

# Pengaruh *Crosslinker* Terhadap Pembentukan Poli Asam Humat yang Digunakan Sebagai *Dye* pada Sel Surya DSSC

Kenanga Anzulmi, Hardeli\*

#Department of Chemistry, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Padang, West Sumatera Indonesia Telp. 0751 7057420

\*hardelil@yahoo.com

**Abstract**— Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a device capable of converting solar energy into electrical energy. DSSC are solar cells that use natural dyes to absorb photons from solar energy. The dye used in this study was poly (humic acid) which was obtained from the polymerization of humic acid using TMPGDE as a crosslinker. Polymerization aims to increase the efficiency of the dye in absorbing photons so that the resulting efficiency is better. The ITO glass coated with TiO<sub>2</sub> / Cu was made using the sol-gel method. DSSC is assembled to form a sandwich structure and DSSC efficiency is measured using a digital multimeter. UV-Vis analysis of polymerized dyes showed increased adsorption and bathochromic shift from 219nm to 269nm - 301nm. The poly (humic acid) formed in the FTIR analysis was characterized by the presence of epoxy groups with peak characteristics of 808 cm<sup>-1</sup> and 1798 cm<sup>-1</sup> and 750 cm<sup>-1</sup> and peaks of 1565 cm<sup>-1</sup>, 1375 cm<sup>-1</sup> according to the ester, carbonyl, and carboxylic acids due to the CH strain. Maximum efficiency of 7.5% at a crosslinker volume of 200  $\mu$ L.

**Keywords**—humic acid, poly (humic acid), polymerization, DSSC,

## I. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman. Salah satu energi dari alam yang sering dimanfaatkan ialah energi fosil. Energi fosil sebagai sumber bahan bakar minyak merupakan salah satu sumber energi yang bersifat tidak terbarukan[1]. Energi terbarukan merupakan energi berkelanjutan sehingga penggunaannya diharapkan mampu menggantikan energi tidak terbarukan yang ketersediaannya akan habis. Dalam hal inilah, sebagai suatu sumber energi terbarukan, maka energi matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui suatu alat yang disebut sel surya[2].

Sel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sel surya jenis DSSC (*Dye-Sensitized Solar Sel*). DSSC (*Dye-Sensitized Solar Sel*) merupakan sumber energi yang relatif murah dan ramah lingkungan. DSSC menggunakan prinsip sederhana dari kinerja tanaman berfotosintesis, yaitu proses penangkapan energi foton yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik [3]. DSSC yang menggunakan *dye* alami yang berasal dari tumbuhan dan bahan alami lain yaitu daun-daunan, buah-buahan dan lain-lain memiliki efisiensi rendah meskipun punya kelebihan pada biaya produksi dan ramah lingkungan. Efisiensi yang dihasilkan dari *dye* alami biasanya kurang dari 1%. Pada penelitian ini *dye* alami yang digunakan adalah asam humat dimana asam humat menghasilkan efisiensi yang sedikit lebih baik yaitu 1,4% [4].

Efisiensi ( $\eta$ ) merupakan rasio daya yang keluar ( $P_{out}$ ) terhadap daya masukan ( $P_{in}$ ). Persamaan tersebut dapat

diuraikan secara implisit dengan menggunakan insiden fluks cahaya ( $I_0$ ) yang melibatkan hubungan arus singkat ( $I_{sc}$ ) tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), fill factor dan rapat arus short circuit.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Asam humat adalah bahan organik yang berasal baik dari tanah kompos maupun perairan. Karakter asam humat secara umum digambarkan berwarna kuning hingga hitam dengan sifatnya yang refraktori dan mempunyai berat molekul yang besar. Asam humat dapat dikatakan sebagai suatu molekul yang sangat besar yang terdiri dari cincin aromatik dan alifatik yang mengikat gugus -OH fenolat, -COOH, -OH alkoholat, dan kemungkinan kuinon [5]. Asam humat mempunyai gugus-gugus yang kaya akan elektron sehingga dapat bertindak sebagai donor elektron. Ikatan rangkap terkonjugasi yang ada pada asam humat membuat asam humat dapat dijadikan *dye* pada DSSC sehingga dapat menghasilkan listrik saat terjadi eksitasi elektron akibat *dye* terkena matahari [6].

