

Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO₂ sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah

Sahat Marthua Reynard Nadeak, Diah Susanti

Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: santiche@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sumber energi yang sangat besar untuk mencegah terjadinya krisis energi namun sering kali terabaikan adalah sinar matahari. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan *prototype* dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* telah difabrikasi dengan menggunakan serbuk *Titanium Dioksida (TiO₂)* yang dilapisi ke kaca *Indium Tin Oxide* dan diberi variasi temperatur 350°C, 450°C, dan 550°C dengan waktu tahan kalsinasi 30 dan 60 menit yang kemudian disensitisasi ke dalam larutan dye ekstrak buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*). DSSC di-assembling dengan *coating Pd/Au* yang telah *disputtering* ke kaca *Indium Tin Oxide* yang selanjutnya ditetesi dengan larutan elektrolit. Kemudian lapisan TiO₂ tersebut dikarakterisasi menggunakan uji (SEM) dan (XRD). Luas permukaan aktif partikel diidentifikasi dengan menggunakan BET analyzer. Dari hasil XRD dapat diketahui struktur kristalnya *tetragonal*. Hasil SEM menunjukkan bahwa bentuk partikel TiO₂ adalah *spherical*. Untuk luas permukaan aktif yang dihasilkan menunjukkan nilai yang berbanding lurus dengan kenaikan nilai kelistrikan DSSC buah naga. Dari uji kelistrikan didapatkan hasil optimum pada temperatur 550°C dan waktu tahan 60 menit dengan voltase 562 mV, kuat arus 0.307 mA, dan memiliki efisiensi sebesar 0.089%.

Kata kunci—Dye ekstrak buah naga merah, *dye sensitized solar cell*, temperatur kalsinasi, TiO₂, waktu tahan kalsinasi.

I. PENDAHULUAN

Persediaan energi merupakan salah satu tantangan yang harus dihadapi oleh manusia di abad 21 ini. Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sumber energi yang sangat besar namun sering kali terabaikan adalah sinar matahari. Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. Sedangkan suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi tersebut setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0.1 % saja permukaan bumi dengan

perangkat solar sel yang memiliki efisiensi 10 % sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia [1].

Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian yang bertahap untuk menemukan teknologi yang tepat guna memanfaatkan energi matahari yang melimpah di muka bumi ini. Salah satunya adalah penggunaan sel surya yang konvensional digunakan secara komersial oleh banyak negara-negara maju dan berkembang. Hal ini dikhususkan untuk memenuhi kebutuhan energi yang kurang mampu tersuplai oleh sumber daya yang telah ada, seperti contohnya minyak bumi, batubara, dan lain sebagainya. Pengembangan sel surya ini pun sudah memasuki tahap yang signifikan yaitu dengan munculnya generasi-generasi baru dari teknologi sel surya ini, mulai dari sel surya silicon sampai pada sel surya tingkat lanjut dengan contohnya yaitu *Dye Sensitized Solar Cell*.

Dye Sensitized Solar Cell atau yang sering disingkat dengan DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material silikon itu sendiri, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye*, dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai band gap lebar. Penggunaan semikonduktor dengan band gap lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi, karena dengan band gap yang lebar tersebut akan membuat ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh *dye* akan menjadi lebih banyak atau dengan kata lain spektrum absorpsi menjadi lebar.

Salah satu semikonduktor ber-bandgap lebar yang sering digunakan yaitu *Titanium Dioxide (TiO₂)*. TiO₂ mempunyai selisih *band gap* lebar yaitu sebesar 3,2 eV (energi celah) dengan rentang -1,2 eV – 2,0 eV. TiO₂ juga sering digunakan karena inert, tidak berbahaya, dan semikonduktor yang murah, selain memiliki karakteristik optik yang baik. Namun untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO₂ harus memiliki permukaan yang luas sehingga *dye* yang teradsorpsi lebih banyak yang hasilnya akan meningkatkan arus. Selain itu penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar

dan cocok dengan pita energi TiO_2 juga merupakan karakteristik yang penting. Molekul *dye* yang mampu mengabsorpsi cahaya adalah *antocyanin*. Buah-buahan ataupun tumbuhan yang memiliki warna gelap seperti merah, hitam atau ungu mempunyai *anthocyanin* tersebut.

Dalam penelitian ini *prototype* sel surya yang dikembangkan menggunakan elektroda nanokristal TiO_2 yang dibuat dari koloid TiO_2 dan *dye* alami yaitu antosianin yang diekstrak dari kulit buah naga, sedangkan untuk elektrolit cairnya digunakan campuran antara *PotassiumIodide* dan iodine yang diaduk bersamaan dengan larutan acetonitrile yang akan dikaji kelayakan uji listrik sel surya dengan metode DSSC dan divariasikan pada temperatur kalsinasi pasta TiO_2 .

