

Pengaruh KOH Sebagai Inisiator Pada Polimerisasi Tanin Terhadap Efisiensi Sel Surya DSSC

Resi Gusmar Lina, Hardeli*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

Jalan. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*hardelil@yahoo.com

Abstract – Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a solar cell that use dyes to absorb energy from sunlight which will be converted into electrical energy. The π bonds contained in the dye will absorb photons from sunlight, the number of π bonds can have an impact on the efficiency of the DSSC solar cell. Polymerization is a method used to multiply π bonds. In this research, the dye used is tannin because it has a conjugated π bond and is able to absorb photons from sunlight. Polymerized tannins (polytannins) will be used as dyes in DSSC. In the polymerization of tannins using KOH as an initiator which is a source of free radicals and is able to extend the polymer chain. The poly-tannins produced were characterized by using the Fourier Transform Infra Red (FTIR) instrument, indicating the formation of poly-tannins with the appearance of a methyl group (-CH₂) at a wavelength of 2942.46 cm⁻¹ which appeared in the tannin polymerization process. The optimum efficiency of DSSC produced using poly-tannin is 7.019% with a maximum concentration of 2% KOH.

Key words: DSSC, Polymerization, poly-tannin, initiator, efficiency

I. PENGANTAR

Energi adalah kebutuhan manusia yang mempunyai peranan yang sangat penting sehingga ketersediaan sumber energi terus dikembangkan, energi fosil atau bahan bakar minyak ialah salah satu sumber energi yang banyak digunakan. Energi fosil adalah energi yang tak dapat diperbarui sehingga penggunaan energi dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan krisis energi dikemudian hari yang dapat berujung pada kelangkaan [1].

Sel surya merupakan salah satu sumber energi alternatif yang terus dikembangkan karena dapat dihasilkan dari sinar matahari dengan cara mengabsorpsi foton dari radiasi matahari atau cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya ditemukan pertama kalinya pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan[2]. Sel surya dari bahan pembuatannya terbagi atas dua yaitu sel surya berbahan dasar silikon dan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC ialah sel surya berbasis *dye* yang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Pada DSSC ini *dye* atau molekul zat warna akan mengabsorpsi foton dari cahaya matahari sehingga elektron dari molekul zat warna akan mengalami eksitasi[2]. Molekul zat warna/*dye* yang telah mengalami eksitasi tersebut, elektronnya akan terinjeksi ke TiO₂ yang merupakan fotokatalis yang memiliki *band-gap* yang lebar[3]. TiO₂ merupakan salah satu dari fotokatalis yang sering digunakan pada sel surya DSSC sebagai semikonduktor[2].

Zat warna atau pigmen yang dapat digunakan pada DSSC dapat berasal dari pigmen seperti klorofil, antosianin, betanin, karetonoid dan tanin. Syarat suatu zat warna dapat digunakan sebagai *dye* pada DSSC yaitu mampu mengabsorpsi foton dari

cahaya disekitar sinar tampak, sehingga dapat menghasilkan energi listrik dan mampu meningkatkan kinerja sel surya DSSC. Tanin yaitu senyawa polifenol yang mudah dipolimerisasi dengan berat molekul yang tinggi. Tanin larut dalam pelarut gliserol, air, hidroalkohol dan alkohol, namun tidak larut dalam pelarut benzena, petroleum eter dan eter. Tanin dapat terdekomposisi pada suhu 210⁰C, terbakar pada suhu 526 ⁰C dan mempunyai titik nyala pada suhu 210 ⁰C [4]. Polimer yaitu molekul besar dengan penyusunannya monomer-monomer yang tersusun secara berulang. Polimerisasi *dye* yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanin, tanin pada penelitian sebelumnya telah dipolimerisasi dan digunakan sebagai zat perekat dan biosorben logam berat[4]. Polimerisasi pada molekul zat warna bertujuan untuk memperbanyak ikatan π terkonjugasi pada tanin, sehingga mampu meningkatkan efisiensi sel surya DSSC[5]. Polimerisasi berikatan silang merupakan polimer yang terbentuk karena terjadinya ikatan antar rantai polimer satu dengan lainnya pada rantai utamanya[6]. Agen pengikat silang yang digunakan pada polimerisasi tanin ini *glutaraldehyde* atau *furfuryl alcohol* untuk menghasilkan poli tanin (pT) yang akan digunakan sebagai zat warna/*dye* pada sel surya DSSC[7].

