

Pengaruh Penggunaan *Gel-Electrolyte* pada Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbasis TiO_2 Nanopartikel dengan Ekstrak Murbei (*Morus*) sebagai *Dye Sensitizer* pada Substrat Kaca ITO

Irmayatul Hikmah dan Gontjang Prajitno
Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: gontjang@physics.its.ac.id

Abstrak—Telah dihasilkan prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbasis TiO_2 nanopartikel dengan elektrolit gel dan *dye sensitizer* berupa ekstrak buah murbei (*morus*) pada substrat kaca ITO. TiO_2 orde nano berfase anatase dengan besar ukuran kristal 10,9 nm telah berhasil disintesis melalui metode koprepsipitasi. Dalam penelitian ini sel difabrikasi menggunakan kaca konduktif ITO (*Indium Tin Oxide*) dan berhasil dikarakterisasi pengaruh elektrolit gel terhadap sel. Karakterisasi DSSC menunjukkan performansi DSSC yang dihasilkan, didapat dengan nilai efisiensi sebesar 0,0724% dan fill factor sebesar 0,921 ketika I_{SC} 597 μA , V_{OC} 77 mV, I_{MPP} 580 μA , dan V_{MPP} 73 mV. Penggunaan elektrolit gel pada DSSC mampu memberikan ketahanan pemakaian yang lama, kestabilan tegangan, serta kestabilan arus yang sangat tinggi.

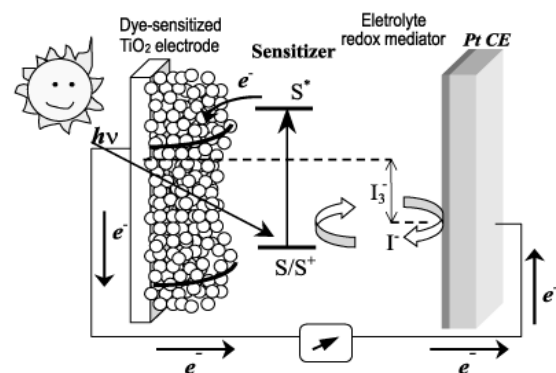
Kata Kunci—*dye* ekstrak buah murbei (*morus*), elektrolit gel, TiO_2 orde nano.

I. PENDAHULUAN

KRISIS energi yang terjadi di dunia kini menjadi permasalahan yang coba diatasi oleh setiap negara. Berdasarkan laporan Lux Research, Inc, yang dirilis pada Oktober 2012 mengungkapkan bahwa cadangan energi fosil diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 54 tahun mendatang. Oleh karena itu, pengembangan penelitian energi alternatif kian marak dilakukan guna memenuhi kebutuhan energi di masa yang akan datang.

Pada tahun 1991, peneliti Michael Gratzel melakukan penelitian pembuatan sel surya tersensitasi bahan organik atau *dye* yang disebut *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopartikel TiO_2 , molekul *dye* yang menempel di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi di antara dua kaca konduktif [1].

Prinsip Kerja dari DSSC melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :



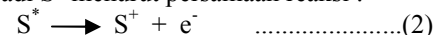
Gambar 1. Prinsip Kerja DSSC [1].

Tahapan pertama dimulai dengan absorpsi foton oleh *dye* normal yaitu *S* yang menyerap foton menjadi S^+ karena mendapat tambahan energi dari foton sebesar $h\nu$ maka S^+ tereksitasi menjadi S^* sesuai persamaan reaksi berikut :



Dye tereksitasi dan mengeluarkan fotoelektron untuk diinjeksikan menuju pita konduksi TiO_2 . TiO_2 ini dianggap sebagai semikonduktor tipe-n karena mendapat donor elektron dari *dye* sehingga TiO_2 mendapat tambahan elektron.

Memasuki tahapan kedua, fotoelektron yang terinjeksi bergerak sepanjang nanopartikel TiO_2 menuju sisi konduktif kaca atau anoda. Dengan lapisan TiO_2 yang tipis, fotoelektron yang tereksitasi tidak memerlukan perjalanan yang panjang untuk mencapai anoda. Setelah mencapai anoda atau sisi konduktif kaca, fotoelektron melewati kaca konduktif dan bermigrasi melalui rangkaian luar menuju elektroda pembanding atau katoda. Molekul *dye* yang tereksitasi dan mengeluarkan fotoelektron yaitu S^* tadi menjadi teroksidasi dan berubah lagi menjadi S^+ menurut persamaan reaksi :

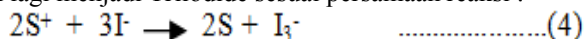


Memasuki tahapan ketiga, sejumlah fotoelektron yang bermigrasi melalui rangkaian luar menuju katoda tadi, kelebihan energinya dikonversikan ke energi listrik oleh *device* dalam rangkaian yang dikasih pembebanan. Jumlah elektron per detik yang mengalir melalui beban merupakan arus sedangkan energi yang tersedia per elektron merupakan tegangan atau potensial listrik.

