Sintesis *Coating Copper-Cobalt* Oksida pada Substrat Aluminium Melalui Proses Sol Gel Sebagai *Solar Selective Absorber* : Pengaruh Rasio Molar Cu/Co dan Ketebalan *Coating*

Peter¹⁾, Amun Amri²⁾, Ahmad Fadli²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia

Laboratorium Material dan Korosi

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

Email : peterlu49@gmail.com

ABSTRACT

Solar selective absorber (SSA) is a layer which is selective to absorb solar radiation and convert it into maximum heat energy. The purpose of this research is to synthesize the SSA based on copper nitrate and cobalt nitrate precursor, to determine the influence of molar ratio and dipping times number to absorptance, and emittance of SSA using the sol gel dip coating method.. Aluminum plates with size of 2x4cm² were cleaned using phosphoric acid 10% by volume at temperature $\pm 50^{\circ}\text{C}$ for 10 minutes and then washed again with distilled water. Sol precursor was prepared by mixing copper nitrate and cobalt nitrate in ethanol solvent and the addition of propionic acid as catalyst and complexing agent. This solution was stirred at room temperature for 2 hours. The coatings were synthesized by varying molar ratio of [Cu]/[Co] of 0,25; 1; and 4 with the number of dipping 1-10 times. The coatings then were annealed at temperature of 550^oC for 1 hour. Reflectance spectra in the UV-Vis-NIR show that an increasing number of dipping and decreasing in the molar ratio of [Cu]/[Co] improved the absorptance (α). SSA layer with best absorptance i.e. 84,788% is synthesized using precursors with a molar ratio of 4 at 10 dipping times, and emittance (ϵ) generated amount 8,999%.

Keywords : aluminum, dip coating, solar selective absorber.

Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi energi matahari yang cukup besar mengingat letak geografisnya yang berada pada daerah tropis. Berdasarkan data penyinaran matahari yang diperoleh dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi matahari di Indonesia diklasifikasikan atas Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 10% dan Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan 9%. Dengan demikian, potensi energi matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9% atau setara dengan 112.000 GWp. Meskipun potensi energi matahari di Indonesia cukup besar, namun pemanfaatan energi matahari di Indonesia masih sangat rendah yaitu belum mencapai 1% (sekitar 10 MWp) [Kementerian ESDM, 2016].

Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan 2 macam cara yaitu dengan menggunakan modul fotovoltaik (*photovoltaic*) dan kolektor panas matahari (*solar thermal collector*). Modul fotovoltaik dapat mengkonversi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik, namun konversi yang dihasilkan rendah (< 20%), sedangkan kolektor panas matahari mengkonversi radiasi matahari menjadi panas matahari dengan cara menangkap radiasi matahari sebanyak mungkin dengan konversi yang dihasilkan >60% [Mastai dkk., 2002].

Panas yang dihasilkan tersebut dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan perangkat *thermoelectric converter* (TEC), maupun dapat dikonversi melalui pembangkitan uap pada instalasi pembangkit listrik tenaga matahari (*concentrating solar power*) [Chow, 2010]

dan Mastai dkk, 2002]. Selain itu, *solar thermal collector* dapat digunakan untuk kebutuhan domestik seperti pemanas air tenaga matahari, sumber panas untuk sistem pendingin tenaga matahari (*solar-AC*) dan lain-lain [Chow, 2010].

Efisiensi konversi yang dihasilkan oleh *solar thermal collector* sangat bergantung pada lapisan pelapis (*coating*) yang terbuat dari bahan keramik pada permukaan *collector*. Lapisan ini disebut sebagai *solar selective absorber* (SSA).

Konversi yang tinggi pada *solar thermal collector* disebabkan oleh sifat bahan pelapis (*coating*) pada permukaan *solar thermal collector* yang bersifat selektif (menyerap spektrum UV-Visible dan Near Infrared (NIR), atau disebut absorptansi (α) pada rentang panjang gelombang 0,3-2,5 μ m, dan memantulkan/menolak spektrum Mid-Far Infrared, atau disebut emitansi (ϵ) pada rentang panjang gelombang >2,5 μ m untuk meminimalisir panas yang hilang akibat radiasi kembali (re-radiasi) dari permukaan kolektor [Bayon dkk., 2010; Bostrom dkk., 2011].

