

Penentuan Rasio Mol dan Waktu Presipitasi pada Sintesis Hidrotalsit Mg/Al

Ayu Ratna Permanasari¹, Muhammad Fadly Wiryawan Kautsar², Rijal Muyasar Fahmi³

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ayu.ratna@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : muhammad.fadly.tki18@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : rijal.muyasar.tki18@polban.ac.id

ABSTRAK

Hidrotalsit Mg/Al merupakan salah satu katalis heterogen yang dapat dimanfaatkan dalam proses isomerisasi glukosa menjadi fruktosa dimana katalis ini disintesis dengan bahan utama $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ dan $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh rasio mol dan waktu presipitasi terhadap sintesis katalis HT Mg/Al. Proses pembuatan katalis Hidrotalsit Mg/Al disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi rasio mol Mg/Al dan waktu presipitasinya yang telah ditentukan menggunakan metode *Response Surface Optimization* (RSM), range rasio mol Mg/Al 1:1 s.d. 4:1 dan range waktu presipitasinya 12 – 18 jam. Katalis Hidrotalsit Mg/Al yang disintesis, dianalisis karakterisasinya menggunakan metode analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *X-Ray Diffractometer* (XRD), *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Dari hasil yang didapat *run 1* mensintesis katalis hidrotalsit tersedikit sedangkan yang terbanyak didapat pada *run 12*. Dengan metode RSM didapat perbandingan optimal rasio mol Mg/Al adalah 3,3357 dan waktu kopresipitasi 984,85 menit dengan estimasi hasil katalis hidrotalsit yang didapat 3,3840 gram.

Kata Kunci

Katalis Hidrotalsit Mg/Al, rasio mol, waktu presipitasi, RSM..

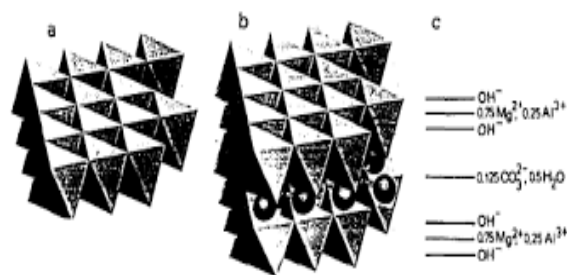
1. PENDAHULUAN

Hidrotalsit telah banyak diaplikasikan sebagai katalis dalam proses katalitik heterogen karena memiliki beberapa kelebihan diantara lain yaitu memiliki luas permukaan 28 tinggi, mudah dipreparasi, murah, mudah dipisahkan dari produk hasil reaksi, meminimalkan limbah hasil reaksi dan memungkinkan untuk diregenerasi [1].

Hidrotalsit mempunyai potensi yang baik dalam berbagai aplikasi seperti digunakan sebagai *ion exchangers*, *absorbents*, *CO2 capture*, *carrier of bioactive molecules*, *catalyst*, and *catalyst support due to their high surface area, structural stability, and phase purity* [2]. Selain itu menurut Kloprogge [3] bahwa hidrotalsit memiliki banyak aplikasi, di antaranya adalah sebagai katalis, padatan pendukung katalis, penukar anion, adsorben, stabilizer, dan penangkap anion.

Aplikasi Hidrotalsit sebagai katalis dalam proses katalitik heterogen telah banyak karena memiliki beberapa kelebihan antara lain memiliki luas permukaan tinggi, mudah dipreparasi dan murah, mudah dipisahkan dari produk hasil reaksi, meminimalkan limbah hasil reaksi dan memungkinkan untuk diregenerasi [1 dalam 4]. Sifat kimia dan struktur hidrotalsit olahan dipengaruhi oleh komposisi molar dan ditunjukkan oleh pola difraksi, spektrum inframerah, struktur morfologi, dan analisis unsur [2].

Hidrotalsit sebagai katalis mempunyai beberapa keuntungan diantaranya proses penanganannya mudah, mudah dipisahkan dengan produk, ramah lingkungan dan menghasilkan produk yang bagus [5]. Ketika dipanaskan, hidrotalsit membentuk campuran homogen oksida Mg-Al dengan ukuran kristal kecil, oleh karena itu, stabil di bawah suhu tinggi dan menjadikannya bahan yang menarik sebagai pendukung katalis [6].



