SKRIPSI

SINTESIS KOMPOSIT KARBON/ZEOLIT Na-Y TERMODIFIKASI NITROGEN DENGAN VARIASI RASIO MOL UREA/SUKROSA SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN HIDROGEN

RAHADIAN ABDUL RACHMAN
NRP. 01211440000023

Dosen Pembimbing I :
Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.

Dosen Pembimbing II :
Ir. Endang Purwanti Setyaningsih, M.T.

DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

SCRIPT

SYNTHESIS OF NITROGEN MODIFIED CARBON/ZEOLIT Na-Y COMPOSITE WITH VARIATION OF MOLE RATIO OF UREA/SUCROSE AS MATERIAL FOR HYDROGEN STORAGE

RAHADIAN ABDUL RACHMAN
NRP. 01211440000023

Supervisor I :
Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.

Supervisor II :
Ir. Endang Purwanti Setyaningsih, M.T.

CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF NATURAL SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

SINTESIS KOMPOSIT KARBON/ZEOLIT Na-Y TERMODIFIKASI NITROGEN DENGAN VARIASI RASIO MOL UREA/SUKROSA SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN HIDROGEN

SKRIPSI

Disusun Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Mata Kuliah Tugas Akhir di Departemen Kimia
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Disusun Oleh:

RAHADIAN ABDUL RACHMAN
NRP. 01211440000023

DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

SINTESIS KOMPOSIT KARBON/ZEOLIT Na-Y TERMODIFIKASI NITROGEN DENGAN VARIASI RASIO MOL UREA/SUKROSA SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN HIDROGEN

SKRIPSI

Oleh:

RAHADIAN ABDUL RACHMAN
NRP. 01211440000023

Surabaya, 24 Mei 2018
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,	Dosen Pembimbing II,
Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.	**Ir. Endang Purwanti S, M.T.**
NIP.19710425 199412 2 001	**NIP.19560110 198503 2 001**

Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia

Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.
NIP. 19710616 199703 1 002

Karya ini kupersembahkan untuk

Papa, Mama, Rindu Amalia

Rizka, Keluarga serta

ulva tri ita martia tercinta,

Sahabatku, kampung ceria

dan teman-teman GALAXY

SINTESIS KOMPOSIT KARBON/ZEOLIT Na-Y TERMODIFIKASI NITROGEN DENGAN VARIASI RASIO MOL UREA/SUKROSA SEBAGAI MATERIAL PENYIMPAN HIDROGEN

Nama : Rahadian Abdul Rachman
NRP : 01211440000023
Departemen : Kimia
Pembimbing I : Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.
Pembimbing II : Ir. Endang Purwanti Setyaningsih, M.T.

ABSTRAK

Sintesis karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi rasio mol urea/sukrosa sebesar ½, 1, 2, dan 4 telah berhasil dilakukan dengan metode hidrotermal pada suhu 100 ^{o}C selama 7 jam untuk sintesis zeolit Na-Y dan metode impregnasi disertai karbonisasi sederhana. Material dikarakterisasi dengan instrumen XRD, FTIR, SEM, Elemental Analyzer, dan Adsorpsi-desorpsi nitrogen. Hasil XRD menunjukkan bahwa material hasil sintesis memiliki puncak karakteristik yang sama dengan zeolit-Y. Hasil SEM memiliki morfologi oktahedral dan terdapat amorf karbon. *Elemental analyzer* menunjukkan kadar nitrogen dengan peningkatan rasio mol urea/sukrosa. Spektra FTIR karbon/zeolit termodifikasi nitrogen menunjukkan adanya vibrasi ulur C-N pada 1257-1326cm^{-1} ,vibrasi sp^{3} C-N pada 1430-1480cm^{-1} serta, vibrasi ulur C=N pada 1527-1547cm^{-1}. Kapasitas adsorpsi H_2 yang optimum pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0 sebesar 2,442% berat pada suhu 30 ^{o}C dan tekanan 1 bar dengan luas permukaan sebesar 267,21m^{2}/g, volume mikropori dan mesopori sebesar 0,13 dan 0,097cc/g. Kinetika adsorpsi hidrogen mengikuti reaksi orde dua semu dengan mengikuti korelai R^2 yaitu kapasitas adsorpsi selalu proporsional dengan banyaknya sisi aktif..

Kata Kunci : Adsorpsi, Hidrogen, Modifikasi, Nitrogen, Karbon/zeolit

SYNTHESIS OF NITROGEN MODIFIED CARBON/ZEOLITE Na-Y COMPOSITE WITH VARIATIONS OF MOLE RATIO OF UREA/SUCROSE AS MATERIAL FOR HYDROGEN STORAGE

Name : Rahadian Abdul Rachman
NRP : 01211440000023
Department : Chemistry
supervisor I : Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D.
supervisor II : Ir. Endang Purwanti Setyaningsih, M.T.

ABSTRACT

The nitrogen modified carbon/zeolite synthesis with ½, 1, 2, and 4 of urea mol ratio variations has been successfully performed by hydrothermal method at 100°C for 7 hours for zeolite Na-Y synthesis and impregnation method with simple carbonization using urea as precursors of nitrogen and sucrose as carbon precursors. The materails were characterized by XRD, FTIR, SEM, Elemental Analyzer and Fisisorption Isothermal N_2. The XRD pattern show that the synthesized material has the same characteristic peak with zeolite-Y. SEM had octahedral and amorf karbon morphology. Elemental analyzer shows increase the nitrogen content with increasing mole ratio of urea/sucrose. Nitrogen modified carbon/zeolite FTIR spectra showed a vibration of C-N at 1257-1326 cm^{-1}, vibration of sp3 C-N at 1430-1480 cm^{-1} and, C = N vibration at 1527-1547 cm^{-1}. The optimum hydrogen adsorption capacity results on nitrogen modified carbon/zeolite ratio of urea/sucrose mole at 2.0 by 2.442 wt% at 30 ^{o}C and 1 bar with surface area yield of 267.21m^2/g, micropore and mesoporous volume is 0.13 and 0.097cc/g. The hydrogen adsorption cinetic were suitable with kinetic model of pesudo-second-order with assuming that adsorption capacity depends on actived side.

Keywords: Adsorption, Hydrogen, Modification, Nitrogen, Carbon / zeolite

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga naskah skripsi yang berjudul "Sintesis komposit karbon/zeolit Na-Y termodifikasi nitrogen dengan variasi rasio mol urea/sukrosa sebagai material penyimpan hidrogen" dapat diselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung atas terselesaikannya tulisan ini, yaitu :

1. Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian naskah ini.
2. Ir. Endang Purwanti, M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian naskah ini.
3. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc selaku kepala departemen kimia yang telah memberikan fasilitas sehingga naskah ini dapat diselesaikan.
4. Dr. Ir. Endah Mutiara Marhaeni Putri, M.T. selaku dosen wali atas pengarahan dalam pengambilan mata kuliah.
5. Raji dan Siti Mardiah selaku orang tua saya yang selalu memberikan doa dan dukungan hingga naskah ini selesai.
6. Rindu Amalia Rizka dan Ulva Tri Ita Martia yang selalu menemani dan membantu sehingga naskah ini dapat diselesaikan.
7. Semua pihak yang telah membantu, yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan naskah ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut.

Surabaya, 24 Mei 2018
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iv
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 6
1.3 Tujuan 7
1.4 Batasan Masalah 7
1.5 Manfaat 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Material Penyimpan Hidrogen 9
2.2 Zeolit 11
2.3 Komposit Karbon/ Zeolit Termodifikasi Nitrogen 18
2.4 Karakterisasi Material 26
2.4.1 *X- Ray Diffraction* (XRD) 26
2.4.2 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 30
2.4.3 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 32
2.4.4 *Elemental Analyzer* 35
2.4.5 Adsorpsi-Desorpsi Isotermal N_2 36
2.5 Pengukuran Adsorpsi Hidrogen 42
2.6 Kinetika Adsorpsi 46
2.6.1 Kinetika Orde Satu Semu 46
2.6.2 Kinetika Orde Dua Semu 47
2.6.3 Kinetika Difusi Intra Partikel 48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 51

3.1Alat dan Bahan 51
3.1.1 Alat 51
3.1.2 Bahan 51
3.2 Prosedur 51
3.2.1 Sintesis Zeolit Na-Y.....51
3.2.2 Sintesis Karbon /Zeolit Termodifikasi Nitrogen ...52
3.3 Karakterisasi Komposit Karbon / Zeolit Termodifikasi Nitrogen 53
3.4 Penentuan Kapasitas Penangkap Hidrogen 54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....57
4.1 Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Na-Y 57
4.2 Sintesis dan Karakterisasi Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen. 61
4.3 Karakteristik Luas Permukaan dan Pori Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen.....75
4.4 Pengujian Adsorpsi Gas Hidrogen 80
4.5 Model Kinetika Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen.....88
BAB V. KESIMPULAN 95
5.1 Kesimpulan 95
5.2 Saran 95
DAFTAR PUSTAKA.....97
LAMPIRAN 113
LAMPIRAN A. Skema Kerja Penelitian.....113
LAMPIRAN B. Perhitungan Formula Zeolit-Y 114
LAMPIRAN C.Perhitungan Formula Rasio Mol Urea / Sukrosa.....120
LAMPIRAN D. Hasil Pola *X-Ray Diffraction* (XRD) 122
LAMPIRAN E. Fourier Transform Infrared (FTIR) 132
LAMPIRAN F. *Elemental Analyzer*.....139
LAMPIRAN G. *Scanning Electron Microscope* 140

LAMPIRAN H. Fisisorpsi Isotermal Nitrogen 142
LAMPIRAN I. Kapasitas Adsorpsi Hidrogen 156
LAMPIRAN J. Kinetika Adsorpsi Hidrogen 157
BIODATA PENULIS 191

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Material penyimpan hidrogen (a) Karbon (b) Zeolit A (c) Kompleks polimer dari logam Zn dan ligan benzilimidazol (bIm).....10
Gambar 2.2 Struktur kimia zeolit 11
Gambar 2.3 Struktur primer dan sekunder macam zeolit 12
Gambar 2.4 Skema alat difraksi sinar-X.....27
Gambar 2.5 Difraksi dari bidang kristal 28
Gambar 2.6 Pola XRD (a) Zeolit-Y hasil sintesis dan (b) zeolit-Y standar JCPDS No. 39-1380 29
Gambar 2.7 Pola XRD (a) Zeolit-Y hasil sintesis dan (b) Komposit karbon/zeolit-Y 30
Gambar 2.8 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 31
Gambar 2.9 Karakterisasi SEM (A) Zeolit Na-Y dan (B) Komposit karbon/zeolit.....32
Gambar 2.10 FTIR zeolit Na-Y (A) Bilangan gelombang 3620-3760 cm^{-1} dan (B) Bilangan gelombang 400-1250 cm^{-1} 34
Gambar 2.11 FTIR karbon termodifikasi nitrogen 35
Gambar 2.12 Tipe grafik adsorpsi isothermal berdasarkan IUPAC 38
Gambar 2.13 Luas Permukaan Karbon Termodifikasi Nitrogen 40
Gambar 2.14 Pengukuran adsorpsi hidrogen secara gravimetri 42
Gambar 3.1 Skema kerja pengukuran adsorpsi secara gravimetri saat proses *degassing* 55

Gambar 4.1 (A) *Seed gel*, (B) *Feedstock gel*, dan (C) *Overall gel* 58

Gambar 4.2 (A) Zeolit Na-Y hasil sintesis dari a*utoclave*, (B) Penyaringan dan penetralan zeolit Na-Y hasil sintesis, dan (C) Zeolit Na-Y hasil sintesis.....59
Gambar 4.3 Pola XRD (A) Zeolit Na-Y hasil sintesis dan (B) 60
Gambar 4.4 Reaksi hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa.....62
Gambar 4.5 Reaksi glukosa dan fruktosa dengan urea 63
Gambar 4.6 Molekul glukosa-urea dan fruktosa-urea yang masuk ke dalam pori *window* zeolite -Y.....64
Gambar 4.7 (A) Molekul sukrosa yang berhasil masuk ke dalam pori *window* zeolite -Y dan (B) Molekul sukrosa yang tidak berhasil masuk ke dalam pori *window* zeolit-Y.....65
Gambar 4.8 (A) Hasil Impregnasi sukrosa dan urea kedalam zeolit Na-Y dan (B) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen.....66
Gambar 4.9 *Framework* (A) Karbon dan (B) Karbon Termodifikasi Nitrogen 67
Gambar 4.10 Difraktogram XRD (A) Zeolit Na-Y (B) Karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (C) 0,5 (D) 1,0 (E) 2,0 (F) 4,0 69
Gambar 4.11 Mikrograf SEM (A) Zeolit Na-Y, Karbon/zeolit (B) Oktahedral (C) Karbon amorf, dan Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen 1,0 (D) Oktahedral (E) Karbon amorf.....70
Gambar 4.12 Spektra FTIR zeolit Na-Y, karbon/zeolit, dan karbon/zeolit termodifikasi nitorgen.....73
Gambar 4.13 Grafik adsorpsi-desorpsi N_2 (A) Zeolit Na-Y, Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (B) 0,5 (C) 1,0 (D) 2,0 (E) 4,0, dan (F) karbon/zeolit 76

Gambar 4.14 Distribusi ukuran pori dengan metode BJH karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (A) 0,5 (B)1 (C) 2 dan (D) 4..80
Gambar 4.15 Distribusi ukuran pori dengan metode HK karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (A) 0,5 (B)1 (C) 2 dan (D) 4..81
Gambar 4.16 Peningkatan hidrogen teradsorp (A) Komposit Karbon/Zeolit, (B) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (C) 0,5 (D) 1 (E) 2 dan (F) 4.....83
Gambar 4.17 Kapasitas adsorpsi hidrogen (A) Komposit Karbon/Zeolit, (B) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (C) 0,5 (D) 1 (E) 2 dan (F) 4.....84
Gambar 4.18 Plot model kinetika orde satu semu pada material (A) Karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (4).....89
Gambar 4.19 Plot model kinetika orde dua semu pada material (A) Karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (4).....90
Gambar 4.20 Plot model kinetika difusi intrapartikel pada material (A) Karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (4).....92

Gambar A.1 Skema Kerja Penelitian.....113
Gambar D.1 Difraktogram XRD dari Zeolit-Y.....122
Gambar D.2 Difraktogram XRD dari standar JCPDS No. 39-1380 zeolit-Y 124

Gambar D.3 Hasil Difraktogram XRD dari Karbon/Zeolit-Y 125
Gambar D.4 Hasil Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5 126
Gambar D.5 Hasil Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 1,0 128
Gambar D.6 Hasil Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 2,0 129
Gambar D.7 Hasil Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5 130
Gambar E.1 Hasil FTIR Zeolit Na-Y..... 132
Gambar E.2 Hasil FTIR Karbon/Zeolit.....133
Gambar E.3 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5.....134
Gambar E.4 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0.....135
Gambar E.5 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0.....136
Gambar E.6 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0.....137
Gambar F.1 Elemental Analyzer..... 139
Gambar G.1 Zeolit Na-Y..... 140
Gambar G.2 Karbon/Zeolit.....141
Gambar G.3 Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/sukrosa 1,0 141

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa performa zeolit dalam menangkap H_2.....13
Tabel 2.2 Kapasitas penyimpan hidrogen pada beberapa jenis zeolit.....14
Tabel 2.3 Ukuran karbon berpori.....16
Tabel 2.4 Adsorpsi hidrogen pada beberapa material karbon.17
Tabel 2.5 Karakteristik karbon tertemplat zeolit dengan prekursor berbagai karbon 19
Tabel 2.6 Kapasitas penyimpan hidrogen pada beberapa jenis karbon tertemplat zeolit 21
Tabel 2.7 Karakteristik karbon templat zeolit termodifikasi nitrogen dengan prekursor karbon yang berbeda....23
Tabel 2.8 Kapasitas Penyimpan Hidrogen Pada Beberapa Jenis KarbonTemplat Zeolit Termodifikasi Nitrogen.....25
Tabel 2.9 Elemental konten karbon/zeolit termodifikasi nitrogen 36
Tabel 2.10 Karakteristik luas permukaan dan pori material 41

Tabel 4.1 Pita serapan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen...72
Tabel 4.2 Perbandingan kadar karbon dan nitrogen pada sampel karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen 75
Tabel 4.3 Perbandingan karakteristik luas permukaan dan pori material hasil sintesis 78
Tabel 4.4 Perbandingan karakteristik distribusi ukuran pori dengan metode BJH 81
Tabel 4.5 Perbandingan karakteristik distribusi ukuran pori dengan metode HK 82
Tabel 4.6 Perbandingan kapasitas adsorpsi gas H_2 material hasil sintesis dengan material lainnya.....86

Tabel 4.7 Parameter model kinetika adsorpsi hidrogen pada karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen 93
Tabel B.1 Komposisi molar masing-masing bahan dalam 16,5 gram*seedgel*..... 116
Tabel B.2 Mol komponen dalam 16,5 gram *seed gel* 117
Tabel B.3 Rasio SiO_2 dan Al_2O_3 pada *feedstock gel : seed gel* 117
Tabel B.4 Massa zat yang digunakan dalam pembuatan *feedstock gel* dan *seed gel* 119
Tabel C.1 Perhitungan Rasio Mol Urea/Sukrosa..... 121
Tabel D.1 Data Hasil XRD Zeolit-Y..... 122
Tabel D.2 Data hasil standar JCPDS No. 39-1380 124
Tabel D.3 Data Hasil XRD Karbon/Zeolit-Y 125
Tabel D.4 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5..... 126
Tabel D.5 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 1,0..... 128
Tabel D.6 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 2,0..... 129
Tabel D.7 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5..... 131
Tabel E.1 Hasil FTIR Zeolit Na-Y..... 132
Tabel E.2 Hasil FTIR Karbon/Zeolit..... 133
Tabel E.3 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5 134
Tabel E.4 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0 135
Tabel E.5 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0 136
Tabel E.6 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0 138

Tabel I.1 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5 158
Tabel I.2 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0 160
Tabel I.3 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0 162
Tabel I.4 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0 164
Tabel J.1 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit 166
Tabel J.2 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 0,5 167
Tabel J.3 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 1, 0 169
Tabel J.4 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 2, 0 170
Tabel J.5 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 4, 0 172
Tabel J.6 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit..... 174
Tabel J.7 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 0,5 175
Tabel J.8 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 1, 0 177

Tabel J.9 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 2, 0 178
Tabel J.10 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 4, 0 180
Tabel J.11 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit 182
Tabel J.12 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 0,5 183
Tabel J.13 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 1, 0 185
Tabel J.14 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 2,0 186
Tabel J.15 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 4,0..... 188

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Skema Kerja Penelitian 113
LAMPIRAN B. Perhitungan Formula Zeolit-Y 114
LAMPIRAN C.Perhitungan Formula Rasio Mol Urea / Sukrosa.....120
LAMPIRAN D. Hasil Pola *X-Ray Diffraction* (XRD) 122
LAMPIRAN E. Fourier Transform Infrared (FTIR) 132
LAMPIRAN F. *Elemental Analyzer* 139
LAMPIRAN G. *Scanning Electron Microscope* 140
LAMPIRAN H. Fisisorpsi Isotermal Nitrogen.....142
LAMPIRAN I. Kapasitas Adsorpsi Hidrogen 156
LAMPIRAN J. Kinetika Adsorpsi Hidrogen.....157

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidrogen merupakan sumber energi yang ideal sebagai pengganti bahan bakar fosil karena dihasilkan dari sumber yang dapat diperbaharui serta tidak menimbulkan polutan. Energi hidrogen merupakan sistem energi non karbon yang berpotensi, sehingga mampu menggantikan bahan bakar fosil konvensional (Dutta dkk, 2013). Namun, gas hidrogen merupakan gas yang sangat reaktif dan mudah terbakar sehingga mengakibatkan masalah dalam penyimpanannya (Zhao dkk., 2013). Hal ini mendorong berbagai penelitian dikembangkan untuk mendapatkan material penyimpan hidrogen yang memiliki kapasitas adsorpsi relatif besar. Oleh karena itu, berbagai metode untuk penyimpanan hidrogen telah diusulkan meliputi penyimpanan dalam gas, cair, dan material padat. Beberapa penyimpanan telah digunakan untuk mengatasi permasalahan penyimpanan hidrogen antara lain tanki bertekanan tinggi (300-700 barr), serta *liquifaction* (penyimpanan hidrogen dalam wujud cair). Kedua cara ini kurang efisien karena energinya hilang sekitar 20-40% akibat adanya proses pendinginan (Krishna dkk, 2012). Hal ini menyebabkan muncul material berpori penyimpan hidrogen secara fisisorpsi maupun kemisorpsi. Material berpori memiliki kelebihan yaitu ringan, mudah terdesorpsi, murah dan kapasitas penyimpan hidrogennya mencapai hingga 9 % berat (Zhao dkk., 2008; Sculley dkk., 2011; Krishna dkk., 2012).

