

Analisis Pengaruh Penambahan *Activated Carbon* (AC) terhadap Sifat Fotokatalis Material Komposit CuO/AC dalam Mereduksi CO₂ menjadi Metanol di Bawah Penyinaran Sinar Tampak

Ardhia Berlianto, Diah Susanti, dan Haniffudin Nurdiansah
Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: santiche@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Pemakaian bahan bakar fosil dapat meningkatkan kadar CO₂ di atmosfer. Gas CO₂ dapat direduksi menggunakan material fotokatalis komposit CuO/AC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan AC terhadap morfologi dan sifat fotokatalis untuk mendegradasi CO₂ menjadi metanol. Sintesis CuO dilakukan menggunakan metode sol gel. Sementara itu, sintesis nanokomposit CuO/AC dilakukan menggunakan metode hidrotermal, lalu dilakukan uji fotokatalis reduksi CO₂ menjadi metanol. Pengujian yang dilakukan adalah BET, XRD, FTIR, SEM, UV-Vis, GCMS dengan durasi penelitian adalah 5 bulan. Komposit CuO/AC berhasil disintesis, terbukti dari pengujian XRD yang terdeteksi adanya fasa CuO dan karbon. Ikatan karbon dan CuO terdeteksi pada pengujian FTIR. Pada pengujian SEM, CuO berbentuk nanorods dan AC berbentuk serpihan. Hasil EDS menunjukkan bahwa terdapat unsur tembaga, oksigen, karbon dan nitrogen. Penambahan AC dapat meningkatkan energy band gap dari CuO hingga 1.780 eV. Penambahan AC dapat meningkatkan yield metanol komposit CuO/AC hingga 473.05 $\mu\text{mol/g}$ katalis.

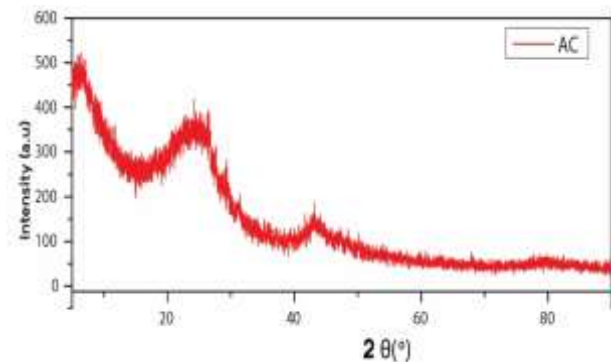
Kata Kunci—CO₂, Fotokatalis, Metanol, Komposit CuO/AC.

I. PENDAHULUAN

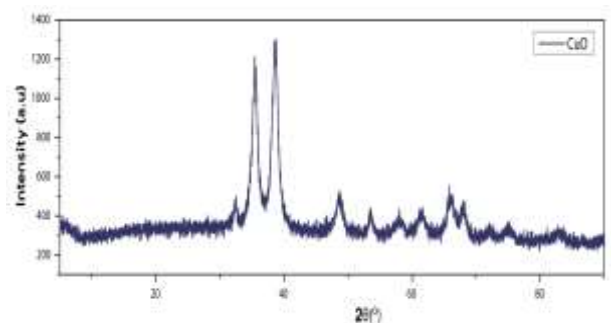
KEMAJUAN industri di dunia saat ini menuntut penggunaan energi yang besar. Energi di dunia saat ini banyak digunakan dalam bidang transportasi, manufaktur, pembangkit listrik, dan sebagainya. Minyak bumi dan batu bara merupakan bahan bakar yang paling banyak digunakan. Bahan bakar ini disukai karena harganya yang semakin murah, harga minyak mentah dunia pada 2020 adalah 40,39 dolar per barelnya yang mana merupakan harga terendah semenjak 2016 [1].

Bahan bakar ini dapat menimbulkan gas karbon dioksida. Laju peningkatan kadar karbondioksida di udara saat ini sangat mengkhawatirkan, emisinya yaitu 78,98% lebih besar daripada gas lainnya. Indonesia menyumbang 2,4 miliar ton gas CO₂ ke udara atau 4,8% dari total emisi gas dunia. CO₂ merupakan gas yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan. Banyak kerusakan yang bisa ditimbulkan karena emisi gas CO₂ yang tinggi di atmosfer, diantaranya adalah emisi gas rumah kaca, perubahan iklim yang signifikan yang berdampak pada kenaikan air laut, serta menimbulkan berbagai bencana [2].

Salah satu metode yang telah berhasil dikembangkan untuk mengurangi permasalahan ini adalah dengan mendaur ulang gas CO₂ dari atmosfer. Metode ini telah dikembangkan oleh



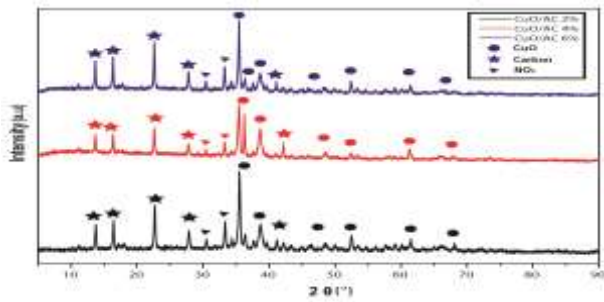
Gambar 1. Hasil pengujian XRD material karbon aktif.