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi polimerisasi diantaranya yaitu konsentrasi inisiator, waktu reaksi polimerisasi, suhu, konsentrasi monomer, konsentrasi agen pengikat silang, dan surfaktan[8]. Konsentrasi inisiator yang tinggi mengakibatkan radikal bebas yang terbentuk semakin banyak, sehingga tumbukan radikal inisiator dengan monomer semakin cepat masuk ke misel dan telah terjadi polimerisasi secara sempurna[5]. KOH dan NaOH dapat digunakan sebagai inisiator pada proses polimerisasi. KOH dipilih sebagai

inisiator karena dapat mempercepat proses polimerisasi, mudah didapatkan dan harganya yang relatif lebih murah[9]. Waktu polimerisasi dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi karena semakin lama proses polimerisasi dilakukan maka semakin lama tumbukan yang terjadi antara monomer dengan agen pengikat silang silang, sehingga polimerisasi yang dihasilkan semakin banyak. Suhu yang digunakan pada proses polimerisasi dapat mempengaruhi laju reaksi selama proses polimerisasi karena semakin tinggi suhu maka reaksi dapat berlangsung semakin cepat.[5] Konsentrasi dari monomer dapat mempengaruhi polimerisasi yaitu tingginya konsentrasi monomer yang digunakan pada polimerisasi menyebabkan polimer yang terbentuk semakin banyak dan laju reaksi semakin cepat[5]. Konsentrasi agen pengikat silang yang digunakan pada proses polimerisasi dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi karena jika semakin banyak agen pengikat silang yang digunakan maka semakin banyak radikal bebas yang dihasilkan dan agen pengikat silang dapat mengikat monomer- monomer polimer lebih banyak [5]. Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi yaitu konsentrasi surfaktan. Pengaruh surfaktan terhadap reaksi polimerisasi yaitu jika konsentrasi surfaktan yang digunakan semakin tinggi maka misel yang dihasilkan semakin banyak sehingga polimerisasi bisa berlangsung dengan baik dan polimer emulsi dapat lebih stabil[5]. Jumlah volume agen pengikat silang yang digunakan dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi, karena semakin banyak volume agen pengikat silang yang digunakan atau dimasukkan pada proses polimerisasi maka semakin banyak radikal bebas yang terbentuk. Radikal bebas yang dihasilkan kemudian akan mengikat monomer- monomer yang akan terikat silang dengan agen pengikat silang pada proses polimerisasi yang semakin banyak[10].

Doping yaitu salah satu metode yang digunakan untuk mencampurkan logam transisi atau non logam kedalam semikonduktor TiO₂ yang bertujuan untuk membantu kinerja TiO₂ dalam menggeser penyerapan TiO₂ pada tingkat energi yang lebih rendah sehingga kinerja TiO₂ menjadi lebih optimal[11].

Pada DSSC molekul dari zat warna/*dye* yang digunakan akan menyerap foton dari cahaya matahari sehingga elektron dari molekul zat warna tersebut akan mengalami eksitasi. Molekul zat warna/*dye* yang telah mengalami eksitasi tersebut, elektronnya akan terinjeksi ke TiO₂ sebagai semikonduktor lapis tipis nanokristal anorganik dengan celah pita yang lebar. TiO₂ ialah semikonduktor anorganik yang sering digunakan pada DSSC[12].

Efisiensi sel surya dapat dihitung menggunakan rumus $\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\%$. Dimana P_{max} ialah daya dari sumber yang dihasilkan oleh DSSC, P_{in} merupakan daya sumber cahaya yang digunakan pada DSSC[13].

Faktor-faktor yang mempengaruhi polimerisasi mempunyai dampak terhadap efisiensi DSSC karena zat warna hasil dari polimerisasi tersebut akan digunakan sebagai *dye* pada sel surya DSSC. Polimerisasi tanin dilakukan untuk memperbanyak ikatan π pada tanin sehingga dapat menyerap

lebih banyak foton dari cahaya matahari yang dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi sel surya *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* yang akan dikonversikan menjadi energi listrik. Penelitian mengenai polimerisasi tanin telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang digunakan sebagai zat perekat dan adsorben logam berat[7].

