

HALAMAN PERSETUJUAN TIM PROMOTOR	3
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI	4
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	6
PRAKATA.....	7
DAFTAR ISI.....	8
DAFTAR TABEL.....	11
DAFTAR GAMBAR	12
DAFTAR LAMPIRAN	16
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	17
INTISARI	19
ABSTRACT.....	20
BAB I PENDAHULUAN.....	21
1.1. Latar Belakang.....	21
1.2. Rumusan dan Batasan Masalah	25
1.3. Kebaruan Penelitian	26
1.4. Tujuan Penelitian	28
1.5. Manfaat Penelitian	28
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	29
2.1. Tinjauan Pustaka.....	29
2.1.1. Potensi Ekstraksi Litium dari Sumber Geothermal Brine	29
2.1.2. Metode <i>Ion Sieve Adsorption</i> Berbasis Titanium dalam Prospek Ekstraksi Litium.....	32
2.1.3. Pengembangan Stabilitas Metode Adsorpsi Ion Berbasis Titanium dengan Pendekatan Stabilisator Kitosan	38
2.1.4. Mekanisme adsorpsi dan desorpsi pada sistem <i>ion sieve adsorption</i>	42
2.2. Landasan Teori	46
2.2.1. Penentuan Model dan Konstanta Reaksi <i>Solid State Reaction</i>	46
2.2.2. Pemilihan Model dan Konstanta Kesetimbangan Isotermal Adsorpsi.....	48
2.2.2.1 Isoterm Langmuir.....	49
2.2.2.2 Isoterm Freundlich	50

2.2.2.3 Isoterm Temkin	50
2.2.2.4 Isoterm Dubinin–Radushkevich (D–R)	51
2.2.2.5 Isoterm Henry	51
2.2.3. Kinetika adsorpsi	52
2.2.3.1 Model shrinking–core	52
2.2.3.2 Model Pseudo First Order (PFO)	57
2.2.3.3 Model Pseudo Second Order (PSO)	57
2.2.3.4 Model Weber–Morris	58
2.2.3.5 Model Elovich	58
2.2.4. Persamaan Arrhenius	58
2.2.5. Meminimalkan Dampak SSE (<i>Sum of Squared Errors</i>)	59
2.2.6. Kapasitas Adsorpsi litium	60
2.3. Hipotesis	61
BAB III METODE PENELITIAN	62
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	62
3.2. Bahan dan Alat Penelitian	62
3.3. Prosedur Penelitian	63
3.3.1. Proses sintesis adsorben Litium Titanium Oxide ($\text{Li}_2\text{TiO}_3/\text{LTO}$)	63
3.3.2. Proses pembentukan kitosan–LTO	63
3.3.3. Proses desorpsi litium (delitiasi) menggunakan asam klorida	64
3.3.4. Uji dan karakterisasi	64
3.4. Variabel Penelitian	67
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	68
4.1. Analisis Perilaku Termal Prekursor $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$ tanpa dan dengan Modifikasi Kitosan	68
4.2. Identifikasi Struktur Kristalografi untuk LTO–HTO	70
4.3. Identifikasi Kelompok Fungsional dan Perubahan Struktural untuk LTO–HTO	74
4.4. Analisis Morfologi dan Komposisi Elemental untuk LTO–HTO	79
4.5. Distribusi Ukuran Partikel untuk LTO–HTO	83
4.6. Optimasi Parameter Sintesis untuk LTO–HTO Tanpa dan dengan Kitosan	85
4.7. Karakteristik Luas Permukaan dan Struktur Pori (Analisis BET) pada Material HTO dan CH–HTO	94

4.8. Pemodelan Matematika Solid–State Reaction untuk LTO–HTO.....	96
4.9. Analisis Performa Berdasarkan Siklus pada Adsorben Berbasis Titanium untuk LTO–HTO.....	101
4.10. Isoterm Adsorpsi.....	104
4.11. Evaluasi Kinetika Adsorpsi Litium oleh H_2TiO_3	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	120
5.1. Kesimpulan.....	120
5.2. Saran.....	121
DAFTAR PUSTAKA.....	123
LAMPIRAN.....	130
A. Spesifikasi Kitosan	130
B. Analisis PSA.....	131
C. Analisis ICP.....	133
D. Analisis BET	137
E. Perhitungan Isoterm.....	138
F. Data Penjerapan Litium sebagai Fungsi Waktu	143
G. Perhitungan Kinetika	144

