

Pengaruh Waktu dan Suhu Pada Sintesis Aluminium *Format Metal Organic Framework* Menggunakan Metode Solvotermal

Aqilla Fadia Haya^{1*}, Zainal Arifin², Fitriyana^{3*}

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda

*Email: aqillahaya21@gmail.com

Abstrak

Kaleng minuman umumnya terbuat dari paduan aluminium dan baja timah yang dapat didaur ulang. Sintesis aluminium *format metal organic framework* (ALF-MOF) dari limbah kaleng, yang berpotensi menghasilkan material fungsional untuk aplikasi penyimpanan gas, katalisis, dan penyerapan gas. Proses solvotermal melibatkan reaksi antara larutan prekursor aluminium dari kaleng minuman bekas dengan ligan organik dan pelarut. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh waktu reaksi dan suhu pada sintesis ALF-MOF dengan metode solvotermal. Penelitian diawali dengan melarutkan logam aluminium dalam kaleng minuman dengan NaOH dan HCl untuk menghasilkan aluminium hidroksida. Kemudian sintesis ALF-MOF dilakukan mengikuti desain percobaan *one factor at a time* (OFAT) dengan satu variabel peubah. Aluminium hidroksida dan asam format dicampur dengan perbandingan mol 1:3. Selanjutnya, pelarut etanol-air 1:1 ditambahkan sebanyak 30 mL. Campuran direaksikan dalam reaktor autoklaf dengan variasi waktu reaksi 30, 60, 120, 360, 420 menit dan variasi suhu 80, 90, 100, 110, 120°C. Selanjutnya produk ALF-MOF dihitung *yield*-nya dan dianalisis dengan instrumen FTIR untuk mengetahui karakteristik gugus fungsionalnya. Hasil menunjukkan waktu optimal adalah 360 menit dengan *yield* 23,04%, sedangkan suhu terbaik adalah 100°C dengan *yield* 23,01%. Analisis FTIR mengidentifikasi gugus Al-O-Al pada bilangan gelombang 1089-1092 cm⁻¹, menandakan keberhasilan sintesis ALF-MOF.

Kata kunci : **adsorben, aluminium, MOF, solvotermal, yield**

Abstract

Beverage cans are generally made of aluminum alloy and recyclable tin steel. Synthesis of aluminum formate metal organic framework (ALF-MOF) from waste cans, which has the potential to produce functional materials for gas storage, catalysis, and gas absorption applications. The solvothermal process involves the reaction between aluminum precursor solution from used beverage cans with organic ligands and solvents. This study aims to determine the effect of reaction time and temperature on the synthesis of ALF-MOF by solvothermal method. The research began by dissolving aluminum metal in beverage cans with NaOH and HCl to produce aluminum hydroxide. Then the synthesis of ALF-MOF was carried out following a one factor at a time (OFAT) experimental design with one variable. Aluminum hydroxide and formic acid were mixed with a mole ratio of 1:3. Next, ethanol-water solvent 1:1 was added as much as 30 mL. The mixture was reacted in an autoclave reactor with reaction time variations of 30, 60, 120, 360, 420 minutes and temperature variations of 80, 90, 100, 110, 120°C. Furthermore, the yield of ALF-MOF product was calculated and analyzed with FTIR instrument to determine the characteristics of its functional groups. The results showed that the optimal time was 360 minutes with a yield of 23.04%, while the best temperature was 100°C with a yield of 23.01%. FTIR analysis identified Al-O-Al groups at wave numbers 1089-1092 cm⁻¹, indicating the success of ALF-MOF synthesis.

Keywords : adsorbent, aluminum, MOF, solvothermal, yield

Pendahuluan

Sampah menjadi salah satu permasalahan lingkungan hingga saat ini, salah satunya Indonesia dikarenakan jumlah penduduk di Indonesia sangat tinggi yang menempati urutan ke-4 terbesar di dunia. Tidak hanya itu pertumbuhan penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat yang mengakibatkan karakteristik jenis sampah beragam. Salah satu jenis sampah yang menjadi permasalahan di lingkungan yaitu sampah kaleng bekas terkhusus sampah kaleng minuman. Berdasarkan data pada tahun 2023 bahwa jumlah timbulan sampah di Indonesia mencapai 32.035.864,38 ton yang di mana 3,33%-nya adalah sampah yang berjenis logam (besi, kaleng, aluminium, timah dll), sehingga jumlah sampah logam di Indonesia diperkirakan mencapai 1.066.794,28 ton (SIPSN, 2023).