Polimerisasi asam humat bertujuan untuk memperbanyak ikatan rangkap terkonjugasi sehingga dengan banyaknya ikatan pi yang terbentuk diharapkan keefisiensannya sebagai *dye* bisa melebihi 1,4% dari asam humat yang tidak dipolimerisasi. Asam humat dapat dipolimerisasi dengan senyawa yang mempunyai gugus *epoxy* yang berfungsi

sebagai *crosslinker*. *Crosslinker* berfungsi untuk mengikat monomer-monomer yang ingin dipolimerisasi. TMPGDE merupakan agen pengikat silang yang mempunyai tiga gugus *epoxy* yang dapat direaksikan dengan asam humat. Polimer adalah molekul besar yang tersusun dari unit-unit yang berulang. Polimer berikat silang merupakan polimer yang terbentuk karena adanya ikatan antar rantai polimer satu sama lain pada rantai utamanya [7].

Proses polimerisasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, konsentrasi *crosslinker* dan jenisnya, inisiator, waktu polimerisasi, kecepatan pengadukan dan konsentrasi monomer. Pada penelitian ini penulis akan memvariasikan volume dari *crosslinker* untuk membuat poli asam humat. Volume dari *crosslinker* juga dapat mempengaruhi polimerisasi. Semakin banyak volume radikal bebas yang terbentuk juga semakin banyak sehingga radikal bebas ini dapat mengikat monomer dari asam humat [8].

## II. METODA PENELITIAN

Asam humat yang digunakan adalah AH-90, dengan  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  digunakan untuk doping  $\text{TiO}_2$  dan Trimetilolpropan Triglisidil Eter (TMPGDE) sebagai agen pengikat silang, lesitin, bensin, NaOH, kaca ITO, etanol 96%, aquades, KI,  $\text{I}_2$ , asetonitril p.a, polietilen glikol (PEG) lilin, aquades. Alat yang digunakan yaitu magnetic stirrer yang digunakan untuk polimerisasi dan sentrifuge merk Tomy MX-307. Instrument yang dipakai yaitu spektrofotometer UV-Vis untuk melihat panjang gelombang dengan uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi poli asam humat dan XRD untuk melihat ukuran Kristal  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$ .

### A. Polimerisasi Asam Humat

Preparasi poli asam humat dengan variasi volume *crosslinker* dibuat dengan melarutkan 1 g asam humat pada NaOH 0,2 M 10 mL, 0,4 mL larutan ini dicampurkan dengan lesitin dalam bensin sebanyak 30 mL. Larutan yang terbentuk ini diaduk selama 60 menit dengan kecepatan 1200 rpm. Kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit TMPGDE sebanyak (100  $\mu\text{l}$ , 150  $\mu\text{l}$ , 200  $\mu\text{l}$ , 250  $\mu\text{l}$ , 300  $\mu\text{l}$ ). disentrifugasi larutan selama 10 menit pada suhu 20 °C dengan kecepatan 1200 rpm. Akhirnya, Poli asam humat yang terbentuk dicuci dengan campuran aseton dan air. Hasil polimerisasi diuji untuk mengetahui efisiensi maksimumnya.

### B. Preparasi DSSC

Preparasi elektrolit semi padat dibuat dengan cara membuat larutan pertama yaitu potasium iodide (KI) sebanyak 0,498 gram dilarutkan dengan 6 mL asetonitril lalu diaduk. Larutan kedua 0,076 gram iodine ( $\text{I}_2$ ) dilarutkan dalam 6 mL asetonitril hingga homogen. Selanjutnya, kedua larutan dicampurkan dengan menambahkan 2,4 gram polietilen glikol (PEG) dan diaduk hingga homogeny [9].

$\text{TiO}_2$  doping Cu dibuat dengan melarutkan 1 gram PVA dalam 10 mL aquades. Larutan dipanaskan pada suhu 80 °C sambil diaduk setelah PVA larut ditambahkan  $\text{TiO}_2$  sebanyak 1 gram sambil diaduk. Setelah itu dimasukkan 0,05 gram Cu lalu diaduk lagi hingga nantinya terbentuk pasta berwarna biru muda [10].