Beberapa material berpori yang hingga saat ini dikembangkan untuk adsorpsi hidrogen adalah material berpori seperti, zeolit (Langmi dkk., 2003 ; Dong dkk., 2007 ; Li dkk, 2006 ; Prasanth dkk., 2008; Siriwardane dkk., 2001), karbon

(Jiménez dkk, 2012; Akasaka dkk, 2011), MOF (*metal organic framework*) (Saha dkk, 2009) dan COF (*covalent organic framework*) (Furukawa dkk, 2009). Pada material MOF dan COF memiliki interaksi adsorpsi secara kimia yang relatif membutuhkan tekanan sangat tinggi antara 30-100 bar agar hidrogen dapat teradsorpsi lebih banyak (Saha dkk, 2009). Namun, ketika adsorpsi kimia menggunakan tekanan relatif rendah, kemampuan adsorpsi akan menurun. Selain itu, adsorpsi kimia membutuhkan energi tinggi saat desorpsi karena terjadi ikatan kimia antara hidrogen dengan material, sehingga hidrogen akan sulit dilepaskan kembali dari material penangkap hidrogen (Kayadoe, 2013). Pada adsorpsi fisika pada material karbon dan zeolit, suhu dan tekanan yang digunakan untuk adsorpsi relatif rendah dan bersifat reversibel dan cenderung memerlukan energi rendah saat desorpsi (Jankowska dkk, 2001). Hal ini menyebabkan zeolit dan karbon lebih banyak dikembangkan sebagai material adsorpsi hidrogen.

Karbon aktif merupakan salah satu material karbon berpori yang memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen yang tinggi jika dibandingkan dengan karbon nanotube dan karbon nanofiber (Zhou dkk, 2004). Karbon aktif memiliki pori yang mudah dimodifikasi dan ukurannya dua atau tiga kali diameter molekul hidrogen, yang merupakan ukuran optimal untuk penyimpanan hidrogen (Huang dkk, 2009). Namun saat adsorpsi hidrogen pada karbon membutuhkan tekanan yang besar jika dibandingkan zeolit (Yi dkk, 2013), hal tersebut dikarenakan karakteristik mesopori pada karbon lebih tinggi jika dibandingkan mikropori. Jika ukuran diameter pori besar (mesopori) interaksi material dengan hidrogen terjadi secara lemah dengan dinding mesopori karena afinitas terhadap hidrogen kecil sehingga hidrogen akan mudah terdesorp kembali (Zhao dkk, 2008; Sculley dkk, 2011).

Oleh karena itu, adsorpsi hidrogen dengan karbon aktif perlu dilakukan modifikasi lagi.

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat yang tersusun tetrahedral alumina $[AlO_4]^{5-}$ dan silika $[SiO_4]^{4-}$ terhubung oleh atom oksigen membentuk struktur berpori yang teratur dan seragam (Li, 2005). Keunggulan zeolit yang memiliki porositas yang tinggi dan mikopori yang teratur berpotensi untuk adsorpsi hidrogen yang ukuran molekulnya kecil. Molekul hidrogen memiliki diameter kinetik yang kecil (0,289 nm) dan hanya berinteraksi dengan permukaan yang berpotensi tinggi sehingga karakter isotermnya banyak dihubungkan dengan volume mikropori (< 2nm). Jika ukuran diameter pori kecil interaksi material dengan hidrogen terjadi secara kuat dengan dinding pori karena afinitas terhadap hidrogen besar sehingga penyimpanan hidrogennya tidak membutuhkan tekanan yang besar (Zhao dkk, 2008; Sculley dkk, 2011; Kurniawan, 2017). Namun zeolit memiliki kekurangan yaitu kapasitas adsorpsi hidrogen rendah jika dibandingkan material karbon yaitu sebesar 0,2-0,3 % berat pada suhu 25°C dengan tekanan 15 bar (Langmi dkk, 2003). Hal ini dipengaruhi ukuran mikropori yang lebih kecil (< 2nm) daripada mesopori (> 2nm) yang membuat volume untuk menampung hidrogen lebih kecil jika dibandingkan dengan mesopori pada karbon, sehingga adsorpsi hidrogen dengan zeolit perlu dilakukan modifikasi.

Komposit karbon/zeolit merupakan material berpori antara zeolit dengan karbon sebagai material penyimpan hidrogen. Karbon merupakan material berpori, apabila dikompositkan dengan zeolit akan memiliki daya serap yang tinggi. Oleh karena itu karbon juga merupakan salah satu jenis adsorben gas yang cukup baik (Kurniawan, 2017). Komposit karbon/zeolit memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen yang relatif tinggi jika dibandingkan

zeolit murni. Pada penelitian oleh Widiastuti dkk (2014) melakukan sintesis karbon/zeolit-X memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen lebih tinggi sebesar 1,66 % berat pada kondisi suhu 30°C dengan tekanan 1 bar, jika dibandingkan zeolit X murni yang memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen lebih rendah sebesar 0,4 – 0,9 % berat pada kondisi suhu 30°C pada tekanan 100 bar (Chung dkk, 2010 dan Jing dkk, 2009). Pengaruh karbon inilah yang meningkatkan karakteristik pori pada karbon/zeolit, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen (Widiastuti, dkk 2014).

Sintesis komposit karbon/zeolit harus memiliki korelasi dan kesesuaian dari struktur dan sifat antara material zeolit dengan prekursor karbon. Pada penelitian akhir ini berbagai jenis zeolit telah digunakan sebagai templat pada karbon/zeolit, diantaranya adalah zeolit Na-Y (Dong dkk., 2007), zeolit X, Y, dan A (Langmi dkk., 2003) ZSM-5 (Fujiwara dkk., 2014), serta SBA-15 (Konwar dkk., 2015, Musyoka dkk., 2015, dan Konwar dkk., 2016). Diantara berbagai jenis zeolit tersebut, Zeolit Na-Y memiliki diameter pori 0,65-0,74 nm (Langmi dkk., 2003 ; Chester dan Derouane, 2009) sesuai untuk gas hidrogen yang memiliki diameter molekul 0,289 nm (Zhao dkk., 2008; Sculley dkk., 2011), sehingga gas H_2 akan dapat masuk ke dalam material tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan zeolit Na-Y sebagai templat.

Sumber karbon yang telah dilakukan yaitu propilena, butilena (Chen dkk., 2007), sukrosa (Su dkk., 2004; Sevilla dkk., 2010), asetonitril (Yang dkk., 2006), dan furfuril alkohol (Konwar dkk., 2016). Diantara sumber karbon tersebut, sukrosa memiliki ketersediaan yang banyak dan harga lebih terjangkau. Selain itu, sukrosa merupakan sumber karbon yang memiliki *yield* karbon yang tinggi dan memiliki kelarutan tertentu (Sevilla dkk,

2010). Sukrosa memiliki diameter molekul sebesar 0,7–0,9 nm (Ramm, 1982) sehingga memungkinkan bisa masuk ke dalam pori zeolit Na-Y. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan sukrosa sebagai prekursor karbon.

Adsorpsi hidrogen pada material berpori dipengaruhi oleh sisi aktif, luas permukaan, volume pori, dan diameter pori (Zhao dkk., 2008). Sisi aktif dan luas permukaan merupakan faktor yang paling mempengaruhi besarnya penyimpanan hidrogen. Namun material komposit karbon/zeolit kurang memiliki sisi aktif dan luas permukaan yang relatif kecil. Interaksi hidrogen dengan karbon/zeolit hanya terjadi secara fisisorpsi dimana mekanisme yang terjadi adalah hidrogen mengisi pori dengan membentuk layer. Sehingga perlu dilakukan modifikasi pada material komposit karbon/zeolit untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen dengan menambahkan sisi aktif dan luas permukaan.

Modifikasi dengan penambahan prekursor nitrogen pada material karbon berpori merupakan salah satu modifikasi yang akhir-akhir ini banyak dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen. Penambahan sisi aktif nitrogen pada karbon memiliki keunggulan yaitu luas permukaan karbon mengingkat (Bing dkk, 2017; Yang dkk, 2016), jika dibandingkan dengan penambahan logam transisi seperti nikel pada karbon mengakibatkan menurunnya luas permukaan (Ediati dkk, 2011). Berbagai jenis prekursor nitrogen telah digunakan sebagai modifikasi nitrogen pada karbon berpori, diantaranya adalah asetonitril (Xia dkk, 2011 dan Konwar dkk, 2016), melamin (Bing dkk, 2017), dan Urea (Yang dkk, 2016 dan Zhao dkk, 2013). Diantara sumber nitrogen tersebut, urea memiliki ketersedian yang banyak dan harga lebih terjangkau. Selain itu, urea merupakan sumber nitrogen yang memiliki kelarutan yang tinggi terhadap air dan dapat berikatan dengan sukrosa dibawah

kondisi asam (Carolin dkk, 2011 dan Ruß dkk, 2011). Pada penelitian Zhao dkk (2013) hasil kapasitas adsorpsi hidrogen karbon aktif termodifikasi nitrogen dari urea sebesar 6 % berat jika dibandingkan karbon aktif tanpa modifikasi nitrogen yang memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen sebesar 3,98 % berat (Jiménez dkk, 2012). Hal ini pengaruh nitrogen menambah sisi aktif pada karbon dan membentuk mikropori, sehingga dapat meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi hidrogen (Yang dkk, 2016 dan Bing dkk, 2017). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan urea sebagai prekursor nitrogen untuk membentuk karbon/zeolit termodifikasi nitrogen.

Salah satu variabel terpenting untuk mensintesis karbon/zeolit termodifikasi nitrogen adalah jumlah urea yang ditambahkan pada karbon. Variasi rasio mol urea kedalam sukrosa merupakan variabel yang berpengaruh pada kapasitas adsorpsi hidrogen. Semakin banyak rasio mol prekursor nitrogen/karbon yang ditambahkan akan semakin banyak nitrogen yang terikat pada karbon, sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi (Bing dkk, 2017). Rasio mol urea/sukrosa yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan penelitian Yang dkk (2016) yang mensintesis karbon tertemplat SBA-15, namun pada penelitian ini menggunakan templat zeolit Na-Y untuk mensintesis komposit karbon/zeolit termodifikasi nitrogen.

1.2 Permasalahan

Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen perlu dilakukan modifikasi nitrogen dengan urea sebagai prekursor nitrogen dan sukrosa sebagai prekursor karbon. Rasio mol urea/sukrosa mempengaruhi kapasitas adsorpsi yang dihasilkan, sehingga dalam penelitian ini ditentukan rasio optimum pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen yang sesuai.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah memodifikasi material komposit karbon/zeolit dengan menambahkan nitrogen pada rasio mol urea/sukrosa sebesar ½, 1, 2, dan 4 untuk menentukan rasio optimum pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen yang memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen yang tinggi.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mengetahui pengaruh urea sebagai prekursor nitrogen pada karbon/zeolit dalam peningkatan kapasitas adsorpsi H_2, maka dilakukan variasi rasio mol urea/sukrosa. Variasi rasio mol yang digunakan pada penelitian ini adalah sesuai dengan penelitian Yang dkk (2016) yaitu 1/2 , 1 , 2 dan 4. Material yang digunakan adalah karbon/zeolit Na-Y tanpa menghilangkan templat zeolit untuk meningkatkan kestabilan termal yang disintesis menggunakan metode yang pernah dilakukan oleh Kayadoe (2013).

1.5 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan penelitian tentang aplikasi penangkap gas hidrogen khususnya tentang studi adsorpsi pada suhu dan tekanan ruang.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

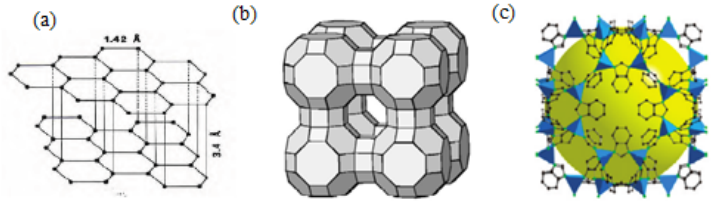
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Penyimpan Hidrogen

Beberapa penyimpanan telah digunakan untuk mengatasi permasalahan penyimpanan hidrogen antara lain tanki bertekanan tinggi (300-700 barr) serta *liquifaction* (penyimpanan hidrogen dalam wujud cair). Kedua cara ini kurang efisien karena energinya hilang sekitar 20-40% karena adanya proses pendinginan (Krishna, 2012). Hal ini menyebabkan muncul material pemyimpan hidrogen secara fisisorpsi maupun kemisorpsi. Material penyimpanan hidrogen secara kemisorpsi yang dikembangkan yaitu metal hidrida (MH), namun ikatan antara MH dan hidrogen terjadi secara kimia sehingga ikatannya kuat dan sulit terdesorpsi. Material penyimpan hidrogen secara fisisorpsi yang sedang dikembangkan yaitu material berpori. Material berpori memiliki kelebihan yaitu ringan, mudah terdesorpsi, murah dan kapasitas penyimpan hidrogennya mencapai 9% berat (Zhao dkk., 2008; Sculley dkk., 2011; Krishna dkk., 2012).

Kapasitas penyimpan hidrogen secara fisisorpsi dipengaruhi oleh luas permukaan, volume pori, dan diameter pori (Zhao dkk, 2008). Luas permukaan dan volume pori merupakan faktor yang paling mempengaruhi besarnya penyimpanan hidrogen. Kapasitas penyimpanan hidrogen berbanding lurus dengan luas permukaan dan volume pori. Hal ini disebabkan adsorpsi hidrogen pada material berpori terjadi secara fisisorpsi dimana mekanisme yang terjadi adalah hidrogen mengisi pori dengan membentuk layer. Molekul hidrogen memiliki diameter kinetik yang kecil (2,89 Å) dan hanya berinteraksi dengan permukaan yang berpotensi tinggi sehingga karakter isotermnya

banyak dihubungkan dengan volume mikropori (< 2nm). Jika ukuran diameter pori kecil interaksi material dengan hidrogen terjadi secara kuat dengan dinding pori karena afinitas terhadap hidrogen besar sehingga kapasitas penyimpanan hidrogennya besar (Zhao dkk, 2008; Sculley dkk, 2011).

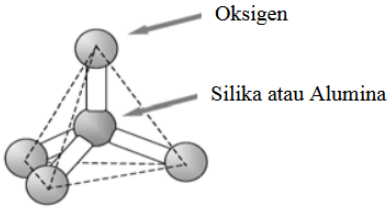


Gambar 2.1 Material penyimpan hidrogen (a) Karbon (b) Zeolit A (c) Kompleks polimer dari logam Zn dan ligan benzilimidazol (bIm) (Lim dkk, 2010)

Beberapa material berpori yang dikembangkan sebagai material penyimpan hidrogen secara fisisorpsi antara lain zeolit, karbon, dan kompleks polimer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada material MOF memiliki interaksi adsorpsi secara kimia yang relatif membutuhkan tekanan sangat tinggi antara 30-100 bar agar hidrogen dapat teradsorpsi lebih banyak (Saha dkk, 2009). Namun, ketika adsorpsi kimia menggunakan tekanan relatif rendah, kemampuan adsorpsi akan menurun. Selain itu, adsorpsi kimia membutuhkan energi tinggi saat desorpsi karena terjadi ikatan kimia antara hidrogen dengan material, sehingga hidrogen akan sulit dilepaskan kembali dari material penangkap hidrogen (Kayadoe, 2013). Pada adsorpsi fisika pada material karbon dan zeolit, suhu dan tekanan yang digunakan untuk adsorpsi relatif rendah dan bersifat reversibel dan cenderung memerlukan energi rendah saat desorpsi (Jankowska dkk, 2001). Hal ini menyebabkan zeolit dan karbon lebih banyak dikembangkan sebagai material adsorpsi hidrogen.

2.2 Zeolit

Zeolit adalah sebuah mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat mikropori dengan kerangka tiga dimensi yang berongga. Zeolit merupakan kristal alumina-silikat yang memiliki sisi aktif yang bermuatan negatif yang mengikat secara lemah kation penyeimbang muatan yang berasal dari logam alkali maupun alkali tanah. Zeolit terdiri dari gugus alumina dan silikat yang berbentuk tetrahedral yang dihubungkan oleh atom oksigen sehingga membentuk struktur hierakial berongga tiga dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

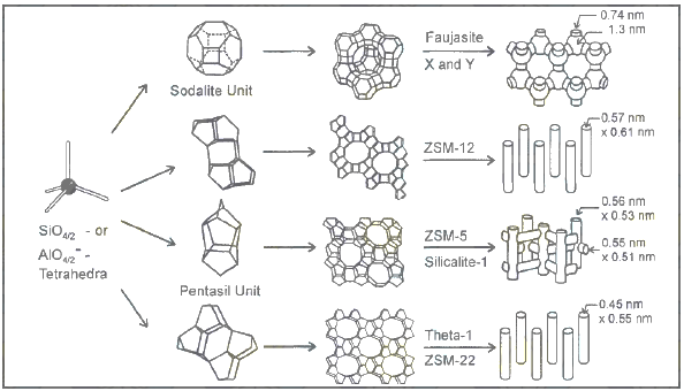


Gambar 2.2 Struktur kimia zeolit (Atta dkk, 2012)

Secara umum, Zeolit memiliki kerangka tiga dimensi dengan struktur penghubung tetrahedral TO_4 dengan T merupakan kation terkoordinasi dari Si atau Al yang dihubungkan dengan atom Oksigen. Adanya inkorporasi ion Al^{3+} pada kerangka silika (SiO_2) menyebabkan terjadinya perubahan muatan pada kerangka menjadi negatif sehingga membutuhkan ion penyeimbang muatan untuk menjaga agar muatan total senyawa netral. Kerangka Zeolit yang berongga berisi ion-ion logam penyeimbang muatan yang dapat berupan kation organik maupun anorganik dan molekul air yang dapat bergerak bebas dalam kerangka zeolit. Komposisi zeolit dapat digambarkan sebagai berikut :

$$M^{m+}_{n/m} \quad \bullet \quad [Si_{1-n}Al_nO_2] \quad \bullet \quad nH_2O$$

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat yang tersusun tetrahedral alumina $[AlO_4]^{5-}$ dan silika $[SiO_4]^{4-}$ terhubung oleh atom oksigen membentuk struktur berpori (Bhatia, 1990). Beberapa macam zeolit telah disintesis menggunakan metakaolin sebagai sumber silika dan alumina (Atta dkk, 2012). Sementara itu, mordenit telah berhasil disintesis dari mineral kaolin yang belum dan telah melalui proses kalsinasi (Mignoni, 2008).



Gambar 2.3 Struktur primer dan sekunder macam zeolit (Weitkamp, 2000).

Berdasarkan Gambar 2.3, kerangka Zeolit dibentuk atas dua macam unit pembangun yaitu Unit Pembangun Primer (*Primery Building Units*, PBU) dan Unit Pembangun Sekunder (*Secondary Building Units*, SBU). PBU zeolit adalah tetrahedron TO_4 (T = Si atau Al) yang dapat saling bergabung membentuk berbagai bentuk SBU. Gabungan beberapa unit sekunder yang saling berikatan membentuk suatu polyhedral yang merupakan struktur zeolit dinamakan Unit Pembangun tersier (Rabson, 2001). Karena keragaman struktur rangak dan komposisi kimia dalam zeolit, maka banyak ditemukan jenis zeolit lain. Tetapi

syarat utama dari suatu material zeolit adalah adanya struktur terbuka dengan pori-pori dan rongga di mana ion dan molekul tambahan bisa bergerak secara bebas (Weithkamp, J dkk., 1995).