II. EKSPERIMENTAL PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi substrat kaca Indium Tin Oxide, TiO_2 (MERCK), etanol 99%, Acetonitrile, Potassium Iodida, Iodine, asamasetat,aseton, coating Pd/Au, aquades, buah naga merah. Peralatanyang digunakan antara lain multimeter digital, Magnetic Stirrer Hotplate, beaker glass 25ml dan 100 ml, pensil, pipet tetes, spatula, botol tetes, batanggalas (*glassstirringrod*), timbangan digital Mettler Toledo, kertas tisu, kain kassa,filter,mortar, Furnace Thermolyne,Coating Quorum, Spin Coater SCS 6800, Spektrofotometer UV-Vis Genesys, XRD PANalytical X-Pert.

2.2 Preparasi Lapisan Oksida TiO_2

Bahan dasar dari layer oksida *Dye Sensitized Solar Cell* ini adalah semikonduktor TiO_2 (Merck) 3,5 gram yang dicampur dengan *ethanol* sebanyak 15 ml di dalam *beaker glass*. Campuran ini kemudian diletakkan di atas *stirrerplate* yang kemudian diaduk rata dengan menggunakan *magnetic stirrer*.

2.3PreparasiLarutan Elektrolit

Dalam pengerjaan larutan elektrolit dilakukan dengan cara melarutkan campuran antara 0,8 gram KI 0,5 M (*Potassium Iodide*) ke dalam larutan acetonitrile sebanyak 10 ml yang kemudian diaduk merata. Selanjutnya ditambahkan 0,127 gram I_2 (*Iodine*) ke dalam larutan tersebut sampai ketiga bahan tersebut terlarut dengan sempurna.Kemudian simpan dalam botol tertutup.

2.4 Preparasi Larutan Dye Ekstrak Buah Naga Merah

Untuk membuat larutan *dye* ekstrak buah naga merah dilakukan dengan menyiapkan buah naga merah secukupnya dan diletakkan ke dalam *beaker* gelas dan digerus dengan menggunakan mortar. Setelah itu ekstrak buah naga merah tersebut dilarutkan dengan campuran *aquades* sebanyak 25 ml, *ethanol* sebanyak 21 ml, dan asam asetat sebanyak 4 ml. Kemudian ekstrak yang telah dicampurkan tersebut disaring dengan kain kassa agar diperoleh larutan *dye*-nya saja.

2.5 Deposisi Lapisan Oksida TiO_2

Untuk pendeposisian serbuk TiO_2 dilakukan dengan menyiapkan kaca konduktif yang telah dicuci bersih dengan *ethanol* yang selanjutnya dibersihkan dengan kertas tisu dan

ditaruh di atas mesin *spin coating* dengan posisi sisi konduktif menghadap ke atas. Setelah itu dinyalakan mesin kompresor, mesin penghisap udara, dan mesin *spin coating* secara bersamaan. Lalu diatur resep yang tertera di mesin *spin coating* dengan putaran 500 RPM (*rotation per minute*) selama 30 detik dan 2000 RPM (*rotation per minute*) selama 90 detik. Kemudian pasta TiO_2 yang telah siap ditetaskan sebanyak 3 tetes ke atas kaca konduktif yang dilanjutkan menekan tombol *enter* pada mesin *spin coating* sehingga mesin berperut sesuai dengan resep yang telah diatur. Setelah mesin berhenti dидiamkan hasil *spin coating* tersebut selama 15 menit.

2.6 Proses Kalsinasi Lapisan Oksida

Setelah lapisan oksida dideposisikan,*Transparent Conductive Oxide* maka lapisan oksida dидiamkan sampai cukup kering. Maka *Transparent Conductive Oxide* dimasukkan ke dalam furnace untuk dilakukan proses kalsinasi. Proses kalsinasi ini dilakukan dengan variasi temperatur yaitu 350°C, 450°C, dan 550°C dengan waktu *holding* masing-masing adalah 30 menit. Hal ini dimaksudkan agar molekul oksida saling mengikat sempurna dan molekul pelarut seperti *ethanol* dapat menguap dan membentuk nanopori. Kemudian *Transparent Conductive Oxide* dидiamkan hingga mendingin pada suhu ruang sekitar 30° C