Preparasi Counter Elektroda karbon disiapkan dengan menggunakan lilin untuk membentuk lapisan karbon. Karbon dilapiskan ke ITO pada bagian konduktifnya dengan cara didekatkan dengan lilin yang menyala sampai terbentuk lapisan karbon tebal dipermukaan kaca ITO. Lapisan karbon yang terhasil kemudian dibentuk sesuai dengan ukuran 1 cm x 1 cm [11].

Kaca ITO yang telah dipotong menjadi ukuran 1.5 cm x 1.5 cm dibentuk area tempat  $\text{TiO}_2$  dideposisikan dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 cm x 1 cm. Pasta  $\text{TiO}_2$  dideposisikan pada permukaan kaca ITO yang telah diberi *Scotch tape* menggunakan metode *doctor blade*, kemudian dikeringkan di atas hot plate dengan suhu 100 °C [12].

### C. Perakitan DSSC

Kaca ITO yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan Cu direndam dalam dye asam humat yang telah dipolimerisasi selama 30 menit. Kaca ITO diangkat dan dibiarkan kering. Diletakkan counter elektroda karbon dengan struktur sandwich dimana masing-masing ujung diberi offset 0,25 cm untuk kontak elektrik dan diberi jepit dengan klip pada kedua sisi. Ditetaskan kira-kira 2 tetes elektrolit diantara celah lapisan  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dan counter elektroda karbon. DSSC siap diuji.

### D. Pengujian Instrument

Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur Kristal dari  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dengan membandingkan puncak-puncak dengan kartu interpretasi data XRD  $\text{TiO}_2$ .

FTIR digunakan untuk melihat gugus fungsi yang muncul setelah polimerisasi asam humat dengan cara membandingkan asam humat sebelum polimerisasi dengan asam humat setelah polimerisasi. Pengujian spektrofotometer uv-vis dilakukan untuk melihat absorbansi dari poli asam humat.

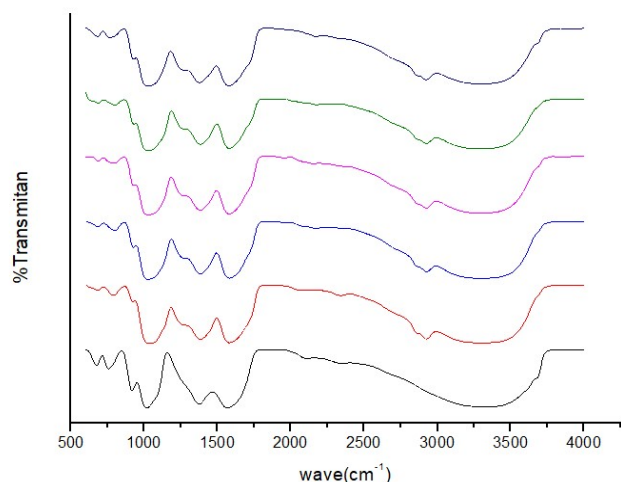
### E. Pengujian Arus Listrik

DSSC yang telah dirangkai dilakukan pengujian yaitu pengujian langsung tegangan dan arus yang terukur dari sel surya dengan menggunakan multimeter digital. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya dari lampu UV dan cahaya matahari langsung. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya dari reaktor UV yang memiliki daya 24 watt. Dari nilai tegangan dan arus yang didapat bisa dihitung nilai efisiensi dari sel surya yang dibuat.

## III. PEMBAHASAN.

### A. Instrument

Sebelum digunakan sebagai *dye* pada DSSC, poli asam humat dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk melihat gugus fungsi yang muncul setelah proses polimerisasi dilakukan. Pengujian FTIR menggunakan bilangan gelombang 500 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 1. FTIR poli asam humat variasi crosslinker