Memasuki tahapan keempat, elektrolit yang berasal dari Triiodide menangkap elektron yang telah melewati elektroda pembanding atau katoda yaitu kaca konduktif yang dilapisi katalis karbon sehingga terjadi reduksi Triiodide menjadi Iodide. Adanya katalis yaitu lapisan karbon pada elektroda pembanding mempercepat reaksi reduksi tersebut karena karbon memiliki luas permukaan yang besar.



Iodide ini digunakan untuk menyuplai elektron kepada dye untuk menggantikan elektron yang hilang dari molekul dye sehingga molekul dye yang teroksidasi tadi yaitu S^+ kembali ke keadaan awal yaitu S (dye normal). Iodide yang telah menyuplai elektron kepada dye menjadi teroksidasi dan berubah lagi menjadi Triiodide sesuai persamaan reaksi :



S (dye normal) ini siap untuk menyerap foton kembali sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron yang berulang-ulang dan karena adanya elektrolit pasangan I_3^-/I^- membuat siklus yang berulang-ulang tersebut terjadi dalam kurun waktu tertentu tergantung ketahanan elektrolit yang digunakan. Dengan siklus tersebut terjadi konversi langsung dari energi cahaya menjadi energi listrik [2].

Tegangan yang dihasilkan berasal dari perbedaan tingkat level energi fermi dari bahan semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit I_3^-/I^- [1]. Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja dye yang digunakan [3].

DSSC ini menggunakan ekstraksi tumbuhan yang memiliki kandungan antosianin tinggi. Pada penelitian ini digunakan ekstrak buah murbei (*morus*) yang memiliki kandungan antosianin sebanyak 1.993 mg/100 gram buah yang lebih besar dari pada ekstrak kulit manggis yang mana memiliki kandungan antosianin 59,3 mg/100 gram kulit buah [4][5].



Gambar 2. Buah Murbei [6].

Penelitian DSSC terus berkembang seiring dengan perkembangan teknologi dan metode penelitian. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Fatimatuz Zahroh (2013) yang membuat fabrikasi DSSC dengan memanfaatkan ekstrak kulit manggis dan elektrolit berfasa liquid pada penelitiannya. Namun, arus dan tegangan yang dihasilkan masih tidak stabil dengan penurunan arus yang drastis dalam waktu yang singkat. Hal ini lantaran elektrolit yang digunakan lebih cepat mengalami penguapan atau memiliki tingkat evaporasi yang tinggi akibat viskositas yang rendah sehingga tidak mampu digunakan dalam jangka waktu yang panjang [7]. Elektrolit berfasa gel berbasis polimer lebih tahan digunakan dalam jangka waktu yang lama, hal ini telah dibuktikan melalui penelitian Biaunik (2013) [8].

Elektrolit merupakan komponen penting dalam DSSC sebagai media transfer elektron. Elektrolit berfasa gel menjadi alternatif baru untuk mengatasi permasalahan pada elektrolit berfasa liquid [8].

Untuk membuat elektrolit gel, perlu ditambahkan bahan polimer seperti *polyethylene glycol* (PEG), *polyethylene oxide* (PEO), *polymethyl acrylate* (PMA), *polyvinil acetate* (PVAc), dan *polynisopropylacrylamide* (PNIPAAm). Efisiensi yang dicapai dari beberapa polimer tersebut pada fabrikasi DSSC secara berurutan adalah 28.1%, 7.17%, 5.62%, dan 3.17% sehingga yang lebih efektif digunakan adalah *polyethylene glycol* (PEG) [9].

Melalui penelitian ini akan dilakukan pengembangan penelitian DSSC dengan menggunakan ekstrak buah murbei (*morus*) sebagai *dye sensitizer*, bahan semikonduktor TiO_2 berorde nano sebagai kolektor elektron, dan elektrolit berfasa gel sebagai media transfer elektron agar dapat dihasilkan nilai dan kestabilan arus yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya.

