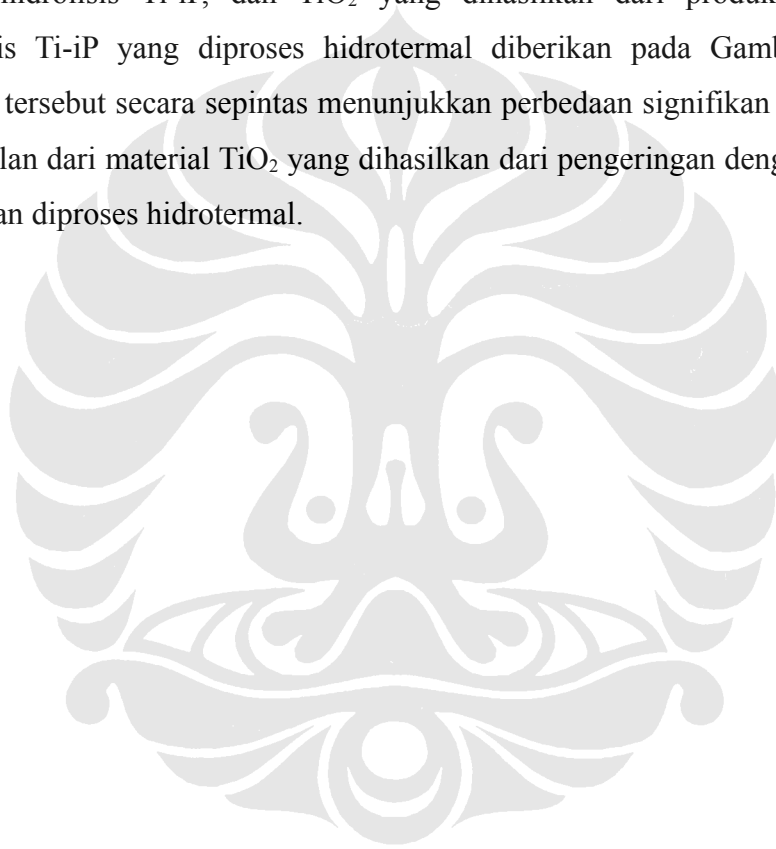


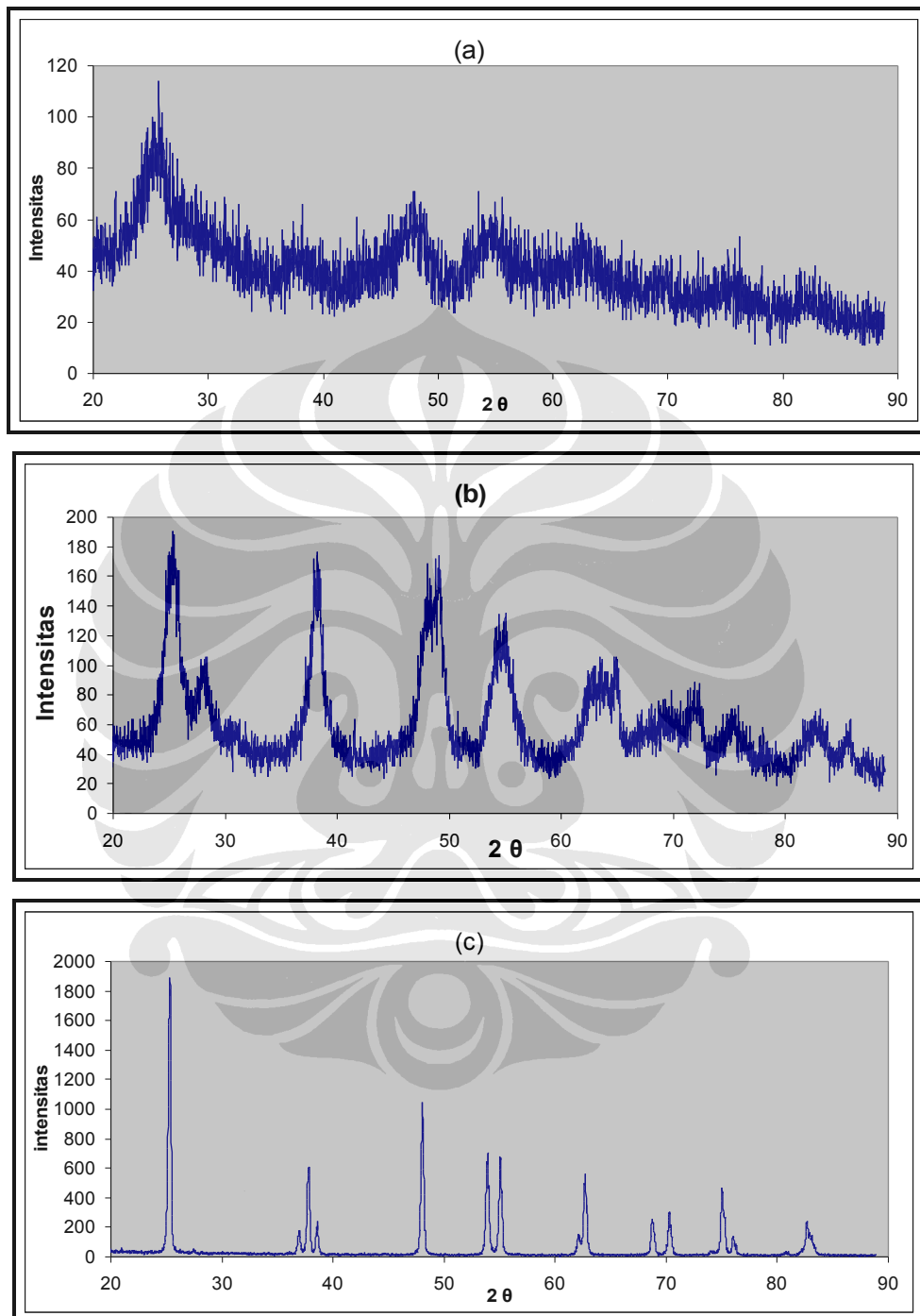
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil XRD dan Ukuran Kristalit TiO₂

Pola difraksi sinar-X dari ZnO, TiO₂ yang dihasilkan dari pengeringan produk proses hidrolisis Ti-iP, dan TiO₂ yang dihasilkan dari produk pengeringan hidrolisis Ti-iP yang diproses hidrotermal diberikan pada Gambar 4.1. Pola difraksi tersebut secara sepintas menunjukkan perbedaan signifikan antara tingkat kekristalan dari material TiO₂ yang dihasilkan dari pengeringan dengan TiO₂ yang kemudian diproses hidrotermal.





Gambar 4.1 Difraktogram TiO_2 (a) hasil pengeringan produk proses sol-gel dengan $R_w = 2,2$; (b) hasil hidrotermal produk sol-gel dengan $R_w = 2,2$; dan (c) pabrikan (Merck), diproses anil sebagai referensi pelebaran instrumen