Zeolit X dan Y pada Gambar 2.3, merupakan zeolit tipe *faujasite* dengan struktur primer tetrahedron dan dikelilingi oleh sangkar yang berongga (Ozdemir & Piskin, 2013). Zeolit Y memiliki ukuran pori kecil sebesar 0,74 nm dan pada pori besar memiliki ukuran sebesar 1,3 nm. Zeolit-Y mempunyai stabilitas dan selektivitas adsorpsi yang tinggi terhadap air dan molekul-molekul polar. Zeolit NaY mempunyai bentuk padat, dengan rumus molekul $Na_2O.Al_2O_3.4,8\ SiO_2.8,9H_2O$ (Breck, 1974).

Tabel 2.1 Beberapa performa zeolit dalam menangkap H_2

Tipe Zeolit	**Tipe Kerangka (kode IZA)**	**Penyerapan H_2 (% massa)**	**Ukuran saluran (nm)**	**Luas permukaan (m^2/g)**	**Volum pori (ml/g)**
NaA	LTA	1,54	0,4	-	0,3
NaX	FAU	1,79	0,74	662	0,36
NaY	FAU	1,81	0,74	725	0,34
Sodalit	SOD	~2,75	0,28	490	0,5 (mikropori)
H-Chabazite (Si/Al=2,125)	CHA	1,1	0,43	431	-
ZSM-5	MFI	0,71	0,53 ± 0,56	344	0,28
ZSM-35	FER	0,58	0,54 ± 0,42		0,32
Zeolit L	LTL	0,53	0,8-0,9	344	0,25
H-MOR (Si/Al=7,0)	MOR	0,6	0,7+0,65	-	0,32
MCM-41	-	1,6	2,2 ± 0,2	1017	1,04

(Sumber : Dong dkk., 2007)

Tabel 2.2 Kapasitas penyimpan hidrogen pada beberapa jenis zeolit

Jenis Sampel Zeolit	Kondisi Penyimpanan Hidrogen		Kapasitas Penyimpan Hidrogen (% berat)	Pustaka
	T (^{0}C)	P (bar)		
NaA (LTA)	-196	15	1,54	Langmi dkk, 2003
NaX (FAU)			1,79	
NaY (FAU)			1,81	
RHO			0,08	
Li-LSX (FAU)	-196	1,01	1,50	Li dkk, 2006
Na-LSX (FAU)			1,46	
K-LSX (FAU)			1,33	
Zeolit (Mg-Na) Y	-196	1,01	3-4,5	Dong dkk, 2007
NaX	-196	1	1,70	Prasanth dkk, 2008
	30	5	0,11	
	60	5	0,36	
Mordenit	30	50	0,25	Chung dkk, 2010
ZIF 70	298	100	0,74	Han dkk, 2011
Li ZIF 70			3,08	
Na ZIF 70			2,19	
K ZIF 70			1,62	
ZSM 5	-196	0,99	0,604	Fujiwara dkk, 2014
ZSM 5 I			0,360	
ZSM 5 H			0,086	

Berdasarkan Tabel 2.1 dan 2.2, zeolit yang disintesis menunjukkan kapasitas penyimpan hidrogen yang relatif besar. Kapasitas penyimpan hidrogen mengalami kenaikan yang tinggi pada kondisi -196°C/1-100bar. Zeolit-Y memiliki daya adsorpsi yang relatif tinggi dan membutuhkan tekanan yang rendah sebesar 1,01 bar, beberapa keunggulan zeolit Y diantaranya reaktivitas oksidasi lebih tinggi (Cordero dkk, 1992). Keteraturan struktur pori zeolit-Y lebih besar dibandingkan dengan beberapa jenis zeolit lain (Ma dkk 2001) dan memiliki stabilitas termodinamik yang relatif tinggi (Nishihara dkk, 2009). Selain itu luas permukaan zeolit-Y yang lebih besar (520-725 m^2/g) dibandingkan zeolit-A (360-383 m^2/g), zeolit-MOR (418-460 m^2/g) dan zeolit-RHO (3-90 m^2/g), sehingga karakteristik zeolit-Y apabila diaplikasikan sebagai material penyimpan hidrogen mampu menghasilkan kapasitas adsorpsi yang tinggi

Adsorpsi hidrogen dengan material zeolit dinilai lebih stabil dan menguntungkan. Zeolit mampu mangadsorpsi H_2 secara reversibel dengan suhu dan tekanan yang relatif rendah (Siriwardane dkk., 2001 dan Yu dkk., 2013). Selain itu, zeolit juga memiliki pori-pori yang bisa diatur sesuai kebutuhan baik mikropori (<2 nm) maupun mesopori (2-50 nm) dan pori-pori ini terdistribusi dengan baik. Zeolit dengan porositas tinggi mampu menangkap H_2 pada suhu ruang hingga 0,11 - 0,25% berat adsorben (Prasanth dkk., 2008 dan Chung dkk., 2010). Beberapa performa adsorpsi zeolit dalam menangkap gas H_2 tertera pada Tabel 2.6 Kondisi adsorpsi dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi H_2 pada zeolit. Berdasarkan Tabel 2.6 tekanan memiliki pengaruh dalam adsorpsi H_2. Pada zeolit NaX, NaY dan 13X, tekanan yang lebih tinggi mengakibatkan kapasitas H_2 yang teradsorps ke dalam zeolit menjadi semakin besar. Pengaruh suhu

juga dapat dilihat pada zeolit Na-A dan Na-X, ketika adsorpsi dilakukan pada suhu yang lebih rendah menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih besar.

2.3 Material Karbon

Karbon adalah salah satu unsur golongan (IV A) yang memiliki nomor atom 6 dan merupakan unsur travalent non logam. Secara alami, karbon memiliki 3 isotop yaitu :$_{12}C$ dan $_{13}C$ yang stabil, sementara $_{14}C$ adalah radioaktif dengan waktu paruh sekitar 5.730 tahun. Karbon adalah salah satu unsur paling melimpah di kerak bumi secara massa setelah hidrogen, helium, dan oksigen di alam semesta. Material karbon dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu karbon berpori dan karbon yang tidak berpori. Karbon tidak berpori merupakan modifikasi allotrop karbon, yaitu meliputi amorf, grafit dan intan (Bing, dkk., 2017). Intan dan grafit merupakan allotrop karbon yang sering ditemukan (Suci dkk, 2015). Sedangkan material karbon yang termasuk ke dalam karbon berpori adalah karbon nanotube (Ma dkk., 2001), karbon nanofiber (Susanti dkk., 2015), dan karbon aktif (Jiménez dkk, 2012). Karbon berpori mudah dimodifikasi dan memiliki berbagai macam struktur pori mulai dari mikropori hingga mesopori. Karbon berpori memiliki beberapa ukuran pori. Adapaun klasifikasi ukuran pori pada karbon berpori ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Ukuran karbon berpori

Jenis Karbon Berpori	Ukuran Pori (nm)
Makropori	> 50 nm
Mesopori	2 nm < w < 50 nm
Mikropori	< 2nm
Supermikropori	0,7 < w < 2 nm
Ultramikropori	< 0,7 nm

Sumber : Sevilla dkk, 2010

Karbon beropori merupakan material karbon yang mudah dimodikikasi karena memiliki berbagai macam struktur pori yang mulai dari mikropori, mesopori, hingga makropori. Sehingga banyak material karbon berpori digunakan sebagai material adsorben untuk penyimpanan gas hidrogen. karbon dapat disintesis melalui berbagai macam sumber bahan mentah seperti sukrosa, sabut dan cangkang kelapa, kayu, batu bara, dan biomassa lainnya. Pada akhir-akhir ini, banyak peneliti melakukan sintesis berbagai macam material karbon untuk adsorpsi gas hidrogen. Beberapa aplikasi sebagai penyimpan gas dengan material karbon dilakukan pada suhu kamar dan berbagai macam tekanan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen. Berikut Tabel 2.4 yang merupakan beberapa material karbon untuk adsorpsi gas hidrogen.

Tabel 2.4 Adsorpsi hidrogen pada beberapa material karbon

Nama Karbon	Suhu adsorpsi (°C)	Tekanan (bar)	Kapasitas H_2 (%berat)	Pustaka
Karbon aktif	30	100	< 0,67	Xu dkk, 2007
SWNT			< 0,50	
SWNH			< 0,55	
GNF			< 0,30	
Karbon aktif	25	95	2,80	Zubizarreta, dkk 2009
CNT			1,20	
MWCNT			0,50	
SWCNT			0,30	
Karbon Aktivasi KOH	25	1,01	0,60	Akasaka dkk, 2011
Karbon amorf	26	10	0,05	Jiménez dkk, 2012
		50	0,94	
Karbon aktif - karbon amorf		10	0,10	
		50	1,13	

2.3 Komposit Karbon/ Zeolit Termodifikasi Nitrogen

Komposit merupakan material kimia rekayasa yang diperoleh dari kombinasi dua atau lebih material kimia sehingga menghasilkan sifat yang lebih baik dari pada ketika komponen individu itu digunakan sendiri. Material komposit zeolit/karbon merupakan material komposit berpori yang dapat digunakan sebagai katalis, adsorben, ataupun material penyimpan energi. Kedua material yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya yaitu zeolit dan karbon, yang merupakan material dengan berbagai kelebihan dan kelemahan. Karbon merupakan material yang mudah diperoleh, ekonomis, memiliki sifat daur ulang yang baik dan memiliki luas permukaan tinggi (Bing dkk, 2017; Yang dkk, 2016; Konwar dkk, 2014; Konwar dkk, 2016). Namun struktur pori karbon kurang teratur dan porositas relatif lebih rendah (Alam & Mokaya, 2011). Sehingga pada akhir-akhir ini, penelitian melakukan modifikasi karbon untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen. Salah satu modifikasi karbon tersebut adalah menggabungkan material zeolit dengan karbon untuk dijadikan sebagai material karbon tertemplat zeolit. Karbon tertemplat zeolit merupakan material karbon yang mereplikasi struktur zeolit sehingga karbon tertemplat zeolit memiliki pori-pori yang seragam dan teratur seperti zeolit. Beberapa penelitian melakukan sintesis karbon tertemplat zeolit dengan berbagai sumber karbon dan templat untuk melihat karakteristik luas permukaan, volume pori, dan distribusi ukuran pori yang terbentuk. Kemudian dari hasil sintesis karbon tertemplat zeolit juga dilakukan uji adsorpsi hidrogen dengan metode gravimetri. Adapun beberapa penelitian karbon templat zeolit dengan prekursor karbon yang berbeda adalah ditunjukkan pada Tabel 2.5 dan hasil adsorpsi gas hidrogen dengan berbagai kondisi yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Karakteristik karbon tertemplat zeolit dengan prekursor berbagai karbon

Zeolit / Prekursor Karbon	**Metode**	**Karakteristik Karbon**			**Pustaka**
		S_{BET} (m^2/g)	**Vol. Pori (cm^3/g)**	**distribusi ukuran pori (A^0)**	
NH_4Y/ Poli furfuril alkohol	Impregnasi dan karbonasi	2136	1,556 (1,034)	-	Klepel dkk, 2007
NaY/ Propilena	VPD (*Vapour Phase Deposition*) satu tahap	2117	1,12 (0,79)	-	Chen dkk, 2007
NH_4Y/ Sukrosa	Impregnasi dan karbonasi	1500	1,30 (0,78)	-	Guan dkk,2009
Y/ Asetonitril	CVD asetonitril 800^0C lalu diaktivasi dengan KOH	1665 (1300)	1,06 (0,61)	1,3/2,2	Sevilla dkk, 2010
	CVD asetonitril 850^0C lalu	3064 (2534)	1,66 (1,16)	1,3/2,2	

	diaktivasi dengan KOH				
Y (Si/Al = 15)/ Asetonitril	CVD asetonitril 800^0C lalu diaktivasi dengan KOH	3064 (2534)	1,66 (1,16)	1,3/2,3	Sevilla dkk, 2011
Y (FAU) (Si/Al= 15)/ Asetonitril	CVD asetonitril pada suhu 800^0C	1666 (1301)	1,06 (0,61)	1,2/2,2	Alam & Mokaya , 2011
Y (FAU) (Si/Al= 2,55)/ Asetonitril	CVD asetonitril pada suhu 800^0C	1833 (1438)	1,06 (0,68)	1,2/2,4	
Y (FAU) (Si/Al= 1,36)/ Asetonitril	CVD asetonitril pada suhu 850^0C	521 (252)	1,13 (0,12)	0,7/1,2/ 2,8	
Pt-/ zeolit Y- *templated carbons*/ Furfuril Alkohol	CVD asetonitril pada suhu 800^0C	2179 (1900)	1,2 (0,9)	6/12	
Pt / *zeolite-templated carbons*/ Furfuril Alkohol	CVD asetonitril pada suhu 850^0C	2798 (2547)	1,48 (1,19)	6,5/12/19	

Tabel 2.6 Kapasitas penyimpan hidrogen pada beberapa jenis karbon tertemplat zeolit

Jenis sampel karbon tertemplat zeolite	**Kondisi Penyimpanan Hidrogen**		**Kapasitas Penyimpanan Hidrogen (% berat)**	**Pustaka**
	T (^oC)	**P (bar)**		
NH_4Y/Poli furfuril alkohol	-196	10	2,4	Klepel dkk, 2007
NaY/Propilena	-196	1	6,0	Chen dkk, 2007
NH_4Y/Sukrosa	-196	10	2,4	Guan dkk, 2009
Y/Asetonitril Suhu karbonisasi 800^oC	-196	20	3,5	Sevilla dkk, 2010
Y/Asetonitril Suhu karbonisasi 850^oC	-196	20	6,1	
Y (Si/Al = 15)/ Asetonitril	-196	20	6,1	Sevilla dkk, 2011
Furfuril alkohol doping Pt/Zeolit-NaY	-196	1	1,00-1,59	Alam dkk, 2011
		20	3,02-4,85	
Asetonitril dengan variasi rasio Si/Al /Zeolit Y				Alam dkk, 2011
Si/Al=15	-196	1	0,81-1,5	
		20	2,3-3,5	
Si/Al=2,55		1	0,2-1,8	
		20	0,7-3,9	
Si/Al 1,36		1	0,03-1,4	
		20	0,1-1,6	

Pada Tabel 2.5 dan 2.6 menunjukkan bahwa tiap prekursor karbon memberikan pengaruh karakteristik luas permukaan, volume pori dan distribusi ukuran pori yang berbeda. Faktor yang mempengaruhi pembentukan karakteristik karbon / zeolit antara lain jenis templat, prekursor karbon dan kondisi karbonisasi (Guan dkk., 2009 ; Konwar, 2013). Karbon yang disintesis dengan templat zeolit-Y menunjukkan struktur *channel* tiga dimensi yang memiliki ukuran diameter pori sebesar 0,65-0,74 nm (Langmi dkk., 2003 ; Chester dan Derouane, 2009) sesuai untuk gas hidrogen yang memiliki diameter molekul 0,289 nm (Zhao dkk., 2008; Sculley dkk., 2011), sehingga gas hidrogen akan dapat masuk ke dalam material tersebut. Pirolisis karbon di dalam *channel* zeolit-Y memiliki reaktivitas oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan templat lain (Cordero dkk., 1992). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan zeolit-Y sebagai templat.

Pemilihan prekursor karbon merupakan parameter yang harus diperhatikan agar diperoleh kapasitas penyimpan hidrogen yang besar. Berbagai prekursor yang sering digunakan antara lain asetonitril (Konwar dkk., 2016, Sevilla dkk., 2010, Mokaya dkk., 2011 , Xia dkk., 2004., Yang dkk., 2007., serta Wang dkk., 2009), furfuril alkohol (Konwar dkk., 2016, Klepel dkk., 2007, Musyoka dkk., 2015, serta Wang dkk., 2009), propilena (Chen dkk., 2007) dan sukrosa (Guan dkk., 2009, serat Konwar dkk., 2014).Syarat prekursor karbon yang dapat digunakan untuk sintesis karbon tertemplat zeolit adalah sumber karbon harus memiliki *yield* karbon yang tinggi, ukuran molekul sesuai untuk dimasukkan dalam pori zeolit dan memiliki kelarutan tertentu (Sevilla dkk., 2010).

Tabel 2.7 Karakteristik karbon templat zeolit termodifikasi nitrogen dengan prekursor karbon yang berbeda

Zeolit / Prekursor Karbon	**Metode**	**Karakteristik Karbon**			**Pustaka**
		S_{BET} (m^2/g)	**Vol. Pori (cm^3/g)**	**distribusi ukuran pori (A^0)**	
SBA/ Asetonitril/ Asetonitril	CVD *Chemical vapour Deposition*	1779	0,66	-	Xia dkk, 2004
Beta / Asetonitril	CVD	3189 (1529)	2,41 (0,71)	-	Yang dkk, 2006
NaY/ Asetonitril/ Asetonitril	CVD	1663	1,43	-	Wang dkk, 2009
Pt *supported* NaY/ Asetonitril/ Asetonitril	CVD			-	
X /Furfuril alkohol dan asetonitril	Impregnasi basah FA dilanjutkan dengan CVD dengan asetonitril	2700	1,42 (1,01)	-	Wang dkk, 2009
	Impregnasi basah FA dilanjutkan dengan CVD dengan asetonitril	2864	1,43 (1,01)	-	

	dan aktivasi KOH				
EMC-2/ Asetonitril	CVD	3360 (2838)	1,71 (1,24)	-	Xia dkk, 2011
Silika/ Furfuril Alkohol/ Asetonitril	impregnasi dan Karbonisasi	1745	2,08	-	Konwar dkk 2016
Silika /Furfuril Alkohol/ Asetonitril	impregnasi dan Karbonisasi	1296	0,96	-	
Resorcinol /Melamin	impregnasi dan Karbonisasi	1150	1,15	22,6	Bing dkk, 2017
SBA-15/ Sukrosa/ urea	impregnasi dan Karbonisasi	656	0,71	3,8	Yang dkk, 2016

Pada Tabel 2.7 menunjukkan modifikasi dengan penambahan prekursor nitrogen pada material karbon berpori merupakan salah satu modifikasi yang akhir-akhir ini banyak dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen. Pengaruh modifikasi nitrogen memberikan memberikan pengaruh karakteristik luas permukaan, volume pori dan distribusi ukuran pori yang berbeda. Penambahan sisi aktif nitrogen pada karbon memiliki keunggulan yaitu luas permukaan karbon mengingkat (Bing dkk, 2017; Yang dkk, 2016), jika dibandingkan dengan penambahan logam transisi seperti nikel pada karbon mengakibatkan menurunnya luas permukaan (Ediati dkk, 2011). Berbagai jenis prekursor nitrogen telah digunakan sebagai modifikasi nitrogen pada karbon berpori, diantaranya adalah asetonitril (Xia dkk, 2011 dan Konwar dkk, 2016), melamin

(Bing dkk, 2017), dan Urea (Yang dkk, 2016 dan Zhao dkk, 2013). Diantara sumber nitrogen tersebut, urea memiliki ketersedian yang banyak dan harga lebih terjangkau. Selain itu, urea merupakan sumber nitrogen yang memiliki kelarutan yang tinggi terhadap air dan dapat berikatan dengan sukrosa dibawah kondisi asam (Carolin dkk, 2011 dan Ruß dkk, 2011).