2.7 Sensitisasi Lapisan Oksida

Untuk pensensitisasian lapisan oksida terhadap larutan *dye*ekstrak buah naga merah cukup dilakukan dengan mencelupkan lapisan oksida *Transparent Conductive Oxide* yang telah dikalsinasi ke dalam *dyelarutan* buah naga merah. Kemudian *Transparent Conductive Oxide* diletakkan dengan posisi *layer* oksida menghadap ke atas. Kemudian dидiamkan selama kurang lebih dua jam sehingga larutan *dye* menyerap sempurna ke dalam layer oksida. Setelah dидiamkan di dalam larutan *dye* buah naga merah, layer *Transparent Conductive Oxide* dibilas dengan *aquades* dan *ethanol* dan keringkan dengan kertas tisu.

2.8 Preparasi Counter Katalis Elektroda

Untuk penggunaan *counter* katalis elektroda digunakan coating Pd/Au yang kemudian di-*sputtering* dengan mesin *coating* untuk didapatkan penyebaran yang merata dari coating Pd/Au pada kaca *Transparent Conductive Oxide* yang konduktif selama 15 menit.

2.9 Assembling Dye Sensitized Solar Cell

Perakitan *Dye Sensitized Solar Cell* dapat dilakukan dengan langkah-langkah seperti di bawah ini

1. Satu buah *Transparent Conductive Oxide* layer oksida dan satu buah counter elektroda Pd/Au ditumpuk dengan permukaan yang saling berhadapan. Kemudian *Transparent Conductive Oxide* disusun membentuk sebuah struktur *sandwich*. Struktur *sandwich* yang dibuat harus dipastikan tidak ada air dan udara yang terperangkap dalam prototipe *Dye Sensitized Solar Cell*.

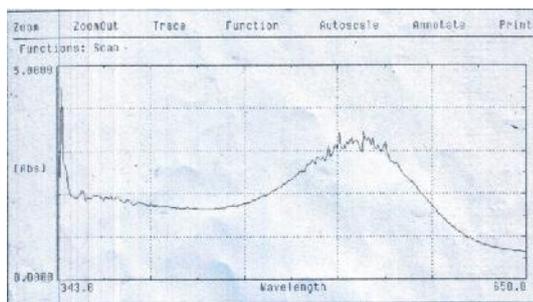
2. Diberikan *offset* pada ujung masing-masing elektroda sebesar 0,5 cm untuk kontak elektrik.

3. Kedua pinggir sel *Dye Sensitized Solar Cell* yang tidak diberi *offset* dijepit dengan klip agar prototipe melekat sempurna.
4. Lalu ditetaskan 2-3 tetes larutan elektrolit triiodide dari kedua ujung *offset* prototipe *Dye Sensitized Solar Cell*. Gaya kapilaritas akan menyerap larutan elektrolit kedalam layer oksida. Pastikan larutan elektrolit menyerap sempurna ke seluruh *layer* oksida
5. *Dye Sensitized Solar Cell* pun sudah siap untuk diuji kelistrikkannya.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Absorbansi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang dan nilai absorbansi dari suatu larutan yang nantinya akan ditembakkan dengan menggunakan sinar ultraviolet (UV). Untuk melakukan pengujian absorbansi ini, ekstrak larutan yang digunakan sebanyak 10 ml yang diencerkan dengan aquades sebanyak 5 tetes kemudian dilakukan pengujian absorbansi dengan menggunakan mesin Spektrofotometer UV Vis Genesys



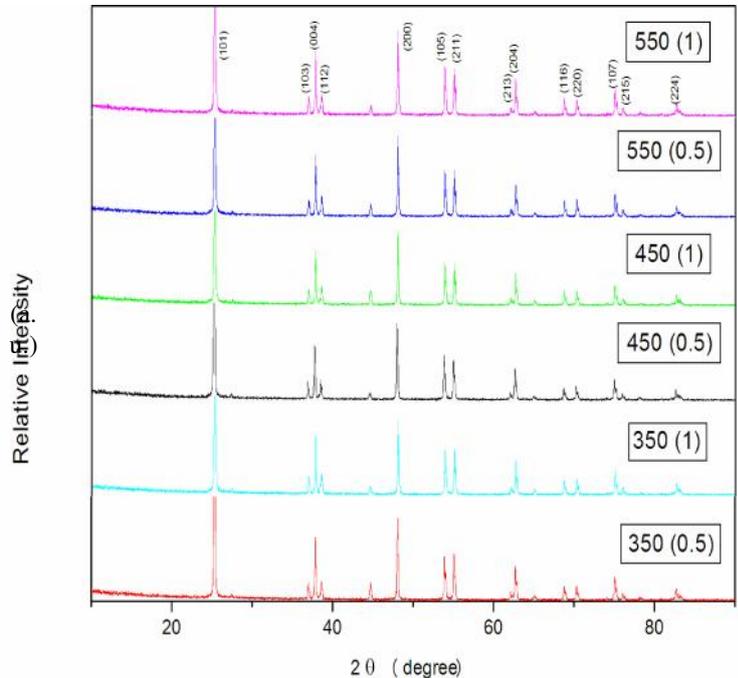
Gambar 1. Grafik absorbansi ekstrak buah naga merah