Mahalnya komponen-komponen dalam sel surya/*fotovoltaic* menyebabkan pemanfaatan energi matahari masih rendah di Indonesia [Kementerian ESDM, 2016]. Menurut Croxford dan Scott [2006], biaya yang diperlukan untuk instalasi sistem fotovoltaik sekitar 5,62 kali lebih besar bila dibandingkan dengan instalasi kolektor panas matahari. Oleh karena itu, salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi mahalnya biaya pembuatan sel surya yaitu kolektor panas matahari.

2. Metode Penelitian

Tahap pembuatan SSA berbasis tembaga nitrat trihidrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_{2.3}\text{H}_2\text{O}$) dan kobal nitrat heksahidrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) pada substrat aluminium dengan metode *dip coating* diawali dengan tahap persiapan dan pembersihan aluminium. Pada tahap ini dilakukan pemotongan terhadap aluminium hingga berukuran $2 \times 4 \text{cm}^2$, kemudian dilanjutkan dengan pembersihan aluminium yang diawali

dengan pembuatan larutan *phosphoric acid* 10% volume. Aluminium dicelupkan ke dalam larutan *phosphoric acid* 10% volume pada suhu 50°C selama 10 menit yang kemudian dibersihkan kembali dengan akuades dan dikeringkan pada suhu kamar. Proses pembersihan aluminium bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor, zat organik, maupun terhadap *protective oxide layer* (Al_2O_3) yang terdapat pada permukaan substrat aluminium.

Selanjutnya pembuatan lapisan SSA pada permukaan aluminium dilakukan pada berbagai variasi rasio [Cu]/[Co] dan jumlah pencelupan dengan konsentrasi asam propionat yang digunakan tetap yaitu 0,1M. Tahapan ini dimulai dengan menimbang tembaga nitrat trihidrat dan kobal nitrat heksahidrat (untuk konsentrasi tembaga nitrat trihidrat dan kobal nitrat heksahidrat sebesar 0,1M dan 0,4M (rasio [Cu]/[Co] = 0,25). Selanjutnya asam propionat ditambahkan ke dalam dua bahan tersebut, lalu dilarutkan dengan menggunakan etanol ke dalam labu ukur 50ml. Campurkan kedua larutan tersebut. Ketika pencampuran dilakukan, asam propionat akan membentuk sol tembaga nitrat trihidrat-kobal nitrat heksahidrat. Campuran tersebut diaduk selama 2 jam pada suhu kamar dalam wadah tertutup.

Aluminium yang telah dibersihkan dilapisi dengan campuran zat dengan menggunakan proses *dip coating* (pelapisan dengan pencelupan). Aluminium + *wet gel coating* dikeringkan pada *hotplate* pada suhu 150°C selama 1 menit. Untuk ketebalan *coating* yang berbeda diperoleh dengan pengulangan proses *dip coating*. *Annealing* akhir dilakukan dalam *furnace* pada suhu 550°C selama 1 jam. Percobaan diatas diulangi untuk konsentrasi tembaga nitrat trihidrat dan kobal nitrat heksahidrat sebesar 0,25 M dan 0,25 M (rasio [Cu]/[CO] = 1) serta 0,4 M dan 0,1 M (rasio [Cu]/[Co] = 4).

Aluminium yang telah dilapisi akan di analisa untuk mengetahui nilai absorptansi dengan menggunakan UV-Vis-NIR *spectrophotometer*. Standar analisa yang

digunakan yaitu AM 1.5 (ISO 9845-1/1992) [Duffie dan Beckman, 2006]. Dari peralatan UV-Vis-NIR *spectrophotometer* akan diperoleh data berupa panjang gelombang dan reflektansi, setelah itu data tersebut di plot ke excel berupa *template* perhitungan absorptansi sehingga diperoleh nilai absorptansi pada setiap sampel yang dianalisa [Duffie dan Beckman, 2006].