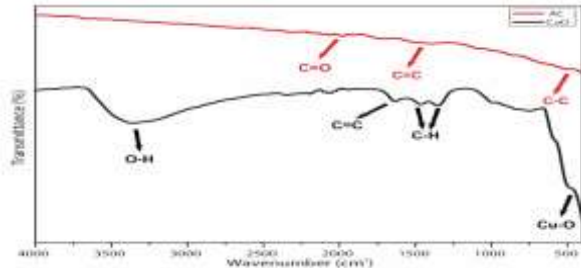
Gambar 2. Hasil pengujian XRD pada material copper oxide (CuO).

Hallmann, (1978) menggunakan reaksi reduksi fotoelektrokatalitik gas CO₂, dalam perjalanan penelitiannya, berbagai material semikonduktor telah banyak digunakan untuk melakukan reduksi sehingga sekarang penelitian akan hal ini masih terus diteliti untuk mendapatkan hasil yang maksimal [3].

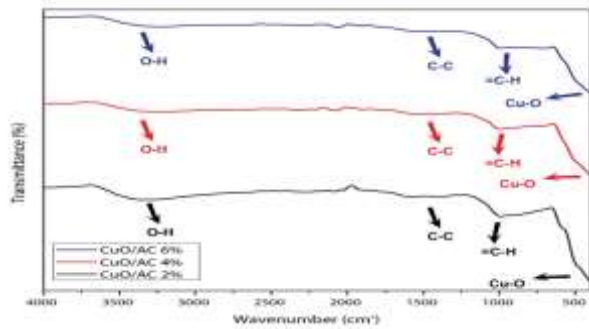
Material CuO dapat digunakan untuk mereduksi karbon dioksida. Material ini membutuhkan 6 elektron untuk melakukan reaksi reduksi CO₂. Serta, material ini mampu menghasilkan yield metanol hingga sebesar 6694,875 $\mu\text{mol/g}$ katalis. CuO digunakan oleh Jiang, dkk (2020) untuk mereduksi CO₂ menjadi metanol dengan pancaran radiasi 470 nm cahaya, hasil metanol didapatkan yield sebesar 25,10 $\mu\text{mol/L.cm}^2$ pada material CuO/gC₃N₄ dan 9,58 $\mu\text{mol/L.cm}^2$ pada material CuO murni [4]. Di samping banyaknya kelebihan CuO, material ini sendiri memiliki kemampuan menyerap CO₂ yang kurang baik, sehingga diperlukan adanya material lain yang bisa membantu CuO untuk menyerap CO₂ [5].



Gambar 3. Hasil pengujian XRD pada sampel komposit CuO/AC.



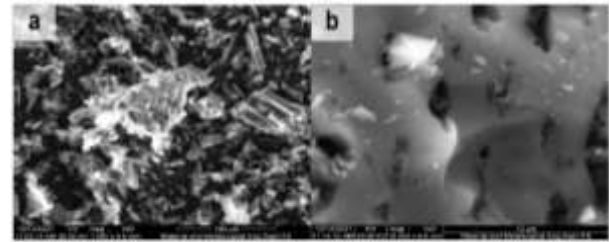
Gambar 4. Hasil pengujian FTIR pada material AC dan CuO.



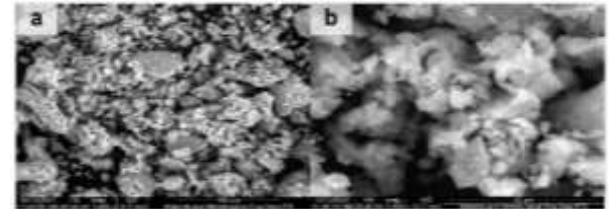
Gambar 5. Hasil pengujian FTIR, pada material komposit CuO/AC.

Karbon aktif atau biasa disebut Activated Carbon (AC) adalah material berbasis karbon yang berasal dari sumber daya hayati yang telah dilakukan proses karbonasi. Sifat AC adalah memiliki konduktivitas elektron yang baik dan luas permukaan besar hingga 938,2 m²/g [6]. Material ini telah diteliti memiliki ukuran mikropori 0,18-0,51 cm³/g [7]. Dengan luas permukaan yang besar pada AC, material ini diharapkan mampu untuk menyerap CO₂ yang tinggi. Selain itu, sifat stabilitas fitokimianya sangat baik serta material ini mudah disintesis, sehingga material ini cocok untuk dikompositkan dengan CuO, material ini akan berperan sebagai co-katalis yang akan memisahkan elektron dan hole [8].