Dari pengujian absorbansi ekstrak buah naga merah dapat menangkap spectrum cahaya dengan rentang 400-650 nm dengan nilai panjang gelombang maksimum sebesar 538 nm dan nilai absorbansi sebesar 3,300 dan memenuhi syarat sebagai sunlight absorber. Nilai panjang gelombang maksimum yang dihasilkan ekstrak buah naga merah sebesar 538 nm ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan peneliti sebelumnya seperti Maddu mengekstrak daun kol merah yang menghasilkan panjang gelombang sebesar 530 nm [2] dan Pancaningtyas yang mengekstrak buah mangsi yang juga menghasilkan panjang gelombang maksimum 530 nm [3], bahkan lebih baik bila dibandingkan Chang yang mengekstrak daun bayam dan daun buah ipomea dengan nilai panjang gelombang 437 nm dan 410 nm secara berturut-turut [4] juga Sahat,dkk yang mengekstrak kulit buah naga dengan nilai panjang gelombang 458 nm [5].

3.2 Analisis X-Ray Diffractometer (XRD)

Pengujian XRD pada penelitian ini menggunakan mesin PANalytical system dan dilakukan dengan menggunakan lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) yang telah terdeposisi di kaca konduktif. Pengukuran difraksi sinar-X dilakukan pada rentang sudut 10°-90° dan panjang gelombang CuKα sebesar 1.54056 Å.

Pola XRD menunjukkan bahwa kristal Titanium Dioksida (TiO₂) yang terbentuk pada temperatur kalsinasi 350°C, 450°C, dan 550°C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit adalah *tetragonal* (kartu JCPDF71-1167). Analisis XRD untuk mengetahui struktur kristal digunakan program *Match*.



Gambar 2. Pola XRD pada lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) yang telah dikalsinasi dengan variasi temperatur (a-b) 350°C, (c-d) 450°C, (e-f) 550°C dan waktu tahan 30 menit dan 60 menit

Sesuai dengan kartu JCPDF 71-1167, pola XRD Titanium Dioksida (TiO₂) yang digunakan menghasilkan struktur kristal yang berbentuk *body centered tetragonal*. Secara umum, pola XRD yang terbentuk untuk lapisan nanopori Titanium Dioksida (TiO₂) tidak begitu berbeda ketika diberikan variasi temperatur maupun waktu tahan. Terdapat kesamaan pada masing-masing puncak yang dihasilkan pada pola XRD. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesis awal yang di mana ketika diberikan temperatur yang lebih tinggi dan waktu tahan yang lebih lama akan menghasilkan puncak-puncak yang semakin tajam yang nantinya akan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dari Titanium Dioksida (TiO₂) itu sendiri.

Untuk mengukur kristal serbuk dari Titanium Dioksida (TiO₂) digunakanlah persamaan Scherrer sebagai berikut

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos\theta} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang radiasi (Å), B adalah Full Width at Half Maximum (rad) dan θ adalah sudut Bragg (°). dan D adalah jarak kisi kristal (Angstrom)

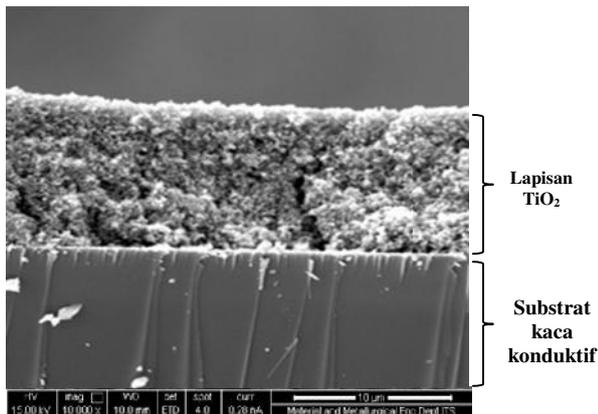
Tabel 1. Ukuran kristal Titanium Dioksida (TiO₂) dengan variasi temperatur dan waktu tahan dihitung dari puncak tertinggi