Tabel 2.8 Kapasitas Penyimpan Hidrogen Pada Beberapa Jenis KarbonTemplat Zeolit Termodifikasi Nitrogen

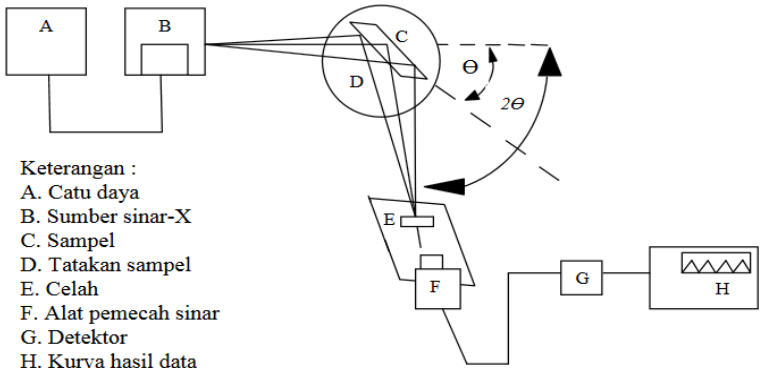
Jenis sampel Zeolit/ Prekursor Karbon/ Prekursor Nitrogen	**Kondisi Penyimpanan Hidrogen**		**Kapasitas Penyimpanan Hidrogen (% berat)**	**Pustaka**
	T (ºC)	**P (bar)**		
SBA/Asetonitril/ Asetonitril	-196	1	6,5	Xia dkk, 2004
Beta/Asetonitril/ Asetonitril	-196	20	6,0	Yang dkk, 2007
X /Furfuril alkohol dan asetonitril	-196	20	6,16	Wang dkk, 2009
X /Furfuril alkohol dan asetonitril aktivasi KOH	-196	20	6,3	
NaY/Asetonitril/ Asetonitril	25	100	0,51	Wang dkk, 2009
Pt supported NaY/Asetonitril/ Asetonitril			1,26	
EMC-2/ Asetonitril/ Asetonitril	-196	20	6,0	Xia dkk, 2011
Silika/Furfuril Alkohol/ Asetonitril	25	1	0,005	Konwar dkk, 2016
Silika /Furfuril Alkohol/ Asetonitril	25	25	0,07	

Pada Tabel 2.8 menunjukkan pengaruh penambahan beberapa prekursor nitrogen yang menjadi sisi aktif pada karbon tertemplat zeolit. Karbon modifikasi nitrogen memberikan peningkatan kapasitas adsorpsi hidrogen pada kondisi suhu adsorpsi -196°C dengan tekanan antara 1-100 bar. Pada penelitian oleh Wang dkk (2009) dengan menggunakan material zeolit Na-Y sebagai templat dan asetonitril sebagai prekursor karbon sekaligus prekursor nitrogen. Hasil yang didapatkan pada uji adsorpsi hidrogen, bahwa kapasitas adsorpsi hidrogen pada mikropori karbon sebesar 0,43 % berat, namun pada mikropori karbon termodifikasi nitrogen meningkat menjadi 0,51 % berat dengan kondisi adsorpsi pada suhu 25°C tekanan 100 bar. Pengaruh modifikaksi nitrogen memberikan peningkatan sebesar 0,08 % berat, hal ini dikarenakan keberadaan nitrogen memberikan dampak adanya interaksi dengan hidrogen sehingga ada dua interaksi antara karbon dan nitrogen terhadap gas hidrogen.

2.4 Karakterisasi Material

2.4.1 *X- Ray Diffraction* (XRD)

X- Ray Diffraction (XRD) ialah bentuk radiasi elektromagnetik yang berbeda dengan sinar (λ= 400-800 nm) yaitu memiliki panjang gelombang lebih pendek ($\lambda \approx$ 0,1 nm). Hamburan sinar ini dihasilkan jika suatu elektroda logam ditembak dengan elektron-elektron kecepatan tinggi dalam tabung vakum (Treacy, M.M.J., Higgins, J.B. 2001). Elektron tersebut mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menghasilkan radiasi dengan jarak panjang gelombang kontinu yang disebut Bremsstrahlung. Skema alat difraksi sinar –X disajikan pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Skema alat difraksi sinar-X (Callister, 2009)

Secara umum prinsip kerja XRD adalah sebagai berikut :

1. Generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai catu daya sumber sinar-X (B).
2. Sampel berbentuk pelet (C) diletakkan diatas tatakan (D) yang dapat diatur.

Berkas sinar-X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Intensitas difraksi sinar-X direkam (G) dan ditampilkan dalam bentuk kurva (H) terhadap jarak antar bidang d.

Analisis menggunakan alat difraktometer sinar-X didasarkan pada pola difraksi dari paduan atau senyawa yang dihasilkan oleh proses difraksi, ukuran panjang gelombang sinar-X harus tidak berbeda jauh dengan jarak antar atom di dalam kristal, sehingga pola berulang dari kisi kristal akan berfungsi seolah-olah seperti kisi difraksi untuk panjang gelombang sinar-X. Sinar-X yang didifraksikan oleh setiap kristal mineral bersifat spesifik, dan bergantung agaimana atom menyusun kisi kristal mineral tersebut serta bagaimana atom sejenis tersusun. Ketika sinar-X menumbuk sampel dan terdifraksi, maka jarak antar atom

pada lapisan permukaan kristal dapat ditentukan berdasarkan hukum Bragg, yaitu :

Hubungan antara panjang gelombang sinar-X (λ), sudut difraksi (2θ), dan jarak tiap bidang atomik kisi kristal (d) dapat dijelaskan dengan Hukum Bragg berikut ini :

$n\lambda = 2d \sin\theta$ (2.11)

dengan :

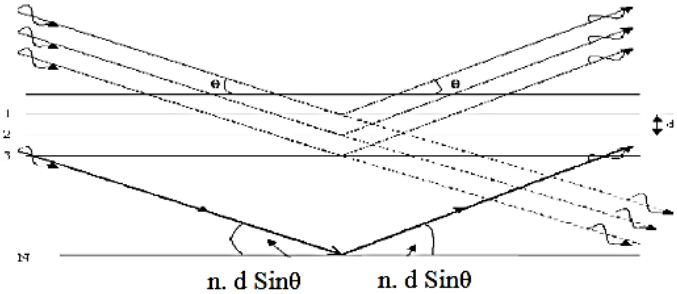
n = orde (1,2,3,...)

λ = panjang gelombang sinar (Å)

d = jarak antar bidang kisi kristal (Å)

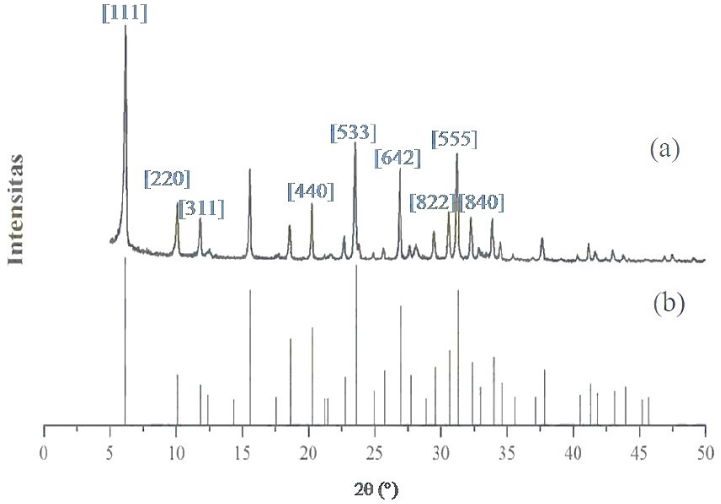
θ = setengah sudut deviasi difraksi sinar

Difraksi sinar-X digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai sturktur, komposisi dan keadaan polikristalin suatu materi. Difraksi sinar-X ini banyak diaplikasikan untuk identifikasi suatu senyawa (*unknown*) didasarkan pada puncak-puncak (*peak*) kristalin. Kristalinitas material hasil sintesis dapat diperkirakan melalui perbandingan jumlah intensitas relatif puncak material dengan jumlah intensitas relatif puncak standar (Treacy, M.M.J., Higgins, J.B. 2001). Difraksi pada bidang kristal ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Difraksi dari bidang kristal (Callister, 2009)

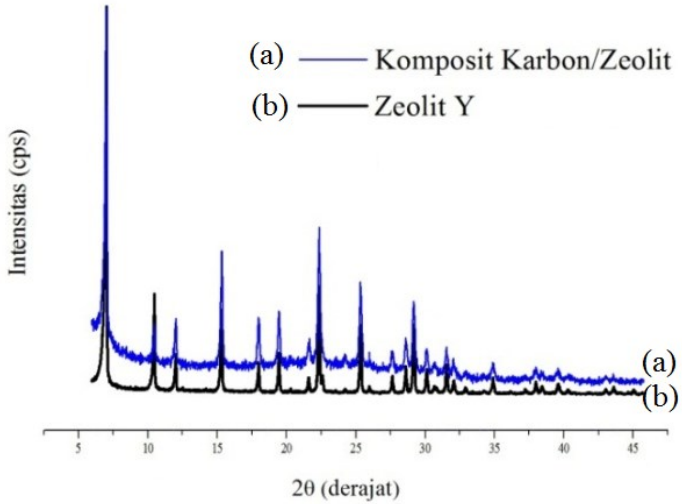
Ketika sampel diuji, teknik difraksi hanya memberikan tampilan data-data struktur. Perubahan panjang kerangka Misalnya penggantian ikatan Al-O (1,69 Å) dengan ikatan yang lebih pendek Si-O (1,61 Å) menyebabkan unit-unit sel mengkerut. Hal ini akan menurunkan jarak d dan menggeser puncak diffraksi kearah 2θ yang lebih tinggi (Susanti, 2016).



Gambar 2.6 Pola XRD (a) Zeolit-Y hasil sintesis dan (b) zeolit-Y standar JCPDS No. 39-1380 (Susanti, 2016)

Difraktogram XRD pada Gambar 2.6 merupakan zeolit hasil sintesis yang menunjukkan adanya puncak difraksi yang khas pada 2θ= 6,2° [111], 10,1° [220], 11,8° [311], 20,2° [440], 23,5° [533], 26,9° [642], 30,5° [822], 31,2° [555], dan 32,2° [840]. Puncak kristal zeolit-Y dengan intensitas tetinggi muncul pada 2θ= ~6° yang menunjukkan kristalinitas yang tinggi dan tidak terdapat fasa lain yang terbentuk selain zeolit-Y. Puncak difraksi zeolit-Y hasil sintesis tersebut sesuai dengan

difraktogram standart JCPDS No. 39-1380 (Susanti, 2016). Pola XRD pada Gambar 2.7 menunjukkan puncak 2θ khas zeolit NaY pada komposit karbon/zeolit yang berarti bahwa karbon telah mereplikasi struktur zeolit (Su dkk., 2004 dan Chen dkk., 2007). Intensitas tinggi pada 2θ = 6° menunjukkan bahwa kristal zeolit memiliki kristalinitas tinggi (Alam dan Mokaya, 2011).

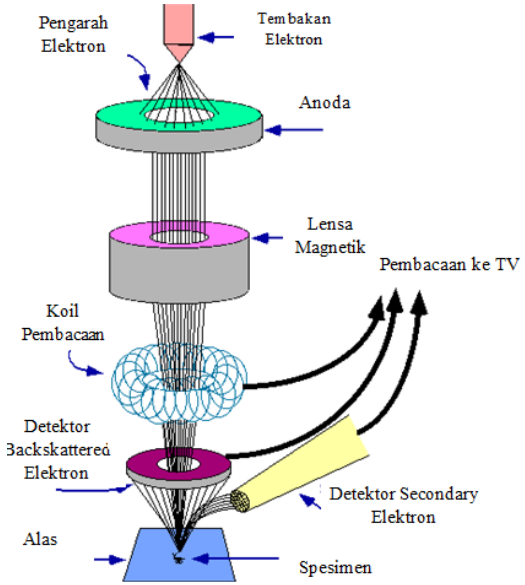


Gambar 2.7 Pola XRD (a) Zeolit-Y hasil sintesis dan (b) Komposit karbon/zeolit-Y (Suci, 2015)

2.4.2 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan menggunakan resolusi tinggi. SEM dapat digunakan sebagai mendeteksi mikrostruktur suatu benda padat atau kristal. Kolom SEM terdiri dari atas *electrun gun*, lensa kondensor, sebuah lensa objektif, dan sebuah sistem deteksi elektron serta satu set deflektor yang semuanya

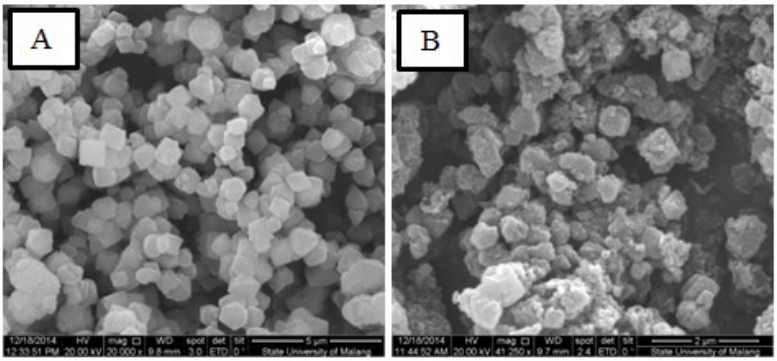
dioperasikan dalam keadaan vakum. Adapun skema dari SEM adalah sebagai berikut.



Gambar 2.8 *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Fatmawati, 2014)

Cara kerja dari SEM yang ditunjukkan pada Gambar 2,8 ialah suatu gelombang elektron yang dipancarkan dari *electron gun* terkondensasi di lensa kondensor kemudian terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Berkas dari sinar elektron yang mengenai suatu sampel atau cuplikan akan menghasilkan elektron sekunder dan dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Hasil gambar yang didapat terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Chatode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar. Kemudian berkas dari elektron dikonsentrasikan pada spesimen tertentu, bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar.

Sistem penyinaran SEM dan lensa SEM sama dengan mikroskop cahaya biasa. Pengamatan yang dihasilkan oleh SEM sehingga lapisan suatu cuplikan atau sampel harus bersifat konduktif. Jika tidak bersifat konduktif, maka dapat menggunakan emas sebagai lapisannya (Fatmawati, 2014). SEM juga dapat melihat morfologi dan topografi permukaan pada zeolit NaY dan komposit karbon/zeolit. Terlihat pada struktut zeolit NaY terbentuk kristal oktahedral pada Gambar 2.9. Material komposit karbon/zeolit pada pembentukan kristal oktahedral menandakan proses pengisian karbon berjalan sempurna dan dapat mereplikasi struktur Kristal. Pembentukan gumpalan amorf menandakan proses pengisian karbon tidak berjalan sempurna dan tidak mampu mereplikasi struktur kristal.



Gambar 2.9 Karakterisasi SEM (A) Zeolit Na-Y dan (B) Komposit karbon/zeolit (Suci, 2015)

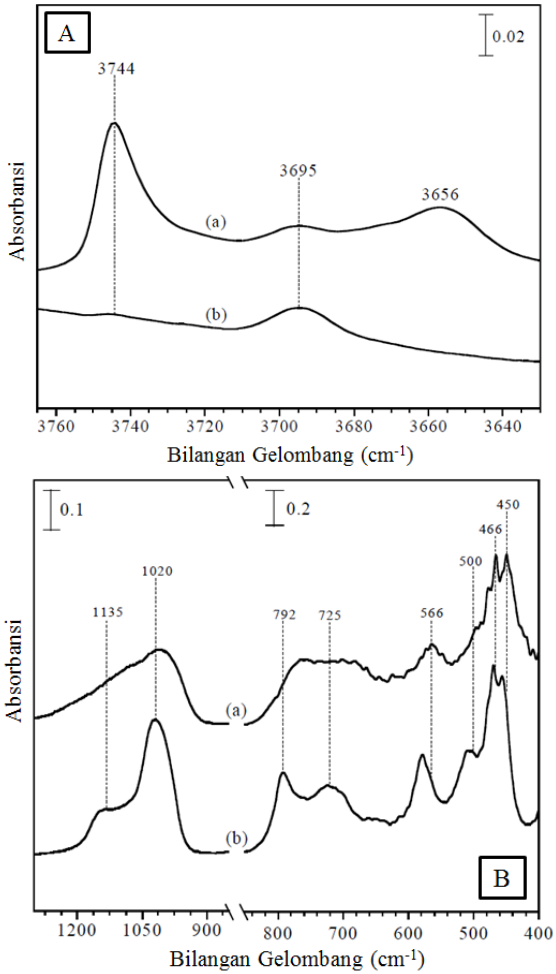
2.4.3 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah metode analisis yang digunakan untuk menentukan jenis gugus fungsi dari senyawa, sehingga dapat memberikan informasi untuk penentuan struktur molekulnya. Data yang dihasilkan dari

spektrofotometer FTIR merupakan data yang diperlukan untuk analisis suatu senyawa hasil sintesis yang belum diketahui jenis senyawa penyusunnya. Spektrofotometer FTIR dapat digunakan untuk menentukan komposisi campuran, kualitas atau konsistensi material dan membantu memberikan informasi dalam memperkirakan struktur molekul. Karakterisasi suatu material dengan spektroskopi FTIR menghasilkan data yang dapat mendukung hasil data yang diperoleh dari karakterisasi metode lain, misalnya struktur suatu material yang telah ditentukan dengan teknik XRD, akan lebih terpercaya bila didukung dengan karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR (Sibilia, 1996).

Karakterisasi sampel dengan metode ini didasarkan pada fakta bahwa molekul memiliki frekuensi spesifik yang dihubungkan dengan vibrasi internal dari atom gugus fungsi (Sibilia, 1996). Inti-inti atom yang terikat secara kovalen akan mengalami getaran bila molekul menyerap radiasi infra merah dan energi yang diserap menyebabkan kenaikan pada amplitudo getaran atom-atom yang terikat. Panjang gelombang serapan oleh suatu tipe ikatan tertentu bergantung pada macam ikatan tersebut, oleh karena itu tipe ikatan yang berbeda akan menyerap radiasi infra merah pada panjang gelombang karakteristik yang berbeda. Akibatnya setiap molekul akan karakteristik.

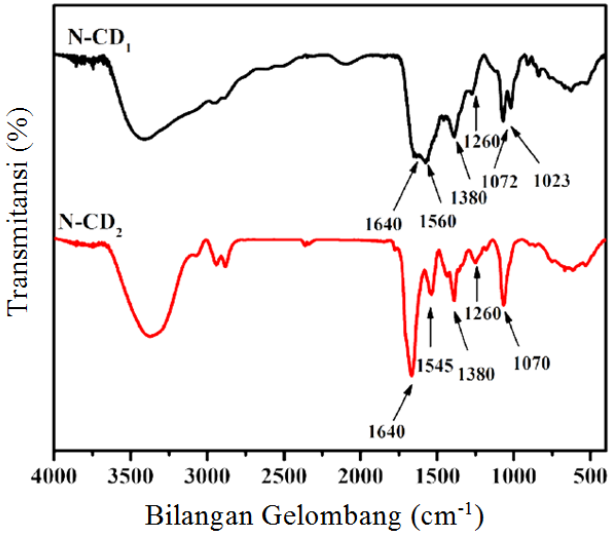
Spektrum FTIR Zeolite NaY pada penelitian Li (2005) yang ditunjukkan pada gambar 2.10 mempunyai pita serapan pada bilangan gelombang 3460,53 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi OH, yang diperkuat dengan adanya pita serapan pada 1323 cm^{-1} yang merupakan OH (bending). Kemudian pada 725-792 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur asimetris (T-O-T) dan pada 1020-1135cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetris (T-O-T). Kemudian vibrasi tekuk Si-O pada 451,45 cm^{-1}. Puncak T-O-T (Si-O-Si atau Al-O-Al).



Gambar 2.10 FTIR zeolit Na-Y (A) Bilangan gelombang 3620-3760 cm^{-1} dan (B) Bilangan gelombang 400-1250 cm^{-1} (Li, 2005)

Spektra FTIR yang dihasilkan pada penelitian Yang dkk (2018) pada Gambar 2.11 dari material karbon/zeolit

termodifikasi nitrogen terbentuk beberapa pita serapan gugus fungsi yaitu vibrasi ulur C-N pada 1260-1380 cm^{-1}, vibrasi C=O/C=C/C=N pada 1640 cm^{-1}. Pada bilangan gelombang diarea 3200-3400 cm^{-1} terjadi *overlaping* puncak vibrasi O-H dengan N-H. Sehingga vibrasi ulur N-H tidak dapat terlihat, namun terlihat vibrasi tekuk N-H pada1545-1560 cm^{-1} untuk membuktikan adanya vibrasi N-H pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen tersebut (Yang dkk, 2018).