Permasalahan sampah yang berisi logam tersebut jika dibuang begitu saja tidak akan dapat terurai, maka dari itu cara untuk menanggulangi permasalahan tersebut yaitu dengan memanfaatkan sampah logam terutama aluminium yang akan disintesis yang disebut *Metal Organic Framework* (MOF). MOF sendiri merupakan bahan kristal berpori yang terdiri dari pusat atau kluster berupa ion logam dengan penghubung *ligand* organik seperti asam karboksilat, di mana asam karboksilat yang mengandung N biasanya digunakan untuk membentuk kerangka dengan seng, tembaga, kromium, aluminium, dan elemen lainnya. Dilihat dari strukturnya MOF memiliki banyak kelebihan diantaranya memiliki luas permukaan yang tinggi, porositas yang besar serta memiliki stabilitas kimia atau suhu yang tinggi (Mahreni dkk., 2020).

Proses sintesis untuk mendapatkan MOF ini memiliki beberapa metode salah satunya metode solvotermal. Sintesis solvotermal adalah proses yang paling umum digunakan untuk pembuatan MOF, karena teknik sederhana yang dapat menghasilkan sampel dengan beragam morfologi. Tiga komponen penting sintesis solvotermal adalah ligan organik, garam logam, dan pelarut. Reaksi biasanya dilakukan pada suhu di atas titik didih pelarut. Sintesis MOF dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pemilihan ligan organik, garam ion logam, rasio molar, pH, pelarut, dan suhu (Yusuf dkk., 2022). Yang akan dilakukan yaitu mensintesis MOF dengan metode solvotermal dimana aluminium sebagai ion logam dan asam format (HCOOH) sebagai ligan organik yang menghasilkan produk Aluminium *Format-Metal Organic Framework* (ALF-MOF). Aluminium diperoleh

dari ekstraksi, atau daur ulang, sampah kaleng minuman yang mengandung aluminium. Untuk mendapatkan ALF-MOF dengan ukuran, porositas, dan struktur yang optimal, beberapa faktor perlu dioptimalkan antara lain: ligan organik, garam ion logam, rasio molar, pH, pelarut, dan suhu reaksi (Yusuf dkk., 2022). Maka dari itu penelitian ini berfokus pada pengaruh suhu reaksi sintesis dan waktu proses sintesis dimana selama ini beberapa literatur belum ada yang menerangkan hasil terbaik pada waktu dan suhu proses sintesis untuk mendapatkan produk ALF-MOF.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi dan suhu pada saat proses sintesis dengan metode solvotermal, dimana produk yang dihasilkan adalah Aluminium *Format-Metal Organic Framework* (ALF-MOF) berbahan baku sampah kaleng minuman.

Metode

Alat dan Bahan

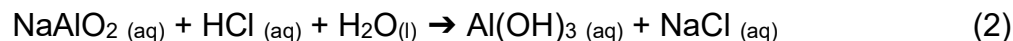
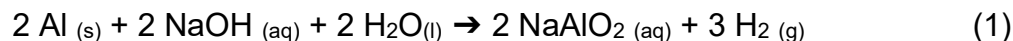
Alat yang digunakan dalam riset ini adalah *hot plate*, neraca digital analitik, *magnetic stirrer*, termometer, alat gelas (*beaker glass*, gelas ukur, erlenmeyer), pompa vakum, corong *buchner*, *stopwatch*, pipet tetes, pipet ukur, pipet volume, lumpang dan alu, cawan petridish, *oven* dan reaktor autoklaf. Sedangkan bahan yang digunakan pada riset ini adalah sampah kaleng minuman, HCl 32%, NaOH 3N, asam format (HCOOH), etanol 99%, aquades, aluminium foil, kertas saring, metanol dan indikator pH universal.

Tahapan Penelitian

1. Ekstraksi aluminium dari sampah kaleng minuman

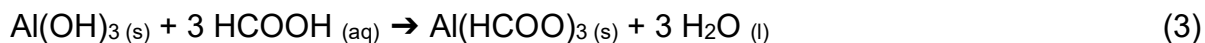
Aluminium diperoleh dari sampah kaleng minuman. Prosesnya dimulai dengan membersihkan kaleng minuman dengan pembersih cat untuk menghilangkan lapisan cat. Setelah itu, sampah kaleng dikecilkan sesuai ukurannya. Larutan NaOH 3N dicampur dengan sampah kaleng yang telah disiapkan diaduk dengan kecepatan konstan selama ± 20 menit pada suhu 70°C. Selanjutnya, penyaringan dilakukan untuk menghasilkan larutan Natrium Aluminat (NaAlO₂). Tambahkan tetes demi tetes larutan HCl 32% hingga pH netral, yang akan menghasilkan padatan Al(OH)₃. Keringkan padatan ini dengan

menggunakan oven pada suhu 80°C (\pm 10 menit). Persamaan reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah sebagai berikut:



2. Sintesis ALF-MOF

Sintesis ALF-MOF dilakukan dalam reaktor autoklaf menggunakan pelarut etanol : air (1:1). Aluminium dari Al(OH)₃ yang diperoleh berperan sebagai ion logam dengan ditimbang 3,12 gram (0,04 mol) dengan mencampurkan asam format (HCOOH) sebagai ligan organik dengan rasio molar aluminium terhadap asam format 1:3 perbandingan hasil terbaik yang diperoleh dari literatur Parmadi dkk., (2024), lalu diaduk selama 30 menit. Kemudian tambahkan larutan etanol : air (1:1) sebanyak 30 mL, pindahkan campuran ke dalam reaktor autoklaf dan masukkan ke dalam oven untuk melakukan proses pemanasan pada variasi suhu 80°C, 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C, serta variasi waktu selama 30 menit, 60 menit, 120 menit, 360 menit dan 420 menit. Selanjutnya mendinginkan campuran selama 12 jam pada suhu ruang, yang kemudian dilakukan penyaringan untuk memisahkan padatan ALF-MOF dan dicuci untuk menggunakan metanol guna menghilangkan dari zat pengotor. Tahap terakhir, pengeringan padatan ALF-MOF dengan oven pada suhu 80°C selama \pm 10 menit. Persamaan reaksi yang terjadi pada tahap ini sebagai berikut.



3. Menghitung nilai *yield* ALF-MOF

Setelah mendapatkan produk ALF-MOF, perhitungan hasil dilakukan. Hasil reaksi, juga dikenal sebagai *yield*, yaitu perbandingan massa produk yang dihasilkan dengan massa produk sebenarnya dalam suatu reaksi kimia. Dalam hal ini, jumlah produk sebenarnya adalah hasil teoritis yang dihitung berdasarkan stoikiometri reaksi. Nilai *yield* ALF-MOF dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{Massa Produk Aktual (g)}}{\text{Massa Produk Teoritis (g)}} \times 100\% \quad (4)$$

Hasil dan Pembahasan

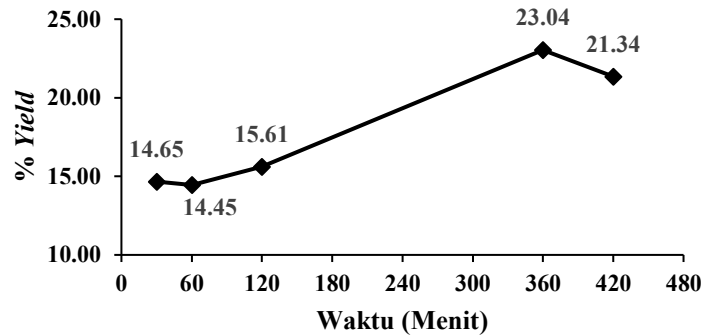
Penelitian ini diawali dengan memvariasikan waktu untuk mengetahui waktu yang ideal saat melakukan percobaan pada variasi suhu, yang selanjutnya memvariasikan suhu untuk mengetahui suhu optimal pada sintesis, dengan menggunakan metode percobaan *One Factor At a Time* (OFAT). Dari hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya dengan metode *Respon Surface Methodology* (RSM) diperoleh rasio mol Al/HCOOH dan waktu reaksi masing-masing yaitu 1:3,729 dan 2,874 jam dengan nilai yield ALF-MOF sebesar 87,71% (Parmadi dkk., 2024).