Temperatur	Waktu Tahan (menit)	Cos θ	FWHM (radian)	Ukuran Kristal (Å)
350°C	30	0.903892	0.0023	64.98888
	60	0.903652	0.0023	65.00607
450°C	30	0.904498	0.0023	64.94528
	60	0.90383	0.0023	64.99333
550°C	30	0.90372	0.0023	65.00053
	60	0.903761	0.0023	64.99827

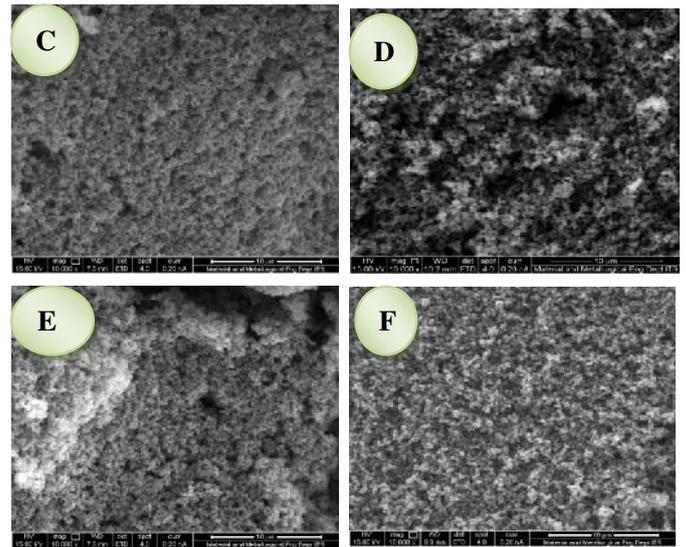
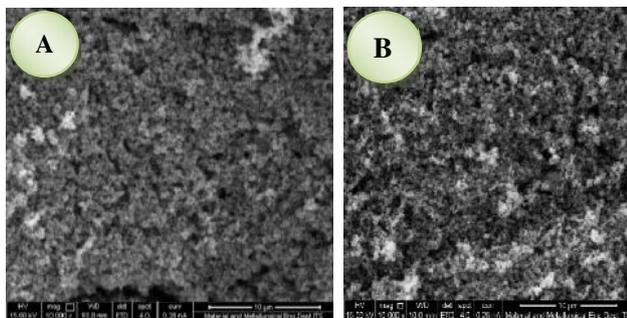
Pada tabel 1 terdapat kesamaan nilai ukuran kristal dari TiO₂. Hal ini tidak lepas dari adanya kesamaan dari pola XRD yang terdapat pada gambar 2. Kesamaan ini kemungkinan besar disebabkan karena pembuatan awal dari serbuk TiO₂ merupakan hasil buatan pabrik yang telah diberikan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan variasi temperatur dan waktu tahan dalam penelitian ini.

3.3 Analisis Scanning Electron Microscope

Pengujian SEM ini digunakan untuk meneliti morfologi bentuk suatu material. Gambar 4.7 sampai 4.9 akan menunjukkan hasil SEM menggunakan alat SEM dari sampel layer oksida Titanium Dioksida (TiO₂) dengan variasi temperatur kalsinasi 350°C, 450°C, 550°C dan variasi waktu tahan 30 menit dan 60 menit. Untuk ketebalan lapisan nanopori Titanium Dioksida (TiO₂) menurut gambar 4.7 adalah 13.5 µm.



Gambar 3. Hasil Foto SEM cross section Titanium Dioksida (TiO₂) pada temperatur kalsinasi 450°C dengan perbesaran 10.000x



Gambar 4. Hasil Foto SEM lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) pada temperatur kalsinasi (a-b) 350°C, (c-d) 450°C, (e-f) 550°C, waktu tahan (a,c,e) 30 menit dan (b,d,f) 60 menit dengan perbesaran 10.000x

Hasil foto SEM menunjukkan morfologi dari lapisan nanopori Titanium Dioksida (TiO₂) setelah mengalami proses kalsinasi dan waktu tahan yang berbeda. Bentuk partikel yang terlihat dari masing-masing foto SEM menunjukkan bahwa partikel Titanium Dioksida (TiO₂) yang berbentuk *spherical*. Dari hasil foto SEM Titanium Dioksida (TiO₂) dengan perbesaran 10.000x menunjukkan bahwa lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) membentuk struktur pori dengan ukuran nano yang persebaran partikelnya lebih merata pada setiap penambahan temperatur dan waktu tahan. Struktur pori yang terbentuk dalam partikel Titanium Dioksida (TiO₂) pada lapisan kaca konduktif merupakan karakteristik yang penting dalam pembuatan DSSC. Hal ini dikarenakan molekul *dye* dari ekstrak buah naga akan terabsorb pada pori-pori tersebut. Dengan ukuran pori yang berskala nano akan meningkatkan jumlah pori yang menyerap molekul *dye*.