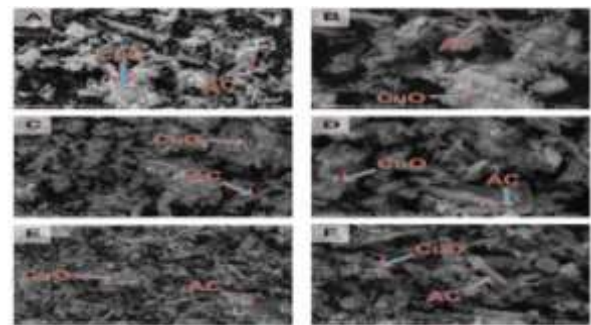
Kombinasi antara CuO dan AC diharapkan akan menjadi komposit yang mampu melakukan degradasi CO₂ menjadi metanol dalam penyinaran sinar tampak. Diharapkan dengan penambahan AC kepada CuO akan menambah efektivitas penyerapan CO₂ kepada CuO dan menekan laju rekombinasi yang hasilnya dapat menambah nilai yield metanol yang dihasilkan dari proses fotokatalitik. Diharapkan dengan adanya penelitian degradasi CO₂ oleh komposit CuO/AC menjadi metanol dapat menjadi alternatif penanggulangan permasalahan tingginya CO₂ di atmosfer serta mampu membuat bahan bakar alternatif yaitu metanol.



Gambar 6. Hasil pengujian SEM pada (a) AC pada perbesaran 1000x, (b) AC pada perbesaran 10000x.



Gambar 7. Hasil pengujian SEM dari CuO pada perbesaran (a) 1000x, (b)5000x.



Gambar 8. Hasil pengujian SEM untuk material komposit CuO/AC dengan persentase AC 2% pada perbesaran 5000x (a), perbesaran 10000x (b), AC 4% pada perbesaran 5000x (c), perbesaran 10000x (d), dan AC 6% pada perbesaran 5000x (e), perbesaran 10000x (f).

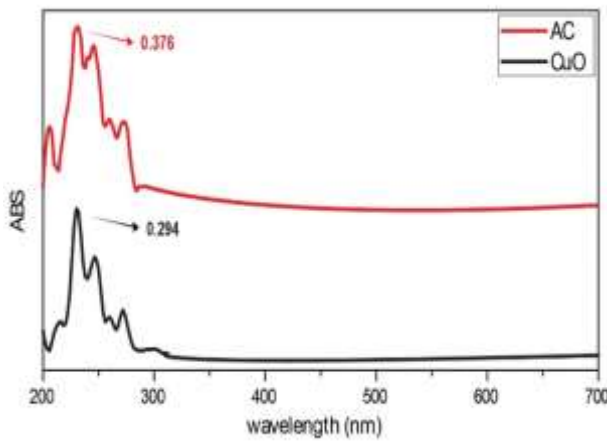
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Material

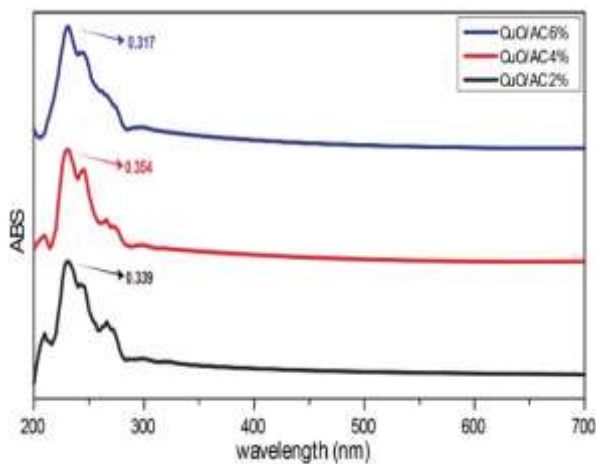
Material yang digunakan pada penelitian kali ini adalah karbon aktif yang berasal dari batok kelapa material ini dilakukan pengujian SEM-EDS, XRD, FTIR, BET dan Spektrofotometri UV-Vis. Selain itu digunakan prekursor Cu(NO₃)₂.H₂O, Cu(CO₂CH₃)₂.H₂O. Digunakan pula NaOH dan NH₃ sebagai reduktor yang mereduksi prekursor tembaga. Akuades, Etanol dan *Dimethyl Formamide* (DMF) yang digunakan sebagai pelarut. Serta gas CO₂ dan N₂ yang digunakan pada proses reaksi fotokatalitik.

B. Metode Penelitian

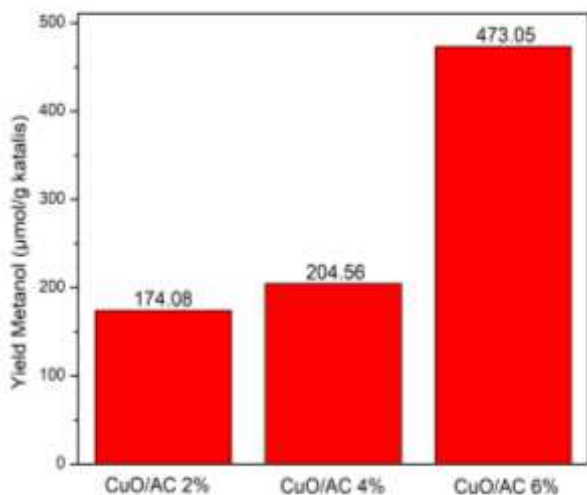
CuO disintesis melalui pencampuran 100 mL larutan Cu(CO₂CH₃)₂.H₂O 0,0125 mol dengan 300 mL larutan NaOH 0,3 mol pada temperatur kamar yang disertai pengadukan selama dua jam. Campuran kemudian di sentrifugasi pada 2500 rpm selama 10 menit dan dicuci menggunakan akuades selama 3 kali, pencucian terakhir dilakukan dengan larutan etanol selama 3 kali. Hasil reaksi setiap batch akan menghasilkan CuO. Sampel di karakterisasi dan diuji menggunakan XRD, SEM-EDS, FTIR dan spektrofotometer UV-Vis.