II. METODE

A. Metode Koprepsipitasi

Langkah awal dalam penelitian ini menyiapkan bahan yang diperlukan untuk mensintesis TiO_2 nano. Mula-mula aquades sebanyak 50 ml dimasukkan dalam gelas beker ukuran 250 ml, kemudian ditambahkan HCl 20 ml, dan distirrer dengan skala kecepatan tiga (standart) pada magnetic stirrer. Setelah lima menit, ditetaskan larutan $TiCl_3$ sebanyak 20 ml sedikit demi sedikit dengan menggunakan pipet. Setelah semua larutan $TiCl_3$ masuk, campuran tersebut distirrer selama 30 menit dengan skala kecepatan delapan. Setelah 30 menit, larutan NH_4OH sebanyak 50ml ditambahkan ke dalam campuran secara perlahan dengan menggunakan pipet. Campuran tersebut kemudian kembali distirrer selama 1 jam dengan kecepatan delapan sampai larutan berubah warna menjadi putih, baru kemudian diangkat. Campuran ini kemudian didiamkan hingga terbentuk endapan. Waktu yang diperlukan untuk mengendapkan adalah 24 jam. Setelah terbentuk endapan, maka larutan dicuci dengan cara mengambil cairan dalam gelas ukur tersebut hingga yang tersisa hanya endapannya. Proses pencucian dilakukan dengan menambahkan aquades ke dalam larutan untuk menghilangkan larutan NH_4OH yang masih terkandung dalam larutan. Pencucian ini dilakukan ketika endapan sudah benar-benar memisah dari cairan bening di atasnya kemudian cairan bening dibuang dan ditambah aquades lagi, begitu seterusnya.

Diperlukan waktu kurang lebih 12 jam sampai 24 jam untuk memperoleh endapan yang sudah benar-benar memisah dari cairan bening untuk bisa dicuci dan dicuci lagi. Dalam penelitian ini pencucian dilakukan berulang hingga beberapa kali dalam kurun waktu 1 minggu sampai diperoleh larutan dengan pH netral dan tidak berbau NH_4OH lagi.

Setelah diperoleh larutan dengan pH netral dan tidak berbau NH_4OH lagi, dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring untuk mendapatkan endapan substrat TiO_2 . Substrat tersebut kemudian di furnace dalam temperature $400^\circ C$ selama tiga jam. Setelah difurnace, endapan TiO_2 akan

menggumpal dan berwarna kuning. Gumpalan tersebut dihaluskan dengan menggunakan mortar untuk mendapatkan serbuk yang halus. Setelah halus, barulah dilakukan uji XRD (*X-Ray Diffractometer*) untuk mengetahui fase dan ukuran Kristal TiO_2 yang telah terbentuk.

B. Pembuatan Larutan TiO_2

Larutan TiO_2 dibuat dari 1 gram bubuk TiO_2 yang ditambah 10 ml asam asetat dan di stirer selama 30 menit. Ditambah 10 tetes Triton-X 100 dan distirer selama 30 menit dengan skala kecepatan tiga, kemudian ditambahkan 5 tetes Triton X-100 dan distirrer kembali selama 30 menit dengan skala kecepatan delapan. Larutan TiO_2 yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol dan ditutup.

C. Pembersihan dan Pengukuran Resistansi Kaca Konduktif

Kaca konduktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaca konduktif jenis *Indium Tin Oxide* (ITO) ukuran 2,5 x 2,5 cm. Kaca ini digunakan untuk elektroda kerja dan elektroda pembanding. Pembersihan kaca konduktif ITO dilakukan dengan merendamnya dalam gelas ukur yang sudah berisi alkohol 70%. Gelas yang sudah berisi alkohol dan kaca ditempatkan pada Ultrasonic Cleaner dan disetting waktunya selama 30 menit. Setelah itu, kaca dikeringkan. Sebelum dipakai, kaca dicari sisi konduktifnya dengan mengukur resistansinya pada salah satu sisinya dengan menggunakan Multimeter dan didapatkan resistansi kaca tersebut sebesar 14 Ω .

D. Deposisi Larutan TiO_2 dengan Metode Spin Coating

Sisi konduktif Kaca ITO digunakan untuk deposisi larutan TiO_2 . Kaca konduktif diletakkan dalam spin coater. Kemudian ditetaskan beberapa tetes larutan TiO_2 pada sisi konduktif tersebut di masing-masing ujung kaca serta di tengah kaca sampai semua sisi kaca tertutupi larutan. Setelah itu, dilakukan pemutaran pada spin coater dengan kecepatan 550 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 1000 rpm selama masing-masing 40 detik.

E. Ekstraksi Murbei (*morus*) sebagai Dye sensitizer

Mula-mula buah murbei segar sebanyak 40 gram dicuci dan dipotong kecil-kecil. Potongan buah murbei tersebut dihaluskan dengan menggunakan mortar sampai halus lalu dicampur dengan 50 ml methanol, 8 ml asam asetat dan 42 ml aquades. Kemudian didiamkan dalam wadah yang telah dilapisi dengan aluminium foil selama 24 jam kemudian disaring dengan saringan teh. Ekstrak hasil saringan disimpan dalam botol dan ditutup. Botol yang sudah berisi larutan ekstrak murbei ditutup bagian luarnya dengan menggunakan aluminium foil sebelum digunakan.