Tabel 1. Penelitian terkait metode pemulihan litium.....	26
Tabel 2. Komposisi <i>geothermal brine</i> di beberapa lokasi di Indonesia (Purnomo dan Pichler, 2014).....	32
Tabel 3. Komposisi kitosan rajungan dan udang (Lee dkk., 2018).....	40
Tabel 4. Radius ion dari beberapa ion di dalam <i>geothermal brine</i> (Wei dkk., 2020)	44
Tabel 5. Energi hidrasi dari litium dan magnesium (Wei dkk., 2020)	44
Tabel 6. Nilai $g(\alpha)$ berdasarkan berbagai model.....	48
Tabel 7. Perbandingan jarak antar bidang kristal (d-spacing) LTO dan HTO berdasarkan analisis XRD	73
Tabel 8. Perbandingan fitur spektral FTIR dari Li_2TiO_3 (LTO) dan H_2TiO_3 (HTO) sebelum dan setelah delitiasi.....	77
Tabel 9. Ringkasan parameter statistik model Metodologi Permukaan Respons (RSM) untuk kapasitas adsorpsi litium pada proses pembuatan adsorben LTO.....	87
Tabel 10. Ringkasan parameter statistik utama model RSM (komponen linier) untuk respon berbasis rasio Gelatine/Chitosan.....	92
Tabel 11. Perbandingan kinerja berbagai model kinetika reaksi padat berdasarkan nilai <i>sum of squared errors</i> (SSE) pada berbagai rasio molar Li/Ti dalam sintesis LTO.....	98
Tabel 12. Energi aktivasi (E_a) dan faktor pra-eksponensial (A) dari SSE fitting menggunakan model terpilih pada berbagai rasio molar Li/Ti.....	99
Tabel 13. Perbandingan nilai <i>sum of squared errors</i> (SSE) dari berbagai model kinetika reaksi padat untuk <i>lithium-ion sieve</i> berbasis titanium yang distabilisasi dengan kitosan (CH-LTO) pada berbagai rasio gelatin:kitosan.....	99
Tabel 14. Parameter kinetika yang dihitung (faktor praeksponensial dan energi aktivasi) untuk berbagai rasio massa gelatin terhadap kitosan.	101
Tabel 15. Ringkasan parameter isoterm dan metrik kecocokan penjerapan Li^+ pada H_2TiO_3 (NC vs C)	109
Tabel 16. Ringkasan gabungan parameter kinetika adsorpsi Li^+ (NC vs C) pada 30–70 °C dengan menggunakan beberapa model kinetika	117