Gambar 9. Kurva absorpsi material AC dan CuO.



Gambar 10. Kurva absorpsi material komposit CuO/AC.



Gambar 11. Hasil yield metanol pada material komposit CuO/AC.

Proses sintesis CuO/ AC, dilakukan dengan melarutkan 1 gram Cu Nitrat nano-powder dalam 60 mL akuades. Lalu ditambahkan karbon aktif dengan variasi komposisi karbon aktif 2, 4, dan 6%, campuran dimasukkan ke dalam gelas beker, lalu dilakukan proses ultrasonikasi selama 1 jam, kemudian ditambah dengan NH₄OH. Penambahan larutan amonium dilakukan hingga pH mencapai 8. Campuran kemudian diaduk secara kuat sampai homogen selama satu jam lalu dimasukkan ke dalam autoklaf. Autoklaf dipanaskan di dalam furnace secara perlahan ke temperatur 200°C selama 10 jam, kemudian didinginkan. Campuran lalu dicuci

Tabel 1.
Hasil Analisis BET untuk Material Karbon Aktif

Parameter	Hasil
Surface area (m ² /g)	572,995
Average pore diameter (Å)	24,6013
Total pore volume (cc/g)	3,524×10 ⁻⁰¹ (for pores smaller than 2395.2 Å)
Micropore volume (cc/g)	0,257
Micropore area (m ² /g)	491,179

Tabel 2.
Presentase unsur pada pengujian EDS material AC dan CuO

Material	Element	Weight (%)	Atomic (%)
Karbon aktif (AC)	OK	18,30	14,39
	CK	81,70	85,61
CuO	CK	02,08	07,04
	OK	16,03	40,67
	CuK	81,89	52,30

Tabel 3.
Presentase unsur pada pengujian EDS material CuO/AC

Material	Element	Weight (%)	Atomic (%)
CuO/AC 2%	CK	5,91	14,52
	NK	2,67	5,62
	OK	27,10	49,98
	CuK	64,33	29,88
CuO/AC 4%	CK	6,49	15,53
	NK	2,48	5,42
	OK	23,94	45,76
CuO/AC 6%	CuK	67,08	32,29
	CK	10,31	23,01
	NK	2,98	5,71
	OK	27,70	46,40
	CuK	59,00	24,88

Tabel 4.
Hasil perhitungan energy band gap pada material CuO dan komposit CuO/AC

Material	Energy band gap (eV)
CuO	1,692
CuO/AC 2%	1,780
CuO/AC 4%	1,704
CuO/AC 6%	1,705

Tabel 5.
Hasil Pengujian GCMS

Sampel	Senyawa	% Normalisasi
CuO	CO ₂	0,1432
	Methanol	0,0050
	Ethanol	0,0028
	DMF	99,8490
CuO/AC 2%	CO ₂	0,0983
	Methanol	0,0014
	DMF	99,9003
	CO ₂	0,1377
CuO/AC 4%	Methanol	0,0017
	Propanol	0,0005
	DMF	99,8241
	CO ₂	0,1260
CuO/AC 6%	Methanol	0,0038
	DMF	99,8702

menggunakan akuades dan dikeringkan di oven pada temperatur 80°C selama 12 jam. Komposit yang dihasilkan disimpan dalam botol tertutup pada temperatur kamar dan dilanjutkan dengan proses karakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, FTIR dan Spektrofotometer UV-Vis.

Proses pengujian fotokatalitik dilakukan dengan nanokomposit CuO/AC sebagai fotokatalis dengan variasi

Tabel 6.
Hasil Perhitungan Yield Metanol Penyinaran CuO

Parameter	Nilai
Persentase metanol (%)	0,0050
Yield metanol ($\mu\text{mol}/\text{gram}$ katalis)	613,57
Yield metanol ($\mu\text{mol}/\text{menit}$)	4,09

Tabel 7.
Hasil Perhitungan Yield Metanol Sampel Komposit CuO/AC

Spesimen	Yield metanol ($\mu\text{mol}/\text{g}$ katalis)	Yield metanol ($\mu\text{mol}/\text{menit}$)
CuO/AC 2%	174,08	1,16
CuO/AC 4%	204,56	1,36
CuO/AC 6%	473,05	3,15

Tabel 8.
Hasil Destilasi Penyinaran Material Komposit CuO/AC 6%

Senyawa	% Normalisasi
CO ₂	0,092
Methanol	0,007
Ethanol	0,036
Ethanamine	0,018
Propanol	0,006
Asam Format	0,117
Formaldehide	0,006
DMF	99,705
N ₂ O	0,014

kadar karbon aktif sebesar 2, 4, dan 6% dalam suatu reaktor pengujian. Dalam pengujianya, sebanyak 50 ml Dimethyl Formamide (DMF) dimasukkan dalam tabung erlenmeyer 100 ml yang terbuat dari gelas borosilikat 100.