F. Karakterisasi Absorbansi Larutan Dye

Karakterisasi larutan dye dilakukan di Laboratorium Zat Padat Fisika FMIPA ITS. Setelah bahan diekstrak dengan metode tersebut di atas, larutan dye diuji karakterisasi absorbansinya dengan menggunakan Spectrophotometer UV-Vis merk Genesys 10S. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pada panjang gelombang berapakah larutan dye menyerap cahaya lampu halogen dengan maksimal. Pengujian dilakukan dengan meletakkan 5 ml larutan dye dan 5 ml larutan blanko yaitu pelarut larutan ekstrak yang terdiri dari campuran

aquades, asam asetat, dan methanol pada wadah yang telah disediakan di alat dan akan segera diketahui grafik absorbansinya.

G. Deposisi Larutan Dye pada Elektroda Kerja

Elektroda kerja yaitu kaca yang telah terlapiasi larutan TiO_2 hasil *spin coating* dipanaskan di atas hot plate dari suhu kamar sampai suhu 350°C, lalu ditahan pada suhu 350°C ini selama 30 menit. Setelah itu suhu diturunkan hingga 70°C. Saat suhu 70°C, elektroda kerja direndam ke dalam larutan dye selama 24 jam. Larutan dye yang digunakan untuk merendam sebanyak 20 ml yang terlebih dahulu diencerkan dengan menggunakan aquades sebanyak 30 ml. Setelah perendaman, elektroda kerja dibilas dengan aquades kemudian dikeringkan dengan menggunakan hair dryer sampai benar-benar kering.

H. Pemberian Bantalan pada Elektroda Kerja

Setelah elektroda kerja direndam, Lapisan TiO_2 yang semula putih berubah warna menjadi ungu kehitam-hitaman kemudian lapisan TiO_2 yang menutupi seluruh sisi konduktif kaca berukuran 2,5cm x 2,5cm tersebut diperkecil ukurannya menjadi 2cm x 2cm dengan cara menghapus lapisan TiO_2 tersebut menggunakan cottonbud pada tepi atas dan samping kiri-kanan. Kemudian di tepi kiri dan kanan yang telah terhapus dilapisi selotip agar nantinya ketika dioleskan *gel-electrolyte*, *gel-electrolyte* tersebut akan tertahan dan tidak mudah tumpah atau meluber ke luar.

I. Pembuatan Elektroda Karbon (Elektroda Pembanding)

Sebagai elektroda pembanding, digunakan elektroda yang dibuat dari pelapisan sisi konduktif kaca ITO dengan lapisan karbon. Dicari terlebih dahulu sisi konduktif kaca ITO lalu bagian sisi tersebut digores-gores searah dengan menggunakan pensil 8B secara merata. Setelah itu, kaca tersebut dipanaskan di atas nyala api lilin untuk mendapatkan lapisan karbon. Lama pemanasan berlangsung hingga lapisan kaca berwarna hitam dan ketebalannya dapat dilihat secara merata. Setelah terbentuk lapisan karbon, kaca dipanaskan di atas hot plate dari suhu kamar sampai suhu 350°C, lalu ditahan pada suhu 350°C ini selama 30 menit. Setelah itu, suhu diturunkan hingga 70°C baru kemudian diangkat. Pemanasan ini dilakukan agar lapisan karbon menempel sempurna pada kaca dan agar lapisan tersebut tidak mudah hilang.

J. Preparasi Elektrolit gel

Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasangan redoks Iodide dan Triiodide (I^-/I_3^-). Senyawa dalam pembuatan larutan elektrolit ini adalah Kalium Iodida (KI) dan Iodine cair 10% solution. Larutan elektrolit liquid atau cair terlebih dahulu dibuat dengan mencampurkan 3 gram Kalium Iodide dan 3 ml Iodine 10% solution kemudian distirrer pada skala kecepatan 6 selama 30 menit. Kemudian hasilnya disimpan pada botol dan ditutup rapat. Bahan polimer yang digunakan untuk membuat elektrolit gel adalah PEG 1000. Langkah awal pembuatan elektrolit gel adalah melarutkan bahan polimer yaitu PEG 1000 dalam pelarut Chloroform. Pada proses pelarutan ini 2,5 gram PEG 1000 dan 5ml Chloroform distirrer selama 30 menit dengan skala kecepatan 6. Kemudian elektrolit cair yang sudah dibuat tadi

ditambahkan ke dalam larutan polimer lalu distirrer kembali dengan skala kecepatan 6 selama 60 menit pada suhu 85°C. Elektrolit gel yang sudah terbentuk disimpan dalam wadah dan ditutup rapat.