Gambar 1. Struktur : a. Tipe Brucite; b. Hidrotalsit; c. Komposisi Atom [7].

Hidrotalsit merupakan lempung anionik yang strukturnya diturunkan dari struktur brucite. Formula umum Hidrotalsit sebagai lempung anionik adalah $[M1-x^{2+}Mx^{3+}(OH)_2]^{b-} [A^{n-}]_{b/n} \cdot mH_2O$, untuk material hidrotalsit yang biasa digunakan sebagai katalis pada reaksi kondensasi aldol yaitu Mg/Al hidrotalsit dengan anion karbonat dan nitrat pada ruang antar lapisan [8].

Hidrotalsit Mg/Al telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi hidrotermal, variasi mol Mg/Al pada sintesis HT yang telah dilakukan adalah 1:1, 2:1, 3:1 dan 4:1 (Variasi rasio mol 1-4). Hasil terbaik adalah HT dengan perbandingan mol Mg/Al 3:1 dengan suhu hidrotermal 100°C [8]. Sedangkan Surbakti [9] dalam pembuatan sintesis hidrotalsit Mg/Al dengan rasio mol 2:1, selain itu menurut Kishore [5] katalis hidrotalsit Mg/Al dengan perbandingan 4:1 mampu memberikan aktivitas maksimum sebagai suatu katalis yang baik. Rasio mol dan waktu presipitasi dapat mempengaruhi perolehan massa hasil dari proses sintesis hidrotalsit Mg/Al.

Sintesis Mg/Al hidrotalsit yang telah dikembangkan antara lain yaitu dengan metode mekanokimia, kopresipitasi, oksida garam, hidrolisis induksi, sol gel dan elektrokimia [10]. Pada metode oksida logam memiliki kelemahan seperti oksida kation divalen mengalami hidrolisis lambat dan anion yang disambung harus bisa membentuk garam larut dengan kation trivalen [11] dan juga metode mekanokimia dengan proses sintesis yang lebih lama [12].

Metode yang biasa digunakan untuk sintesis material Mg/Al hidrotalsit yaitu metode kopresipitasi [13 ; 14 ; 15]. Kopresipitasi mempunyai kelebihan yaitu dapat dilakukan pada temperatur kamar, peralatan sederhana, relatif murah dan memberikan rendemen yang memadai [14]. Sintesis hidrotalsit setelah metode kopresipitasi biasanya diikuti dengan proses hidrotermal. Proses hidrotermal bertujuan untuk mendapatkan hasil sintesis dengan kristalinitas tertentu. Proses hidrotermal memiliki kelebihan yaitu dapat meningkatkan kristalinitas dan ukuran kristalit yang signifikan [16]. Serta semakin lama waktu proses kopresipitasi, menyebabkan semakin meningkatnya kemurnian dan kristalinitas relatif hidrotalsit [17]. Penelitian yang dilakukan dalam Permanasari [18] dengan kondisi kopresipitasinya pH 9,5 , Suhu 25°C dan waktu 12 jam. Sedangkan dalam penelitian Yu [19] pH 9,5 , Suhu 25°C dan waktu 12 jam.

Menurut Box [20] RSM (*Response Surface Optimization*) adalah desain dan model yang bekerja dengan berbagai treatment secara terus menerus ketika menemukan nilai optimum atau menggambarkan respon sesuai tujuan. Tujuan utama dari RSM adalah untuk menemukan respon optimal. Bila ada lebih dari satu respon maka penting untuk menemukan optimum kompromi yang tidak mengoptimalkan hanya saja satu respon. Maka dari itu digunakan metode RSM untuk menentukan respon yang optimum. Variasi rasio Mg/Al pada rentang 1:1 - 4:1 dan waktu presipitasi diset pada rentang 720 - 1080 menit dianalisis dengan metode RSM menggunakan Minitab 17 menghasilkan data sebagai berikut :