Besarnya ukuran kristalit dari kurva XRD dapat diperhitungkan dengan menggunakan Persamaan 2.2, dengan mengikuti langkah dari Persamaan 2.3 sampai 2.8.

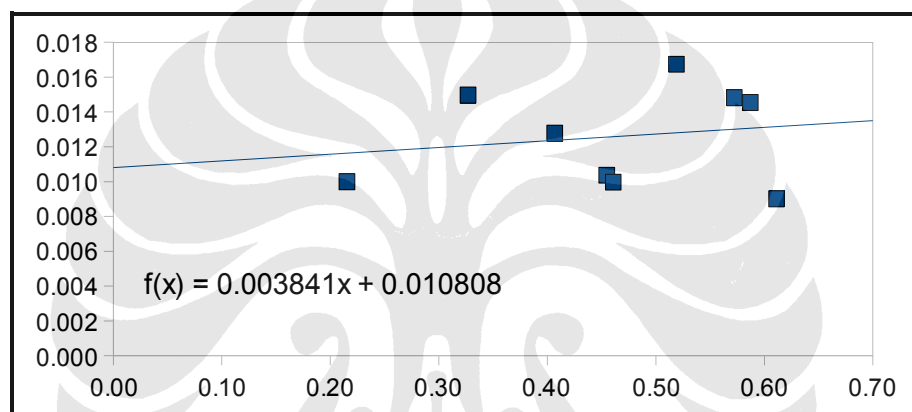
Langkah pertama adalah penentuan puncak-puncak mana dari kurva XRD yang akan dihitung pelebarannya. Puncak-puncak tersebut kemudian diperhitungkan dengan Persamaan 2.4, dengan mengambil pelebaran pada kurva XRD yang bersesuaian. Pelebaran ini diketahui dengan mengemas kurva dengan program komputer yang dapat membantu pengepasan tak-linear, terutama pada kurva-kurva seperti kurva hasil XRD. Pada penelitian ini, digunakan peranti lunak PeakFit.