Gambar 1. Grafik produksi dan kebutuhan litium dunia hingga tahun 2050 (Vikström dkk., 2013).....	22
Gambar 2. Produksi dan cadangan litium global pada tahun 2021 (Suparno dan Yuliatin, 2020; U.S Geological Survey, 2022).....	23
Gambar 3. Aplikasi litium di pasar global pada tahun 2021 (U.S Geological Survey, 2022).....	29
Gambar 4. Jenis-jenis sumber primer litium (Murodjon dkk., 2020).	30
Gambar 5. Peta lokasi sistem geotermal di Sumatera hingga Nusa Tenggara (Purnomo dan Pichler, 2014)	31
Gambar 6. Skema umum pembuatan <i>lithium ion sieve</i> (LIS) dan efek <i>ion sieve</i> (Weng dkk., 2020).....	33
Gambar 7. Struktur kristal TiO ₂ (Pelaez dkk., 2012)	34
Gambar 8. Mekanisme Pembentukan Li ₂ TiO ₃ (LTO) (Shivajirao dan Mandal, 2013).36	
Gambar 9. Analisis XRD dari (a) Li ₂ TiO ₃ (b) H ₂ TiO ₃ sebelum adsorpsi (c) H ₂ TiO ₃ setelah adsorpsi (Shi dkk., 2013)	37
Gambar 10. Gambar analisis SEM dari (a) Li ₂ TiO ₃ (b) H ₂ TiO ₃ sebelum adsorpsi (c) H ₂ TiO ₃ setelah adsorpsi (Shi dkk., 2013).....	38
Gambar 11. Deasetilasi kitin	39
Gambar 12. Reaksi hidrolisis amida antara kitosan dan gelatin (Gharaie dkk., 2018)..41	
Gambar 13. Mekanisme pembuatan lapisan kitosan ke dalam sistem pembuatan LTO (Han dkk., 2024)	41
Gambar 14. Perbandingan struktur adsorben tanpa dan dengan modifikasi.....42	
Gambar 15. (a) kapasitas adsorpsi (b) Nilai Zeta Potensial disetiap variasi pH	43
Gambar 16. Mekanisme adsorpsi dan desorpsi dalam sistem <i>ion sieve adsorption</i>43	
Gambar 17. Diagram electric double layer (Park dan Seo, 2011).....45	
Gambar 18. Skema mekanisme adsorpsi berbasis pendekatan <i>shrinking–core</i> yang melibatkan difusi melalui lapisan film cair, difusi internal dalam lapisan difusi intrapartikel, serta proses <i>ion–exchange</i> pada situs aktif adsorben (Levenspiel, 1999)..53	
Gambar 19. Rangkaian peralatan desorpsi, pembuatan adsorben, pembuatan kitosan, dan adsorpsi litium.....63	
Gambar 20. Diagram alir penelitian	66
Gambar 21. Kurva analisis termogravimetri (TGA) dan kalorimetri pemindaian diferensial (DSC) pada laju pemanasan 9 °C/menit dan rasio mol Li/Ti = 2: (a) adsorben Li ₂ TiO ₃ (LTO) tanpa modifikasi, dan (b) adsorben LTO termodifikasi kitosan–gelatin dengan rasio massa kitosan:gelatin = 1:1 sebagai peningkat stabilitas termal dan struktural.....69	
Gambar 22. (a) Grafik analisis TGA dan (b) Grafik analisis DSC untuk berbagai laju pemanasan dan rasio mol Li/Ti sebesar 2.....69	
Gambar 23 Difraktogram sinar–X (XRD) adsorben berbasis titanium sebelum dan sesudah proses delitiasi, menunjukkan fase Li ₂ TiO ₃ (LTO) dan H ₂ TiO ₃ (HTO). Pola difraksi dianalisis berdasarkan database standar ICDD–PDF menggunakan perangkat	

X'Pert HighScore. Tidak teramati perbedaan posisi puncak difraksi antara sistem tanpa dan dengan modifikasi kitosan, yang menunjukkan bahwa penambahan kitosan tidak mengubah struktur kristal utama adsorben.71

Gambar 24. Pola difraksi sinar-X (XRD) Li_2TiO_3 yang dikalsinasi pada berbagai suhu (550–900 °C).....72

Gambar 25. Pola difraksi sinar-X (XRD) Li_2TiO_3 pada berbagai rasio mol Li/Ti.74

Gambar 26. Spektrum Fourier Transform Infrared (FTIR) Li_2TiO_3 (LTO) dan H_2TiO_3 (HTO) yang menunjukkan perubahan gugus fungsional akibat proses delitiasi: (a) adsorben tanpa modifikasi kitosan dan (b) adsorben termodifikasi kitosan–gelatin. Munculnya pita O–H dan Ti–OH serta perubahan intensitas pita Li–O mengonfirmasi terjadinya substitusi Li^+ oleh H^+ , sementara tidak teramati perbedaan gugus fungsional anorganik utama antara kedua sistem.....76

Gambar 27. Spektrum FTIR material $\text{Li}_2\text{TiO}_3/\text{LTO}$ pada berbagai temperatur kalsinasi (550–900 °C) yang menunjukkan perubahan pita O–H, CO_3^{2-} , Ti–OH, serta vibrasi Li–O dan Ti–O.78

Gambar 28. Spektrum FTIR $\text{Li}_2\text{TiO}_3/\text{HTO}$ pada variasi rasio mol Li/Ti yang menunjukkan penguatan vibrasi Li–O dan Ti–O pada rasio stoikiometri serta munculnya residu karbonat pada rasio Li berlebih.79