II. METODE PENELITIAN

A. Materials

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Tanin konvensional, Glutaraldehyde p.a (merk Merck), KOH p.a (merk Merck), Formaldehid 37% (merk Merck), HCl 36% (merk Merck), aquabidest, Metanol p.a (merk EMSURE), Asetonitril p.a, Kalium Iodida (merk Merck), Iodida (merk Merck), Titanium Dioksida Degusa P-25 (merk EMSURE), FeSO₄.7H₂O, Poli etilen glikol (PEG) 4000, Alkohol 70%, kertas saring, selotip, aluminium foil, lilin, cotton bud.

B. Equipment

Gelas kimia 100 mL dan 250 mL, gelas ukur 50 mL, 25 mL dan 5 mL, pipet tetes, cawan penguap, Erlenmeyer 250 mL, kondensor, statif, batang pengaduk, labu alas bulat 500 mL, oven (merk XU 225 France Etuve), *magnetic stirrer* (merk Heidolph), corong, botol penyimpanan, penjepit kertas, desikator, timbangan analitik (merk KERN), *Ultrasonic cleaner* (merk BK-1200), spektrofotometer FTIR (*Panalytical Expert Pro*) dan multimeter digital merk Sanwa.

C. Prosedur penelitian

1. Preparasi dye

Kedalam labu alas bulat yang telah berisi campuran larutan 25 mL (36% HCl dan 37% HCHO) dimasukkan 2,5 gram tanin, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 200°C selama 2 jam. Produk (tanin- formaldehida) disaring dan dicuci beberapa kali menggunakan air DI, kemudian masukkan ke dalam oven selama 1 jam pada suhu 80°C. Kemudian 0,25 gram resin dilarutkan dalam 25 mL larutan KOH 1%. Lalu campuran dipanaskan sampai suhu 60-70°C dengan pengadukan magnet secara terus-menerus dan 2,5 mL *Glutaraldehyde* (pengikat silang) ditambahkan ke resin tanin-formaldehida. Pemanasan campuran tersebut ditingkatkan hingga suhu 100°C. Kemudian resin ikatan silang *Polytanin Glutaraldehyde* (PTGR) didinginkan pada suhu kamar dan dapat diaplikasikan untuk sel surya DSSC[7].

2. Preparasi Kaca ITO

Kaca ITO yang digunakan untuk sel surya ini dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 1,25 cm, kemudian amplas bagian tepinya. Kaca ITO kemudian dicuci menggunakan alkohol 70% yang bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor pada kaca ITO dengan cara memasukkan kaca ITO kedalam gelas kimia yang telah berisi 200 ml alkohol 70%. Agar proses pembersihan kaca lebih optimal maka kaca ITO terlebih dahulu dimasukkan kedalam *ultrasonic cleaner* selama 60 menit. Setelah itu kaca ITO dikeringkan dan diukur resistensinya menggunakan multimeter digital[13].

3. Preparasi Doping pasta TiO₂/ Fe

TiO₂ sebanyak 0,475 gram dan 0,025 gram FeSO₄.7H₂O dilarutkan ke dalam 100 mL metanol p.a, kemudian distirrer selama 60 menit menggunakan *magnetic stirrer* agar terbentuk sol yang homogen. Sol TiO₂-Fe yang terbentuk disonikasi selama 30 menit menggunakan *ultrasonic cleaner*, dan dipanaskan didalam oven pada suhu 96 °C selama 60 menit dan dinginkan pada desikator[14].

4. Pelapisan TiO₂/ Fe pada kaca ITO

Kaca ITO yang mempunyai ukuran 2,5 x 1,25 cm dibuat menjadi area scotch tape yang berukuran 1 x 1,5 cm. Dideposisikan pasta TiO₂/ Fe ke kaca ITO dan diratakan menggunakan metode *doctor blade*. Lapisan semikonduktor yang sudah dibuat selanjutnya dipanaskan di atas *hot plate* yang sebelumnya telah dilapisi aluminium foil selama 30 menit pada suhu 100° C[15].