Berdasarkan penelitian oleh Sagbas, hasil FTIR poli asam humat yang didapat, diketahui bahwa puncak tajam antara bilangan gelombang 3692  $\text{cm}^{-1}$  dan 3622  $\text{cm}^{-1}$  adalah gugus fungsi O-H fenol pada penelitian ini puncak yang didapat ialah 3672  $\text{cm}^{-1}$ . Pita besar yang diamati antara bilangan gelombang 3000  $\text{cm}^{-1}$  hingga 3500  $\text{cm}^{-1}$  dapat diartikan sebagai peregangan O-H dan N-H karena adanya ikatan intramolekuler hidrogen, untuk hasil FTIR yang didapatkan mirip yaitu bilangan gelombangnya 3298  $\text{cm}^{-1}$ . Pita getaran yang diamati antara 2.915  $\text{cm}^{-1}$  dan 2.857  $\text{cm}^{-1}$  mengacu pada getaran peregangan  $\text{CH}_2$  jika dibandingkan dengan hasil polimerisasi yang sudah dilakukan bilangan gelombangnya tidak jauh berbeda yaitu 2864  $\text{cm}^{-1}$  - 2924  $\text{cm}^{-1}$ , dan puncaknya pada 1.565 dan 1.375  $\text{cm}^{-1}$  sesuai dengan ester, karbonil dan asam karboksilat karena adanya peregangan CH [13]. Untuk mengkonfirmasi terbentuknya poli asam humat, agen pengikat silang memiliki puncak karakteristik pada 808  $\text{cm}^{-1}$ , 798  $\text{cm}^{-1}$  dan 750  $\text{cm}^{-1}$  yang mewakili peregangan epoxy dimana dari hasil data FTIR semua variasi memiliki puncak tersebut [14].

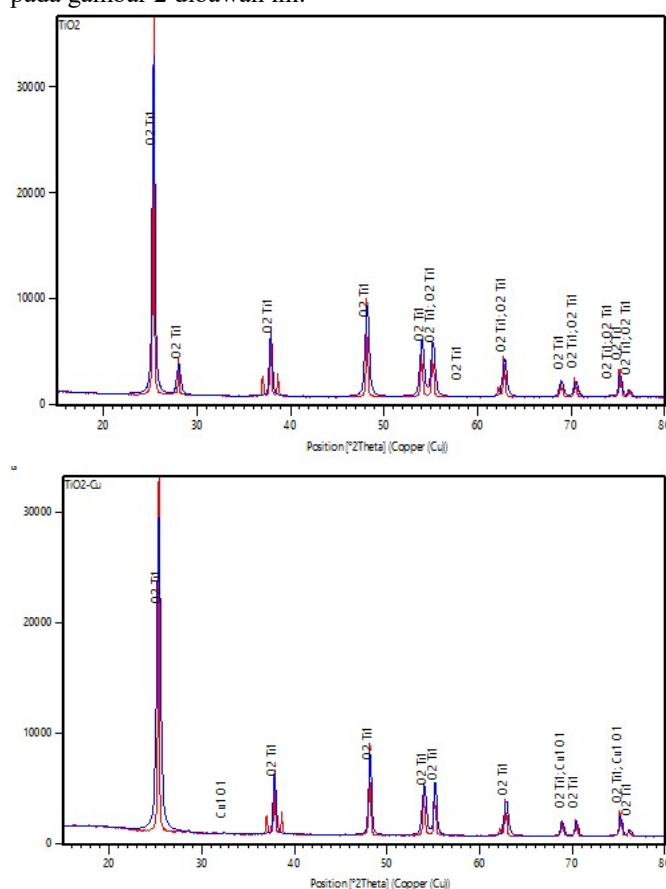
Uji Spektrometer UV-Vis poli asam humat dilakukan untuk mengetahui pengaruh polimerisasi asam humat pada variasi volume TMPGDE. Dalam kasus ini, efek batokromik terjadi pada asam humat yang telah dipolimerisasi menandakan bahwa asam humat berhasil dipolimerisasi. Efek batokromik adalah pergeseran ketingkatenergi yang lebih rendah dengan naiknya nilai panjang gelombang maksimum. Karakterisasi poli asam humat dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang 200-800 nm.

Berdasarkan tabel dibawah diketahui terdapatnya perbedaan panjang gelombang antara asam humat sebelum dan sesudah polimerisasi. Penyerapan bergeser dari panjang gelombang 219 nm ke panjang gelombang 269-301 nm. Nilai adsorbansi poli asam humat lebih tinggi dibandingkan dengan nilai adsorbansi asam humat. Poli asam humat memiliki nilai adsorbansi 1,7522 sedangkan asam humat adsorbansinya sebesar 0,6390 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil UV-Vis asam humat dan poli asam humat