Gambar 2.11 FTIR karbon termodifikasi nitrogen (Yang dkk, 2018)

2.4.4 *Elemental Analyzer*

Elemental analyzer merupakan alat instrumen yang dapat mengukur secara kuantitaif kandungan karbon dan nitrogen pada sampel karbon termodifikasi nitrogen. Pada penelitian Bing dkk (2017) melakukan sintesis karbon termodifikasi nitrogen dengan pengaruh penambahan rasio mol melamin/resorcinol (1, 3/2, 3,

dan 4). Hasil elemental konten pada tiap sampel adalah sebagai berikut :

Tabel 2.9 Elemental konten karbon/zeolit termodifikasi nitrogen

Sampel	Elemental Konten (%)		N/C
	N	C	
1*	5,1	88,8	0,05
3/2*	6,0	84,8	0,06
3*	10,6	77,8	0,11
4*	14,5	71,8	0,17

*. Rasio mol melamin/resorcinol (karbon/zeolit termodifikasi nitrogen)

(Sumber: Bing dkk 2017)

Hasil elemental konten nitrogen dan rasio nitrogen/karbon terhadap penambahan rasio mol melamin/resorcinol pada Tabel 2.9 mengalami peningkatan. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak melamin yang ditambahkan akan menambah sumber nitrogen untuk berikatan dengan sumber karbon dari resorcinol. Namun pada kandungan karbon ditiap penambahan rasio mol melamin/resorcinol mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan pengaruh nitrogen akan mengurangi jumlah karbon. Pengaruh nitrogen ini nantinya akan membentuk pori baru, namun saat penambahan lebih banyak akan merusak struktur mesopori karbon (Yang dkk, 2016).

2.4.5 Adsorpsi-Desorpsi Isotermal N_2

Adsorpsi nitrogen merupakan adsorpsi fisik (fisisorpsi) yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran pori dan luas permukaan spesifik suatu material padatan (Haber dkk., 1995). Bentuk dan ukuran pori material penting untuk diamati terutama yang berkaitan dengan adsorpsi suatu senyawa untuk menentukan

proses difusi yang melewati material tersebut. Luas permukaan spesifik adalah luas permukaan partikel tiap satuan masa atau volume dari material yang dapat dijelaskan menggunakan teori adsorpsi atau teori BET.

Teori Brunauer-Emmet dan Teller merupakan persamaan yang hanya dapat digunakan untuk adsorpsi dengan nilai P/P_o berkisar antara 0.05 – 0.3 (Adamson, 1994). Persamaan tersebut dapat diasumsikan bahwa :

a. Terjadi adsorpsi *multy layer*, bahkan pada tekanan yang sangat diabaikan
b. Interaksi antar molekul yang teradsorpsi
c. Kecepatan adsorpsi yang mempunyai nilai yang sama dengan kecepatan desorpsi
d. Adsorben mempunyai permukaan yang homogeny, yaitu mempunyai keadaan energi yang sama.

Secara matematis persamaan isothermal BET sebagai berikut:

$$\frac{P}{V(P_0-P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-1}{V_m C}\left(\frac{P}{P_0}\right) \qquad (2.19)$$

Dimana: V : jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan *p*

Vm : jumlah gas dalam monolayer

P_0 : tekanan penjenuhan

V : ∞ pada $P = P_0$

C : Konstanta

Dimana nilai C merupakan $\exp(\Delta H_{ad} - \Delta H_{cond}/RT)$. Kemudian diplotkan grafik dengan $\frac{P}{V(P_0-P)}$ sebagai sumbu y dan $\frac{P}{P_0}$ sebagai sumbu x. Dimana nilai V_m dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$Vm = \frac{1}{(intersep+slope)} \qquad (2.20)$$

Dengan intersep berupa $\frac{1}{V_m C}$ slope berupa $\frac{C-1}{V_m C}$. berdasarkan persamaan sebelumnya, maka luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

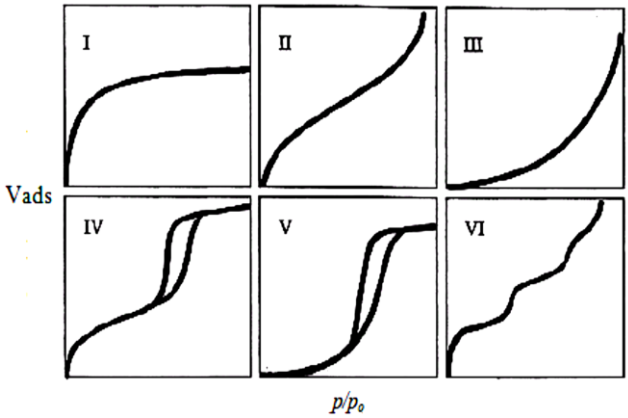
$$SA = \left(\frac{Vm}{0{,}0224}\right) N\ A\ x\ 10^{-19} \qquad (2.21)$$

Dimana: SA : luas permukaan

Vm : jumlah adsorbat cm^3/g padatan

N : Bilangan Avogadro

A : daerah penampang lintang secara molekular pada adsorbat (nm) (Mc Cash, 2000).



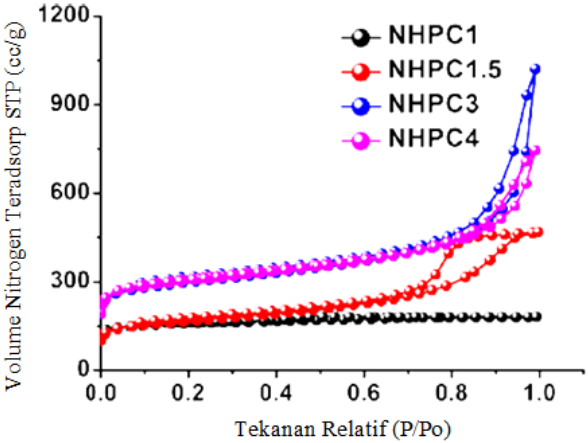
Gambar 2.12 Tipe grafik adsorpsi isothermal berdasarkan IUPAC (Prasetyoko dkk., 2016)

Data dari Analisa pada Gambar 2.12 merupakan grafik adsorpsi-desorpsi isothermal. Tipe-tipe grafik adsorpsi-desorpsi isothermal dalam fisisorp ditunjukan pada Gambar 2.12. Menurut IUPAC, grafik adsorpsi isothermal dapat diklasifikasikan menjadi 6 tipe:

1. Tipe I
   Tipe ini khas untuk fisisorpsi gas pada padatan mikropori dan kemisorpsi. Tipe I ini mengikuti adsorpsi isothermal langmuir.
2. Tipe II
   Tipe ini terlihat pada adsorpsi pada padatan non pori. Adsorpsinya multilayer yang dimulai pada titik B (Gambar 2.12)
3. Tipe III
   Grafik ini khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik karbon aktif. Gaya kohesi yang kuat terjadi antara molekul-molekul yang terdsorp.
4. Tipe IV
   Tipe IV mirip dengan tipe II pada tekanan rendah. Tetapi memperlihatkan loop histerisis yang disebabkan oleh adanya kondensasi kapiler dalam mesopori pada tekanan tinggi. tipe IV khas untuk material mesopori.
5. Tipe V
   Grafik ini khas untuk uap seperti halnya tipe III (mirip dengan tipe III pada tekanan rendah), tetapi terlihat adalnya loop histerisis yang juga disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori pada tekanan tinggi.
6. Tipe VI
   Grafik isothermal seperti anak tangga, biasanya terlihat untuk adsorpsi nitrogen pada karbon tertentu.

Grafik adsorpsi isothermal pada material mesopori memiliki sifat yang khas yaitu terjadinya loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori. Dari grafik terlihat bahwa pada $P/P_0 = 0$ gas yang teradsorp sangat sedikit, dan daerah monolayer belum penuh. Dengan meningkatkan tekanan sampai $P/P_0 < 0.1$, mulai terjadi adsorpsi gas yang

menjenuhi monolayer. Ketika tekanan dinaikan lagi sampai P/P_0 kira-kira 0.5 adsorpsi multilayer mulai terjadi, tetapi jumlah yang teradsorp tidak terlalu banyak sehingga slope grafiknya kecil. Interksi molekul-molekul gas yang teradsorp pada dinding pori saling berhadapan mulai terjadi ketika tekanan mencapai P/P_0 sekitar 0.7. pengaplikasian tekanan yang lebih tinggi lagi yaitu sampai $P/P_0 = 1$ menyebabkan molekul-molekul gas memenuhi mesopori. Kemudian tekanan diturunkan untuk desorpsi gas, kurva isothermal menunjukan terjadinya loop histerisis dimana jumlah gas yang terdesorpsi tidak sama dengan jumlah gas yang teradsorp di awal. Pada tekanan sama, jumlah gas yang tertinggal di permukaan material ketika desorpsi masih lebih banyak dibandingkan ketika adsorpsi (Prasetyoko dkk., 2016).



Gambar 2.13 Luas Permukaan Karbon Termodifikasi Nitrogen (Bing dkk, 2017)

Pada penelitian oleh Bing dkk (2017) yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 merupakan hasil adsorpsi-desorpsi nitrogen

pada material karbon termodifikasi nitrogen dengan memvariasikan rasio mol melamin/resorcinol. Melanin sebagai prekursor nitrogen dan resorcinol sebagai prekursor karbon. Luas permukaan yang dihasilkan pada tiap penambahan dari rasio mol melamin/resorcinol sebesar 1; 1,5; dan 3 mengalami peningkatan, namun pada rasio mol melamin/resorcinol sebesar 4 mengalami penurunan. Rasio mol melamin/resorcinol sebesar 1; 1,5; dan 3 mengalami peningkatan luas permukaan dan volume pori total karena adanya pembentukkan pori baru yaitu pori mikropori dan mesopori, nsmun pada rasio mol melamin/resorcinol sebesar 4 mengalami penurunan luas permukaan karena volume pori total berkurang, hal ini diakibatkan karena turunnya volume mikropori dan mesopori terjadi karena rusak menjadi pori makropori. Pembentukan makropori ini karena adanya pengaruh banyaknya nitrogen akan banyak merusak kadar nitrogen dapat ditunjukkan pada Tabel 2.10.

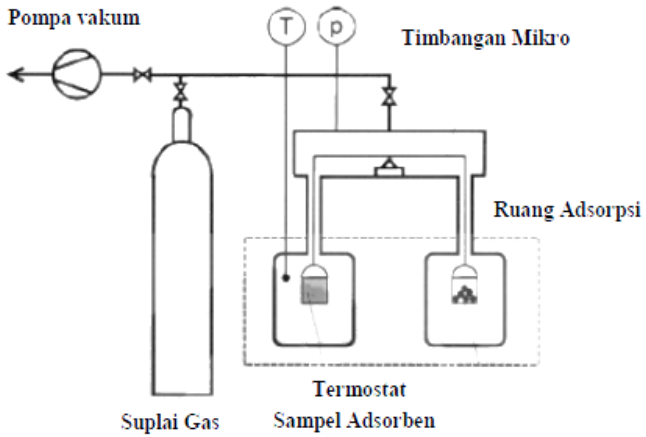
Tabel 2.10 Karakteristik luas permukaan dan pori material

Material	**Luas Permukaan (m^2/g)**	**Volume Pori (cc/g)**			**Diameter pori (nm)**
		V_{mikro}	**V_{meso}**	**V_{total}**	
Karbon/zeolit * (1,0)	610	0,20	0,04	0,28	3,6
Karbon/zeolit *(1,5)	608	0,14	0,55	0,72	9,7
Karbon/zeolit * (3,0)	1109	0,34	1,19	1,58	27,3
Karbon/zeolit * (4,0)	1150	0,32	0,76	1,15	22,6

(Sumber Bing dkk, 2017)

2.5 Pengukuran Adsorpsi Hidrogen

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengukur adsorpsi hidrogen menggunakan metode gravimetri. Metode gravimetri yaitu dengan cara mengukur massa sampel setiap tahap pertambahan hidrogen. Kapasitas adsorpsi hidrogen ini menyatakan banyaknya hidrogen yang tersimpan setelah proses fisisorpsi berlangsung pada material berpori. Pengukuran secara gravimetri dinyatakan dalam persen berat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14, dimana m_s adalah massa adsorben atau sampel sedangkan m_{H_2} adalah massa hidrogen teradsorp.



Gambar 2.14 Pengukuran adsorpsi hidrogen secara gravimetri (Belmabkhout, 2004)

Pada penelitian ini kapasitas penyimpan hidrogen diuji dengan peralatan gravimetri. Sebelum dilakukan adsorpsi hidrogen pada material, sampel dilakukan *degass* sampai batas tertentu. Proses ini bertujuan untuk membersihkan permukaan sampel dari senyawa-senyawa yang menutupi pori. *Degass* dapat dilakukan dengan tekanan 10 mPa dan pemanasan pada suhu

tertentu. Massa sampel dapat dimonitor selama proses *degass*, apabila berat sampel sudah tidak berubah lagi maka ditetapkan sebagai massa sampel. Selanjutnya dilakukan adsorpsi hidrogen dengan cara gravimetri (Belmabkhout, 2004).

$$\%\, berat\ Hidrogen = \frac{m_{H_2}}{(m_{H_2} + m_s)} \,.100\%$$

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas, uap atau cairan (Oscik, 1982). Alberty dan Daniel (1987) mendefinisikan adsorpsi sebagai fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa. Adsorpsi menyangkut akumulasi substansi adsorbat pada adsorben dan dalam hal ini dapat terjadi pada antar muka dua fasa. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang memiliki pori karena berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau letak-letak tertentu didalam adsorben.

Gaya tarik-menarik dari suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi fisika adalah proses intertaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Dalam proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yakni gaya van der Waals, gaya

elektrostatik, ikatan hidrogen serta ikatan kovalen (Martell dan Hancock, 1996).

Pada adsorpsi kimia terjadi pembentukan dan pemutusan ikatan, sehingga energi adsorpsinya berada pada kisaran yang sama dengan reaksi kimia. Ikatan antara adsorben dengan adsorbat cukup kuat sehingga tidak terjadi spesiasi, karena zat yang teradsorpsi menyatu dengan membentuk lapisan tunggal dan relatif reversibel. Batas minimal suatu adsorpsi dikategorikan sebagai kemisorpsi adalah memiliki harga energi adsorpsi sebesar 20,92 kJ/mol (Adamson, 1997).

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi dari proses adsorpsi adalah sebagai berikut:

a. Luas permukaan

   Semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben.

b. Jenis adsorbat

   Peningkatan polarisabilitas adsorbat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar) memiliki kemampuan tarik-menarik terhadap molekul lain dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (nonpolar). Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorp dibandingkan rantai yang lurus.

c. Struktur molekul adsorbat

   Hidroksil dan amino mengakibatkan mengurangi kemampuan penyisihan sedangkan nitrogen meningkatkan kemampuan penyisihan.

d. Konsentrasi adsorbat

Semakin besar konsentrasi adsorbat maka semakin banyak jumlah substansi pada permukaan adsorben.

e. Temperatur

Pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Pemanasan yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun.

f. pH

pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi.

g. Kecepatan pengadukan

menentukan kecepatan waktu kontak adsorben dan adsorbat. Bila pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, tetapi bila pengadukan terlalu cepat kemungkinan struktur adsorben sepat rusak, sehingga proses adsorpsi kurang optimal.

h. Waktu kontak

penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan. Waktu kesetimbangan dipengaruhi oleh tipe biomassa (aktif atau tidak aktif), ion yang terlibat dalam system biosorpsi, konsentrasi ion logam.

Prediksi pada tahap penentu laju merupakan jalan terbaik untuk memahami mekanisme adsorpsi padat-cair. Dimana difusi intra partikel atau transfer massa ekternal yang keduanya bertanggungjawab terhadap transfer massa terlarut. Mekanisme Transfer massa melibatkan proses adsorpsi pada adsorben berpori, film dan difusi partikel. (Yadav dkk., 2015)

2.6 Kinetika Adsorpsi

Studi kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat penyerapan zat terlarut yang menentukan waktu tinggal dari serapan adsorbat pada antarmuka padatan-larutan termasuk proses difusi. Studi Kinetika Adsorpsi merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan efektifitas adsorpsi suatu material terhadap suatu adsorbat (Widiastuti dkk, 2011). Studi kinetika ini akan membahas mengenai kecepatan selama proses adosrpsi yang terjadi pada suatu material dimana dalam penelitian ini digunakan untuk mengentahui kecepatan proses adsorpsi yang terjadi pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen terhadap hidrogen sebagai adsorbatnya.

Kinetika adsorpsi tersebut dapat ditentukan melalui beberapa pendekatan model kinetika yaitu model persamaan laju orde pertama Pseudo Lagergren, persamaan laju orde kedua Pseudo Ho, dan persamaan difusi intrapartikel yang secara keseluruhan dapat dijabarkan sebagai berikut.

2.6.1 Kinetika Orde Satu Semu

Persamaan kinetika orde pertama-semu lagergen menggambarkan proses adsorpsi pada sistem padat-cair yang berbasis kapasitas dari padatan (Plazinki dkk, 2009 dan Widiastuti dkk, 2011). Persamaan umum dari kinetika reaksi orde pertama-semu adalah berikut:

$$\frac{dq}{dt} = K_{ad}(q_{eq} - q) \qquad (2.10)$$

Dimana:

q_{eq} : Jumlah ion fosfat yang teradsorb per unit berat adsorben pada keseimbangan (mg/g)

q : Jumlah kolesterol yang teradsorb per unit berat adsorben pada waktu t (mg/g)

K_{ad} : Konstanta kecepatan adsorpsi orde satu semu (1/min)

Setelah dilakukan integrasi dengan batas, untuk t = 0, q = 0 persamaan tersebut menjadi:

$$log(q_{eq} - q) = log\ q_{eq} - \frac{K_{ad}t}{2.303} \qquad (2.11)$$

Persamaan orde pertama-semu dapat dikorelasikan dengan persamaan berikut:

ln (qe-qt)= ln qe - Kf .t .....(2.3)

Dimana qe adalah kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan, qt adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t, kf adalah konstanta lahu orde pertama Pseudo Lagergren yang ditentukan melalui plot antara ln (qe-qt) terhadap waktu (t) pada persamaan (2.3) (Plazinski dkk., 2009).

2.6.2 Kinetika Orde Dua Semu

Persamaan kinetika orde kedua-semu menunjukkan bagaimana laju adsorpsi dari sebuah adsorbat tergantung pada kapsitas penyerapan dari adsorben bukan pada konsentrasi adsorbat (Plazinski dkk., 2009). Persamaan orde dua-semu memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut: memungkinkan evaluasi kapasitas adsorpsi efektif, laju penyerapan awal dan konstanta laju model kinetik pseudo-orde kedua tanpa mengetahui parameter apapun terlebih dahulu.

Laju adsorpsi pada permukaan adsorben harus proporsional dengan gaya dorong dikali suatu luasan. Laju reaksi pseudo-orde kedua dapat tergantung pada jumlah zat terlarut yang diserap pada permukaan pada adsorben dan jumlah adsorbat yang diserap pada kesetimbangan. (Widiastuti dkk, 2011 dan Plazinski dkk., 2009). Persamaan kinetika laju adsorpsi orde dua semu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{dq}{dt} = k(q_{eq} - q)^2 \quad (2.13)$$

Dimana k adalah konstanta kecepatan adsorpsi orde dua semu (g/ mg.min). Pengintegrasian persamaan di atas dengan kondisi batas t=0, q=0 didapat persamaan berikut :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k{q_{eq}}^2} + \frac{t}{q_{eq}} \quad (2.14)$$

(Widiastuti dkk, 2011)

Intersep dari linearisasi persamaan kecepatan orde dua-semu adalah konstanta kecepatan orde dua, k. Kesesuaian antara data eksperimental dan nilai prediksi model diungkapkan oleh koefisien korelasi (R^2), dimana nilai koefisien korelasi yang besar menunjukkan kecocokan data eksperimental terhadap model kinetika adsorpsi.