5. Preparasi Elektrolit Semi Padat

Preparasi elektrolit semi padat untuk sel surya ini dibuat dengan membuat campuran homogen antara Kalium Iodida / I₂, dengan polietilen glikol (PEG). Preparasi larutan PEG 0,1 M (Kalium Iodida 0,5 M dan Iodine 0,05 M) disintesis dengan menimbang 0,498 gram Kalium Iodida yang dilarutkan menggunakan 6 mL asetonitril. Kemudian pada gelas kimia lain, 0,076 gram I₂ dilarutkan kedalam 6 mL asetonitril kemudian dilakukan pengadukan sampai homogen. Kemudian ke dalam larutan elektrolit tersebut dimasukan 2,4 gram polietilen glikol (PEG) yang telah disintesis kemudian diaduk sampai membentuk gel[16].

6. Preparasi Counter electrode

Preparasi counter elektroda karbon yang akan digunakan pada sel surya ini dibuat dengan cara melapisi kaca ITO dengan karbon. Karbon yang digunakan dapat diperoleh dari asap pembakaran lilin. Cara melapisi karbon pada kaca ITO yaitu dengan memanaskan bagian konduktif kaca ITO di atas lilin hingga terbentuk lapisan berwarna hitam, kemudian rapikan bagian pinggir kaca ITO menggunakan cutton bud[12].

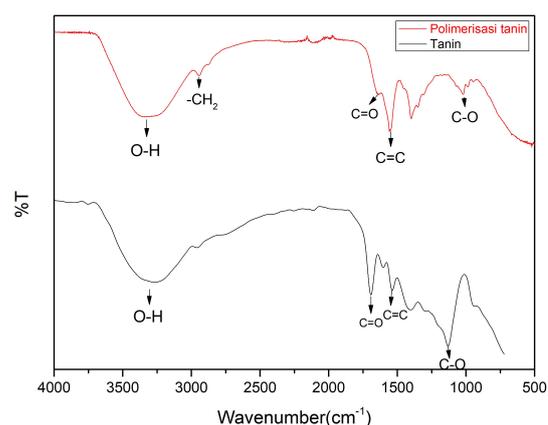
7. Perakitan Sel surya DSSC

Dideposisikan kaca ITO menggunakan selotip pada bagian kaca konduktif yang mempunyai ukuran 2.5 x 1,25 cm kemudian dibuat dengan ukuran 1 x 1,25 cm sebagai tempat untuk TiO₂/Fe. Dideposisikan pasta TiO₂/Fe ke kaca ITO dan diratakan menggunakan metode *doctor blade*. Dipanaskan diatas hot plate yang telah dilapisi lapis aluminium foil selama 30 menit pada suhu 100°C. Kemudian direndam TiO₂/Fe didalam *dye* selama 30 menit. Pada proses ini *dye* akan terserap pada permukaan TiO₂/Fe . Kemudian pada *electrode counter* dilapisi karbon sebagai katalis, kemudian dijepit menggunakan penjepit kertas untuk menyatukan kedua elektroda membentuk struktur *sandwich*. Ditetesi larutan elektrolit dicelah antara kedua elektroda. DSSC siap diuji menggunakan multimeter digital[5].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Dye

Karakterisasi *dye* yang digunakan pada DSSC dilakukan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia, gugus fungsi dan pergeseran pita serapan yang terjadi karena pengaruh dari polimerisasi terhadap zat warna. Hasil karakterisasi FTIR dari tanin dan poli-tanin yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Spektre FTIR tanin dan poli-tanin

TABEL 1
INTERPRETASI DATA FTIR TANIN DAN POLI-TANIN

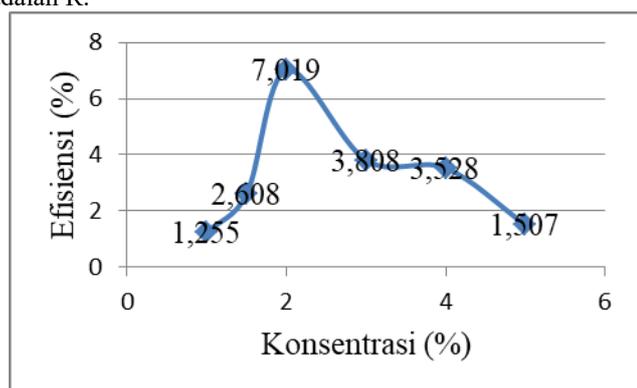
Gugus Fungsi	Interpretasi Data		
	Tanin (cm ⁻¹)	Poli-tanin (cm ⁻¹)	Data Literatur (cm ⁻¹)
O-H fenol	3240,56	3318,58	3600-3200
CH ₂ metilen	-	2942,46	2700-3000
C=C aromatis	1513,55	1549,83	1500-1675
C-O aomatis	1024,64	1021,33	1000-1100
C=O karbonil	1606,49	1635,66	1600-1820