Gambar 3. Elektrolit gel yang terbentuk.

K. Pembuatan Sel Sandwich DSSC

Setelah kedua elektroda siap, maka pembuatan sandwich DSSC baru dilakukan. Elektroda kerja terlebih dahulu diolesi *gel-electrolyte* untuk kemudian ditempel dengan elektroda pembeding secara tidak sejajar melainkan berlawanan sehingga menyisakan dua sisi sekitar 0,5 cm untuk pengambilan data saat pengujian. Kemudian kedua elektroda yang sudah menempel tersebut dijepit dengan klip binder di tepi kanan-kiri.

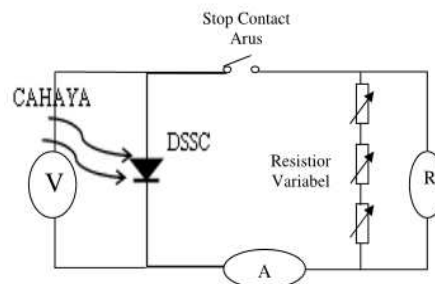


Gambar 4. Sandwich DSSC yang telah jadi dan siap untuk diuji.

L. Pengujian DSSC

Pengujian DSSC dilakukan dengan menyambungkan sel Sandwich yang telah dibuat dengan rangkaian pengujian. Rangkaian dibuat sedemikian rupa hingga diproyeksikan sel dapat menghasilkan arus dan tegangan secara maksimum dan minimum. Rangkaian dibuat dengan menggunakan tiga buah potensiometer atau Resistor variabel masing-masing 100k Ω yang dipasang secara seri. Pengujian DSSC dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya lampu halogen dengan jarak sumber cahaya 2cm tepat diatas sel Sandwich dimana kekuatan penyinarannya sebesar 74.000 Lux yang diukur tepat dibawah 2cm dari lampu halogen tersebut. Ada 3 macam pengujian yang dilakukan, yang pertama pengujian tegangan DSSC terhadap waktu ketika tidak diberi rangkaian untuk mengetahui kestabilan tegangan DSSC, yang kedua pengujian arus terhadap waktu ketika dihubungkan dengan rangkaian untuk mengetahui kestabilan arus DSSC, dan yang ketiga pengujian arus dan tegangan ketika dihubungkan dengan rangkaian dan diberi variasi pembebanan mulai dari hambatan terkecil

sampai terbesar untuk mengetahui karakteristik DSSC sehingga dapat ditentukan luasan kerja dan efisiensinya.

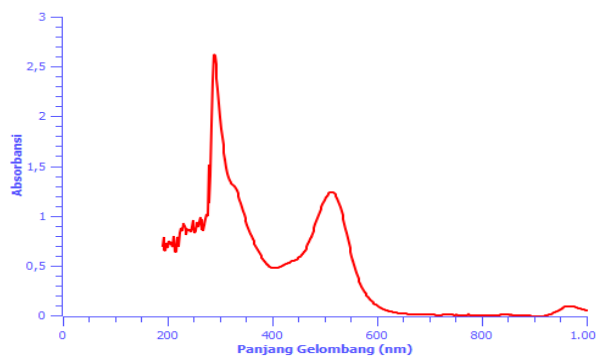


Gambar 5. Skema pengujian arus dan tegangan pada DSSC dengan menggunakan rangkaian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Uji Absorbansi Dye Murbei

Pengujian ini dilakukan pada rentang panjang gelombang 190 nm hingga 1000 nm. Hasil uji absorbansi dye ekstrak murbei menggunakan Spectrophotometer UV-Vis sebagai berikut :



Gambar 6. Hasil uji absorbansi dye ekstrak murbei.