2.6.3 Kinetika Difusi Intra Partikel

Mekanisme adsorpsi dapat dijelaskan dengan menggunakan model difusi intra partikel. Proses adsorpsi terdiri dari beberapa tahap diantaranya pergerakan partikel dari luar adsorben ke permukaan adsorben dan kemudian diikuti oleh difusi molekul ke dalam pori. Difusi intra partikel umumnya merupakan proses yang lambat dan dianggap sebagai tahap penentu laju dalam proses adsorpsi. Selama proses adsorpsi menggunakan metode batch transfer partikel adsorbat menuju pori adsorbent merupakan tahap penentu laju. Adsorpsi intra partikel dinyatakan dengan persamaan Weber dan Morris (Widiastuti dkk, 2011).

Model difusi intrapartikel Weber dan Morris direpresentasikan sebagai berikut:

$$q_t = K_{id} t^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

Dimana K_{id} merupakan konstanta laju difusi intra partikel (mg/g $min^{1/2}$). Merujuk pada model ini, plot grafik dari partikel teradsorb versus akar kuadrat dari waktu kontak akan menghasilkan kurva berupa garis lurus yang melewati titik asal (0,0) (Yakout dkk,2010). Ketika plot yang dihasilkan tidak melewati titik asal, hal tersebut mengindikasikan adanya berapa derajat kontrol difusi film dan difusi intrapartikel bukanlah satu-satunya penentu laju (Widiastuti dkk., 2011).

Kurva linier dengan radient yang lebih besar menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung lebih cepat Proses ini terjadi pada saat awal proses adsorpsi dan kemungkinan menggambarkan proses adsorpsi yang di kontrol oleh pergerakan molekul ke permukaan padatan adsorben. Kurva dengan radient lebih kecil menggambarkan proses yang berlangsung lebih lambat. Tahap ini terjadi setelah tahap pertama dan kemungkinan merupakan proses adsorpsi yang dikontrol oleh difusi intra partikel (Yadav dkk., 2015).

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah krusible stainless steel, reaktor hidrotermal (*autoclave stainless steel*), *tube furnace*, reaktor kuarsa (*muffle furnace*), pompa vakum, *magnetic stirrer*, kertas saring dan botol *polypropylene*. Karakterisasi material hasil sintesis dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Elemental Analyzer*, dan Fisisorpsi Adsorpsi-Desorpsi Isotermal N_2., Pengukuran kapasitas hidrogen menggunakan metode gravimetrik.

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah padatan natrium aluminat (Sigma aldrich), larutan natrium silikat (Sigma aldrich), pelet NaOH 99% p.a, sukrosa (98%, Fluka), urea 99% p.a, gas N_2 high purity (99,99% N_2), gas H_2 high purity (99,99% H_2), dan aqua DM.

3.2 Prosedur

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini sesuai dengan prosedur yang dilakukan oleh Kayadoe (2013) dan Agustina (2013).

3.2.1 Sintesis Zeolit Na-Y

a. Seed Gel

Aqua DM sebanyak 23,991gram ditambahkan kedalam botol polipropilen 50 mL berisi 3,469 gram natrium hidroksida dan 1,924 gram natrium aluminat, diaduk menggunakan *magnetic stirer* sampai tercampur sempurna (homogen). Kemudian, 17,518 gram natrium silikat ditambahkan ke dalam

campuran tersebut, lalu diaduk perlahan selama kurang lebih 10 menit. Setelah pengadukan, botol ditutup dan diperam pada suhu ruang selama 1 hari.

b. Feedstock Gel

Aqua DM sebanyak 157,518 gram ditambahkan ke dalam botol polipropilen 500 mL berisi 0,100 gram natrium hidroksida dan 13,851 gram natrium aluminat, diaduk menggunakan *magnetic stirer* sampai tercampur sempurna (homogen). Kemudian 107,212 gram natrium silikat ditambahkan ke dalam campuran tersebut, kemudian diaduk dengan kecepatan 600 rpm. Gel kemudian ditutup hingga penambahan *seed gel*.

c. Overall Gel

Seed gel yang telah dibuat ditimbang 16,500 gram dan secara perlahan ditambahkan ke *feedstock gel* dan diaduk dengan kecepatan 600 rpm selama 20 menit. Gel kemudian dipindahkan ke autoklaf untuk proses kristalisasi dengan metode hidrotermal. Sebelum dihidrotermal, *Overall gel* terlebih dahulu dipemeram selama 1 hari pada suhu ruang. Kemudian dilakukan hidrotermal pada suhu 100°C selama 7 jam. Hasil hidrotermal yang terbentuk disaring dengan pompa vakum, dicuci dengan air deionisasi sampai pH dibawah 9 dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 12 jam (Robson dan Lillerud, 2001).

3.2.2 Sintesis Karbon /Zeolit Termodifikasi Nitrogen

Pada penelitian ini, material karbon tertemplat zeolit disintesis menggunakan zeolit Na-Y hasil sintesis (rasio SiO_2/Al_2O_3 = 10,0) sebagai templat dan sukrosa sebagai prekursor karbon. Proses sintesis material ini dilakukan dengan 2 tahapan metode yaitu impregnasi sukrosa pada zeolit Na-Y, karbonisasi template. (Guan dkk., 2009, Konwar dkk., 2016 dan Yang dkk, 2016).

Tahap 1. Impregnasi Urea-Sukrosa pada Zeolit Na-Y

Sebelum proses impregnasi, 10 gram zeolit Na-Y dimasukkan ke dalam holder *stainless steel* dan didigest terlebih dahulu dalam furnace tubular (laju kenaikan panas 1°C/menit) pada suhu 200°C selama 4 jam dan didinginkan hingga suhu ruang. Selama proses digest dan pendinginan lingkungan dijaga dalam lingungan nitrogen.

Pada penelitian ini dilakukan variasi rasio mol urea/sukrosa sebesar ½, 1, 2, dan 4. Ditimbang sukrosa sebanyak 12,5 gram dan dilarutkan dalam 50 mL H_2SO_4 0,35M. kemudian dicampurkan 1,096637 gram urea pada rasio mol urea/sukrosa ½ , 2,193274 gram urea pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 1, 4,386548 gram urea pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 2, dan 8,773096 gram urea pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 4. Zeolit yang didigest dimasukkan ke dalam larutan campuran sukrosa dan urea, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 250 rpm selama 72 jam pada suhu kamar dan disaring.

Tahap 2. Karbonisasi templat

Campuran yang diperoleh pada tahap 1 dikarbonisasi pada suhu 800°C selama 4 jam dalam tabung stainless steel dibawah aliran N_2 dengan kemurnian tinggi (laju alir 30 cm^3/menit) dan laju kenaikan panas 2°C/menit.

3.3 Karakterisasi Komposit Karbon / Zeolit Termodifikasi Nitrogen

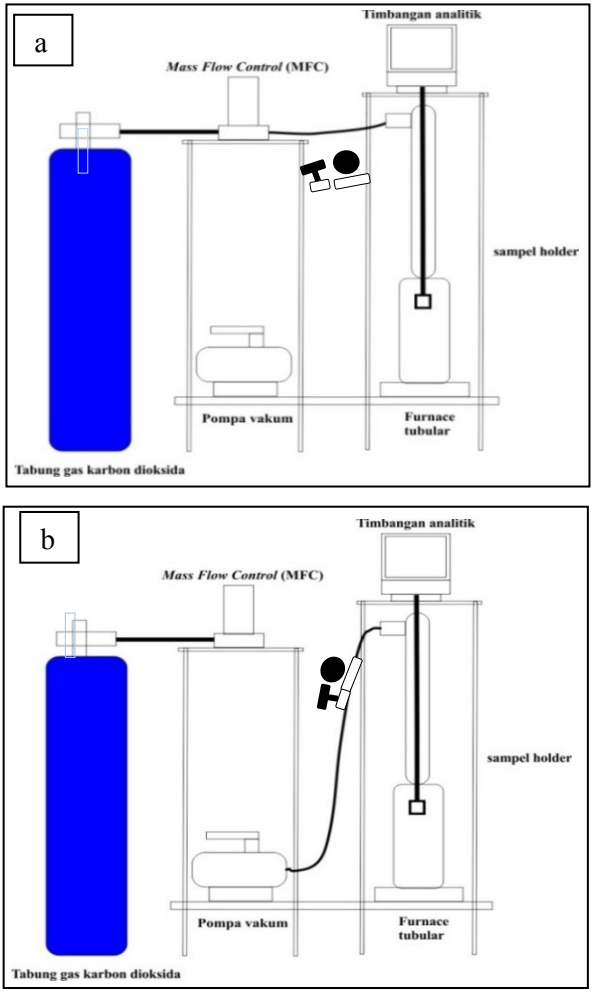
Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen hasil sintesis dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi fasa kristal, *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR) untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk, serta *Scanning Electron Microscopy (SEM)* untuk membandingkan morfologi permukaan zeolit Na-Y dan

karbon/zeolit termodifikasi nitrogen, *elemental analyzer* untuk menghitung secara kuantitatif kadar nitrogen dan karbon pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Fisisorpsi adsorpsi-desorpsi nitrogen untuk menganalisis luas permukaan area dan pori pori pada zeolit Na-Y dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen.

3.4 Penentuan Kapasitas Penangkap Hidrogen

Pengujian adsorpsi hidrogen dilakukan pada cuplikan karbon / zeolite termodifikasi nitrogen. Sampel karbon diambil 3 gram lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Cuplikan kemudian didinginkan hingga suhu ruang dan disimpan dalam desikator untuk proses sterilisasi. Untuk menguji kapasitas penyimpanan hidrogen, cuplikan yang telah dikeringkan diambil 0,5 gram untuk masing-masing pengukuran dan diletakkan di dalam reaktor baja (*stainless chamber*) yang telah steril. Sebelum dilakukan proses adsorpsi dan desorpsi, sampel terlebih dahulu didegass pada suhu 350°C selama 3 jam (laju kenaikan panas 3°C/menit) dengan bantuan pompa vakum. Furnace tubular kemudian dimatikan dan dibiarkan hingga suhu sistem mencapai suhu ruang. Aliran gas pada saat proses adsorpsi diatur konstan 20 mL/menit dengan *mass flow control*. Knop tabung gas hidrogen yang telah dihubungkan dengan reaktor gelas dibuka hingga gas hidrogen dapat mengalir secara perlahan. Berat sampel diamati dan dicatat sebagai berat awal (m_0) dan perubahan massanya dicatat sampai tercapai berat konstan. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan yang terjadi setiap 1 menit hingga diperoleh berat konstan. Berat yang konstan ini dicatat sebagai berat akhir setelah adsorpsi (m_t). Kapasitas penyimpanan hidrogen dihitung dengan Persamaan :

$$\%H_2 = \frac{(m_t - m_0)}{m_0} \times 100\% \quad (3.1)$$



Gambar 3.1 Skema kerja pengukuran adsorpsi secara gravimetri saat proses adsorpsi dan *degassing*

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

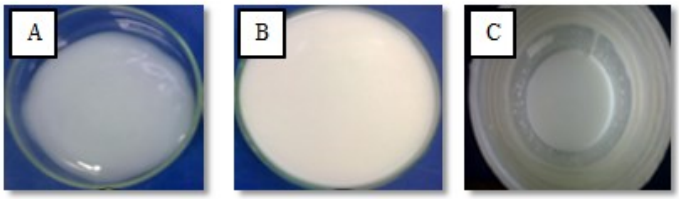
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan akan dijelaskan tentang hasil sintesis karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dan kemampuannya untuk mengadsorpsi gas hidrogen yang dibandingkan pada variasi rasio mol urea/sukrosa sebesar ½, 1, 2, dan 4. Penelitian ini menggunakan beberapa instrumen pendukung seperti XRD, SEM, FTIR, *Elemental Analyzer* dan fisisorpsi isotermal N_2 untuk dapat menjelaskan hasil penelitian. Hasil sintesis karbon/zeolit termodifikasi nitrogen kemudian diuji kapasitas adsorpsi terhadap gas hidrogen secara gravimetri. Hasil adsorpsi digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi gas hidrogen.

4.1 Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Na-Y

Pada penelitian ini Karbon/zeolit Na-Y termodifikasi nitrogen diawali dengan sintesis zeolit Na-Y sebagai templat. Proses sintesis zeolit Na-Y sesuai prosedur yang telah dilakukan oleh Kayadoe (2013) dan Gunawan (2015). Sintesis zeolit Na-Y dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu pembentukan gel, proses hidrotermal dan pencucian yang diikuti pengeringan untuk membentuk kristal zeolit . Sintesis zeolit Na-Y didapatkan hasil rasio optimum penambahan feedstock gel terhadap seed gel sebesar 18:1 (Kayadoe, 2013). Pembentukan gel terdiri dari 3 tahap yaitu pembuatan *seed gel*, *feedstock gel* dan *overall gel* (Robson dan Lillerud, 2001). Pembuatan gel digunakan beberapa bahan kimia diantaranya seperti Na_2AlO_2, Na_2SiO_3 dan NaOH. Pada pembuatan *seed gel* dilakukan pemeraman selama 24 jam yang berfungsi sebagai pembentukkan inti kristal zeolit. *Feedstock gel* merupakan gel yang sama dengan *seed gel*, tetapi

feedstock gel memiliki komposisi dengan jumlah yang lebih besar dan selama proses pembuatan tanpa dilakukan pemeraman. *Seed gel* yang telah diperam, lalu dicampurkan ke dalam *feedstock gel* untuk membentuk *overall gel*. Berikut proses pembuatan *seed gel*, *feed stock*, dan *over all gel* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 (A) *Seed gel*, (B) *Feedstock gel*, dan (C) *Overall gel*

Pada proses hidrotermal, o*verall gel* direaksikan dalam *autoclave stainless steel* yang tertutup rapat untuk menjaga suhu dan tekanan tetap konstan, setelah itu dilakukan pemeraman lagi selama 24 jam. Setelah dilakukan pemeraman selama 24 jam dilakukan proses hidrotermal pada suhu 100°C selama 7 hingga diperoleh serbuk putih zeolit Na-Y. Adapun reaksi pembentukan zeolit Na-Y adalah sebagai berikut.

$Na_2SiO_{3(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Na_2SiO_{3(aq)}$

$NaAlO_{2(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow NaAl(OH)_{4\,(aq)}$

$NaOH_{(aq)} + Na_2SiO_{3(aq)} + NaAl(OH)_{4\,(aq)} \xrightarrow{\text{Suhu ruang}}$

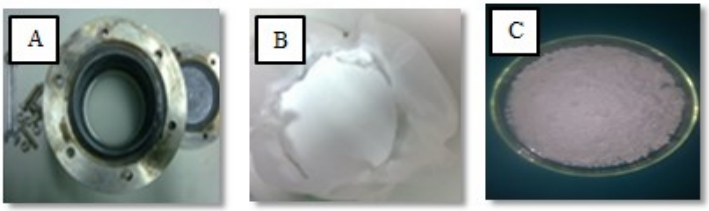
$[Na_x(AlO_2)_y\,(SiO_2)_z.NaOH.H_2O]$ (gel) $\xrightarrow{\text{Hidrotermal pada suhu } 100^oC}$

$Na_j\,[(AlO_2)_j\,(SiO_2)_{192-j}].k\,H_2O_{(s)}$ (kristal zeolit)

$Na_{56}\,[(AlO_2)_{56}\,(SiO_2)_{136}].250\,H_2O_{(s)}$

(kristal zeolit Na-Y) .....(4.1)

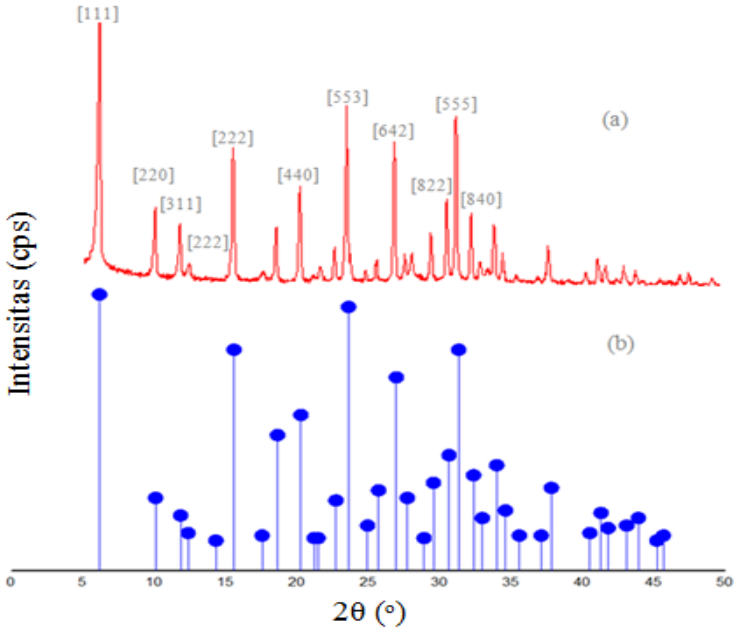
Setelah proses hidrotermal selesai, lalu didapatkan larutan yang berwarna bening dan padatan putih yang merupakan zeolit Na-Y. kemudian proses selanjutnya dilakukan pemisahan dan pencucian agar didapatkan serbuk zeolit Na-Y untuk proses lebih lanjut. Pemisahan dilakukan dengan alat filtrasi vakum untuk mempercepat penyaringan karena material zeolit Na-Y yang didapatkan adalah padatan putih. Kemudian dilakukan pencucian hingga pH kurang dari 9. Kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 100°C selama 24 jam. Berikut proses hidrotermal, penyaringan dengan penetralan, dan hasil sintesis zeolit Na-Y yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 (A) Zeolit Na-Y hasil sintesis dari a*utoclave*, (B) Penyaringan dan penetralan zeolit Na-Y hasil sintesis, dan (C) Zeolit Na-Y hasil sintesis

Karakterisasi zeolit Na-Y menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui puncak karakteristik pembentukan fasa kristal zeolit Na-Y dan untuk mengetahui ada atau tidaknya fasa-fasa lain yang terbentuk selain zeolit Na-Y. Difraktogram zeolit Na-Y hasil sintesis kemudian dicocokkan dengan difraktogram zeolit Na-Y standar JCPDS No. 39-1380, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Berdasarkan Gambar 4.3 (a) difraktogram zeolit Na-Y hasil sintesis menunjukkan adanya puncak difraksi yang khas pada 2θ= 6,2° [111], 10,1° [220], 11,8° [311], 20,2° [440], 23,5°

[533], 26,9° [642], 30,5° [822], 31,2° [555], dan 32,2° [840]. Puncak kristal zeolit-Y dengan intensitas tetinggi muncul pada 2θ= ~6° yang menunjukkan kristalinitas yang tinggi dan tidak terdapat fasa lain yang terbentuk selain zeolit-Y. Puncak difraksi zeolit-Y hasil sintesis tersebut sesuai dengan difraktogram standart JCPDS No. 39-1380 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (b) serta sesuai dengan penelitian Guan dkk., (2009) dan Alam dan Mokaya (2011). Hal ini menunjukkan bahwa zeolit-Y telah berhasil disintesis.