Tabel 1. Variasi Rasio Mol dan Waktu Presipitasi dengan Menggunakan Metode RSM

Run	PtType	Blocks	Rasio Mol (Mg/Al)	Waktu Presipitasi (Menit)
1	1	1	1	720
2	1	1	4	720
3	1	1	1	1080
4	1	1	4	1080
5	-1	1	0,37868	900
6	-1	1	4,62132	900
7	-1	1	2,5	645,44
8	-1	1	2,5	1154,56
9	1	1	2,5	900
10	1	1	2,5	900
11	1	1	2,5	900
12	1	1	2,5	900
13	1	1	2,5	900

Berdasarkan beberapa penjelasan di atas, penelitian ini bertujuan untuk menentukan rasio mol Mg(NO₃)₂ dan Al(NO₃)₃ (variasi mol 1-4) dan waktu presipitasi (variasi waktu 12-18 jam) optimum pada sintesis hidrotalsit Mg/Al terhadap massa dan karakter struktur senyawa hidrotalsit Mg/Al yang dihasilkan.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, pembuatan katalis hidrotalsit Mg/Al dengan metode presipitasi dilakukan variasi rasio mol Mg(NO₃)₂ dan Al(NO₃)₃ 1:1, 2:1, 3:1, dan 4:1 dan waktu presipitasinya yaitu 12 – 18 jam. Bahan utama yang digunakan yaitu padatan Mg(NO₃)₂.6H₂O dan Al(NO₃)₃.9H₂O yang telah dilarutkan dan larutan NaOH dan Na₂CO₃. OH⁻ dari larutan NaOH yaitu untuk menjaga sisi asam dari katalis tersebut, sedangkan untuk penambahan Na₂CO₃ yaitu sebagai penambahan anion pada layernya (CO₃)²⁻ untuk aktivitas katalitik.

Terdapat beberapa tahapan dalam pembuatan sintesis hidrotalsit Mg/Al ini, yaitu :

- 1) Pembuatan Larutan
Dalam pembuatan hidrotalsit Mg/Al digunakan bahan baku Mg(NO₃)₂ dan Al(NO₃)₃ dengan rasio mol yang divariasikan, masing-masing zat dilarutkan oleh aquadest sampai 200 mL. Dan bahan penunjang yang digunakan yaitu NaOH (1 N) dan Na₂CO₃ (0,1 N). Penambahan bahan penunjang bertujuan untuk menjaga agar pH kerja tetap pada 9,5.
- 2) Proses Kopresipitasi dengan Pengadukan Larutan yang sudah tercampur, dilakukan pengadukan terus menerus selama waktu kopresipitasi yang telah ditentukan diantaranya dari 12-14 jam, dengan kondisi operasi kopresipitasi pH 9,5 dan suhu 25°C.
- 3) Penyaringan (Filtrasi)
Proses kopresipitasi telah dilakukan kemudian dilakukan penyaringan untuk diambil padatan yang

telah terbentuk dengan alat pompa corong *buchner* atau *water jet pump*.

- 4) Pencucian
Padatan yang telah terbentuk dilakukan pencucian sampai bersih, indikator bersihnya yaitu dengan kandungan pH 7 (netral).
- 5) Pengeringan
Padatan yang sudah bersih dengan nilai pH 7, dilakukan pengeringan dengan oven dengan suhu 120°C selama 1 jam.
- 6) Kalsinasi
Padatan yang sudah kering dilakukan proses kalsinasi yaitu bertujuan untuk meningkatkan porositas katalis sebagai pemacu kecepatan reaksi dan fasilitas perpindahan massa dimana pola katalitik bergantung kepada sifat dan struktur katalis yang telah dibuat sehingga sisi aktif katalis memengaruhi selektivitas pada reaksi yang terjadi [21]. Kondisi operasi kalsinasi yang berlangsung pada alat *furnace* dengan waktu selama 4 jam dan suhu 450°C [19].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL ANALISIS METODE RSM

Metode *RSM* dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari rasio mol dan waktu presipitasi dalam pembuatan katalis hidrotalsit Mg/Al, dimasukkan data massa hasil penelitian dari setiap run.