Bentuk puncak-puncak pada difraktogram yang ada didekati oleh peranti lunak tersebut, dan secara otomatis diukur nilai pelebaran di bawah puncaknya, atau FWHM-nya. Nilai ini kemudian disusun untuk mencari nilai c , dan kemudian nilai t pada Persamaan 2.7 dan 2.8. Hasil-hasil pengukuran nilai pelebaran dari sampel diberikan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, sedangkan Gambar 4.2 dan 4.3 menampilkan grafik yang memetakan data pada kedua tabel tersebut.

Tabel 4.1. Hasil pengepasan kurva XRD TiO₂ hasil hidrotermal

Br $\cos \theta$	$\sin \theta$
0.009995	0.215375
0.014978	0.326858
0.012780	0.406795
0.010369	0.454739
0.009972	0.460776

Br cos θ	sin θ
0.016746	0.518991
0.014823	0.572347
0.014546	0.587098
0.009015	0.611171



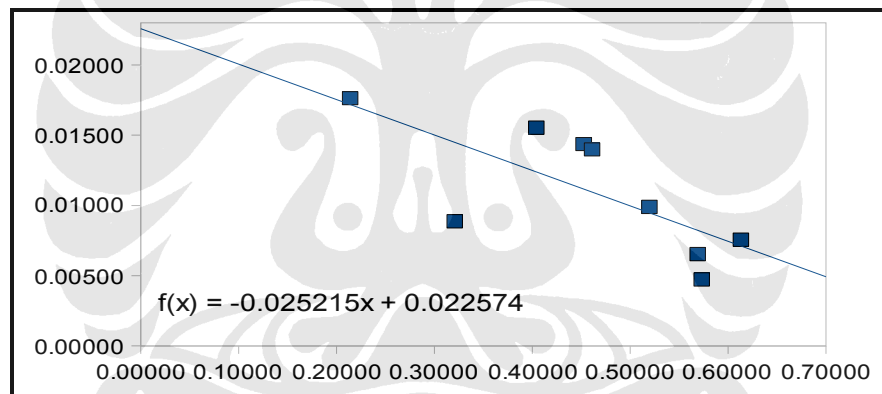
Gambar 4.2 Grafik pemetaan Tabel 4.1

Garis yang terbentuk dari kecenderungan titik-titik pada grafik pada Gambar 4.2 memiliki persamaan $y = 0,00773x + 0,010808$. Nilai 0,010808 adalah nilai c , yang akan menghasilkan nilai besar kristalit, t , sebesar 12.681 nm yang didapatkan dari perhitungan dengan Persamaan 2.8.

Tabel 4.2. Hasil pengepasan kurva XRD TiO₂ hasil pengeringan

Br cos θ	sin θ
0.017636	0.213875
0.015531	0.404121

Br cos θ	sin θ
0.008870	0.320743
0.014362	0.452522
0.013985	0.461017
0.009895	0.519675
0.007564	0.613214
0.006532	0.568905
0.004733	0.572975