Gambar 29. Citra SEM pada perbesaran 50.000× yang menunjukkan perbandingan morfologi adsorben berbasis titanium: (a) LTO tanpa kitosan, (b) HTO tanpa kitosan, (c) LTO dengan kitosan, dan (d) HTO dengan kitosan. Keberadaan kitosan memengaruhi evolusi mikrostruktur material, terutama setelah proses delitiasi, yang ditandai dengan perubahan tingkat aglomerasi, ukuran partikel primer, dan homogenitas distribusi. Efek penghalusan partikel paling jelas diamati pada material HTO dengan kitosan.81

Gambar 30. Pemetaan unsur EDX pada adsorben berbasis titanium tanpa dan dengan kitosan: (a) LTO tanpa kitosan, (b) HTO tanpa kitosan, (c) LTO dengan kitosan, dan (d) HTO dengan kitosan. Pemetaan EDX menampilkan distribusi unsur C (merah), O (hijau), dan Ti (biru). Hasil pemetaan menunjukkan homogenitas distribusi Ti–O pada seluruh sampel, serta keberadaan karbon yang lebih merata pada material termodifikasi sebagai indikator integrasi kitosan.....82

Gambar 31. Distribusi ukuran partikel adsorben HTO berdasarkan analisis distribusi ukuran (particle size distribution): (a) HTO tanpa kitosan dan (b) HTO dengan kitosan.84

Gambar 32. Hasil optimasi kapasitas adsorpsi litium adsorben HTO tanpa kitosan berdasarkan analisis ICP–OES: (a) pengaruh laju pemanasan (*heating rate*) pada berbagai suhu kalsinasi terhadap kapasitas adsorpsi litium, dan (b) pengaruh rasio mol Li/Ti terhadap kapasitas adsorpsi litium pada berbagai suhu kalsinasi. Data menunjukkan adanya kondisi optimum sintesis yang memaksimalkan kapasitas adsorpsi litium.....86

Gambar 33. (a) Plot kontur dan (b) plot permukaan 3D rasio mol Li/Ti vs. laju pemanasan; (c) plot kontur dan (d) plot permukaan 3D suhu vs. laju pemanasan; (e) plot kontur dan (f) plot permukaan 3D rasio mol Li/Ti vs. suhu.88

Gambar 34. Bagan Pareto yang menunjukkan parameter–parameter berpengaruh dalam proses sintesis LTO terhadap kapasitas adsorben.89