Dari Gambar 1 dan Tabel 1 menunjukkan hasil karakterisasi inframerah tanin dan poli-tanin, tanin murni sebelum dipolimerisasi terdapat gugus fungsi -OH fenolik yang muncul dengan serapan pada panjang gelombang 3240,56 cm⁻¹. Tanin merupakan senyawa aromatis yang

mempunyai ikatan rangkap terkonjugasi yang mampu menyerap foton dari sinar matahari. Ikatan C=C aromatis muncul pada panjang gelombang 1513,55 cm⁻¹ kemudian didukung adanya C-O aromatis pada panjang gelombang 1024,64 cm⁻¹ serta C=O karbonil pada 1606,49 cm⁻¹ yang merupakan karakteristik senyawa tanin. Tanin yang telah dipolimerisasi (poli-tanin) terdapat pergeseran puncak spektrum inframerah yang lebar pada O-H fenolik yaitu 3240,56 menjadi 3318,58 cm⁻¹ dan munculnya (-CH₂) metilen pada panjang gelombang 2942,46 cm⁻¹ yang terjadi selama reaksi polimerisasi yang menunjukkan telah terjadi polimerisasi tanin (poli-tanin).

B. Uji Efisiensi DSSC

Sel surya DSSC yang telah dirakit kemudian diuji efisiensinya menggunakan lampu UV merk Tazen dengan panjang gelombang (200-400 nm) yang berdaya 24 Watt/m² dan diukur hambatan dan tegangannya menggunakan multimeter digital merk Sanwa untuk mengetahui nilai hambatan dan tegangan yang dihasilkan. Arus yang dihasilkan DSSC dapat dihitung menggunakan persamaan $V=I.R$ dimana V merupakan tegangan yang dihasilkan (volt), I merupakan arus yang mengalir (A) dan hambatan (Ω) dari kaca ITO adalah R.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi inisiator KOH terhadap efisiensi sel surya DSSC

Gambar 2 menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi inisiator yang digunakan terhadap efisiensi sel surya DSSC. Semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka efisiensi yang dihasilkan sel surya DSSC semakin tinggi namun akan terjadi penurunan efisiensi setelah mencapai konsentrasi maksimum KOH yang digunakan. Menurunnya efisiensi sel surya yang dihasilkan disebabkan karena radikal yang terbentuk pada konsentrasi rendah sedikit dan hanya dapat mengikat lebih sedikit monomer yang menyebabkan konversi energi listrik lebih rendah karena rantai polimer yang dihasilkan pendek[17].

Efisiensi optimum dari DSSC yaitu 7,019% dengan konsentrasi KOH 2% dan mengalami penurunan pada setelah konsentrasi KOH 2%. Pada konsentrasi 4% dan 5% memiliki efisiensi yang rendah karena semakin besar konsentrasi inisiator yang digunakan maka radikal bebas yang terbentuk

semakin banyak yang mengakibatkan kombinasi radikal inisiator dengan ujung rantai, hal ini menyebabkan molekul yang dihasilkan banyak dengan rantai polimer yang pendek sehingga konversi energi listrik menjadi rendah[18].

IV. KESIMPULAN

1. Polimerisasi tanin yang dihasilkan mampu meningkatkan efisiensi dari Sel Surya *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*.
2. Konsentrasi maksimum inisiator KOH yang digunakan pada polimerisasi tanin (poli-tanin) yaitu 2% dengan efisiensi optimum sel surya DSSC yaitu 7,019%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada orang tua, Bapak Dr. Hardeli, M.Si sebagai dosen pembimbing dalam pembuatan artikel ini dan teman-teman mahasiswa yang terlibat dalam penulisan ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Bapak dan Ibu PLP Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas fasilitas serta dukungannya.