Tabel 2. Massa Katalis Hidrotalsit yang Disintesis disetiap run

RUN	Rasio Mol (Mg/Al)	Waktu Presipitasi (Menit)	Massa
1	1	720	0,9521
2	4	720	1,7413
3	1	1080	1,8547
4	4	1080	2,8814
5	0,37868	900	1,2123
6	4,62132	900	3,4978
7	2,5	645,44	2,7985
8	2,5	1154,56	2,9231
9	2,5	900	2,8616
10	2,5	900	3,0347
11	2,5	900	3,0445
12	2,5	900	3,6133
13	2,5	900	3,1382

Dari data diatas, massa terbanyak didapat pada run 12 dengan rasio mol 2,5 : 1 waktu presipitasi 900 menit dengan massa 3,6133 gram dan massa terkecil didapat pada run 1 dengan massa 0.9521 gram.

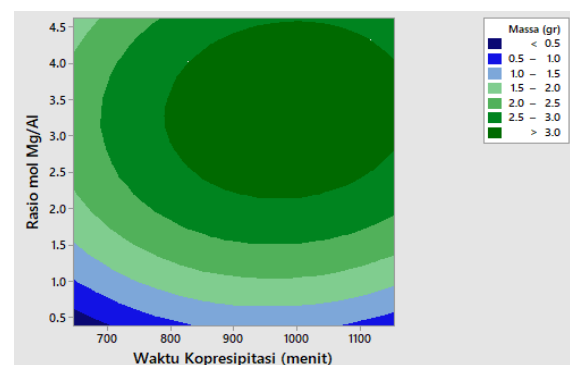
Dimasukkan data massa pada aplikasi minitab 17 dengan metode *RSM* untuk mendapatkan hasil pengaruh dari variasi rasio mol dan waktu presipitasi.

Tabel 3. Hasil Analisis dengan Menggunakan Metode *RSM*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	6,5953	1,3191	4,33	0,041
Linear :	2	3,8008	1,9004	6,23	0,028
Rasio mol	1	3,1854	3,1854	10,45	0,014
Waktu presipitasi	1	0,6156	0,6156	2,02	0,198
Square :	2	2,7804	1,3902	4,56	0,054
Rasio mol*Rasio mol	1	2,3349	2,3349	7,66	0,028
Waktu presipitasi*Waktu presipitasi	1	0,7414	0,7414	2,43	0,163
2-Way Interaction	1	0,0141	0,0141	0,05	0,836
Rasio mol*Waktu presipitasi	1	0,0141	0,0141	0,05	0,836
Error :	7	2,1346	0,3049		
Lack-of-fit	3	1,8129	0,6043	7,51	0,04
Pure Error	4	0,3217	0,0804		
Total	12	8,7299			

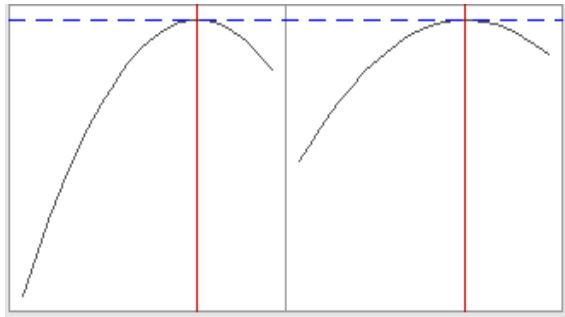
Dinyatakan H₀ yaitu hipotesis jika variabel tertentu tidak berpengaruh kepada berat hidrotalsit yang dibuat. Kami mengambil nilai α sebesar 0,05 (5%), maka dari data diatas dapat dinyatakan:

1. dalam model kurva linear, rasio mol Mg/Al memiliki P-Value < α yang artinya H₀ ditolak, untuk waktu kopresipitasi memiliki P-Value > α yang artinya H₀ diterima
2. dalam model kurva *square*, rasio mol Mg/Al memiliki P-Value < α yang artinya H₀ ditolak, untuk waktu kopresipitasi memiliki P-Value > α yang artinya H₀ diterima.