Gambar 35. Kinetika adsorpsi litium dari <i>lithium-ion sieve</i> berbasis titanium dengan dan tanpa kitosan pada berbagai rasio massa gelatin terhadap kitosan pada suhu 850 °C. ...	91
Gambar 36. Plot kontur (a) dan plot permukaan 3D (b) yang menunjukkan pengaruh suhu kalsinasi dan rasio massa kitosan terhadap gelatin terhadap kapasitas adsorpsi dari CH–LTO.	93
Gambar 37. Diagram Pareto yang menunjukkan efek standar dari suhu kalsinasi (A), rasio massa kitosan terhadap gelatin (B), dan interaksi antara keduanya terhadap kapasitas adsorpsi litium dari CH–LTO.	93
Gambar 38. Pengaruh temperatur kalsinasi terhadap karakteristik pori material LTO/HTO hasil sintesis reaksi padat $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$: (a) luas permukaan spesifik dan volume pori total; (b) distribusi volume pori sebagai fungsi radius pori ($dV(\log r)$).	95
Gambar 39. Pengaruh rasio molar Li/Ti terhadap karakteristik pori material LTO/HTO hasil sintesis reaksi padat $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$: (a) luas permukaan spesifik dan volume pori total; (b) <i>pore size distribution</i> (PSD) yang dinyatakan sebagai $dV(\log r)$ terhadap radius pori.....	95
Gambar 40. Pengaruh rasio massa gelatin:kitosan terhadap karakteristik pori material CH–LTO–HTO hasil sintesis reaksi padat $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$: (a) luas permukaan spesifik dan volume pori total; (b) <i>pore size distribution</i> (PSD) yang dinyatakan sebagai $dV(\log r)$ terhadap radius pori.	96
Gambar 41. Perbandingan antara data eksperimental (Exp.) dan data terhitung (Cal.) berdasarkan model kinetika terbaik pada berbagai suhu kalsinasi untuk rasio massa gelatin terhadap kitosan: (a) 2:1, (b) 1:2, dan (c) 1:1.	100
Gambar 42. Evaluasi kinerja adsorben berbasis titanium (HTO, CH–HTO, dan HMO*) selama siklus regenerasi (* berdasarkan Song dkk. (2024)) (Song dkk., 2024).....	102
Gambar 43. Pelindian titanium pada CH–HTO tetap rendah dan stabil, menandakan ketahanan struktur yang lebih baik dibandingkan HTO.....	103
Gambar 44. Isoterm Langmuir untuk penjerapan Li^+ pada HTO dan CH–HTO (Simbol menunjukkan data eksperimen, garis menunjukkan hasil fitting).....	104
Gambar 45. Isoterm Freundlich untuk penjerapan Li^+ pada HTO dan CH–HTO (Simbol menunjukkan data eksperimen, garis menunjukkan hasil fitting).....	105
Gambar 46. Isoterm Temkin untuk penjerapan Li^+ pada HTO dan CH–HTO (Simbol menunjukkan data eksperimen, garis menunjukkan hasil fitting).....	106
Gambar 47. Isoterm Dubinin–Radushkevich untuk penjerapan Li^+ pada HTO dan CH–HTO (Simbol menunjukkan data eksperimen, garis menunjukkan hasil fitting).	107
Gambar 48. Isoterm Henry untuk penjerapan Li^+ pada HTO dan CH–HTO (Simbol menunjukkan data eksperimen, garis menunjukkan hasil fitting).....	108
Gambar 49. (a)Perubahan konsentrasi litium terhadap waktu pada berbagai temperatur menggunakan adsorben termodifikasi kitosan (C) (b) serta perbandingan kinerja adsorben tanpa modifikasi (NC) dan termodifikasi kitosan (C) pada pH 10 dan temperatur 70 °C.	110
Gambar 50. Fitting <i>Shrinking Core Model</i> (SCM) adsorpsi Li^+ oleh H_2TiO_3 pada 30, 50, dan 70 °C untuk NC dan C. Panel: (a) NC–30 °C, (b) C–30 °C, (c) NC–50 °C, (d) C–50 °C, (e) NC–70 °C, (f) C–70 °C.	112

- Gambar 51.** Fitting kinetika *pseudo first order* (PFO) adsorpsi Li^+ oleh H_2TiO_3 pada berbagai suhu, dengan perbandingan material tanpa kitosan (NC) dan dengan kitosan (C). Panel menunjukkan hasil pada: (a) 30 °C, (b) 50 °C, dan (c) 70 °C..... 113
- Gambar 52.** Fitting kinetika *pseudo second order* (PSO) adsorpsi Li^+ oleh H_2TiO_3 pada berbagai suhu, dengan perbandingan material tanpa kitosan (NC) dan dengan kitosan (C). Panel menunjukkan hasil pada: (a) 30 °C, (b) 50 °C, dan (c) 70 °C..... 114
- Gambar 53.** Plot Weber–Morris untuk analisis difusi intrapartikel pada adsorpsi Li^+ oleh H_2TiO_3 pada berbagai suhu, dengan perbandingan material tanpa kitosan (NC) dan dengan kitosan (C). Panel menunjukkan hasil pada: (a) 30 °C, (b) 50 °C, dan (c) 70 °C. 115
- Gambar 54.** Plot Elovich untuk analisis kinetika adsorpsi Li^+ oleh H_2TiO_3 pada berbagai suhu, dengan perbandingan material tanpa kitosan (NC) dan dengan kitosan (C). Panel menunjukkan hasil pada: (a) 30 °C, (b) 50 °C, dan (c) 70 °C. 116
- Gambar 55.** Plot Arrhenius konstanta laju model terpilih pada 303, 323, dan 343 K. Panel (a) $\ln k_1$ terhadap $1/T$ untuk NC berdasarkan model pseudo orde pertama. Panel (b) $\ln k_2$ terhadap $1/T$ untuk C berdasarkan model pseudo orde pertama. 118

A. Spesifikasi Kitosan	130
B. Analisis PSA.....	131
C. Analisis ICP.....	133
D. Analisis BET	137
E. Perhitungan Isoterm.....	138
F. Data Penjerapan Litium sebagai Fungsi Waktu	143
G. Perhitungan Kinetika	144