Untuk membersihkan dari kontaminasi gas lain, gas nitrogen diinjeksikan selama 5 menit ke dalam tabung. Gas CO₂ kemudian dialirkan ke dalam tabung secara terus menerus selama 5 menit hingga larutan DMF menjadi jenuh. Sebanyak 100 mg fotokatalis ditambahkan ke dalam campuran tersebut, vessel reaktor kemudian ditutup dengan septum. Kemudian dilakukan radiasi dengan sinar tampak menggunakan lampu LED putih 27 W selama 2,5 jam dengan jarak 5 cm dari vessel, sehingga didapat sampel hasil konversi fotokatalitik. Sampel hasil konversi diuji dengan GCMS untuk mengetahui jumlah metanol dan zat lain yang dihasilkan.

Proses destilasi dilakukan untuk memisahkan metanol dengan zat lain yang terdapat dalam larutan hasil konversi dengan memanfaatkan adanya perbedaan temperatur didih zat-zat tersebut. Larutan sampel hasil konversi dimasukkan ke dalam rangkaian alat destilasi dengan volume 1000 ml. Sampel dipanaskan hingga 65°C sehingga didapat larutan distilat hasil destilasi yang menguap terlebih dahulu, kemudian dikarakterisasi menggunakan GCMS untuk mengetahui zat apa saja yang terkandung di dalamnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian XRD

Hasil pengujian XRD pada material karbon aktif ditunjukkan oleh Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1, diketahui bahwa puncak difraksi luas dari karbon aktif terletak di $2\theta=20-30^\circ$ dan $40-50^\circ$. Puncak tajam terdapat pada $2\theta=26,4^\circ$ yang mana puncak tersebut merupakan puncak dari karbon dengan struktur yang amorf [9]. Sedangkan hasil pengujian XRD material CuO ditunjukkan oleh Gambar 2. Pada material CuO didapatkan hasil bahwa dua puncak

tertinggi terletak pada $2\theta=35,41^\circ$ yang mewakili bidang (-111) dan $2\theta=38,54^\circ$ dengan bidang (111), selain itu puncak yang memiliki intensitas lebih rendah pada material CuO adalah $2\theta=48,708^\circ$ yang mewakili bidang (-202) serta $2\theta=65,146^\circ$ pada bidang (022). Berdasarkan JCPDS no. 01-089-2530 CuO memiliki struktur monoklinik dengan jarak interlayer $1,26 - 2,77 \text{ \AA}$. Pada Gambar 3. terlihat bahwa peak tertinggi CuO terdeteksi pada $2\theta \approx 35-36^\circ$ yang mewakili bidang (11-1) pada CuO/AC 2%, (-111) pada CuO/AC 4% dan 6%. Struktur kristal utama CuO yang dideteksi adalah monoklinik sesuai dengan JCPDS no. 00-048-1548. Puncak karbon dideteksi pada $2\theta \approx 22-23^\circ$ yang mana ini berasal dari karbon aktif yang dikomposisikan dengan CuO yang memiliki struktur hexagonal sesuai dengan JCPDS no.00-050-0926 Selain itu terdapat puncak lain yaitu NO₂ yang terdeteksi pada $2\theta \approx 33-34^\circ$, peak ini berasal dari prekursor nitrat yang belum tereduksi secara sempurna. Serta adanya nitrogen yang berasal dari ammonia yang menjadi linker pada komposit CuO/AC. Pada hasil pengujian XRD kurva menunjukkan bahwa CuO dan karbon aktif terdeteksi pada setiap sampel, yang mana menunjukkan bahwa material CuO dapat terkomposit dengan karbon aktif.

B. Hasil Pengujian FTIR

Hasil pengujian FTIR AC dan CuO ditunjukkan oleh Gambar 4. Material karbon aktif memiliki ikatan C=O pada 1993.40 dan yang merupakan gugus karbonil. Ikatan C=C aromatik terdapat pada 1567.78 cm⁻¹. Ikatan C-C terdeteksi pada 475.27 cm⁻¹, yang merupakan susunan ikatan utama dari karbon aktif. Sementara itu pada spektra CuO ikatan 3372.05 cm⁻¹ diidentifikasi sebagai ikatan O-H yang berasal dari alkohol pada proses pencucian CuO. Pada peak 1628,50 cm⁻¹ terdeteksi adanya C=C serta C-H pada 1454,35 cm⁻¹ dan 1352,62 cm⁻¹. Ikatan tersebut berasal dari prekursor asetat yang belum teroksidasi secara sempurna dari senyawa Cu(CH₃COO).H₂O. Sementara itu ikatan Cu-O terdeteksi pada peak 472.82 cm⁻¹ yang mana menunjukkan bahwa CuO terbentuk melalui reaksi yang dilakukan [5].

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian komposit CuO/AC. Pada material komposit CuO/AC terdapat ikatan O-H stretch pada $\approx 3270-3300 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan alkohol. Sedangkan ikatan C-C stretch terdeteksi pada $\approx 1545-1575 \text{ cm}^{-1}$ yang mana merupakan gugus aromatik dan penyusun ikatan karbon aktif. Selain itu terdapat ikatan =C-H bend pada $\approx 990-1010 \text{ cm}^{-1}$ yang mana ini merupakan akibat penambahan NH₄OH yang bertindak sebagai linker pada material CuO dan AC. Sementara itu, ikatan Cu-O terdeteksi pada $\approx 400-475 \text{ cm}^{-1}$. Adanya ikatan C-C menandakan kehadiran karbon aktif pada komposit dan ikatan Cu-O menandakan CuO/AC telah terkomposit secara sempurna [10].