Gambar 2. *Contour Plot* dari Massa vs Rasio Mol Mg/Al dan Waktu Kopresipitasi

Dapat dilihat dari grafik *Contour*, semakin besar waktu kopresipitasi maka semakin besar berat hidrotalsit yang dibuat, dan semakin besar rasio mol maka semakin besar berat hidrotalsit yang dibuat tetapi jika terlalu besar (>4) maka akan menurunkan berat hidrotalsit yang dibuat.



Gambar 3. *Optimization Plot* dari Massa vs Rasio Mol Mg/Al dan Waktu Kopresipitasi

Dari grafik di atas didapatkan data seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4. Hasil *Optimization Plot*

Optimal	Massa (g) Maksimum	Keterangan	Rasio Mol	Waktu Kopresipitasi
D:	y = 3,3840	High	4,6213	1154,5584
0,9138	d = 0,91383	Cur	[3,3357]	[984,8528]
		Low	0,3787	645,4416

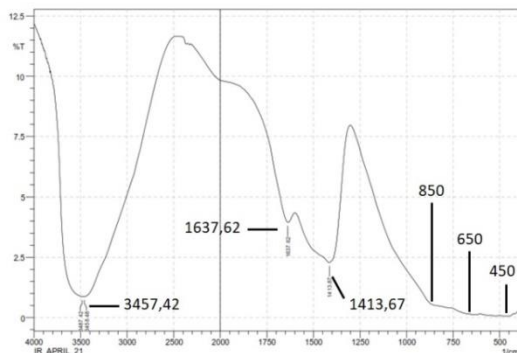
Dapat dilihat dari grafik optimasi, untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam sintesis hidrotalsit Mg/Al, maka dapat dibuat dengan besar rasio mol Mg/Al sebesar 3,3357 dan waktu kopresipitasi 984,85 menit yang dapat diasumsikan akan mendapatkan berat katalis hidrotalsit yang dibuat sebesar 3,3840 gram.

Hal ini sesuai dengan [4] bahwa hasil terbaik dari sintesis hidrotalsit yaitu dengan perbandingan mol 3:1 yang terlihat dari intensitas tertinggi pada puncak difraksi sinar-x, hidrotalsit baik digunakan sebagai katalis dalam proses isomerisasi, sedangkan waktu optimum terlihat dari hasil analisis RSM bahwa waktu presipitasi tidak berpengaruh secara signifikan, maka dari itu tidak ada literatur yang meneliti tentang waktu optimum untuk proses presipitasi hidrotermal terutama pada sintesis hidrotalsit Mg/Al.

B. HASIL ANALISIS METODE FTIR

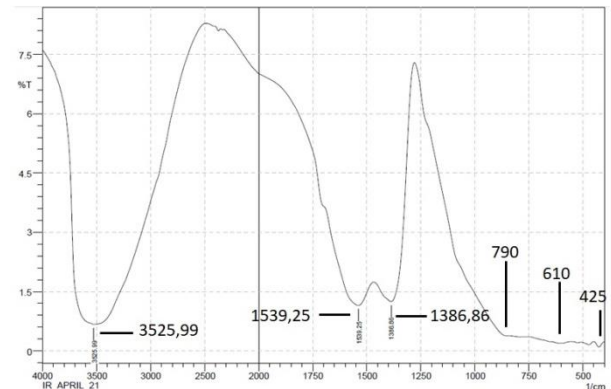
Analisis FTIR dilakukan pada sampel dengan hasil kandungan massa tertinggi.

• Run 1



Gambar 4. Hasil Analisis Run 1 dengan Menggunakan Metode FTIR

• Run 12



Gambar 5. Hasil Analisis Run 12 dengan Menggunakan Metode FTIR

Hasil Analisis sampel kemudian dibandingkan dengan referensi, untuk mengetahui gugus fungsi pada hasil sintesis hidrotalsit Mg/Al.