Sampel SSA terbaik memiliki persyaratan sebagai berikut: kurva reflektansi memberikan nilai absorptansi tertinggi namun memotong garis *cut-off* (panjang gelombang 2,5 μm) pada kisaran reflektansi $\geq 50\%$ [Amri dkk., 2013]. Dengan menggunakan pedoman ini, maka diperoleh sampel SSA terbaik. Selanjutnya setelah didapat lapisan SSA terbaik, dilakukan analisa emittansi menggunakan FTIR *spectrophotometer*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Absorptansi (α) pada Setiap Lapisan SSA

Spektra reflektansi yang rendah menandakan absorptansi yang tinggi dan sebaliknya. Dari hasil pengujian dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis-NIR menunjukkan perubahan spektrum reflektansi yang relatif cukup signifikan terjadi pada daerah gelombang *near infrared* (NIR) pada panjang gelombang $>0,78 \mu\text{m}$. Semakin banyak jumlah pencelupan (lapisan SSA semakin tebal), maka spektrum reflektansi yang dihasilkan pada daerah gelombang NIR akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan bila lapisan SSA yang semakin tebal, maka radiasi matahari khususnya pada daerah gelombang NIR akan semakin sulit mencapai permukaan aluminium yang bersifat sangat reflektif [Amri dkk., 2014].

Penggunaan aluminium sebagai substrat juga memiliki pengaruh yang substansial terhadap sifat reflektansi dari lapisan SSA. Dasar pemilihan aluminium sebagai substrat dikarenakan aluminium memiliki reflektivitas yang sangat tinggi pada daerah inframerah sehingga emittansi yang dihasilkan rendah [Bayon dkk., 2008].

Selain itu, dari hasil pengujian terhadap substrat aluminium sesudah proses pembersihan menghasilkan spektra reflektansi berada pada kisaran 99%.

Semakin panjang gelombang NIR, maka jumlah radiasi matahari yang dipantulkan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan lapisan SSA berperilaku seperti semikonduktor dimana energi yang lebih kecil yang dimiliki oleh radiasi matahari dengan panjang gelombang yang lebih besar tidak mampu melewati energi *band gap* pada lapisan SSA. Hal ini yang menyebabkan radiasi matahari semakin mudah untuk melewati lapisan SSA (transparan) tanpa mengalami penyerapan. Radiasi yang dilewatkan ini kemudian akan dipantulkan kembali oleh permukaan aluminium yang reflektif. Oleh karena itu, reflektansi pada gelombang NIR akan meningkat seiring dengan bertambahnya panjang gelombang radiasi matahari [Amri dkk., 2014].

Hasil pengujian jagan menghasilkan spektra bergelombang yang terdiri dari puncak dan lembah gelombang pada daerah panjang gelombang yang pendek ($<1,5 \mu\text{m}$). Puncak gelombang ini dinamakan *interference peak*, sedangkan lembah gelombang dinamakan *absorption edge*. Gelombang semakin signifikan dengan “amplitudo” yang semakin besar seiring meningkatnya rasio [Cu]/[Co]. Namun lain halnya dengan jumlah pencelupan dimana dengan meningkatnya jumlah pencelupan, amplitudo yang dihasilkan semakin kecil. Terbentuknya gelombang ini dikarenakan sifat intrinsik senyawa tembaga kobal oksida. Amplitudo dari kurva yang bergelombang akan menurun dengan meningkatnya konsentrasi ion logam kobal [Amri dkk., 2013].

Semakin banyak jumlah pencelupan dan semakin kecil rasio molar [Cu]/[Co] (semakin tinggi konsentrasi kobal nitrat), maka nilai absorptansi yang dihasilkan semakin tinggi meskipun terdapat sedikit fluktuasi. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Avila dkk [2004] dan Bayon dkk [2008] bahwa pengaruh lapisan

SSA yang semakin tebal akan meningkatkan absorptansi energi matahari.