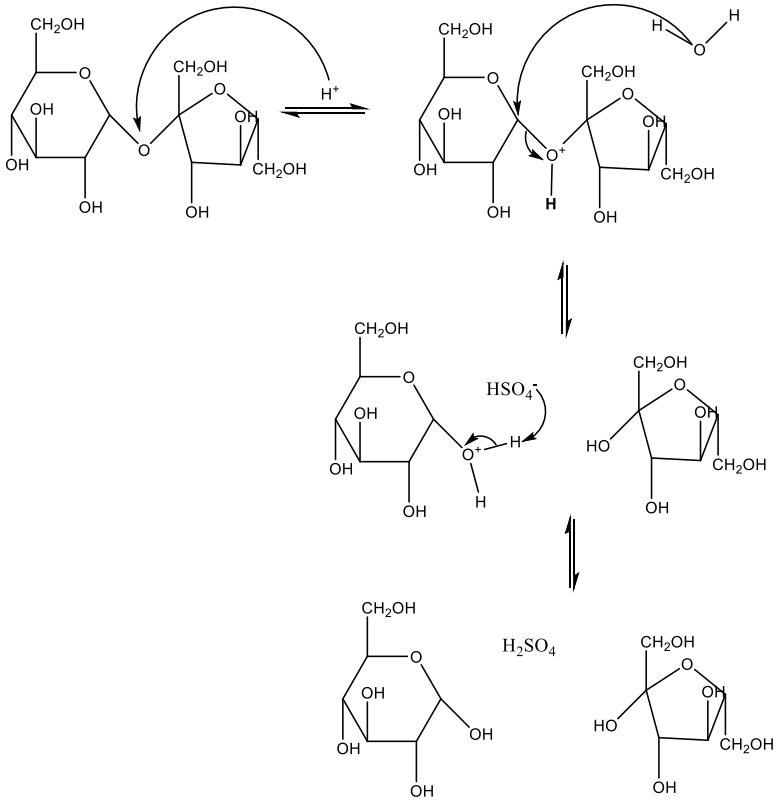
Gambar 4. 3 Pola XRD (A) Zeolit Na-Y hasil sintesis dan (B) zeolite Na-Y standar JCPDS No. 39-1380

4.2 Sintesis dan Karakterisasi Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen.

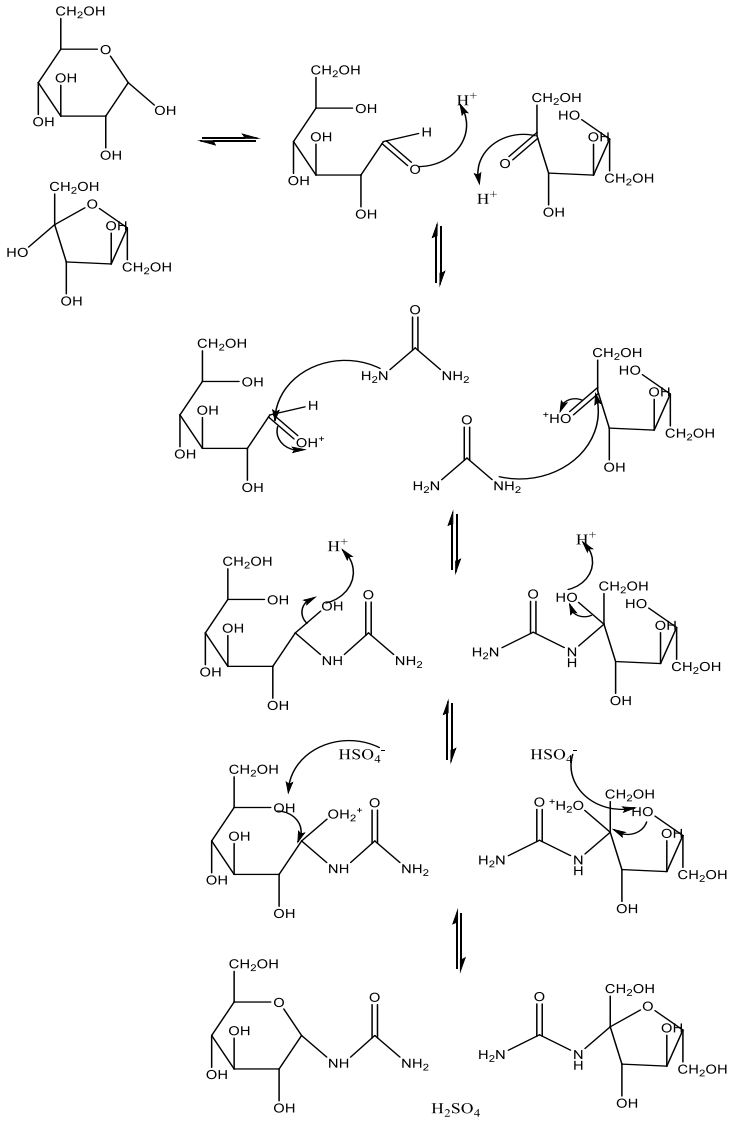
Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen disintesis dengan menggunakan zeolit Na-Y hasil sintesis sebagai templat, urea sebagai prekursor nitrogen, dan sukrosa sebagai prekursor karbon. Pemilihan sukrosa sebagai prekursor karbon karena hasil residu karbon bertemplatnya yang banyak. Pada komposit karbon/zeolit termodifikasi nitrogen terdapat 2 tahapan dalam sintesisnya, yaitu impregnasi urea dan sukrosa kedalam pori zeolit Na-Y dan karbonisasi templat. Tahapan sintesis komposit karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dalam penelitian ini sesuai yang telah dilakukan Kayadoe (2013) dengan rasio penambahan sukrosa (g)/ zeolit (g) adalah 12,5:10. Sebelum proses impregnasi dilakukan, zeolit Na-Y terlebih dahulu didegass pada suhu 200°C (laju pemanasan 1°C/menit) selama 4 jam dengan dialiri gas N_2 karena bersifat inert. Proses degassing ini berfungsi sebagai menghilangkan gas-gas yang mengisi pori-pori pada zeolit Na-Y, sehingga saat proses impregnasi dilakukan, sukrosa dan urea akan lebih mudah masuk ke dalam pori zeolit Na-Y dan menghindari kemungkinan terjadi reaksi lain yang tidak diharapkan akibat kehadiran gas-gas yang reaktif.

Zeolit-NaY diimpregnasi dengan larutan sukrosa-urea yang dibuat dengan melarutkan sukrosa ke dalam H_2SO_4 0,35 M, kemudian ditambahkan urea. Pada pencampuran sukrosa dengan larutan H_2SO_4 0,35 M mengalami hidrolisis dari sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 (Costa dkk, 2013). Setelah pemcampuran sukrosa dengan larutan H_2SO_4 0,35 M, dilakukan pencampuran urea. Setelah terjadi hidrolisis sukrosa, urea akan membentuk ikatan dengan glukosa dan fruktosa didalam larutan H_2SO_4. Penambahan urea akan bereaksi dengan gugus fungsi aldehid dan karbonil dari glukosa dan gugus

fungsi keton dari fruktosa (Ruß dkk, 2011 dan Costa dkk, 2013). Mekanisme reaksi tersebut melibatkan pelepasan gugus OH pada C_1 glukosa dan C_2 fruktosa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Campuran zeolit/sukrosa-urea yang berwarna putih kemudian disaring dengan alat filtrasi vakum hingga terbentuk gel berwarna putih.

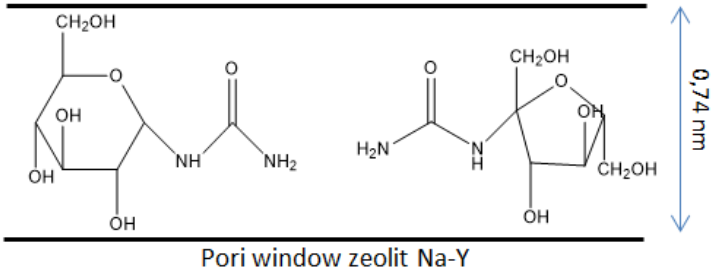


Gambar 4.4 Reaksi hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa (Ruß dkk, 2011; dan Costa dkk, 2013)



Gambar 4.5 Reaksi glukosa dan fruktosa dengan urea (Ruß dkk, 2011; dan Costa dkk, 2013)

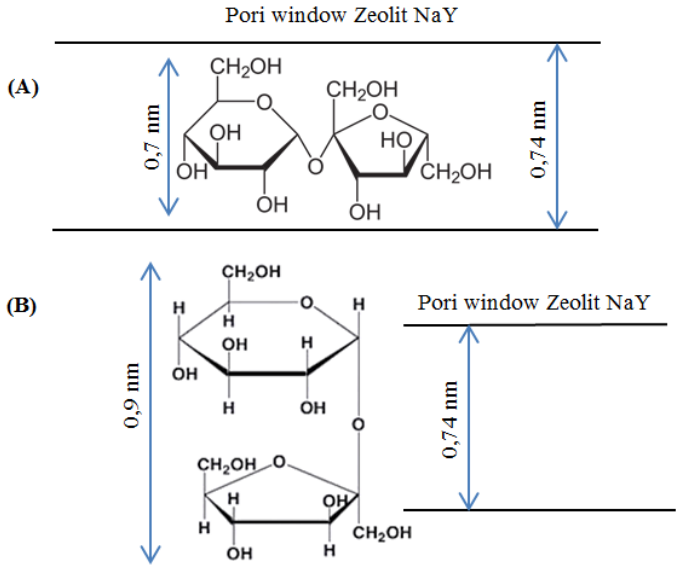
Setelah terjadi pembentukan ikatan antara urea dengan glukosa atau fruktosa, selanjutnya ditambahkan dengan zeolit Na-Y. Sukrosa yang terhidrolisis dan berikatan dengan urea akan masuk kedalam pori zeolit Na-Y pori *window* zeolite Na-Y dengan ukuran rata-rata sebesar 0,74 nm (Weitkamp, 2000), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 A. Kemudian sukrosa yang tidak terhidrolisis memiliki diameter molekul sebesar 0,7–0,9 nm (Ramm, 1982), sehingga ada sukrosa yang masuk kedalam pori zeolit Na-Y dan ada sukrosa yang tidak masuk kedalam pori zeolit Na-Y. Ukuran diameter sukrosa dapat bervariasi karena tergantung dari konformasi sukrosa itu sendiri. Konformasi yang memungkinkan sukrosa bisa masuk ke dalam pori *window* zeolite Na-Y dengan ukuran rata-rata sebesar 0,74 nm (Weitkamp, 2000), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Molekul glukosa-urea dan fruktosa-urea yang masuk ke dalam pori *window* zeolite -Y

Pada Gambar 4.7 (A), sukrosa dapat masuk ke dalam pori-pori *window* zeolite Na-Y karena berada pada konformasi yang sesuai, sehingga nantinya akan menjadi komposit karbon/zeolit Na-Y. Sementara pada Gambar 4.7 (B), menunjukkan sukrosa yang tidak bisa masuk ke dalam pori *window* zeolit Na-Y karena sukrosa berada pada konformasi yang

tidak sesuai, sehingga akan menjadi karbon yang tidak bertemplat ke dalam zeolit Na-Y. Sukrosa yang memiliki ukuran sesuai akan sulit untuk keluar kembali dari pori-pori zeolit Na-Y. Oleh karena itu, residu karbon pada komposit karbon/zeolit Na-Y dapat diperoleh dalam jumlah yang banyak.



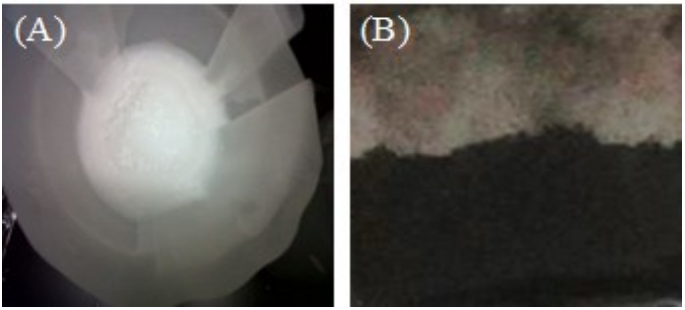
Gambar 4.7 (A) Molekul sukrosa yang berhasil masuk ke dalam pori *window* zeolite -Y dan (B) Molekul sukrosa yang tidak berhasil masuk ke dalam pori *window* zeolit-Y (Susanti, 2016)

Setelah proses impregnasi, tahap selanjutnya dilakukan proses karbonisasi untuk pembentukan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Proses karbonisasi dilakukan pada kondisi tertutup dalam reaktor furnace yang dialiri gas N_2. Kondisi tertutup dengan dialiri gas N_2 untuk mengurangi kadar oksigen yang akan mempengaruhi pembentukan karbon dari sukrosa dan

pembentukan modifikasi nitrogen dari urea. Adapun reaksi saat karbonisasi pada persamaan dibawah berikut ini dan hasil impregnasi beserta hasil sintesis karbon/zeolit termodifikasi nitrogen adalah ditunjukkan pada Gambar 4.8.

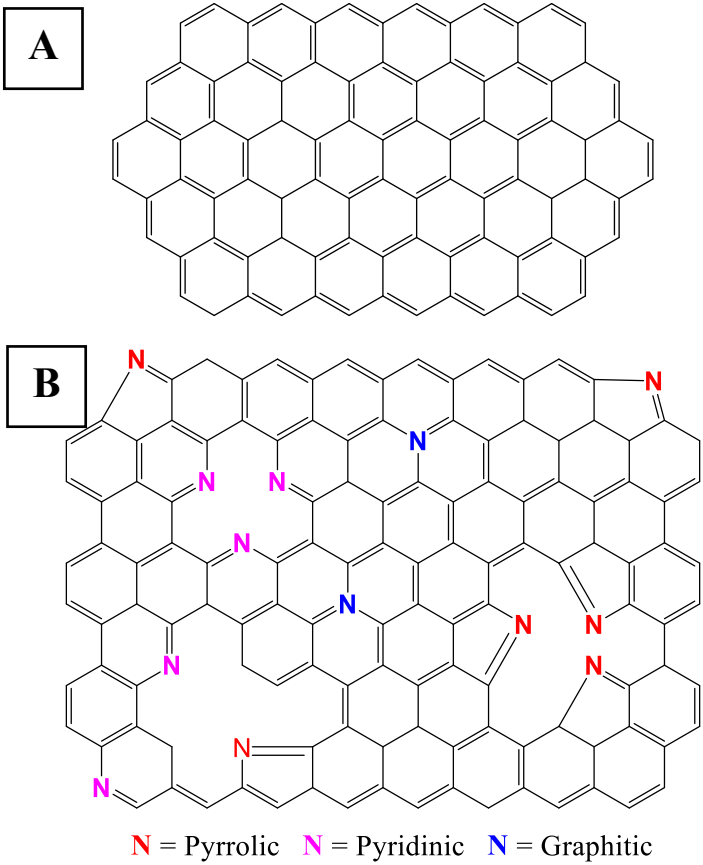
$$C_6H_{12}O_{6\,(l)} \xrightarrow{\Delta} 6C_{(s)} + 6H_2O_{(l)}$$

$$C_7H_{18}O_6N_{2(l)} \xrightarrow{\Delta} \text{Karbon termodifikasi nitrogen (s)}$$



Gambar 4.8 (A) Hasil Impregnasi sukrosa dan urea kedalam zeolit Na-Y dan (B) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen

Penambahan prekursor nitrogen mempengaruhi pembentukan ikatan nitrogen dengan *framework* karbon. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yang dkk (2016) pada sintesis N doped karbon tertemplat SBA-15 dengan pengaruh penambahan rasio mol urea/sukrosa, terjadi peningkatan kadar nitrogen yang terdeposit dengan bertambahnya kadar urea. Oleh karena itu, semakin tinggi penambahan urea, semakin banyak pembentukkan ikatan antara karbon dan nitrogen yaitu membentuk ikatan C-N seperti *pyridinic, graphitic* dan *pyrrolic* (Yadav dkk, 2017).

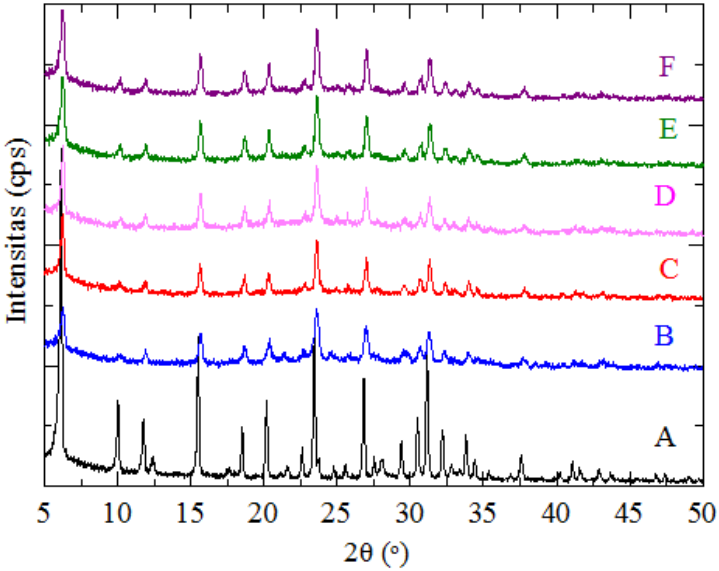


Gambar 4.9 *Framework* (A) Karbon dan (B) Karbon Termodifikasi Nitrogen (Yadav dkk, 2017)

Penambahan urea sebagai prekursor nitrogen akan memperngaruhi struktur pada karbon. Keberadaan nitrogen akan membuat kerusakan pada struktur karbon. Model *framework* karbon berpori memiliki struktur heksagonal seperti benzena

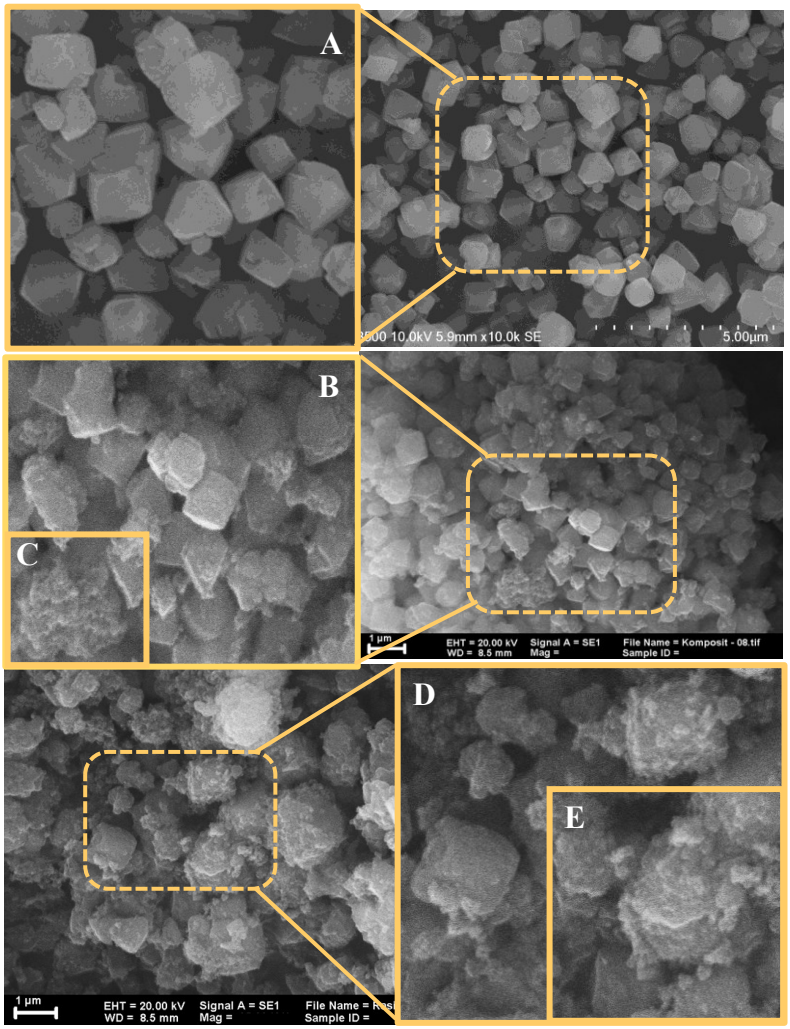
dengan hibridisasi sp^2 (Nishihara dkk, 2009). Saat adanya penambahan nitrogen akan membuat *defect* pada *framework* karbon. Umumnya, ikatan *pyridinic* N dengan dua atom C di tepi yang membuat *defect* pada *framework* karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. *Pyridinic* N berkontribusi satu elektron p ke sistem π. *Pirrolic* N mengacu pada atom N yang menyumbangkan dua elektron p ke π sistem, meski tidak perlu terikat pada cincin beranggota lima, seperti pada *pyrrole* (Ewels dkk, 2005 dan Yadav dkk, 2017). *Quartenary* atau *Graphitic* N adalah atom N yang menggantikan atom C dalam cincin heksagonal. Dalam jenis nitrogen ini, hibridisasi dari *pyridinic*-N dan q*uartenary* -N adalah sp^2 dan hibridisasi dari *pyrrolic*-N adalah sp^3 (Yadav dkk, 2017).