C. Hasil Pengujian BET Karbon Aktif

Dari Tabel 1. ditunjukkan bahwa luas permukaan aktif dari material AC adalah 572,995 m²/g yang mana luas permukaan ini cukup luas sehingga mampu digunakan dalam menyerap CO₂ dalam penyinaran komposit CuO/AC untuk mengkonversi CO₂ menjadi metanol. Luas permukaan yang besar mampu meningkatkan kemampuan material dalam melakukan absorpsi. Struktur karbon aktif yang memiliki banyak pori-pori internal juga menambah luasan dari karbon aktif. Average pore diameter dari karbon aktif adalah 24.6013

Å yang mana ini lebih besar dari diameter kinetik CO₂ yaitu 3.3 Å, ini memungkinkan CO₂ masuk kedalam pori-pori dari karbon aktif sehingga penambahan AC kedalam CuO akan memudahkan CO₂ untuk terabsorpsi menuju CuO [11].

D. Hasil Pengujian SEM dan EDS

Hasil pengujian SEM AC ditunjukkan oleh Gambar 6. Gambar 6 (a) menunjukkan bahwa bentuk partikel dari karbon aktif adalah tidak beraturan serta ukuran partikel yang tidak seragam satu sama lain. Sementara pada Gambar 6 (b) terlihat bahwa karbon aktif adalah material yang memiliki pori-pori celah yang terlihat dengan jelas dengan struktur yang padat dan halus [12]. Ukuran pori-pori dari karbon aktif bervariasi dengan nilai seperti Tabel 1. Hasil SEM CuO ditunjukkan oleh Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 (a) pada perbesaran 1000x terlihat bahwa CuO berbentuk abstrak dan tidak beraturan, Gambar 7 (b) terlihat struktur CuO berbentuk seperti bunga dan tidak berbentuk gumpalan. Hal ini sesuai dengan CuO hasil sintesis Yusoff, (2013) pada material CuO [13]. Struktur ini terbentuk akibat terjadinya reaksi eksotermik antara copper acetate dan NaOH selama sintesis material [14]. Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian SEM komposit CuO/AC.

Persentase unsur EDS pada material AC dan CuO diperlihatkan pada Tabel 2. Hasil EDS menunjukkan bahwa karbon aktif yang digunakan memiliki kadar karbon 81.7 % dan Oksigen 18.3% yang berasal dari proses karbonasi dari prekursor yang menyebabkan adanya oksigen yang bereaksi dengan karbon. Pada EDS CuO menunjukkan bahwa terdapat Cu, C dan O pada material CuO. Dapat dilihat bahwa CuO tersusun atas unsur Cu dan O pada pembuatannya, harusnya perbandingan persentase unsur Cu:O adalah 1:1, namun hasilnya unsur Cu lebih banyak daripada O, yang disebabkan karena proses oksidasi yang terjadi belum secara seluruhnya. Adanya atom C pada sampel CuO disebabkan oleh penggunaan sample holder yang berbahan karbon (Tabel 3).

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian SEM komposit CuO/AC. Terlihat dari hasil bahwa pada seluruh komposisi terjadi pencampuran antara CuO dan AC, dengan struktur AC yaitu berbentuk serpihan seperti Gambar 8 (a) dan CuO yang berbentuk nanorods. Pada pembesaran 5000x terlihat bahwa AC tersebar secara merata pada permukaan CuO dengan persebaran yang terjadi secara acak. Pada pembesaran 10000x terlihat bahwa AC dan CuO saling berikatan dalam ukuran yang lebih kecil sehingga dapat dikatakan bahwa CuO dan AC saling mengikat satu sama lain sehingga proses sintesis komposit berhasil dilakukan [10].

Persentase unsur C mengalami peningkatan seiring peningkatan jumlah AC pada komposit. Persentase C meningkat dari 5,91% hingga 10,31%. Sementara itu persentase N bervariasi antara 2,67-2,98 % kadar nitrogen ini rendah. Adanya unsur N mengindikasikan bahwa masih ada nitrogen yang terjebak diantara CuO/AC karena ammonia bertindak sebagai linker pada proses pembuatan komposit. Persentase O bervariasi antara 23,94%-27,70% yang berasal dari senyawa CuO dan Oksigen yang berasal dari AC dimana pada kurva EDS AC terdapat oksigen akibat dari proses karbonasi AC.

Sementara persentase Cu merupakan yang tertinggi dari semua unsur yaitu 59-67,08%. Berdasarkan pengujian mengindikasikan bahwa CuO terbentuk selama sintesis

material komposit CuO/AC. Secara umum, dengan kenaikan % AC atom karbon pada komposit mengalami peningkatan, adanya unsur karbon dapat meningkatkan luas permukaan yang dapat membantu proses fotokatalisis.