Tabel 1. Perolehan nilai *yield* yang diperoleh pada variasi waktu dan suhu

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Massa Al(OH) ₃ (g)	Massa ALF-MOF Aktual (g)	Massa ALF-MOF Teoritis (g)	% Yield
30	100	3,1205	0,9495	6,4808	14,65
60		3,1205	0,9363	6,4810	14,45
120		3,1203	1,0116	6,4810	15,61
360		3,1204	1,4930	6,4808	23,04
420		3,1204	1,3828	6,4808	21,34
360	80	3,1204	1,1939	6,4808	18,42
	90	3,1203	1,3273	6,4806	20,48
	100	3,1206	1,4915	6,4812	23,01
	110	3,1204	1,3441	6,4810	20,74
	120	3,1201	1,3791	6,4802	21,28

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwasanya hanya satu faktor atau variabel yang diubah atau dimodifikasi pada satu faktor, sementara faktor lainnya dijaga tetap konstan. Metode OFAT sering digunakan pada suatu percobaan untuk mengevaluasi pengaruh suatu variabel terhadap hasil eksperimen yang didapat. Setelah menentukan dengan metode OFAT maka dapat dilakukan percobaan tersebut, dari Tabel 1 dapat dilihat bahwasanya waktu sintesis divariasikan pada 30, 60, 120, 360, dan 420 menit dengan suhu konstan yaitu 100°C (Parmadi dkk., 2024). Sedangkan untuk suhu sintesis divariasikan pada 80, 90, 100, 110 dan 120°C dan waktu tetap pada 360 menit. Hal ini diawali dengan penggunaan suhu tetap yaitu 100°C, dimana 100°C didapat dari hasil percobaan yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan desain eksperimen RSM yang merupakan teknik statistik dan matematika yang digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan proses atau sistem yang dipengaruhi oleh beberapa variabel.

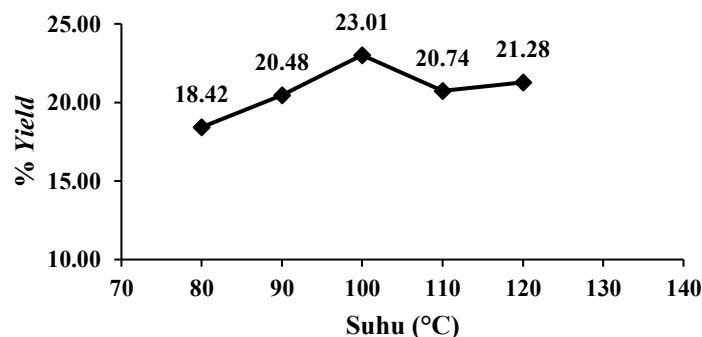
Pengaruh Variasi Waktu Sintesis Terhadap Hasil *Yield*



Gambar 1. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Terhadap Hasil *Yield* ALF-MOF

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwasanya sintesis $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan asam format (HCOOH) atau *yield* ALF-MOF yang di peroleh cenderung semakin tinggi seiring bertambahnya waktu sintesis, dengan puncak tertinggi di dapat pada waktu 360 menit dengan *yield* 23,04 %. Namun, terjadi selisih *yield* pada waktu 30 menit yaitu 14,65%, sedangkan pada waktu 60 menit yaitu sebesar 14,45%. Lalu terdapat penurunan pada waktu 420 menit dengan *yield* 21,34 % dimana kondisi tersebut titik terakhir variasi waktu. Hal tersebut dapat terjadi karena paparan suhu tinggi dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan degradasi termal komponen organik dalam MOF dimana mengacu pada kerusakan atau perubahan struktur kimia dari ligan organik, yang berdampak pada hasil *yield* yang tidak maksimal. (Sulistiyo dkk., 2015). Selain itu, dapat disebabkan oleh adanya pengotor dalam prekursor logam atau ligan organik dapat mengganggu proses pembentukan MOF dan dapat berpengaruh terhadap hasil *yield* yang diperoleh.