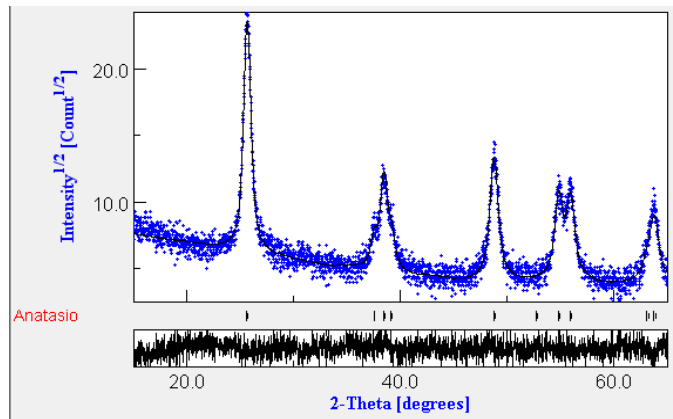
Dari kurva hasil uji absorbansi tersebut dapat dilihat bahwa absorbansi dye maksimum terletak pada rentang panjang gelombang antara 274nm hingga 346nm dan lagi antara 488nm hingga 534nm. Hal tersebut mengindikasikan bahwa larutan dye menyerap cahaya dengan maksimal pada rentang panjang gelombang mulai dari 274nm hingga 346nm dan 488nm hingga 534nm.

Penelitian ini menggunakan lampu halogen sebagai sumber cahaya karena intensitas pencahayaannya konstan serta memiliki rentang panjang gelombang berkisar mulai dari 360nm hingga 500nm yang masih berada dalam rentang panjang gelombang cahaya tampak.

b. Hasil Uji XRD (X-Ray Diffractometer) TiO₂ Orde Nano

Dari hasil uji XRD didapatkan data yang diolah dengan menggunakan software MAUD (*Material Analysis Using Diffraction*) untuk bisa diketahui ukuran partikelnya. Dari software MAUD tersebut didapat kurva yang dari kurva tersebut dapat diketahui apakah TiO₂ hasil sintesis telah sesuai dengan referensi yang ada, dengan kesesuaian grafik berwarna

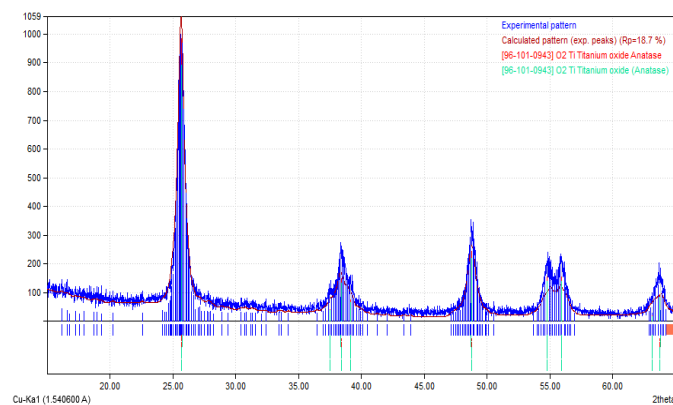
biru sebagai hasil uji, dan kurva berwarna hitam sebagai hasil perhitungan. Kesesuaian ini menunjukkan bahwa sintesis material yang dilakukan telah sesuai dengan karakteristik material yang menjadi referensi dalam software pengolah data. Dalam software MAUD ini dapat dihitung pula kesesuaiannya.



Gambar 7. Kecocokan pola terukur pada hasil pengujian XRD dengan pola terhitung sampel TiO_2 .

Berdasarkan hasil penghalusan dengan software MAUD, nilai tingkat kesesuaian Figures Of Merit (FoM) Sig = 1.1618245, R_w (%) = 16.579456, R_{wnb} (%), no bkg) = 14.204208, R_b (%) = 12.174942, dan R_{exp} (%) = 14.27019. Serta didapatkan pula ukuran kristal TiO_2 yang terbentuk adalah 10.9 nm dengan refine error 1.43.

Melalui pengolahan data hasil XRD menggunakan perangkat lunak *Match*, diperoleh bahwa fase TiO_2 yang sudah terbentuk adalah fase anatase. Dapat diketahui pula sudut-sudut kristal TiO_2 yang membentuk fase anatase :



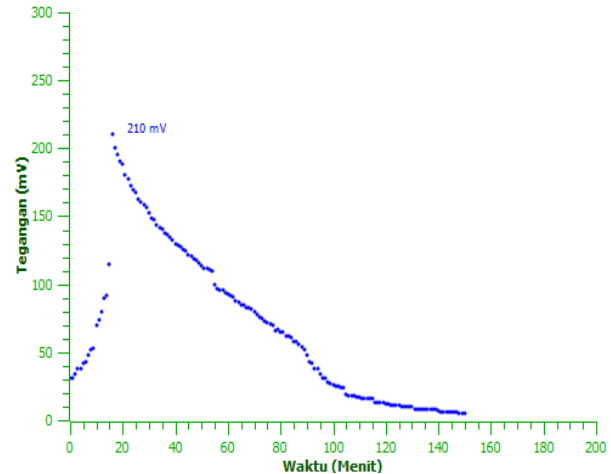
Gambar 8. Puncak-puncak kristal yang menunjukkan TiO_2 fase anatase.