E. Hasil Pengujian Spektrofotometri UV-Vis

Absorbansi material CuO dan AC ditunjukkan oleh Gambar 9. Terlihat bahwa sampel sama-sama terletak pada panjang gelombang 230 nm dengan nilai absorbansi yaitu 0,294 pada CuO dan 0,376 pada AC. Intensitas tersebut terletak di daerah sinar UV, pada bertambahnya panjang gelombang, intensitas semakin turun dan konstan hingga panjang gelombang 700 nm. Dari pengujian UV-Vis pada sampel ini menunjukkan bahwa panjang gelombang yang maksimal terletak pada penyinaran di zona ultra violet serta menyerap cahaya dengan intensitas lebih kecil pada sinar tampak. Pengujian komposit CuO/AC ditunjukkan oleh Gambar 10. Terlihat, ketiga spesimen memiliki panjang gelombang penyerapan maksimum yang sama yaitu 230 nm dengan absorbansi $\approx 0,3-0,4$ sehingga material komposit CuO/AC akan menyerap cahaya maksimum pada rentang penyinaran UV. Serta akan memiliki penyerapan konstan pada rentang cahaya tampak. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan energy band gap CuO dan komposit CuO/AC.

Penambahan AC pada CuO dapat meningkatkan nilai energy band gap yang tertinggi adalah pada CuO/AC 2% yaitu 1.780 eV. Pada material CuO murni energy band gapnya yang paling rendah, ini membuat material CuO murni paling mudah untuk tereksitasi dari pita konduksi ke pita valensi ketika terkena cahaya. Sementara itu material CuO/AC 2% merupakan yang tertinggi, sehingga material ini membutuhkan energi yang lebih besar untuk tereksitasi.

F. Hasil Pengujian GC-MS

Dari hasil pengujian GCMS diketahui bahwa CO₂ dapat terkonversi menjadi beberapa jenis fuel. Untuk melangsungkan reaksi kimia membutuhkan waktu dan kondisi tertentu sehingga reaksi dapat terjadi. Hasil reaksi dari komposit CuO/AC menghasilkan produk utama metanol dan berbagai produk sampingan. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian GCMS di berbagai sampel.

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa persentase metanol tertinggi adalah pada sampel penyinaran CuO murni. Hasil perhitungan yield metanol CuO murni ditunjukkan oleh Tabel 6. Sementara CuO/AC 2% merupakan yang paling rendah. Sementara DMF yang memiliki kandungan tertinggi adalah pelarut dari proses fotokatalitik kali ini. Hal ini disebabkan dari pengujian Spektrofotometri UV-Vis material CuO/AC 2% memiliki *energy band gap* yang paling tinggi, sehingga membutuhkan energi yang lebih besar untuk tereksitasi. Adanya CO₂ pada hasil pengujian ini yang cukup besar menandakan bahwa tidak semua karbondioksida direduksi menjadi metanol, melainkan masih ada CO₂ yang belum tereduksi. Sementara itu, hasil perhitungan *Yield* metanol per menitnya ditunjukkan oleh Gambar 11 dan Tabel 7. Hasil *yield* metanol pada pengujian fotokatalitik material komposit CuO/AC ini masih dibawah hasil fotokatalitik CuO. Hal ini disebabkan karena proses sintesis CuO murni dan CuO/AC menggunakan prekursor dan metode yang berbeda. Penggunaan NaOH yang direaksikan untuk mereduksi Cu(CH₃CO₂)₂.H₂O dapat menghasilkan CuO yang lebih murni, dari warna sampel yang lebih hitam pekat terlihat

bahwa CuO menggunakan pereduksi NaOH hasilnya lebih baik. Sehingga hasil metanol yang dihasilkan lebih tinggi dari komposit CuO/AC. Namun NaOH tidak bisa menjadi *linker* pada pembuatan komposit CuO/AC. Sementara itu Cu(NO₃).H₂O yang direduksi menggunakan NH₄OH hasil CuO yang dihasilkan memiliki kemurnian yang dibawah CuO yang menggunakan pereduksi NaOH. Penambahan NH₄OH ini dapat bertindak sebagai *linker* antara CuO dan AC sehingga dapat terkomposit secara sempurna. Selain itu, karbon aktif memiliki konduktivitas yang kurang baik yaitu 9,7 S/m yang mana masih dibawah material *carbonaeus* lain, salah satunya grafena yang memiliki konduktivitas elektrik hingga 80 S/m [15].

Sementara itu pada sampel penyinaran material komposit CuO/AC 6% dilakukan destilasi pada temperatur 70°C selama 30 jam untuk memisahkan larutan campuran dari pelarut DMF, hasil destilasi ditunjukkan oleh Tabel 7. Terlihat bahwa senyawa CO₂ yang berasal dari sisa karbondioksida dan masih terlarut di dalam DMF, Ethanol dan Propanol merupakan senyawa alkohol turunan dari konversi CO₂. Ethanamine merupakan senyawa turunan dari konversi CO₂ yang merupakan produk reaksi antara alkohol dan amonia. Asam format merupakan senyawa turunan dari CO₂, dan juga formaldehida merupakan hasil reduksi dari asam format sebelum tereduksi lagi menjadi metanol. Nilai *yield* metanol pada spesimen destilasi adalah 889,626 µmol/gram katalis. Sementara itu senyawa N₂O merupakan senyawa yang berasal dari prekursor nitrat pada sampel komposit CuO/AC (Tabel 8) [14].