Semakin kecil rasio molar [Cu]/[Co] (semakin tinggi konsentrasi kobal nitrat) yang digunakan maka spektra reflektansi yang dihasilkan pada panjang gelombang UV-Vis-NIR akan semakin rendah dan menyebabkan absorptansi yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat intrinsik senyawa kobal oksida yang mampu menyerap radiasi matahari yang datang pada panjang gelombang UV-Vis-NIR dalam jumlah yang lebih besar, Meskipun demikian, berdasarkan syarat kriteria SSA yang baik (memotong garis *cut-off* pada kisaran reflektansi $\geq 50\%$), rasio [Cu]/[Co] yang memenuhi syarat yaitu larutan dengan rasio [Cu]/[Co] sebesar 4.

Semakin banyak jumlah pencelupan yang dilakukan, maka spektra reflektansi yang dihasilkan akan semakin rendah dan posisi *interference peak* serta *absorption edge* yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan bila lapisan SSA semakin tebal, maka akan menyebabkan terjadinya multi-refleksi di dalam *bulk film* pada saat radiasi matahari mengenai lapisan SSA yang menyebabkan radiasi matahari lebih sukar untuk keluar dari lapisan SSA [Amri dkk., 2014].

Sampel yang memberikan absorptansi tertinggi terdapat pada larutan tembaga nitrat dan kobal nitrat dengan konsentrasi 0,25M dan 0,25M (rasio molar = 1) dengan jumlah pencelupan sebanyak 10 kali pencelupan dengan absorptansi yang dihasilkan sebesar 96,388%. Sampel yang memberikan absorptansi tertinggi ini belum memenuhi kriteria SSA yang baik. Sampel SSA ini memiliki reflektansi yang rendah pada kisaran 6,5% pada garis *cut-off*, sehingga bila dilakukan pengujian akan menghasilkan emitansi yang tinggi juga. Oleh karena itu, berdasarkan kriteria SSA yang telah diuraikan, maka ditentukan SSA yang memiliki absorptansi terbaik dan memenuhi kriteria tersebut. SSA terbaik diperoleh pada konsentrasi tembaga nitrat dan kobal nitrat sebesar 0,4M dan 0,1M

(rasio = 4) dengan jumlah pencelupan sebanyak 10 kali yang menghasilkan absorptansi sebesar 84,788%.

3.2 Analisa Emitansi (ϵ)

Analisa emitansi dilakukan pada lapisan SSA yang disintesis dengan konsentrasi tembaga nitrat dan kobal nitrat sebesar 0,4M dan 0,1M (rasio [Cu]/[Co] = 4) dengan jumlah pencelupan sebanyak 10 kali (lapisan SSA dengan absorptansi terbaik) pada panjang gelombang *near infrared* (NIR). Dari hasil pengujian diperoleh bahwa reflektansi berada pada kisaran 90% namun terjadi penurunan reflektansi pada panjang gelombang (λ) $\geq 14.4 \mu\text{m}$. Hal ini dikarenakan keterbatasan pengukuran pada alat (*deran/noise*).

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan (tidak terbentuk puncak serapan) pada spektra reflektansi. Hal ini menandakan bahwa pada *annealing* pada suhu 550°C, senyawa nitrat dan organik telah terdekomposisi secara sempurna. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan Pal dkk. [2013] bahwa spektra FTIR menunjukkan senyawa organik telah terdekomposisi sempurna pada *annealing* dengan suhu 500°C.