Grafik berwarna biru merupakan TiO_2 hasil eksperimen sedangkan grafik berwarna merah merupakan data sheet TiO_2 berfase anatase yang berasal dari software *Match*. Penentuan jenis fase TiO_2 yang dihasilkan didasarkan pada keserasian letak puncak sudut (2θ) tertentu dengan data sheet yang ada.

c. Hasil Uji Arus dan Tegangan DSSC

➤ Hasil Uji Tegangan DSSC terhadap Waktu

Pengukuran tegangan terhadap waktu untuk mengetahui kestabilan tegangan DSSC selama penyinaran. Di bawah ini merupakan grafik tegangan terhadap waktu DSSC yang dihasilkan :

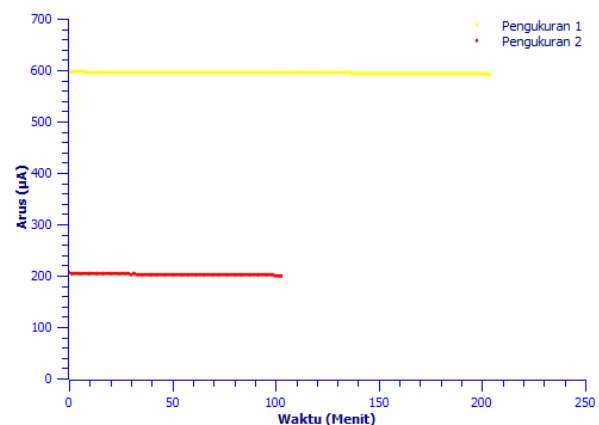


Gambar 9. Grafik Hubungan Tegangan terhadap Waktu.

Dari grafik terlihat tegangan semakin turun terhadap waktu namun penurunannya sangat stabil atau bisa diartikan tegangan menurun relatif lambat terhadap waktu. Relatif lambatnya penurunan tegangan ini disebabkan pengaruh elektrolit gel yang digunakan saat penelitian. Semakin lama ternyata penurunannya semakin lambat, hal ini dikarenakan elektrolit gel membutuhkan waktu untuk menghasilkan kestabilan yang semakin tinggi.

➤ Hasil Uji Arus DSSC terhadap Waktu

Pengukuran arus terhadap waktu untuk mengetahui kestabilan arus DSSC selama penyinaran. Di bawah ini merupakan grafik arus terhadap waktu DSSC yang dihasilkan dari dua kali pengukuran :



Gambar 10. Grafik Hubungan Arus terhadap Waktu yang dihasilkan dari dua kali pengukuran.

Pengukuran 1 dilakukan pada saat rangkaian diberi pembebanan sebesar 0,3651 k Ω sampai 0,398 k Ω serta dalam kondisi sel baru diolesi elektrolit gel. Untuk pengujian ini, ternyata dihasilkan arus yang sangat stabil

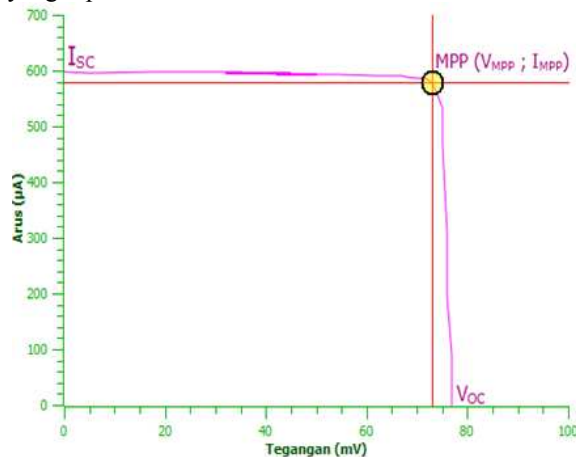
selama kurun waktu 204 menit atau sekitar lebih dari 3 jam yang dibuktikan dengan dihasilkannya garis yang mendekati linear pada grafik (warna kuning).

Kedua pengukuran tersebut membuktikan bahwa elektrolit gel mampu meningkatkan *life time* DSSC. Dengan mengembangkan elektrolit berbasis polimer ini maka DSSC dapat lebih bertahan lama. Karena berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dengan menggunakan elektrolit liquid, DSSC hanya mampu bertahan maksimal dalam waktu 5 jam dari pemakaian awal untuk satu kali penetasan elektrolit sebab elektrolit yang berwujud liquid mempunyai penguapan yang lebih cepat. Sedangkan pada penelitian ini, sampai jangka waktu 3 hari dari pemakaian awal DSSC tetap mampu bertahan dengan kestabilan arus yang masih tinggi. Penguapan pada elektrolit gel lebih lama dibanding elektrolit liquid sehingga tidak banyak iodine yang hilang akibat penguapan.