IV. KESIMPULAN

Komposit CuO/AC telah disintesis menggunakan prekursor CuNO₃.H₂O dan NH₄OH yang bertindak sebagai *linker* yang mencangkokkan AC pada CuO melalui reaksi kimia. Dengan menggunakan metode hidrotermal pada temperatur 200°C pada 10 jam, komposit CuO/AC telah terbentuk secara sempurna terbukti dari pengujian SEM, FTIR dan XRD. Penambahan AC pada CuO dapat meningkatkan nilai *energy band gap* dari CuO sehingga energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita konduksi ke pita valensi akan semakin besar, nilai *yield* metanol dari CuO murni merupakan yang terbesar yaitu 613.57 µmol/ gram katalis. Pada komposit CuO/AC, nilai *yield* metanol yang paling besar adalah pada komposit CuO/AC 6% yang memiliki *yield* sebesar 473.05 µmol/gram katalis. Pada material komposit CuO/AC, penambahan karbon aktif dapat meningkatkan nilai *yield* metanol yang dihasilkan. Komposit CuO/AC menghasilkan *yield* metanol

dibawah CuO murni karena konduktivitas AC yang kurang baik jika dibandingkan material karbon lain seperti rGO. Namun penambahan AC dapat meningkatkan laju transfer elektron sehingga metanol yang dihasilkan menjadi semakin banyak. Untuk konversi karbon dioksida menjadi metanol membutuhkan 6 elektron.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, *Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia*, 1st ed. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021.
- [2] S. Chakraborty *et al.*, "Photocatalytic conversion of CO₂ to methanol using membrane-integrated Green approach: A review on capture, conversion and purification," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 4, p. 103935, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.103935.
- [3] M. Hallmann, "Photoelectrochemical reduction of aqueous carbon dioxide on p-type gallium phosphide in liquid junction solar cells," *Nature*, vol. 275, p. 1978, 1978, doi: 10.1021/jp020287hCCC:22.00.
- [4] X. X. Jiang *et al.*, "Tailoring the properties of g-C₃N₄ with CuO for enhanced photoelectrocatalytic CO₂ reduction to methanol," *J. CO₂ Util.*, vol. 40, no. December 2019, p. 101222, 2020, doi: 10.1016/j.jcou.2020.101222.
- [5] W. Yeny, D. Susanti, and L. Noerochiem, "Application of Composite rGO-CuO as a Photocatalyst of Conversion Carbon Dioxide Into Methanol Under UV Rays," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [6] M. Sudibandriyo and L. Lydia, "Karakteristik luas permukaan karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi kimia," *J. Tek. Kim. Indones.*, vol. 10, no. 3, p. 149, 2018, doi: 10.5614/jtki.2011.10.3.6.
- [7] N. A. Fuadi, A. S. Ibrahim, and K. N. Ismail, "Review study for activated carbon from palm shell used for treatment of waste water," *J. Purity, Util. React. Environ.*, vol. 1, no. 5, pp. 252–266, 2012.
- [8] Z. Jiang *et al.*, "Enhanced photocatalytic CO₂ reduction via the synergistic effect between Ag and activated carbon in TiO₂/AC-Ag ternary composite," *Chem. Eng. J.*, vol. 348, no. February, pp. 592–598, 2018, doi: 10.1016/j.cej.2018.04.180.
- [9] A. R. Hidayu and N. Muda, "Preparation and characterization of impregnated activated carbon from palm kernel shell and coconut shell for CO₂ capture," *Procedia Eng.*, vol. 148, pp. 106–113, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.463.
- [10] D. Muliastri, D. Susanti, and Widyastuti, "Influence of Composition Grafit Oxide, Irradiation-Time Variation Analyzes on Reduced Graphene Oxide-Copper Oxide (rGO/CuO) Composite Toward Photocatalytic Conversion of CO₂ to Methanol," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2014, 2018, doi: 10.1063/1.5054506.
- [11] S. E. Kentish, C. A. Scholes, and G. W. Stevens, "Carbon dioxide separation through polymeric membrane systems for flue gas applications," *Recent Patents Chem. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 52–66, 2010, doi: 10.2174/1874478810801010052.
- [12] H. Nurdiansah and D. Susanti, "Pengaruh variasi temperatur karbonisasi dan karbon aktif tempurung kelapa dan kapasitansi electric double layer capacitor," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 13–18, 2013.
- [13] N. Yusoff, "Synthesis of Functionalized Graphene/Copper Oxide (CuO) Nanocomposites and Their Catalytic Activity," University of Malaya, Kuala Lumpur, 2013.
- [14] R. Damastuti, D. Susanti, and H. Ardhyana, "Analisis Pengaruh Komposisi Copper Oxide dan Waktu Alir Gas CO₂ terhadap Reaksi Fotokatalitik pada komposit rGO-CuO untuk Konversi CO₂ Menjadi Methanol," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [15] Y. Huang, "Electrical and thermal properties of activated carbon fibers," *Act. Carbon Fiber Text.*, pp. 181–192, 2017.