Nilai emitansi (ϵ) yang dihasilkan sebesar 8,999% diperoleh melalui pengolahan terhadap data reflektansi dengan menggunakan *template excel*. Hasil emitansi ini cukup memuaskan dikarenakan masuk kedalam kriteria syarat SSA yang baik dan dapat dikomersialkan yaitu yang memiliki absorptansi $\geq 80\%$ dan emitansi $\leq 10\%$ (sebelum penambahan lapisan antirefleksi) [Bayon dkk., 2010; Bostrom dkk., 2003]. Emitansi diharapkan seminimal mungkin. Penyerapan radiasi matahari pada spektrum *Mid Far Infrared* (panjang gelombang $> 2,5 \mu\text{m}$) justru dapat memicu permukaan lapisan SSA untuk memancarkan panas yang dengan demikian dapat meningkatkan jumlah energi yang hilang [Duffie dan Beckman, 2006]. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat ditentukan selektivitas dari lapisan SSA

dengan menggunakan persamaan $S = \alpha / \epsilon$
 $= 0,84788 / 0,08999 = 9,422$.

4. Kesimpulan

Lapisan SSA telah berhasil disintesis di permukaan substrat aluminium dengan menggunakan prekursor tembaga nitrat dan kobalt nitrat. Spektra reflektansi pada area UV-Vis-NIR menunjukkan bahwa semakin kecil rasio [Cu]/[Co] dan semakin besar jumlah pencelupan yang dilakukan dapat meningkatkan nilai absorptansi. Namun berdasarkan kriteria SSA yang baik, larutan dengan rasio [Cu]/[Co] sebesar 0,25 dan 1 belum mampu mencapai *cut-off* pada reflektansi $\geq 50\%$. Absorptansi terbaik (α) diperoleh sebesar 84,788% pada larutan dengan rasio [Cu]/[Co] sebesar 4 pada 10 kali pencelupan. Nilai emitansi (ϵ) yang diperoleh adalah sebesar 8,999%.

Daftar Pustaka

- Amri, A., Duan, X. F., Yin, C. Y., Jiang, Z. T., dan Rahman, M. M., 2013, Solar absorptance of copper–cobalt oxide thin film coatings with nano-size, grain-like morphology: optimization and synchrotron radiation xps studies, *Applied Surface Science*, 275:127-135.
- Amri, A., Jiang, Z. T., Zhao, X., Xie, Z., Yin C.Y., dan Ali, N., 2014, Tailoring the physicochemical and mechanical properties of optical copper–cobalt oxide thin films through annealing treatment, *Surface Coating Technology*, 239:212–221.
- Avila, G. A., Barrera C. E., Huerta A. L., dan Muhl, S., 2004, Cobalt oxide films for solar selective surfaces, obtained by spray pyrolysis, *Solar Energy Material and Solar Cells*, 82:269–278.
- Bayon, R., Vicente, G. S., Maffiotte, C., dan Morales, A., 2008, Preparation of selective absorber based on CuMn spinels by dip-coating method, *Renewable Energy*, 33(2):348-353.
- Bayon, R. G., Vicente, S., dan Morales, A., 2010, Durability tests and up-scaling of selective absorbers based on copper-manganese oxide deposited by dip-coating, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(6):998-1004.
- Bostrom, T., Wackelgard, E., dan Westin, G., 2003, Solution-chemical derived nickel-alumina coatings for thermal solar absorbers, *Solar Energy*, 74(6):497-503.
- Bostrom, T., 2011, Structure and morphology of nickel-alumina/silica solar thermal selective absorbers, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357 (5):1370-1375.
- Chow, T. T., 2010, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, 87(2):365-379.
- Croxford, B. dan Scott, K., 2006, Can pv or solar thermal systems be cost effective ways of reducing CO₂ emissions for residential building, Artikel, London: University College London.
- Duffie, J. A. dan Beckman, W. A., 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Kementrian ESDM, 2016. Pemanfaatan energi surya di Indonesia, www.esdm.go.id, diakses pada 19 Januari 2016, Pkl. 12.04 WIB.
- Mastai, Y., Polarz, S., dan Antonietti, M. 2012, *Silica–Carbon Nanocomposites— New Concept for The Design Of Solar Absorbers*. *Advanced Functional Materials*, 12:197–202.
- Pal, S., Diso, D., Franza, S., Licciulli, A., dan Rizzo, L., 2013, Spectrally selective absorber coating from transition metal complex for efficient photothermal conversion, *Journal of Material Science*, 48(23):8268-8276.