toxic Organo- Phenolic Compound Removal from Aqueous Environments Preparation of Poly (Humic Acid) Particles and Their Use in Toxic Organo-Phenolic Compound Removal from Aqueous Environments.*(October2016).<https://doi.org/10.1007/s11270-013-1809-5>
- [17] Hardeli, A. Indra, and Rahadian, “Preparation of dye sensitized solar cell (DSSC) using isolated anthocyanin from fruit sat (melastomamalabathricum l) dicopimented with salicylic acid as dye,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1317, no. 1, pp. 0–12, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1317/1/012028.
- [18] Hardeli, R. Zainul, and L. P. Isara, “Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using anthocyanin color dyes from jengkol shell (Pithecellobium lobatum Benth.) by the gallate acid copigmentation,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1185, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1185/1/012021.
- [19] Shi-, F. A. N. (2019). *Sel Surya*. 2 3. 36(12), 57–74
- [20] Hardeli, H., Sanjaya, H., Nurul Fadhillah, A., & Lasmi, Y. (2020). Zn Electrodeposition of Titanium Dioxide for the Application of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with Extracts of Natural Dyes That Were Copigmented with Salicylic Acid. *10(ICoBioSE 2019)*, 376–383. <https://doi.org/10.2991/absr.k.200807.077>
- [21] Hardeli. (2014). preparasi dye sensitized solar cel menggunakan ekstrak antosianin kulit buah manggis (Garcinia Mangostana L). *Jurnal Sainstek IAIN Batusangkar*, 6(2), 158–167.
- [22] Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando T, Maulidis, S. R. (2013). Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 155–162.
- [23] Yuliarti, K., Si, A. S., & Eng, M. (2018). *Pembentukan nanopartikel tio 2 dengan metode bervariasi*.1(1).
- [24] Tanjung,A,R,Ida, A & Renita M. (2013). Pengaruh Waktu Polimerisasi Pada Proses Pembuatan Poliester dari Asam Lemak Sawit Distilat (ALS_D). *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 2, No, 4 (2013)