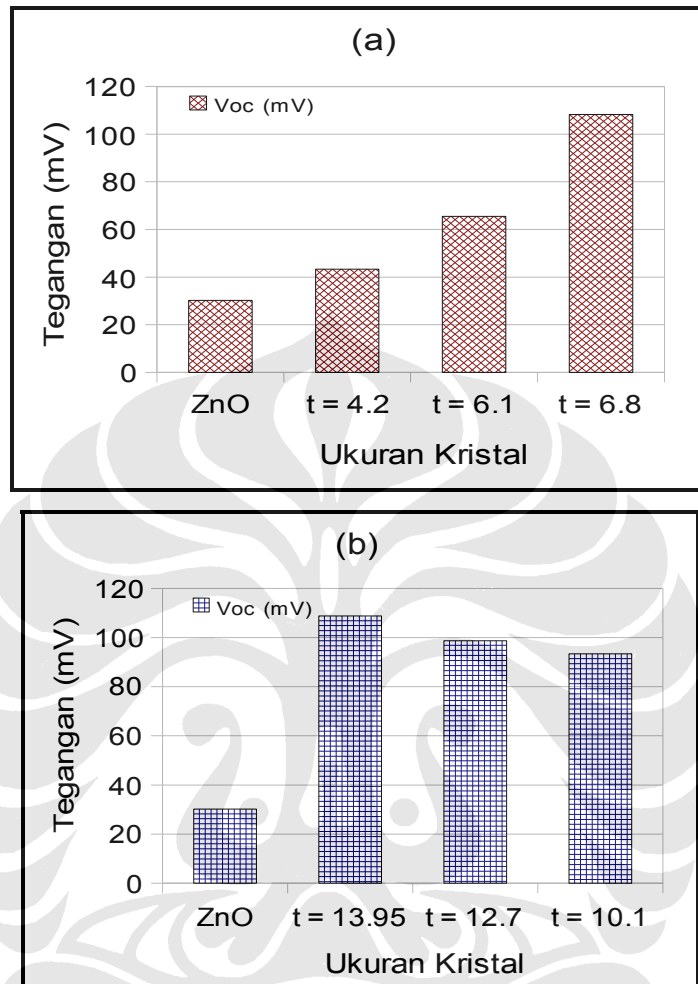
Gambar 4.3 Grafik pemetaan Tabel 4.2

Persamaan garis yang terbentuk dari kecenderungan titik-titik pada grafik pada Gambar 4.3 adalah $y = -0,062637x + 0,022574$. Dari nilai c sebesar 0,022574, dapat dihasilkan nilai besar kristalit, t , sebesar 6.07 nm yang didapatkan dari perhitungan dengan Persamaan 2.8. Perhitungan yang telah dilakukan sesuai dengan perkiraan sebelumnya, bahwa perlakuan hidrotermal telah memperbesar ukuran kristalit dari TiO_2 yang disintesis dengan proses sol-gel.

4.2 Analisis Sel Surya

Pengujian dilakukan di bawah penyinaran cahaya lampu OHP pantul dari 3M. Lampu pada OHP ini berada di sisi atas, sehingga sel uji diletakkan di bagian bawah dengan sisi variabel semikonduktor menghadap ke atas. Pengujian luar ruang di bawah cahaya matahari tidak memungkinkan dilakukan karena pada saat hari-hari pengujian, sinar matahari terhalang mendung atau terjadi hujan. Untuk penelitian lanjutan, perlu dilakukan pengujian di bawah penyinaran cahaya matahari yang sebenarnya untuk mengetahui kemampuan sel surya di medan yang sebenarnya.

Data diambil dari pengujian untuk tegangan sirkuit terbuka (*open circuit voltage*, V_{oc}) dengan memastikan tegangan tertinggi yang muncul. Grafik hasil pengamatan V_{oc} diberikan pada Gambar 4.4, sedangkan untuk hasil data pengamatan selengkapnya, diberikan pada Lampiran.



Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian sirkuit terbuka (tanpa hambatan) dari sel surya berbasis ZnO-TiO₂ (a) tanpa perlakuan hidrotermal, dan (b) dengan perlakuan hidrotermal

Gambar 4.4 (a) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah air dalam pembuatan TiO₂ melalui proses sol-gel meningkatkan Voc, sedangkan Gambar 4.4 (b) menunjukkan sel yang mengandung TiO₂ hasil proses hidrotermal yang dilakukan memperlihatkan peningkatan Voc yang dihasilkan sel. Pada (Rw) yang sama, TiO₂ yang diproses hidrotermal umumnya menghasilkan Voc yang lebih besar. Pada kedua macam sel, disertakan besaran Voc tertinggi dari sel berbasis ZnO saja sebagai referensi yaitu sebesar 30,2 mV.