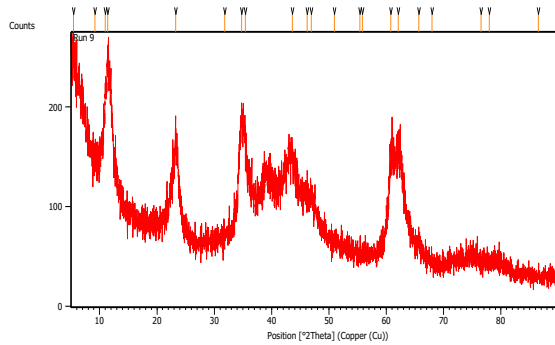
Tabel 5. Perbandingan bilangan gelombang spektrum FTIR antara sampel hidrotalsit Mg / Al dan referensi

Kelompok Fungsional	Nomor Gelombang (cm- 1) dari Hidrotalsit Mg / Al		
	Run 1	Run 12	Referensi
Strechng OH	3457	3525	3400
Strechng asimetris CO3	1413	1386	1400
Deformasi luar CO3	850	790	800
Strechng Mg-Al-O	650-450	610-425	600-400

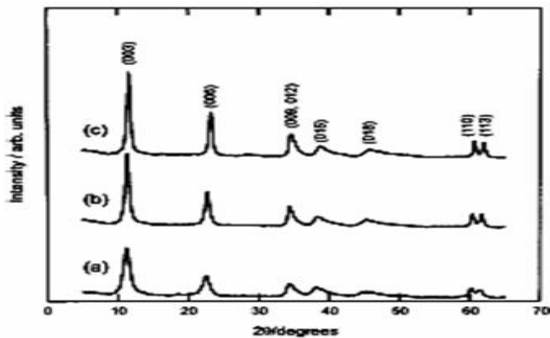
Hasil analisis FTIR pada run 12 dilakukan pada bilangan gelombang 400-4000 cm⁻¹ bertujuan mengidentifikasi gugus-gugus fungsi di dalam sampel hidrotalsit Mg/Al, yaitu terdapat adanya gugus fungsi dari ion hidroksida (OH⁻) dengan puncak pada daerah 3525 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H yang terdapat dari gugus hidroksi di dalam lembaran-lembaran Mg/Al dengan molekul air dalam partikel/dalam antar lapis. Selanjutnya pada daerah 1386 cm⁻¹ menunjukkan adanya uluran simetris O=C-O, pada daerah 790 cm⁻¹ menunjukkan adanya tekukan O=C-O dari CO₃²⁻, pada daerah 610 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi uluran Al-O kemudian pada daerah 425 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi uluran Mg-O, begitupun untuk hasil analisis run 1.

C. HASIL ANALISIS METODE XRD

Karakterisasi analisis metode XRD dilakukan pada run 8 dengan rasio mol Mg/Al 2,5 : 1 dengan waktu presipitasi 1154 menit. Dibandingkan grafik hasil analisis sampel dengan grafik referensi dengan rasio mol sesuai dengan sampel.



Gambar 9. Hasil Analisis Run 8 dengan Menggunakan Metode XRD



Gambar 10. Referensi Difraktogram Hidrotalsit Mg/Al sebagai Pembanding (a) Rasio 2, (b) Rasio 3, dan (c) Rasio 4

Dari hasil analisis XRD, didapatkan beberapa nilai seperti diantaranya 2 theta, harga d, dan I (%) yang akan dibandingkan dengan standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*).

Tabel 6. Perbandingan Hasil Analisis Nilai Sampel dan Data Standar JCPDS

Sampel			Standar JCPDS		
2 theta	Harga d	I (%)	2 theta	Harga d	I (%)
5.4648	16.17190	46.48	5,479	16,1160	55,0
9.2091	9.60328	8.46	-	-	-
10.9849	8.05453	67.63	-	-	-
11.4381	7.73641	100.00	11,271	7,8440	100,0
23.2305	3.82906	79.09	22,700	3,9140	80,0
31.8398	2.81063	1.66	31,531	2,8350	5,0
34.7379	2.58250	90.78	34,357	2,6080	30,0
35.3891	2.53646	67.60	35,655	2,5160	10,0
43.6383	2.07421	30.90	-	-	-
46.2024	1.96326	29.63	46,358	1,9570	10,0
46.8883	1.93773	17.94	-	-	-
50.9097	1.79371	6.03	-	-	-
55.4027	1.65842	12.62	55,150	1,6640	4,0
55.8381	1.64652	10.05	-	-	-
60.7531	1.52455	67.87	60,024	1,5400	6,0
62.0926	1.49484	77.83	61,524	1,5060	7,0
65.6392	1.42241	10.81	-	-	-
67.9541	1.37948	5.76	-	-	-
76.4831	1.24447	8.75	-	-	-
77.9207	1.22506	1.04	-	-	-
86.5104	1.12505	2.12	-	-	-