Pengaruh Variasi Suhu Sintesis Terhadap Hasil *Yield*



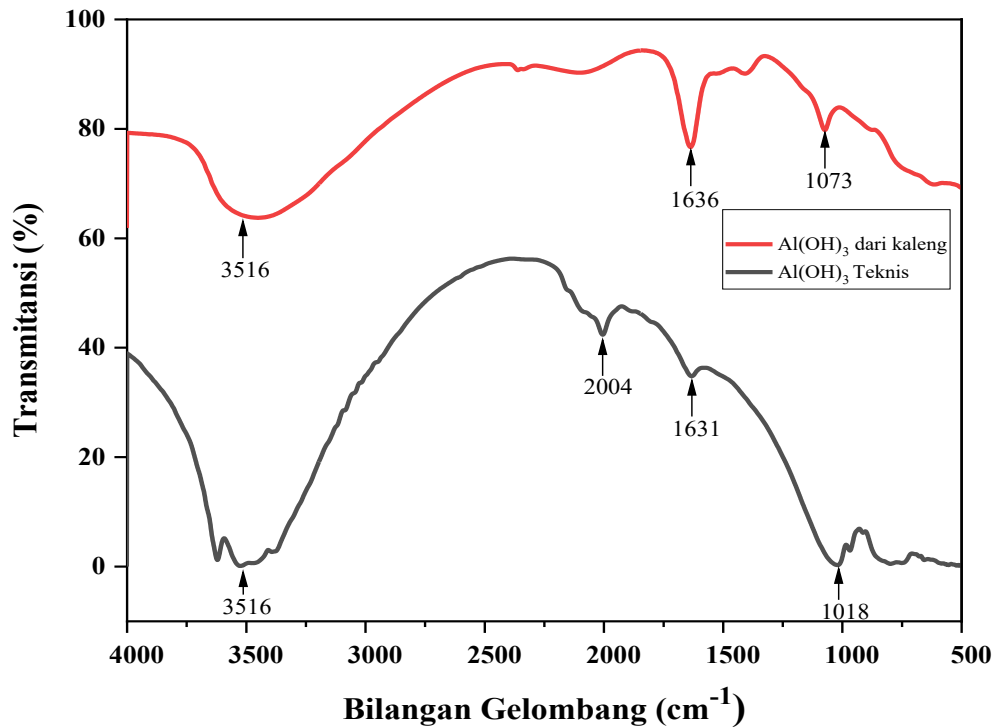
Gambar 2. Grafik Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Hasil *Yield* ALF-MOF

Berdasarkan Gambar 2, bahwasanya hasil *yield* sintesis ALF-MOF yang di peroleh pada suhu 80°C hingga suhu 100°C mengalami kecenderungan naik, namun mulai terjadi penurunan pada suhu 110°C yang hampir setara dengan suhu 90°C dan pada suhu 120°C terjadi sedikit kenaikan. Dari grafik dapat dilihat suhu 100°C merupakan puncak perolehan *yield* tertinggi sebesar 23,01%. Lalu mengalami penurunan pada suhu 110°C dengan *yield* 20,74% dan terjadi kenaikan lagi namun tidak signifikan pada suhu 120°C dengan *yield* 21,28%. Hal-hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor yang mempengaruhinya tidak jauh dengan variasi waktu faktor tersebut adalah kemungkinan impuritis yang ada. Efek suhu yang terlalu tinggi kemungkinan dapat menyebabkan degradasi material organik, formasi fase tidak diinginkan, atau bahkan perubahan morfologi MOF. Selain itu, pengeringan pada suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi struktur pori dan stabilitas MOF, sehingga menurunkan *yield*.

Proses aktivasi dan deaktivasi yang buruk atau tidak terkontrol dapat sangat memengaruhi hasil *yield*, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Hal ini pada saat proses aktivasi dimana residu pelarut atau molekul tamu dapat tetap terperangkap di dalam pori-pori yang menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi, kerusakan struktur pori, terutama jika pelarut atau molekul tamu tidak sepenuhnya dihilangkan sebelum pengeringan. Selain itu proses deaktivasi yang tidak baik dapat menyebabkan MOF kehilangan porositas dan fungsionalnya (Evans dkk., 2022). Juga bisa dikarenakan pencucian yang tidak sempurna dapat meninggalkan residu pelarut atau prekursor yang mengurangi kemurnian dan *yield* produk akhir.