Pada foto SEM terdapat agregat-agregat yang terbentuk pada lapisan Titanium Dioksida (TiO₂). Adanya agregat, partikel Titanium Dioksida (TiO₂) dalam penelitian ini, merupakan faktor yang penting dalam pengabsorbsian foton cahaya matahari [6]. Agregat yang terbentuk pada lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) akan memberikan pengaruh persebaran cahaya matahari yang mengenai DSSC. Terlihat jelas pada temperatur 550°C dan waktu tahan 60 menit memiliki persebaran agregat yang lebih merata bila dibandingkan dengan lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) yang diberikan variasi perlakuan lainnya.

3.4 Analisis BET (Bruner Emmet Teller)

Pengujian BET ini umumnya digunakan untuk mengetahui luas permukaan aktif dari suatu material. Pengujian BET ini dilakukan dengan menggunakan alat Quantachrome dengan memberikan pemanasan awal yang tidak melebihi temperatur yang sudah diberikan pada material tersebut. Pada pengujian BET ini digunakan pemanasan awal 300°C. Hasil pengujian yang diperoleh adalah ukuran luas permukaan dari serbuk Titanium Dioksida (TiO₂) yang dapat menyerap gas Nitrogen

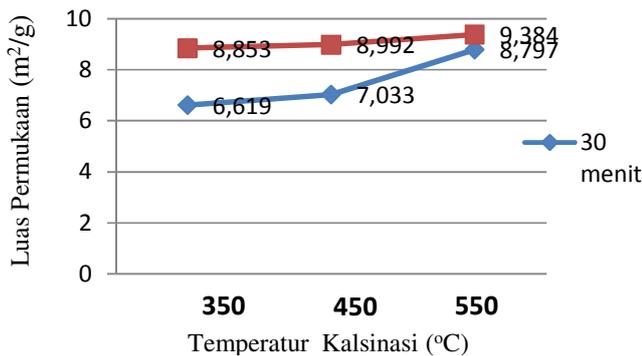
(dalam satuan m²/gr). Untuk luas permukaan Titanium Dioksida (TiO₂) murni didapat angka senilai 6.371 m²/gram

Tabel 2. Luas permukaan aktif pada sampel uji Titanium Dioksida (TiO₂)

Temperatur Kalsinasi (°C)	Waktu Tahan (menit)	Luas permukaan aktif (m ² /gr)
350	30	6,619
	60	8,853
450	30	7,033
	60	8,992
550	30	8,797
	60	9,384

Dari hasil tabel 2 dapat diplot sebuah grafik tentang hubungan luas permukaan aktif dengan variasi temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang diberikan. Pada tabel 4.4 didapat bahwa luas permukaan terbesar terbesar diperoleh pada temperatur 550°C dengan waktu tahan 60 menit yaitu sebesar 9,384 m²/gr.

Dari hasil tabel dan grafik dapat dianalisis bahwa kenaikan temperatur kalsinasi dan waktu tahan berbanding lurus dengan luas permukaan aktif yang dihasilkan, di mana semakin tinggi temperatur kalsinasi dan waktu tahan yang diberikan akan membuat luas permukaan aktif dari Titanium Dioksida (TiO₂) semakin tinggi.



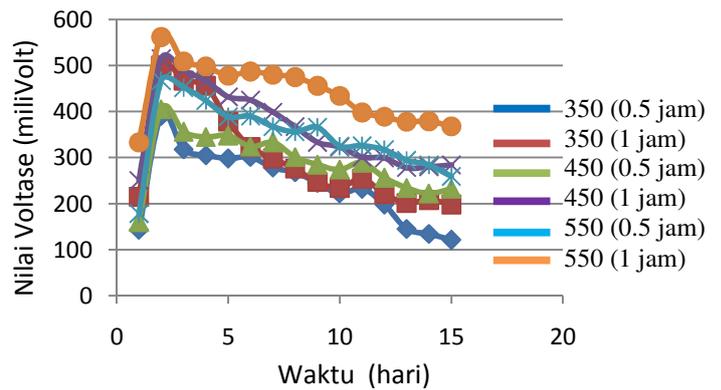
Gambar 5. Grafik hubungan temperatur kalsinasi dan waktu tahan terhadap luas permukaan aktif Titanium Dioksida (TiO₂)