Perhitungan untuk mengetahui persentase kandungan relatif hidrotalsit Mg/Al dengan rumus :

$$\% \text{ kandungan} = \frac{(I/I_1)_s}{(I/I_1)_t} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

$(I/I_1)_s$: jumlah intensitas relatif puncak senyawa dalam sampel

$(I/I_1)_t$: jumlah intensitas relatif total sampel

$(I/I_1)_s = 573,56$

$(I/I_1)_t = 743,05$

$$\% \text{ kandungan} = \frac{573,56}{743,05} \times 100\%$$

$$\% \text{ kandungan} = 77,19\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dengan rasio mol Mg/Al 2,5:1 dan waktu presipitasi 1154 menit didapatkan hasil kandungan relatif hidrotalsit Mg/Al adalah 77,19%

D. HASIL ANALISIS METODE BET

Karakterisasi analisis metode BET dilakukan pada run 1 dengan rasio mol 1:1 dan waktu presipitasi 720 menit.

Hidrotalsit Mg/Al dengan anion interlayer CO_3^{2-} mempunyai luas permukaan sekitar $100 \text{ m}^2/\text{g}$ [22].

Tabel 7. Perbandingan Hasil Analisis BET Hidrotalsit Mg/Al dengan Referensi

Parameter	Sampel	Referensi
Surface Area (m^2/g)	191.0058	100

Hasil analisis dengan metode BET dapat disimpulkan bahwa sintesis hidrotalsit Mg/Al dikatakan baik, karena melebihi nilai luas permukaan dari referensi.

Dari hasil katalis hidrotalsit Mg/Al yang didapatkan, yang sudah dilakukan karakterisasi pada beberapa sampel. Perlu adanya penelitian tentang proses stabilisasi pada katalis hidrotalsit Mg/Al sebelum digunakan sebagai bahan pendukung dari proses seperti isomerisasi dan yang lainnya. Dikarenakan hasil dari sintesis katalis Hidrotalsit Mg/Al belum stabil jika langsung digunakan akan berubah warna karena katalis tersebut belum stabil.

KESIMPULAN

Hasil analisis RSM menunjukkan bahwa rasio mol berpengaruh kepada berat hidrotalsit yang dibuat sedangkan waktu kopresipitasi tidak berpengaruh secara signifikan kepada berat hidrotalsit yang dibuat, didapatkan kondisi optimum sintesis HT Mg/Al yaitu pada rasio mol Mg/Al sebesar 3,3357 dan waktu presipitasi 984,85 menit yang diestimasi akan