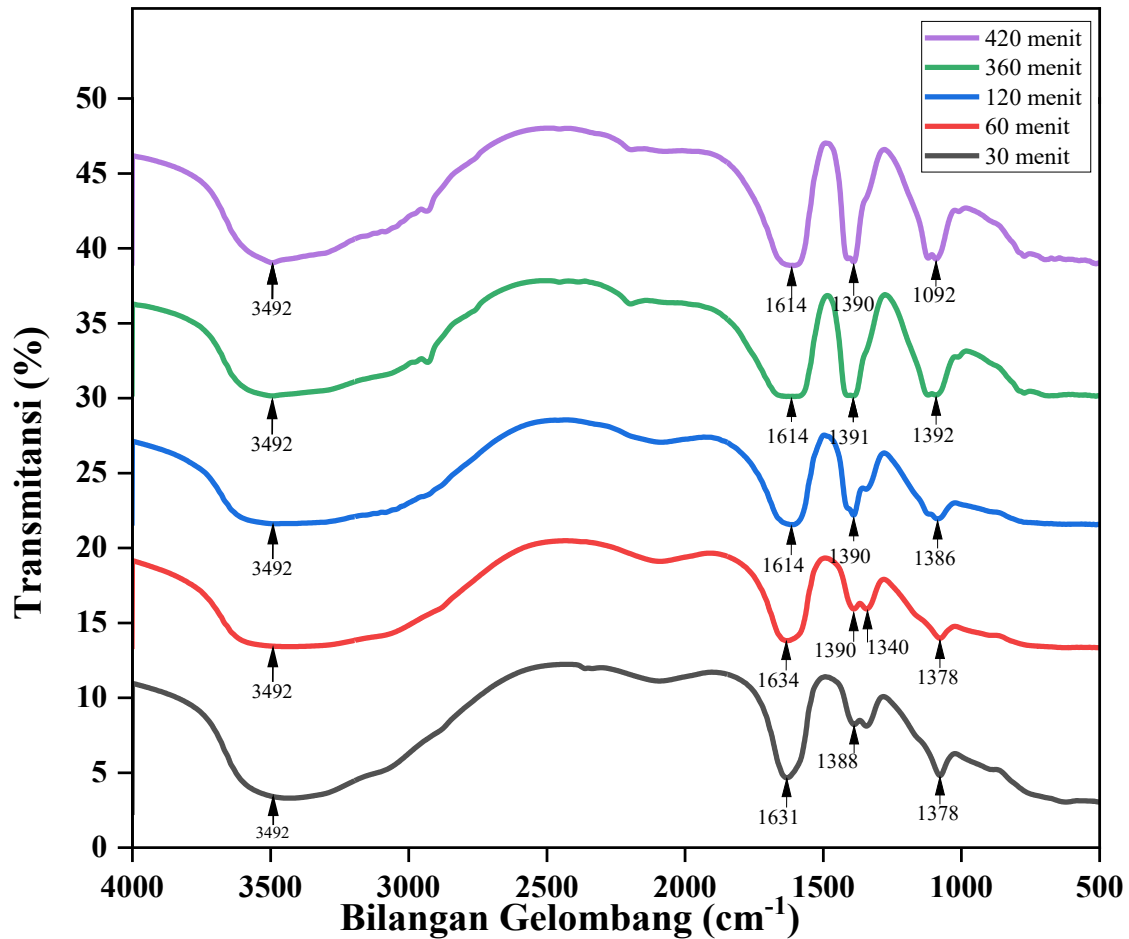
Analisis Spektrofotometer FTIR

Analisis spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) digunakan untuk melihat struktur molekul dan mengidentifikasi gugus fungsi pada ALF-MOF yang telah disintesis. Analisis ini dipilih karena kemampuannya untuk memberikan informasi detail tentang ikatan kimia dan struktur molekul melalui penyerapan radiasi inframerah. Keberadaan gugus fungsi dalam ALF-MOF dapat digambarkan melalui spektrum FTIR yang dihasilkan. Hal ini juga membantu dalam verifikasi keberhasilan sintesis dan tingkat kemurnian produk yang dihasilkan.