3.5 Analisis Kelistrikan

Pengujian voltase ini dilakukan dengan menggunakan multimeter di bawah sinar matahari dengan intensitas yang sama di siang hari. Pengujian ini dilakukan berturut-turut selama 15 hari untuk mengetahui stabilitas unjuk kerja dari DSSC buah naga tersebut. Dimensi sel surya dengan Titanium Dioksida (TiO₂) yang adalah (2,5x2x0.3) cm

3.5.1 Pengujian Voltase

Untuk pengujian voltase DSSC buah naga merah dilakukan dengan menggunakan multimeter digital dengan diperoleh kecenderungan grafik yang semakin menurun hingga hari ke-15

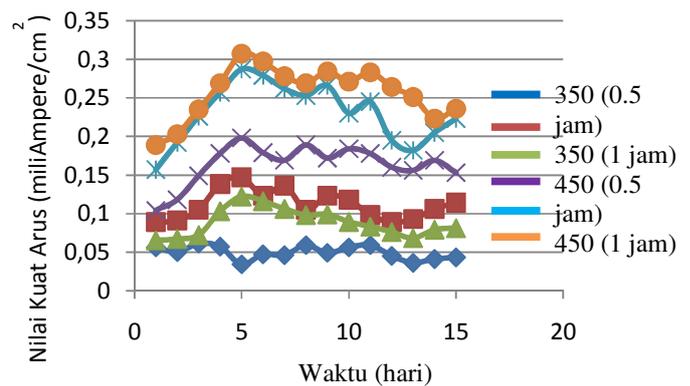


Gambar 6. Grafik hubungan variasi temperatur dan waktu tahan terhadap DSSC buah naga merah

Pada pengujian voltase DSSC buah naga merah didapat voltase tertinggi pada hari ke-2 dengan nilai voltase sebesar 562 milivolt. Gambar 6 juga menunjukkan hasil pengujian voltase dari DSSC buah naga terjadi kecenderungan penurunan nilai voltase yang dihasilkan dari hari ke-3 sampai ke-15. Hal ini lebih disebabkan karena tingkat difusi I⁻ yang rendah melalui matriks DSSC dan terjadi penguapan yang mudah dari elektrolit cair. Selain itu, *iodine* yang merupakan komponen redoks dalam larutan elektrolit cair memiliki stabilitas yang rendah karena mudah teroksidasi oleh udara. Proses oksidasi ini pula dipercepat dengan adanya panas yang diterima DSSC dari matahari [2,3]. Faktor lainnya yang juga berpengaruh dalam menurunnya stabilitas dan performansi DSSC yaitu adanya kerusakan pada zat warna yang merupakan zat organik yang bersifat kurang stabil.

3.5.2 Pengujian Kuat Arus

Untuk pengujian kuat arus DSSC buah naga merah dilakukan dengan menggunakan multimeter digital dengan diperoleh kecenderungan grafik yang fluktuatif hingga hari ke-15



Gambar 7. Grafik hubungan variasi temperatur dan waktu tahan terhadap kuat arus DSSC buah naga

3.5.3 Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell Buah Naga Merah

Untuk menghitung nilai efisiensi dari DSSC buah naga merah digunakan rumus

$$\% \eta = \frac{P(\max)}{P(\text{in})}$$

di mana P (max) merupakan nilai daya maksimum dari DSSC buah naga merah yang diperoleh dengan perhitungan

$$P(\max) = V(\max) \times I(\max)$$

dan nilai P (in) merupakan daya yang diberikan oleh sinar matahari sebesar 480 mW/cm²

Tabel 3. Nilai efisiensi DSSC buah naga merah pada variasi temperatur dan waktu tahan yang diberikan

No.	Temperatur (°C)	Waktu Tahan (menit)	P max (mW/cm ²)	P input (mW/cm ²)	η (%)
1.	350	30	23.7	480	0.0123
2.	350	60	73.5	480	0.038
3.	450	30	49.4	480	0.025
4.	450	60	101.9	480	0.053
5.	550	30	134	480	0.069
6.	550	60	172.5	480	0.089

Terlihat pada tabel 3 bahwa nilai efisiensi yang didapat pada masing-masing penelitian masih di bawah nilai efisiensi sel surya dengan bahan dasar silikon. Hal ini lebih disebabkan karena besarnya nilai hambatan yang terdapat pada DSSC sendiri. Selain itu dipengaruhi oleh stabilitas komponen DSSC yang masih sangat mudah untuk teroksidasi oleh udara yang kemudian dipercepat oleh panas matahari [3]. Nilai efisiensi DSSC buah naga merah maksimum yang dihasilkan sebesar 0.089% masih di bawah penelitian yang dilakukan Zhan, dkk yaitu 5.63% [6], Chang, dkk dengan efisiensi sebesar 0.131-0.257% [4]. Namun lebih baik dibandingkan dengan Pancaningtyas yang menghasilkan efisiensi sebesar 0.039% [3], Maddu yang menghasilkan efisiensi sebesar 0.001875 [2], bahkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan pada program PKM Penelitian yang didanai DIKTI oleh Sahat, yaitu sebesar 0.00148% [5].