Variasi	Panjang Gelombang Maksimum (nm)	Abs
Var volume TMPGDE 100 $\mu\text{L}$	271	1,2890
Var volume TMPGDE 150 $\mu\text{L}$	282	1,4267
Var volume TMPGDE 250 $\mu\text{L}$	269	1,2311
Var volume TMPGDE 300 $\mu\text{L}$	289	1,5101
Asam humat	219	0,6390

Pengujian XRD untuk karakterisasi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$  dilakukan untuk mengetahui struktur Kristal  $\text{TiO}_2$  setelah didopping dengan Cu. Hasil dari analisa XRD dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. XRD  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2/\text{Cu}$

Tabel 2. Hasil Interpretasi Data XRD  $\text{TiO}_2$

No.	$2\theta$ ( $^\circ$ )	d (Å)	I [%]	Fasa kristal
1	25.3858	3.87382	100.00	Anatase
2	37.8928	2.37442	19.97	Anatase
3	48.1611	1.88946	27.38	Anatase
4	54.0178	1.69762	17.02	Anatase

Tabel 3. Hasil Interpretasi Data XRD TiO<sub>2</sub>/Cu

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Fasa Kristal
25.3675	3.51113	100.00	Anastase
32.3683	2.76593	0.38	Tenorite
37.8711	2.37573	20.39	Tenorite
48.1410	1.89020	28.51	Anastase
53.9911	1.69839	16.71	Anastase
55.1680	1.66492	19.26	Anastase
62.8217	1.47924	12.09	Anastase
68.8670	1.36341	5.73	Tenorite
70.4003	1.33742	6.16	Anastase
75.1484	1.26427	8.53	Tenorite
76.1306	1.25039	2.69	Anastase

Hasil analisa XRD memperlihatkan sedikit perbedaan pada spektrum difragtogram dari TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/Cu. Pada data XRD TiO<sub>2</sub> dan kartu interpretasi TiO<sub>2</sub> ditemukan kesamaan puncak dimana  $2\theta = 25.3858, 37.8928, 48.1611, 54.0178$  [15]. Sementara, dari hasil analisa TiO<sub>2</sub>/Cu terdapat puncak pada  $2\theta = 32.368, 37.8711, 68.8670, 75.1484$  yang menandai adanya Cu yang terdeteksi pada TiO<sub>2</sub> [16]. Hasil analisa ini sesuai dengan kartu interpretasi dari data XRD Ukuran Kristal yang dihitung dengan data FWHM (*full width at half-maximum*) berdasarkan persamaan Scherrer pada berbagai puncak. Ukuran kristal dari TiO<sub>2</sub> tanpa penambahan Cu yaitu 26.99 nm dengan nilai FWHM sebesar 0,3149 sedangkan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> dengan penambahan Cu yaitu sekitar 18 nm dengan nilai FWHM yaitu 0,4727. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Cu dapat mempengaruhi ukuran kristal TiO<sub>2</sub> pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub>.

#### B. Efisiensi DSSC

Pengukuran efisiensi poli asam humat dilakukan dengan merakit DSSC menggunakan lampu UV 24 watt sebagai pengganti matahari dan multimeter digital untuk mengukur hambatan dan tegangan yang dihasilkan. Pengukuran DSSC dilakukan pada variasi volume TMPGDE sebagai agen pengikat silang.

Tabel 4. Efisiensi DSSC pada Variasi Volume TMPGDE

Variasi Vol TMPGDE	Hambatan (Ω)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)
100 μL	1.330 k	0.242	1.8
150 μL	1.738 k	0.325	2.5
200 μL	1.776 k	0.566	7.5
250 μL	1.904 k	0.423	3.9
300 μL	2.730 k	0.307	1.4

Dari data di atas dapat dilihat bahwa efisiensi poli asam humat variasi volume agen pengikat silang variasi 100 μL adalah 1.8% dan semakin meningkat seiring bertambahnya volume pengikat silang dimana pada konsentrasi 150 μL efisiensinya 2.5% dan mencapai efisiensi maksimum pada volume 200 μL yaitu sebesar 7.5%. Penambahan pada volume 250 μL dan 300 μL membuat efisiensi DSSC poli asam humat menurun karena tidak diikuti dengan kenaikan konsentrasi inisiator akibatnya pembentukan poli asam humat menjadi lambat dan rantai polimer yang dihasilkan menjadi lebih pendek [17].