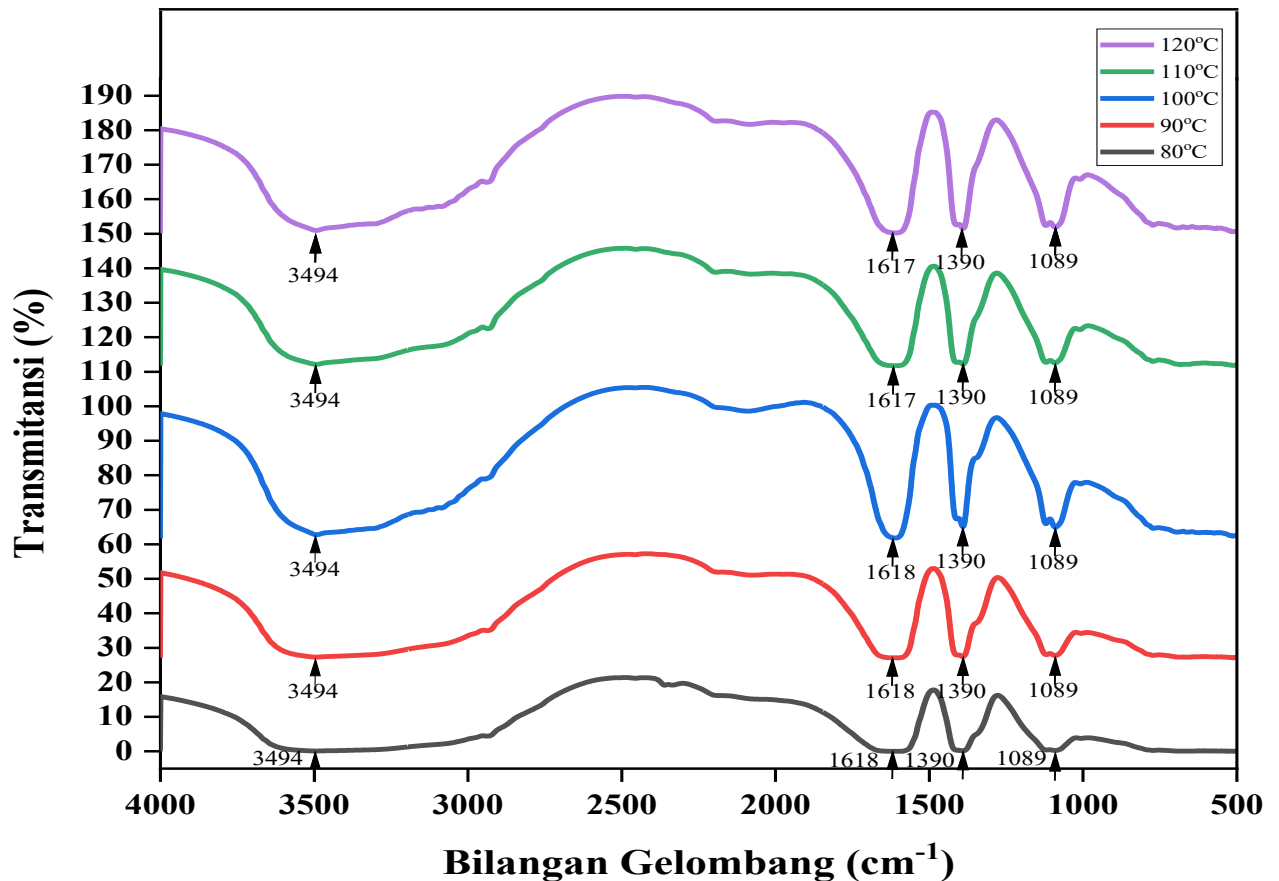
Gambar 3. Spektrum FTIR Al(OH)_3 lab dan Al(OH)_3 dari kaleng

Berdasarkan dari hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 3 analisis FTIR pada Al(OH)_3 hasil ekstraksi dari sampah kaleng dilakukan guna mengidentifikasi keberhasilan sintesis Al(OH)_3 dengan bahan baku aluminium dari sampah kaleng minuman yang di sandingkan dengan spektrum Al(OH)_3 teknis. Puncak lebar dalam spektrum Al(OH)_3 pada keduanya sama memiliki bilangan gelombang 3516 cm^{-1} yang mewakili gugus O-H dalam Al(OH)_3 . Hal ini menunjukkan bahwa Al(OH)_3 berhasil disintesis dari bahan baku sampah kaleng minuman yang dilarutkan dengan NaOH yang menjadi NaAlO_2 , yang selanjutnya diendapkan dengan HCl sehingga didapat Al(OH)_3 .



Gambar 4. Spektrum FTIR ALF-MOF Pada Variasi Waktu

Berdasarkan Gambar 4, analisis FTIR menunjukkan bahwasanya terdapat puncak adsorpsi yang cukup signifikan pada variasi 30, 60, 120, 360 dan 420 menit dengan contoh bilangan gelombang yang diambil pada 360 menit karena mendapatkan hasil *yield* yang baik, yaitu 1614, 1391 dan 1092 cm^{-1} , yang dimana puncak tersebut merupakan karakteristik gugus karboksil yang muncul dalam spektrum FTIR ALF-MOF. Semua bilangan gelombang yang terdapat pada spektrum variasi waktu tersebut masuk dalam rentang bilangan gelombang yang menunjukkan karakteristik gugus karbonil (St.Thomas, 2020). Puncak yang kuat terlihat pada bilangan gelombang 1614 dan 1391 cm^{-1} di variasi waktu 360 menit puncak tersebut menunjukkan gugus yang bergandengan yaitu gugus -COO-, karena delokalisasi elektron pada dua atom oksigen.