IV. KESIMPULAN

Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berhasil dilakukan menggunakan materi organik yaitu ekstrak larutan *dye* buah naga dengan nilai panjang gelombang maksimum 538 nm dan materi anorganik berupa Titanium Dioksida, larutan elektrolit, dan Pd/Au pada materi konduktif kaca *Indium Tin Oxide* dengan metode spin coating. Variasi temperatur kalsinasi yang diberikan yaitu 350°C, 450°C, dan 550°C juga waktu tahan 30 menit dan 60 menit.

Berdasarkan hasil XRD diketahui struktur kristal dari Titanium Dioksida (TiO₂) yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tetragonal*. Hasil XRD ini bersesuaian dengan kartu JCPDS nomor 71-1167. Terdapat peak baru yang muncul pada hasil XRD dari lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) di mana peak tersebut merupakan substrat dari kaca konduktif Indium Tin Oxide.

Pada hasil foto SEM yang didapat dengan perbesaran 10.000x partikel-partikel TiO₂ cenderung membentuk agregat yang tersebar dengan partikel yang lain dengan semakin naiknya temperatur kalsinasi dan waktu tahan. Bentuk partikel yang terlihat dari foto SEM membentuk *spherical*.

Luas permukaan aktif dari sampel Titanium Dioksida (TiO₂) semakin besar dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan kalsinasi yang mana hasil BET awal Titanium Dioksida sebesar 6.371 m²/gr dan meningkat dengan luas permukaan aktif terbesar menjadi 9.384 m²/gr.

Dalam uji kelistrikan DSSC buah naga dihasilkan nilai kelistrikan terbesar terdapat pada sample dengan pemanasan pada temperatur kalsinasi 550°C dan waktu tahan kalsinasi selama 60 menit dengan nilai voltase terbesar 562 mV, kuat arus terbesar 0.307 mA/cm², daya terbesar 172.5 mW/cm², dan efisiensi 0.089% dengan penurunan voltase dalam rentang 1.31-8.74%. Nilai kelistrikan yang meningkat ini berbanding lurus terhadap nilai luas permukaan aktif yang semakin meningkat seiring semakin bertambahnya variasi temperatur dan waktu tahan kalsinasi.

Berdasarkan tujuan penelitian ini maka dapat dikatakan bahwa pembuatan prototype DSSC buah naga ini berhasil mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis S.M.R.N. mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada DIKTI yang telah memberikan dana penelitian pada penulis, dosen pembimbing Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D atas dukungan motivasi dalam terselesainya penelitian ini dan kepada Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si selaku pembimbing program kreativitas mahasiswa. Penulis S.M.R.N. sangat berterima kasih kepada kedua orang tua tercinta yang telah membuat penulis tetap semangat mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yuliarto, B. "Energi Surya : Alternatif Sumber Energi Masa Depan Indonesia". *Berita Iptek*. 16 Februari 2006. <http://www.indeni.org> (Diakses Februari 2012)
- [2] Maddu, A., Zuhri, Irmansyah. "Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye". *Makara, Teknologi*, Vol 11, No. 2 November (2007): 78-84
- [3] Pancaningtyas, L., 2010. "Peranan Elektrolit pada Performa Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT)". Surabaya : ITS
- [4] Chang, H., Wu, Chen, Huang, Jwo, Lo. "Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea". *Journal of Alloys and Compounds* 495, (2010). 606-610
- [5] Fitiria, J., Adha, Fany, Sahat, Tri. "Studi Pemanfaatan Kulit Buah Naga sebagai Materi Sel Surya dengan Metode Dye Sensitized Solar Cell". Laporan PKMP Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS (2012).
- [6] Zhang, Y., L. Wang, Liu, Zhai, Fan, D. Wang, Lin, Xie. "Synthesis Zn-doped TiO₂ microspheres with enhanced photovoltaic performance and application for dye – sensitized solar cell". *Electrochimica Acta* 56 (2011) 6517-652.