Pada $R_w = 0,85$, atau penambahan air sebanyak 0,85 kali molaritas Ti-iP (0,4 mol/liter), V_{oc} untuk sel yang menggunakan campuran ZnO-TiO₂ produk reaksi sol-gel tersebut (ukuran kristal TiO₂ = 4,2 nm) adalah 43,3 milivolt (mV), sedangkan apabila TiO₂ tersebut diproses hidrotermal (ukuran kristal TiO₂ = 13,95 nm), maka V_{oc} -nya naik menjadi 108,8 mV.

Untuk $R_w = 2,2$, atau penambahan air sebanyak 2,2 kali molaritas Ti-iP, V_{oc} untuk sel yang menggunakan campuran ZnO-TiO₂ produk reaksi sol-gel tersebut (ukuran kristal TiO₂ = 6,1 nm) adalah 65,5 milivolt (mV), dan apabila TiO₂ tersebut diproses hidrotermal (ukuran kristal TiO₂ = 12,7 nm), maka V_{oc} -nya naik menjadi 98,7 mV.

Sedangkan, pada $R_w = 3,5$, atau penambahan air sebanyak 3,5 kali molaritas Ti-iP, V_{oc} untuk sel yang menggunakan campuran ZnO-TiO₂ produk reaksi sol-gel (ukuran kristal TiO₂ = 6,8 nm) tersebut adalah 108,3 milivolt (mV), sedangkan apabila TiO₂ tersebut diproses hidrotermal (ukuran kristal TiO₂ = 10,1 nm), maka V_{oc} -nya turun menjadi 98,3 mV.

4.3 Hubungan Kekristalan dengan Kinerja Sel Surya

Sistem sel surya ZnO/TiO₂ yang dibuat pada proyek penelitian ini dibuat dengan setidaknya tiga perbedaan pada R_w dan juga pada perlakuan. Perbedaan perlakuan menghasilkan kinerja yang berbeda. Kecenderungan yang terjadi adalah V_{oc} puncak meningkat dengan R_w yang juga meningkat, serta V_{oc} puncak meningkat pada R_w yang sama dengan perlakuan hidrotermal.

Peningkatan V_{oc} puncak pada R_w yang meningkat – dengan demikian, jumlah air yang ditambahkan semakin banyak – disebabkan oleh perbedaan jumlah air. Air, dalam proses hidrolisis adalah reagen utama proses tersebut. Air yang jumlahnya meningkat akan memperbesar kemungkinan terbentuknya Ti-OH pada reaksi hidrolisis, dengan demikian akan meningkatkan kemungkinan

terjadinya reaksi antara Ti-OH maupun Ti-OH dan Ti-OR yang pada akhirnya akan membentuk jaringan Ti-O-Ti yang semakin luas, seperti ditunjukkan pada persamaan 2.1.

Jaringan Ti-O-Ti yang semakin luas, meskipun masih berukuran kristalit yang relatif kecil, akan meningkatkan serapan bahan pewarna pada semikonduktor – dengan itu maka kinerja semakin meningkat dengan semakin luasnya jalur untuk dilalui elektron. Perlakuan hidrotermal – yang bertujuan meningkatkan ukuran kekristalan – yang diberikan pada TiO₂ yang dihasilkan meningkatkan kinerja sel lebih lanjut. Ukuran kekristalan yang semakin besar, berarti sistem semikonduktor semakin teratur.