DAFTAR ARTI LAMBANG		
Lambang	Arti	Satuan
q_t	Kapasitas adsorpsi pada waktu t	mg g^{-1}
q_e	Kapasitas adsorpsi pada keadaan setimbang	mg g^{-1}
q_m	Kapasitas adsorpsi maksimum	mg g^{-1}
C_0	Konsentrasi awal ion Li^+	mg L^{-1}
C_t	Konsentrasi ion Li^+ pada waktu t	mg L^{-1}
C_e	Konsentrasi ion Li^+ pada keadaan setimbang	mg L^{-1}
V	Volume larutan	L
m	Massa adsorben	g
t	Waktu	menit
T	Temperatur absolut	K
K_L	Konstanta isoterm Langmuir	L mg^{-1}
R_L	Faktor pemisahan Langmuir	–
K_F	Konstanta isoterm Freundlich	$(\text{mg g}^{-1})(\text{L mg}^{-1})^{1/n}$
n	Faktor heterogenitas permukaan Freundlich	–
B	Konstanta isoterm Dubinin–Radushkevich	$\text{mol}^2 \text{J}^{-2}$
E	Energi adsorpsi rata-rata	kJ mol^{-1}
ε	Potensial Polanyi	J mol^{-1}
K_H	Konstanta Henry	L g^{-1}
k_1	Konstanta laju kinetika orde semu pertama	menit^{-1}
k_2	Konstanta laju kinetika orde semu kedua	$\text{g mg}^{-1} \text{menit}^{-1}$
k_{id}	Konstanta difusi intrapartikel	$\text{mg g}^{-1} \text{menit}^{-1/2}$
C	Ketebalan lapisan batas	mg g^{-1}
X	Derajat konversi adsorpsi	–
r_0	Jari-jari awal partikel adsorben	m
D_e	Koefisien difusi efektif	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
k_s	Konstanta reaksi permukaan	m s^{-1}
ΔG°	Perubahan energi bebas Gibbs	kJ mol^{-1}
ΔH°	Perubahan entalpi adsorpsi	kJ mol^{-1}
ΔS°	Perubahan entropi adsorpsi	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
K_c	Konstanta kesetimbangan termodinamika	–
R	Konstanta gas universal	$8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
k	Konstanta laju reaksi	variatif
A	Faktor pra-eksponensial Arrhenius	variatif
E_a	Energi aktivasi	kJ mol^{-1}
SSE	<i>Sum of Squared Errors</i>	–
Resnorm	Residual norm	–
R^2	Koefisien determinasi	–

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
LIS	<i>Lithium Ion Sieve</i>
LTO	<i>Lithium Titanium Oxide (Li₂TiO₃)</i>
HTO	<i>Hydrogen Titanium Oxide (H₂TiO₃)</i>
CH-HTO	<i>Chitosan-modified Hydrogen Titanium Oxide</i>
Ti-CH LIS	<i>Chitosan-stabilized Titanium-based Lithium Ion Sieve</i>
LMO	<i>Lithium Manganese Oxide</i>
HMO	<i>Hydrogen Manganese Oxide</i>
BET	<i>Brunauer-Emmett-Teller</i>
BJH	<i>Barrett-Joyner-Halenda</i>
XRD	<i>X-ray Diffraction</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
EDX	<i>Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy</i>
PSA	<i>Particle Size Analysis</i>
PSD	<i>Pore Size Distribution</i>
DLS	<i>Dynamic Light Scattering</i>
TGA	<i>Thermogravimetric Analysis</i>
DSC	<i>Differential Scanning Calorimetry</i>
RSM	<i>Metodologi Permukaan Respons</i>
SCM	<i>Shrinking Core Model</i>
SSE	<i>Sum of Squared Errors</i>
R ²	<i>Koefisien Determinasi</i>
ICP	<i>Inductively Coupled Plasma</i>
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy</i>
ICDD	<i>International Centre for Diffraction Data</i>
PDF	<i>Powder Diffraction File</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
LIB	<i>Lithium-Ion Battery</i>
NC	<i>Proses pembuatan adsorben tanpa modifikasi</i>
C	<i>Proses pembuatan adsorben dengan modifikasi</i>