Sel DSSC dengan elektrolit gel juga memiliki tingkat oksidasi sel yang lebih rendah dibandingkan sel dengan elektrolit liquid.

➤ Hasil Uji Arus dan Tegangan untuk Karakterisasi DSSC

Hasil uji arus dan tegangan untuk karakterisasi DSSC dapat dilihat pada kurva karakteristik arus dan tegangan yang diperoleh berikut ini :



Gambar 11. Kurva karakteristik arus dan tegangan DSSC.

Pengukuran ini dilakukan selama 219 menit atau lebih dari 3,5 jam yang diukur arus, tegangan, dan resistansinya tiap selang waktu 1 menit dengan variasi pembebanan mulai dari 0,3651 k Ω sampai 2,034 k Ω .

Luasan kerja dan efisiensi menunjukkan kuantitas performansi DSSC. Luasan kerja dan efisiensi yang dihasilkan dari penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fatimatuz Zahroh (2013) yang menghasilkan efisiensi sebesar 0,00792%. Penelitian ini menghasilkan nilai efisiensi yang lebih baik karena dipengaruhi oleh faktor utama yaitu elektrolit yang digunakan berupa elektrolit gel yang mampu meningkatkan *life time* DSSC.

Besar nilai luasan kerja dan efisiensi dari DSSC yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh bahan semikonduktor

TiO₂ berorde nano dengan menggunakan metode pelapisan *spin coating*. Karena dengan ukuran kristal nano, maka membuat luas area permukaan aktifnya lebih besar yang menyebabkan ikatan bersama dye semakin besar sehingga luas permukaan penyerap foton pun juga semakin besar yang akhirnya meningkatkan kinerja DSSC. Selain itu, fase anatase yang memang stabil pada ukuran kristal dibawah 11 nm juga memberi keunggulan pada DSSC berorde nano ini. Metode pelapisan *spin coating* membuat semakin homogen dan tersebar meratanya bahan semikonduktor TiO₂ pada substrat kaca. Dipakainya substrat kaca jenis ITO (*Indium Tin Oxide*) juga memberikan pengaruh karena kaca jenis ini lebih konduktif dari pada kaca jenis FTO (*Flourine doped Tin Oxide*) yang dipakai Fatimatuz Zahroh (2013) dan peneliti-peneliti sebelumnya pada penelitiannya.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dihasilkan prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* berbasis TiO₂ orde nano dengan elektrolit gel dan *dye sensitizer* berupa ekstrak buah murbei. Penggunaan elektrolit gel pada DSSC mampu memberikan ketahanan pemakaian yang lama, kestabilan tegangan, serta kestabilan arus yang sangat tinggi. Karakterisasi DSSC menunjukkan performansi DSSC yang dihasilkan, didapat dengan nilai efisiensi sebesar 0,0724% dan fill factor sebesar 0,921 ketika I_{SC} 597 μ A, V_{OC} 77 mV, I_{MPP} 580 μ A, dan V_{MPP} 73 mV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gratzel, M. 1991. *A low – Cost High Efficiency Solar Cell based on Dye Sensitized Colloidal TiO₂ Films*. Nature Vol. 353 Issue (6346): 737.
- [2] Gleue, Alan. 2008. *Building The Gratzel Solar Cell*. The Gratzel Solar Cell Project Summer NSF, 9-16.
- [3] Li B, dkk. 2006. Review of Recent Progress in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells Sol. Energy Mater, Sol Cells (90): 549-573.
- [4] Astawan, Made. 2008. *Khasiat Warna-Warni Makanan*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta Pusat.
- [5] Wiwin S. 2010. *Kandungan Antosianin Kulit Buah Manggis*. Laporan Penelitian Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [6] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2005. *Indikator Bahan Pangan*. Jakarta.
- [7] Zahroh, Fatimatuz. 2013. *Pengaruh Pembebanan pada Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) TiO₂ Orde Nano dengan Metode Spin Coating Menggunakan Kulit Manggis sebagai Dye Sensitizer*. Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- [8] Niski K, Biaunik. 2013. *Pengaruh Penggunaan Gel-Electrolyte pada Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis TiO₂ Orde Nano Menggunakan Kulit Manggis sebagai Dye Sensitizer*. Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- [9] Wei Tu, Chi, dkk. 2008. Performance of Gelled-Type Dye-Sensitized Solar Cells Associated with Glass Transition Temperature of The Gelatinizing Polymers. European Polymer Journal ELSEVIER (44): 608-614.