REFERENSI

- [1] I. Kholiq, "Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi bbm," *J. IPTEK*, vol. 2, pp. 75–91, 2015.
- [2] Hardeli, Suwardani, T. Fernando, Maulidis, and S. Ridwan, "Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO 2 Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami," *Pros. Semirata FMIPA Univ. Lampung*, pp. 155–162, 2013.
- [3] A. Supriyanto, M. I. Darmawan, Hardani, and H. Darmaja, "Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Bahan-bahan Organik Alam *Celosia Argentums* dan *Lagerstromia sp.*," *J. Teknol.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–14, 2010.
- [4] Y. C. Danarto, S. A. Prihananto, and Z. A. Pamungkas, "Pemanfaatan Tanin dari Kulit Kayu Bakau sebagai Pengganti Gugus Fenol pada Resin Fenol Formaldehid," *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim.*, pp. 1–5, 2011.
- [5] N. Marsha, "Pengaruh Waktu Polimerisasi Pada Pembentukan Poli Asam Humat Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)," *Period. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 65–70, 2020.
- [6] ... Supeno. (N.D.). Sibirian, R. A. F., Simbolon, T. R., Sebayang, K., Simanjuntak, C., Marpaung, H., Wirjosentono, B., *Ilmu material*. Medan: Polimer Ilmu Material. Medan: USU Press, 2017.
- [7] M. Saud *et al.*, "Recyclable glutaraldehyde cross-linked polymeric tannin to sequester hexavalent uranium from aqueous solution," *J. Mol. Liq.*, vol. 281, pp. 29–38, 2019.
- [8] N. Sahiner, S. Sagbas, N. Aktas, and C. Silan, "Colloids and Surfaces B : Biointerfaces Inherently antioxidant and antimicrobial tannic acid release from poly (tannic acid) nanoparticles with controllable degradability," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 142, pp. 334–343, 2016.
- [9] A. T. Rahayu, S. N. Kholifayah, P. S. Fisika, F. Pendidikan, and I. Pengetahuan, "Sintesis dan karakterisasi polydimethylsiloxine dengan teknik Ring- Opening Polymerization," *Pros. Semin. Nas. Fis.*, vol. 0, pp. 306–310, 2019.
- [10] N. Wivanius and E. Budianto, "Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel Superabsorben Kitosan Poli (N-Vinilkaprolaktam) (Pnvl) Dengan Metode Full Ipn (Interpenetrating Polymer Network) Abstrak," *Pharm Sci Res*, vol. 2, no. 3, pp. 152–168, 2015.
- [11] A. Haris, D. S. Widodoa, R. Nuryanto, R. A. Lusiana, and M. Viantikasari, "Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi," *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 22, no. 2, pp. 47–51, 2019.
- [12] R. Damayanti and H. Sanjaya, Hary, "Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi," *J.*

- Sainstek*, vol. VI, no. 2, pp. 148–157, 2014.
- [13] H. Hardeli, H. Sanjaya, N. F. A, and Y. Lasmi, “Zn Electrodeposition of Titanium Dioxide for the Application of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with Extracts of Natural Dyes That Were Co-pigmented with Salicylic Acid,” *Atl. Press*, vol. 10, no. ICoBioSE 2019, pp. 376–383, 2020.
- [14] S. K. W. N. Hary Sanjaya , Pinta Rida, “Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG Dengan Metode Fotosonolisis,” *J. Eksakta*, vol. 18, no. 2, pp. 22–29, 2017.
- [15] R. Prasetyowati, “Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni 2012,” pp. 1–6, 2012.
- [16] J. Yin, “The application of natural dyes in Dye-sensitized solar cells,” no. Mmehc, pp. 1297–1300, 2016.
- [17] E. B. dan N. A. Helmiyanti, “Polimerisasi Emulsi Etil Akrilat : Pengaruh Konsentrasi Surfaktan , Inisiator dan Teknik Polimerisasi terhadap distribusi ukuran partikel,” *MAKARA SAINS*, vol. 13, no. 1, pp. 59–64, 2009.
- [18] B. dan J. Afrinaldi, “Pengaruh konsentrasi inisiator dan komposit Styrene dan Maleic Anhydride terhadap Berat Molekul pada Sintesis Kopolimer Poly (Styrene-Maleic Anhydride),” *J. Kim. Kemasan*, vol. 36, no. 2, pp. 253–258, 2014.