mendapatkan berat katalis hidrotalsit sebesar 3,3840 gram.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan dan pendanaannya kepada P3M Politeknik Negeri Bandung dalam skema penelitian mandiri dengan surat perjanjian nomor 105.55/PL1.R7/PG.00.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cavani, F., Trifiro, F., & Vaccari, A. (1991). Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications. *Catalysis today*, 11(2), 173-301.
- [2] Wiyantoko, B., Kurniawati, P., Purbaningtiyas, T. E., & Fatimah, I. (2015). Synthesis and characterization of hydrotalcite at different Mg/Al molar ratios. *Procedia Chemistry*, 17, 21-26.
- [3] Klopogge, J. T., Hickey, L., & Frost, R. L. (2004). FT-Raman and FT-IR spectroscopic study of synthetic Mg/Zn/Al-hydrotalcites. *Journal of Raman Spectroscopy*, 35(11), 967-974.
- [4] Handayani, S., Kusumawardani, C., & Budiasih, K. S. (2014). Effect Of Ratio Variation Mg/Al In Synthesis Of Hydrotalsit With Hydrothermal Coprecipitation Method. *Jurnal Penelitian Sainstek*, 19(1).
- [5] Kishore, D., and S. Kannan, 2002, "Isomerization of Eugenol and Safrole Over MgAl Hydrotalcite, a Solid Base Catalyst", *Green Chem.*, 4: 607-610.
- [6] Kang, K., Azargohar, R., Dalai, A. K., & Wang, H. (2017). Hydrogen generation via supercritical water gasification of lignin using Ni-Co/Mg-Al catalysts. *International Journal of Energy Research*, 41(13), 1835-1846. doi:10.1002/er.3739
- [7] Fitriana Nindiyasari, R., & Tahir, I. 2007. Hidrotalsit Zn-Al-No₃ Sebagai Penukar Anion Dalam Pengolahan Polutan Anion Hexasianoferrat (II).
- [8] Handayani, S., Kusumawardani, C., Budiasih, K. S. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Hidrotalsit Mg/Al dengan Metode Kopesipitasi Hidrotermal untuk Reaksi Kondensasi Aldol. FMIPA UNY. Yogyakarta.
- [9] Surbakti, P. S. (2016). *Sintesis Hidrotalsit Mg/Al Dengan Metode Kopesipitasi Dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Co₂* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [10] Benício, L. P. F., Silva, R. A., Lopes, J. A., Eulálio, D., Santos, R. M. M. D., Aquino, L. A. D., ... & Tronto, J. (2015). Layered double hydroxides: nanomaterials for applications in agriculture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1), 1-13.
- [11] Boehm, H. P., Steinle, J., & Vieweger, C. (1977). [Zn₂Cr (OH) ₆] X• 2H₂O, New layer compounds capable of anion exchange and intracrystalline swelling. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 16(4), 265-266.
- [12] Zhang, F., Du, N., Li, H., Liang, X., & Hou, W. (2014). Sorption of Cr (VI) on Mg-Al-Fe layered double hydroxides synthesized by a mechanochemical method. *RSC advances*, 4(87), 46823-46830.
- [13] Zhang, W. Y., Liu, Y., & Xi, L. J. (2013). Adsorption of chloride anion by calcined Mg-Al-Fe layered double hydroxides in wastewater. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 423, pp. 545-549). Trans Tech Publications Ltd.
- [14] Yang, Y., N. Gao, W. Chu, Y. Zhang, & Y. Ma. 2012. Adsorption of Perchlorate from Aqueous Solution by The Calcination Product of Mg/(Al-Fe) Hydrotalcite-Like Compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 209: 318-325
- [15] Xiao, L., W. Ma, M. Han, & Z. Cheng. 2011. The Influence of Ferric Iron in Calcined Nano-Mg/Al Hydrotalcite on Adsorption of Cr(VI) from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*, 186: 690-698
- [16] Sharma, S.K., P.K. Kushwaha, V.K. Srivastava, S.D. Bhatt, & R.V. Jasra. 2007. Effect of Hydrothermal Conditions on Structural and Textural Properties of Synthetic Hydrotalcites of Varying Mg/Al Ratio. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(14): 4856-4865
- [17] Safitri, R. D. A. D. (2013). Sintesis hidrotalsit mg-al-no₃ dengan variasi ph dan waktu.
- [18] Permanasari, A. R., Fauzan, A., Rachmalia, N. L., Elfanti, R., & Wibisono, W. (2020). Fructose syrup production from Onggok with isomerization process by Mg/Al hydrotalcite catalyst and glucose isomerase enzyme. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012002>.
- [19] Yu, S., Kim, E., Park, S., Song, I. K., & Jung, J. C. (2012). Isomerization of glucose into fructose over Mg-Al hydrotalcite catalysts. *Catalysis Communications*, 29, 63-67. doi:10.1016/j.catcom.2012.09.015
- [20] Box, G. E., & Draper, N. R. (2007). *Response surfaces, mixtures, and ridge analyses* (Vol. 649). John Wiley & Sons
- [21] Chen, S. S., Tsang, D. C., & Tessonier, J. P. (2020). Comparative investigation of homogeneous and heterogeneous Brønsted base catalysts for the isomerization of glucose to fructose in aqueous media. *Applied Catalysis B: Environmental*, 261, 118126.
- [22] Wright, J. (2002). Removal of Organic Colours from Raw Water Using Hydrotalcite. Brisbane, University of Queensland.