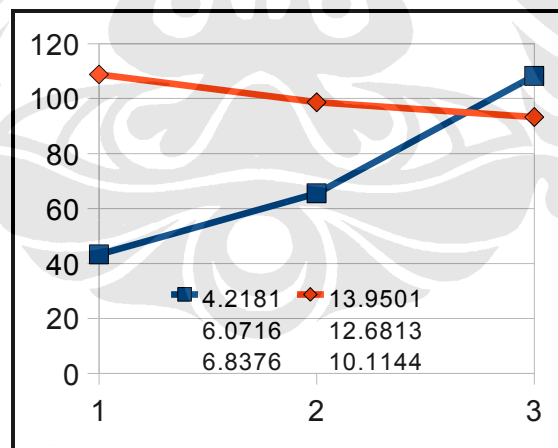
Sistem semikonduktor dapat diibaratkan seperti jalan yang akan dilalui elektron yang diibaratkan kendaraannya. Jalan yang semakin luas dapat dilalui kendaraan yang lebih banyak. Peningkatan kinerja karena peningkatan R_w dapat diibaratkan sebagai perluasan jalan yang ada, sedangkan proses hidrotermal dapat diibaratkan sebagai perbaikan jalur yang ada. Perlakuan pertama meningkatkan kinerja sel secara terbatas, dikarenakan jalur yang dilalui elektron masih belum cukup besar, sedangkan proses hidrotermal mengoptimalkan kinerja sel pada R_w yang sama dengan meningkatkan lebar jalur yang dapat dilalui elektron.

Perlakuan hidrotermal kemudian diberikan pada tiap-tiap sediaan TiO₂. Dari hasil pengujian, pada R_w yang sama terjadi peningkatan V_{oc} dengan perlakuan hidrotermal. Hal ini terjadi pada setiap R_w yang diperlakukan hidrotermal. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan mengambil pendekatan pada membesarnya ukuran kristalit. Hal ini nampak dari kurva XRD TiO₂ pada $R_w = 2$, yang semakin tajam setelah perlakuan, dan hasil perhitungan besar kristalit yang menunjukkan terjadi peningkatan ukuran kristalit dari 6,1 menjadi 12,6 nm.

Meskipun demikian, dengan perlakuan hidrotermal yang sama, kenaikan R_w justru menimbulkan penurunan V_{oc} pada sel. Hal ini diduga berkaitan dengan

rongga-rongga yang dapat diisi oleh larutan elektrolit dan tempat masuknya bahan pewarna sebelum menempel ke semikonduktor menjadi lebih kecil. Dengan mengecilnya rongga-rongga ini, meskipun ukuran kristalit yang ada membesar, pengubahan energi pada semikonduktor dengan R_w besar yang diproses hidrotermal menjadi lebih rendah daripada semikonduktor dengan R_w kecil yang sama-sama diproses hidrotermal.

Perbandingan kinerja sel-ke-sel yang diperlakukan hidrotermal maupun tidak diberikan pada Gambar 4.5. Pada Gambar tersebut, dapat diamati terjadinya penurunan pada kinerja TiO_2 yang diperlakukan hidrotermal, dan pada akhirnya dapat dilampaui oleh kinerja sistem sel yang mengandung TiO_2 yang berasal dari proses sol-gel dengan $R_w = 3,5$. Meskipun demikian, larutan TiO_2 yang stabil dengan R_w tinggi lebih sulit didapatkan daripada TiO_2 dengan R_w yang lebih rendah.



Gambar 4.5 Perbandingan kinerja TiO_2 yang diperlakukan hidrotermal maupun tidak

Dari grafik pada Gambar 4.5 tersebut dapat dinyatakan bahwa proses hidrotermal meningkatkan secara signifikan kinerja sel berbasis $ZnO-TiO_2$ dengan TiO_2 yang digunakan berasal dari R_w yang lebih kecil, dan relatif tidak memberi

pengaruh baik pada R_w yang lebih besar. Hal ini, seperti sebelumnya telah dijelaskan, diduga karena terbatasnya pembesaran ukuran kristalit yang terjadi pada R_w yang lebih besar. Jalur pada pori yang tersedia untuk dilalui elektrolit dan bahan pewarna pada TiO_2 yang dihasilkan dari proses hidrolisis dengan R_w 3,5 relatif lebih kecil daripada dengan R_w 0,85, tetapi ukuran yang lebih besar membuat injeksi elektron lebih leluasa. Dengan proses hidrotermal yang dilakukan, diduga jalur sistem tersebut mengalami pembesaran ukuran kristalit dan pengecilan pori secara bersamaan, dan dapat jadi mengakibatkan elektrolit dan pewarna tidak mengisi pori sebaik sebelumnya sehingga menurunkan kinerja yang dihasilkan sel tersebut.