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan :

1. Volume *crosslinker* adalah salah satu faktor yang mempengaruhi polimerisasi asam humat dan dapat berpengaruh terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan.
2. Efisiensi maksimum DSSC terdapat pada volume agen pengikat silang (TMPGDE) 200 μL yaitu sebesar 7.5%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pembimbing penelitian Dr. Hardeli, M.Siyang telah ikut serta dalam penulisan ini dan para penulis artikel rujukan utama [3][11][13].

#### REFERENCE

- [1] I. Kholiq, "Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi bbm," *J. IPTEK*, vol. 19, pp. 75–91, 2015, doi: 10.1016/S1877-3435(12)00021-8.
- [2] A. Yadav and P. Kumar, "Enhancement in Efficiency of Pv Cell Through P&O Algorithm," *Int. J. Technol. Res. Eng.*, vol. 2, no. 11, pp. 2347–4718, 2015, [Online]. Available: www.ijtre.com.
- [3] 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.
- [4] R. L. Vekariya, K. K. Sonigara, K. B. Fadadu, J. V. Vaghasiya, and S. S. Soni, "Humic Acid as a Sensitizer in Highly Stable Dye Solar Cells: Energy from an Abundant Natural Polymer Soil Component," *ACS Omega*, vol. 1, no. 1, pp. 14–18, 2016, doi: 10.1021/acsomega.6b00010.
- [5] X. xia Guo, H. tao Liu, and S. biao Wu, "Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions," *Sci. Total Environ.*, vol. 662, pp. 501–510, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.137.
- [6] S. N. R. Mohadi, N. Hidayati, SJ, "168130-ID-karakterisasi-asam-humat-dari-gambut-ind.pdf," vol. 11, no. 1, pp. 411–420, 2008.
- [7] I. Material, *Ilmu material*.
- [8] N. Wivanius and E. Budianto, "Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel Superabsorben Kitosan Poli(N-Vinilkarbapolaktam) (Pnvc) Dengan Metode Full IPN (Interpenetrating Polymer Network)," *Pharm. Sci. Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 152–168, 2015, doi: 10.7454/psr.v2i3.3483.
- [9] R. Damayanti, Hardeli, and H. Sanjaya, "Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (Ipomea batatas L.)," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 148–157, 2014.
- [10] R. Prasetyowati, "Studi Preparasi Dan Karakterisasi Sel Surya Berbasis Titania Melalui Penyisipan Logam Tembaga (Cu) Dengan Berbagai Variasi Massa Pada



- Lapisan Aktif Titania,” *J. Sains Dasar*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.21831/jsd.v6i1.12129.
- [11] 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.
- [12] H. Hardeli, H. Sanjaya, R. Resikarnila, and H. R. Nitami, “Solar Cell Polymer Based Active Ingredients PPV and PCBM,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 335, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/335/1/012029.
- [13] S. Sagbas, C. Kantar, and N. Sahiner, “Preparation of poly(humic acid) particles and their use in toxic organo-phenolic compound removal from aqueous environments,” *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 225, no. 1, 2014, doi: 10.1007/s11270-013-1809-5.
- [14] T. Schneckenburger *et al.*, “Preparation and characterization of humic acid cross-linked with organic bridging groups,” *Org. Geochem.*, vol. 47, pp. 132–138, 2012, doi: 10.1016/j.orggeochem.2012.03.014.
- [15] J. K. Burdett, T. Hughbanks, G. J. Miller, J. V. Smith, and J. W. Richardson, “Structural-Electronic Relationships in Inorganic Solids: Powder Neutron Diffraction Studies of the Rutile and Anatase Polymorphs of Titanium Dioxide at 15 and 295 K,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 109, no. 12, pp. 3639–3646, 1987, doi: 10.1021/ja00246a021.
- [16] S. Åsbrink and L. J. Norrby, “A refinement of the crystal structure of copper(II) oxide with a discussion of some exceptional e.s.d.’s,” *Acta Crystallogr. Sect. B Struct. Crystallogr. Cryst. Chem.*, vol. 26, no. 1, pp. 8–15, 1970, doi: 10.1107/s0567740870001838.
- [17] S. Kopolimer, P. S. Anhydride, and B. Afrinaldi, “Dan Maleic Anhydride Terhadap Berat Molekul Pada,” pp. 253–258, 2014.