Gambar 5. Spektrum FTIR ALF-MOF Pada Variasi Suhu

Lalu pada Gambar 5, analisis FTIR mengidentifikasi puncak adsorpsi yang sama seperti Gambar 4 pada variasi suhu 80°C, 90°C, 100°C, 110°C dan 120°C contoh bilangan gelombang yang di ambil pada 100°C karena merupakan hasil *yield* baik, yaitu 1618, 1390 dan 1089 cm^{-1} bilangan tersebut sama menunjukkan karakteristik gugus karboksil, dan semua bilangan gelombang yang terdapat pada spektrum FTIR ALF-MOF variasi suhu tersebut masuk dalam rentang bilangan gelombang yang menunjukkan karakteristik gugus karboksil (St.Thomas, 2020). Puncak kuat yang terlihat pada spektrum FTIR ini yaitu pada 1618 cm^{-1} dan 1390 cm^{-1} dimana teridentifikasi bahwa menunjukkan gugus fungsi yang sama pada Gambar 3 yaitu gugus $-\text{COO}-$.

Menurut Xue dkk., (2018) puncak yang muncul pada 1090 cm^{-1} mengindikasikan adanya kelompok ikatan $\text{R-O-R}'$ yang dipertimbangkan gugus tersebut merupakan ikatan Al-O-Al yang terbentuk dalam sistem rekasi ini. Dapat dilihat pada Gambar 3, 4 dan 6 bilangan gelombang yang muncul yaitu pada 1078, 1089 dan 1092 cm^{-1} , yang dimana

masih pada rentang gugus R-O-R' dengan indikasi gugus tersebut adalah Al-O-Al (St.Thomas, 2020).

Maka kesesuaian antara hasil penelitian dan data referensi dari literatur dapat memberikan bukti bahwa proses ekstraksi sampah kaleng minuman menjadi aluminium hidroksida $Al(OH)_3$ yang kemudian disintesis menjadi aluminium *format metal organic framework* (ALF-MOF) telah berhasil dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa metode sintesis yang digunakan efektif dalam menghasilkan aluminium hidroksida dari bahan baku limbah, yang memiliki potensi signifikan untuk aplikasi lebih lanjut, contohnya pembuatan koagulan, katalisis, hingga penyimpanan gas. Dikarenakan keterbatasan waktu penelitian karakterisasi pembentukan MOF hanya FTIR

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian mengenai pengaruh waktu dan suhu sintesis pada ALF-MOF dengan menggunakan metode solvotermal maka dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu reaksi optimum tercapai pada 360 menit dengan suhu $100^\circ C$ dan diperoleh *yield* ALF-MOF sebesar 23,04%. Sedangkan suhu optimum diperoleh pada $100^\circ C$ dengan waktu reaksi 360 menit dan didapat *yield* ALF-MOF sebesar 23,01% dan hasil analisis FTIR yang telah dilakukan bahwa keberhasilan sintesis ALF-MOF ditunjukkan dengan terbentuknya gugus fungsional Al-O-Al pada bilangan gelombang $1089-1092\text{ cm}^{-1}$.

Daftar Referensi

- Evans, H. A., Mullangi, D., Deng, Z., Wang, Y., Peh, S. B., Wei, F., Wang, J., Brown, C. M., Zhao, D., Canepa, P., & Cheetham, A. K. (2022). Aluminum formate, $Al(HCOO)_3$: An earth-abundant, scalable, and highly selective material for CO_2 capture. *Science Advances*, 8(44). <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade1473>
- Mahreni, Ristianingsih, Y., & Suhascaryo, N. (2020). *Sintesis Dan Aplikasi Material Baru Kerangka Logam Organik (Metal Organic Framework, MOF)*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UPN Veteran Yogyakarta.
- Parmadi, F. A., Nujannah, N., Ramadhani, M. A. Y., Wulandari, A., Anjasmoro, & Arifin, Z. (2024). Optimasi Sintesis Aluminium format-Metal Organic Framework

Menggunakan Metode Permukaan Respon. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif*, 10(1).

SIPSN. (2023). *Komposisi Sampah*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>

St.Thomas. (2020). *Spectroscopic Tools*. <https://www.science-and-fun.de/tools/>

Sulistiyo, Y. A., Ediati, R., Nadjib, M., & Prasetyo, D. (2015). Pola Pertumbuhan Kristal ZIF-8 Hasil Sintesis Secara Solvotermal Pada Suhu Rendah. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 145–147.

Xue, M., Gao, B., Li, R., & Sun, J. (2018). Aluminum formate (AF): Synthesis, characterization and application in dye wastewater treatment. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 74, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.02.013>

Yusuf, V. F., Malek, N. I., & Kailasa, S. K. (2022). Review on Metal-Organic Framework Classification, Synthetic Approaches, and Influencing Factors: Applications in Energy, Drug Delivery, and Wastewater Treatment. *ACS Omega*, 7(49), 44507–44531. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05310>