Setelah dilakukan proses karbonisasi, karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dikarakterisasi dengan XRD. Hasil difraktogram XRD pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dibandingkan dengan zeolit Na-Y untuk melihat keteraturan difraktogram karbon yang memasuki pori-pori zeolit Na-Y.Hasil difraktogram XRD pada Gambar 4.10 menunjukkan puncak-puncak khas zeolit Na-Y terdapat pada komposit karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Hal ini berarti sukrosa dan urea memang benar-benar masuk kedalam pori zeolit Na-Y dan setelah dikarbonasi berubah menjadi karbon yang memiliki bentuk seperti templatnya tanpa merusak atau merubah struktur kristal zeolit Na-Y dan penambahan urea sebagai prekursor nitrogen tidak merusak struktur zeolit Na-Y yang ditunjukkan dengan masih terdapatnya puncak-puncak khas zeolit Na-Y. Namun menurunkan kristalinitas zeolit Na-Y. Hal ini dikarenakan pengaruh karbon yang amorf dapat menurunkan kristalinitas dari zeolit-Y.



Gambar 4.10 Difraktogram XRD (A) Zeolit Na-Y (B) Karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (C) 0,5 (D) 1,0 (E) 2,0 (F) 4,0

Difraktogram XRD pada Gambar 4.10 menunjukkan adanya pergeseran 2 teta yang lebih besar dari material zeolit-Y ke karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitorgen. Hal ini dikarenakan pengaruh kalsinasi saat proses pembentukan karbon menyebabkan terjadinya kondensasi silika dan kontraksi dari unit sel (Kleitz dkk, 2001). Pada karbon/zeolit Na-Y termodifikasi nitrogen rasio mol urea/sukrosa sebesar 4,0 mengalami peningkatan intensitas dari rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0. Hal ini diindikasikan bahwa penambahan nitrogen dapat mengurangi karbon yang terdeposit pada zeolit, sehingga kristalinitas zeolit Na-Y meningkat.



Gambar 4.11 Mikrograf SEM (A) Zeolit Na-Y, Karbon/zeolit (B) Oktahedral (C) Karbon amorf, dan Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen 1,0 (D) Oktahedral (E) Karbon amorf

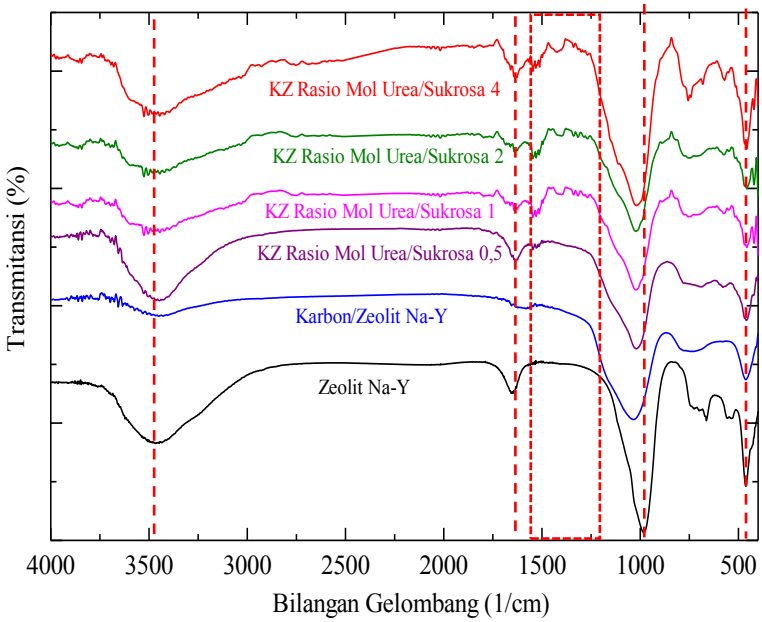
Karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk menentukan morfologi permukaan pada zeolit Y, karbon/zeolit, dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Hasil mikrograf SEM zeolit Na-Y menunjukkan keteraturan yang baik dengan adanya struktur oktahedral. Hasil mikrograf SEM pada karbon/zeolit dibandingkan dengan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio urea/sukrosa sebesar 1,0 untuk melihat keteraturan morfologinya. Gambar 4.11 menunjukkan hasil analisa SEM yang berbeda pada karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio urea/sukrosa sebesar 1,0 . Hasil SEM karbon/zeolit menunjukkan keteraturan yang baik dengan adanya struktur oktahedral. Kemudian pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio urea/sukrosa sebesar 1,0 masih menunjukkan keteraturan replikasi terhadap struktur zeolit Na-Y yang ditandai dengan adanya struktur oktahedral, dan terdapat bagian karbon amorf pada permukaan karbon. Pembentukan kristal oktahedral menandakan proses pengisian karbon berjalan sempurna dan dapat mereplikasi struktur kristal. Kemudian pembentukan gumpalan amorf menandakan proses pengisian karbon tidak berjalan sempurna dan tidak mampu mereplikasi struktur kristal.

Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk identifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam zeolit Na-Y, karbon/zeolit, dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Karakterisasi dengan FTIR didasarkan pada penyerapan radiasi inframerah oleh suatu molekul pada energi (frekuensi) tertentu. Penyerapan energi tersebut menyebabkan inti-inti atom yang terikat secara kovalen bervibrasi, sehingga terjadi perubahan momen dipol. Panjang gelombang serapan bergantung pada jenis ikatan yang terbentuk. Gugus fungsi yang terdeteksi dibandingkan dengan spektrum standar. Karakterisasi dilakukan pada serapan bilangan

gelombang 400–4000 cm^{-1} dan diperoleh spektra dari sampel hasil sintesis yang dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pita serapan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen

Gugus fungsi	Bilangan gelombang (cm^{-1}) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen				Bilangan gelombang (cm^{-1}) Pustaka	Pustaka
	0,5	1,0	2,0	4,0		
vibrasi ulur dari hidroksi (O-H)	3445	3422	3445	3435	3656	Li, 2005
vibrasi ulur C-N	-	1267-1338	1259-1273	1301-1321	1257-1326	Geng dkk, 2011
Vibrasi sp^3 C-N	-	1422-1431	1422-1452	1437	1430-1480	Li dkk, 2014
Vibrasi ulur C=N	1527-1546	1530-1547	1527-1546	1527-1547	1500-1590	Wang dkk, 2015
vibrasi tekuk N-H	1546	1547	1547	1547	1550	Geng dkk, 2011
vibrasi tekuk dari hidroksi (O-H)	1643	1637	1637	1636	1610-1639	Li, 2005
Vibrasi ulur asimetri (Si-O-Al)	1015	1022	1018	1022	1020-1135	Li, 2005
vibrasi ulur simetri (Si-O-Al)	775	754	756	756	725-792	Li, 2005
Vibrasi tekuk Si/Al-O	457	457	457	459	450-500	Li, 2005



Gambar 4.12 Spektra FTIR zeolit Na-Y, karbon/zeolit, dan karbon/zeolit termodifikasi nitorgen

Spektra FTIR pada Gambar 4.12 yang dihasilkan oleh zeolit Na-Y dan karbon/zeolit tidak menunjukkan gugus fungsi C-N yang terbentuk. Pada spektra FTIR Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen terbentuk beberapa serapan gugus fungsi yaitu vibrasi ulur C-N pada 1257-1326 cm^{-1}. Hal ini telah sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh Geng dkk (2011) dan Hu dkk (2015). Puncak pada 1430-1480 cm^{-1} merupakan vibrasi sp^3 C-N (Li dkk, 2014). Vibrasi ulur C=N pada 1527-1547 cm^{-1}, telah sesuai dengan literatur, bahwa serapan pada 1500-1590 cm^{-1} menginformasikan adanya vibrasi ulur C=N tipe *pyrolic* (Wang dkk, 2015). Puncak pada 3450 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur O-H, dan vibrasi tekuk dari hidroksi (O-H) pada bilangan gelombang

1610-1639 cm^{-1}. Pada bilangan gelombang diarea 3500 terjadi *overlaping* puncak vibrasi O-H dengan N-H. Sehingga vibrasi ulur N-H tidak dapat terlihat. Namun terlihat vibrasi tekuk N-H pada 1550 cm^{-1}.

Hasil spektra FTIR pada Gambar 4.12 terjadi pergeseran bilangan gelombang yang lebih besar dari material zeolit-Y pada 1001,09 cm^{-1} dengan karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen pada 1010-1033,88 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri dari (Si-O-Al), hal ini dikarenakan pengaruh kalsinasi sebagai proses pembentukan karbon menyebabkan terjadinya reduksi atau kontraksi dari unit sel dan pengaruh terjadinya kondensasi silika (Skeels dkk, 1989 dan Kleitz dkk, 2001). Kemudian pada 457-462 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk dari (Si-O-Si) atau (O-Si-O), pada 663,53 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur simetri dari (Si-O-Al). Hasil ini sama dengan hasil yang dilaporkan oleh Li (2005) yang melakukan pengujian FTIR terhadap zeolit Na-Y.

Kandungan total nitrogen dan karbon pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dilakukan analisis dengan *elemental analyzer* yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Kadar nitrogen dan karbon diidentifikasi untuk mengetahui banyaknya atom nitrogen dan karbon pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Kandungan nitrogen pada tiap penambahan rasio mol urea/sukrosa mengalami peningkatan. Penambahan urea sebagai prekursor nitrogen dapat menyebabkan pembentukkan ikatan antara karbon dan nitrogen. Pengaruh kandungan nitrogen yang terdeposit dapat terlihat dari nilai rasio nitrogen/karbon. Kandungan rasio nitrogen/karbon semakin meningkat pada tiap penambahan rasio mol urea/sukrosa, namun rasio kandungan karbon/nitrogen semakin menurun pada tiap penambahan rasio mol urea/sukrosa. Penambahan prekursor

nitrogen mempengaruhi pembentukan ikatan nitrogen dengan karbon. Menurut penelitian oleh Bing dkk (2017), sintesis karbon termodifikasi nitrogen dengan pengaruh penambahan rasio mol urea/sukrosa mengalami peningkatan rasio nitrogen/karbon, maka semakin banyak pembentukkan ikatan antara karbon dan nitrogen yaitu membentuk ikatan C-N seperti *pyridinic, graphitic* dan *pyrrolic* (Yadav dkk, 2017). Penambahan rasio mol urea/sukrosa kedalam zeolit dapat meningkat kadar nitrogen. Oleh karena itu, nitrogen yang terdeposit akan menjadikan sisi aktif pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen (Zhang dkk, 2013).

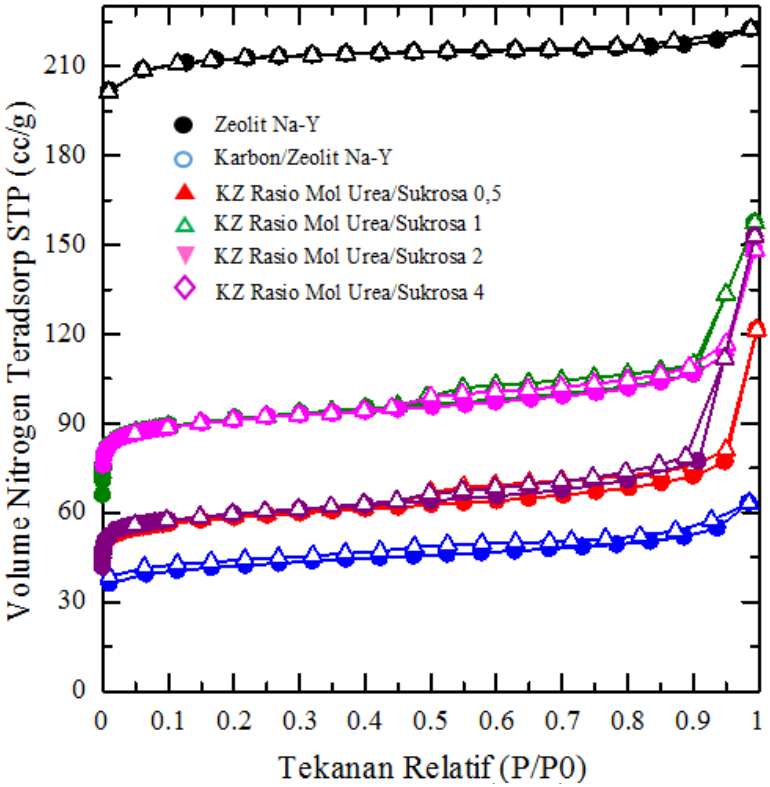
Tabel 4.2 Perbandingan kadar karbon dan nitrogen pada sampel karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen

Material Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen	Elemental Konten (%)		Rasio N/C	Rasio C/N
	N	C		
A*	0,0112	18,5107	0,00061	1639,344
B*	0,3382	12,6416	0,02786	35,9007
C*	0,4718	12,4641	0,03261	30,665
D*	0,4777	10,6149	0,04499	22,223
E*	0,5738	9,4922	0,06045	16,543
*(A) karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (E) 4				

4.3 Karakteristik Luas Permukaan dan Pori Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen

Analisis isoterm adsorpsi dengan gas N_2 bertujuan untuk mengetahui luas permukaan dan karakteristik spesifik pori pada karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Hasil

analisis adsorpsi-desorpsi N_2 tersebut digunakan untuk menunjukkan secara kualitatif mekanisme adsorpsi yang terjadi pada karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Grafik hasil analisis adsorpsi-desorpsi N_2 ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik adsorpsi-desorpsi N_2 (A) Zeolit Na-Y, Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (B) 0,5 (C) 1,0 (D) 2,0 (E) 4,0, dan (F) karbon/zeolit

Hasil adsorpsi-desorpsi N_2 pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa material zeolit Na-Y memiliki isotermal tipe I. Grafik isotermal tipe I ditunjukkan dengan adanya jumlah dari adsorpsi gas N_2 pada tekanan yang relatif rendah (P/Po<0,3). Hal ini menunjukkan bahwa zeolit Na-Y memiliki karakteristik pori yang berukuran mikro (mikropori) (Kurniawan dkk., 2017). Banyaknya gas N_2 yang dapat teradsorp pada rentang tekanan relatif (P/Po) 0,1-0,3 mengindikasikan bahwa adsorbat telah membentuk monolayer pada permukaan zeolit Na-Y. Sementara, ketika perbedaan tekanan meningkat (P/Po=0,7) terjadi penurunan adsorpsi gas N_2 akibat lapisan pori internal zeolit Na-Y tidak dapat lagi terisi oleh adsorbat (Suzuki, 1986). Pada saat tekanan mencapai 1 atm, material zeolit Na-Y sudah tidak mampu secara keseluruhan untuk mengadsorp gas N_2, sehingga tidak terjadi peningkatan kembali kapasitas adsorpsi gas N_2.

Pada material karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen memiliki isotermal tipe IV dan tipe I yang ditandai dengan adanya loop histerisis. Loop histerisis yang terbentuk menandakan bahwa adanya pengisian adsorbat pada mesopori yang terbentuk adanya kondensasi kapiler pada permukaan pori. Dengan terbentuknya kondesasi kapiler tersebut, maka adsorbat tidak akan lepas secara keseluruhan pada saat proses desorpsi layaknya isotermal tipe I. Namun, sebagian adsorbat yang masih menempel pada permukaan adsorben tersebut menyebabkan terbentuknya loop histerisis (Suzuki, 1986). Kemudian banyaknya gas N_2 yang dapat teradsorp pada rentang tekanan relatif (P/Po) 0,1-0,3, menandakan karakteristik dari mikropori yang dimiliki oleh zeolit Na-Y. Karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen merupakan gabungan antara material zeolit Na-Y dengan karbon.

Tabel 4.3 Perbandingan karakteristik luas permukaan dan pori material hasil sintesis

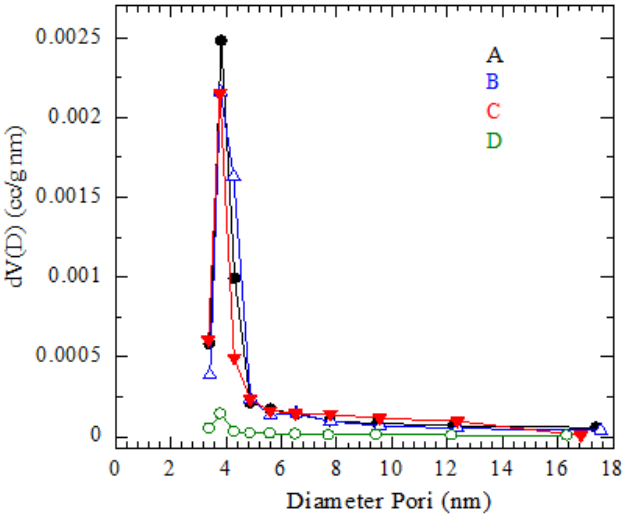
Material	Luas Permukaan (m^2/g)	Volume Pori (cc/g)			Diameter pori rata-rata (nm)
		V_{mikro}	V_{meso}	V_{total}	
A*	656,129	0,313	0,026	0,344	2,098
B*	133,293	0,049	0,042	0,098	2,935
C*	172,638	0,082	0,106	0,188	3,362
D*	267,434	0,131	0,127	0,244	3,651
E*	267,210	0,130	0,097	0,229	3,432
F*	175,652	0,084	0,097	0,181	5,382

*(A) zeolit Na-Y, (B) karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (C) 0,5 (D)1 (E) 2 dan (F) 4

Luas permukaan yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dapat dilihat pada material zeolit Na-Y mengalami penurunan saat penambahan karbon pada komposit karbon/zeolit. Hal ini dapat dilihat terjadi penurunan volume mikropori antara zeolit Na-Y dan karbon/zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa karbon yang terbentuk akan mengisi mikropori pada zeolit dan menutupi permukaan zeolit. Sukrosa sebagai prekursor karbon nantinya dapat masuk ke dalam pori-pori *window* zeolit Na-Y karena berada pada konformasi yang sesuai, sehingga nantinya akan menjadi komposit karbon/zeolit Na-Y. Kemudian sukrosa yang tidak bisa masuk ke dalam pori *window* zeolit Na-Y karena sukrosa berada pada konformasi yang tidak sesuai, sehingga akan menjadi karbon yang tidak bertemplat ke dalam zeolit Na-Y.

sukrosa yang memiliki ukuran sesuai, maka sukrosa akan sulit untuk keluar kembali dari pori-pori zeolit Na-Y. Hal ini ditunjukkan oleh kenaikan volume mesopori yang diakibatkan oleh pembentukkan mesopori karbon diluar pori zeolit. Oleh karena itu, karbon bertemplat zeolit dapat diperoleh dalam jumlah yang banyak, sehingga karbon menutupi saluran mikropori didalam zeolit dan diluar pori zeolit.

Material karbon/zeolit hingga karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea / sukrosa sebesar 1,0 mengalami peningkatan luas permukaan. Meningkatnya luas permukaan ini dikarenakan adanya pengaruh adanya penambahan nitrogen yang membuat *defect* pada *framework* karbon diluar zeolit maupun didalam pori zeolit. Umumnya, ikatan *pyridinic* N dengan dua atom C di tepi yang membuat kerusakan pada *framework* karbon (Yadav dkk, 2017). Rusaknya struktur karbon ini menyebabkan terbentuknya suatu mikropori pada karbon diluar zeolit terlebih dahulu kemudian nitrogen akan menjangkau didalam pori zeolit (Bing dkk, 2017). Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya peningkatan volume pori total pada karbon/zeolit menuju penambahan nitrogen rasio mol urea / sukrosa sebesar 0,5 dan 1,0. Namun, karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0 mengalami penurunan luas permukaan menjadi 267,210 m^2/g dan penurunan volume pori. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan nitrogen akan menyebabkan terjadinya perusakan *framework* karbon, yaitu merusak mikropori hingga menjadi makropori (Bing dkk 2017). Akibatnya terjadi penurunan volume mesopori dan mikropori, sehingga menurunkan luas permukaan (Yang dkk, 2016). Kemudian karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa sebesar 4,0 mengalami penurunan luas permukaan secara signifikan menjadi 175,652 m^2/g dan volume pori.

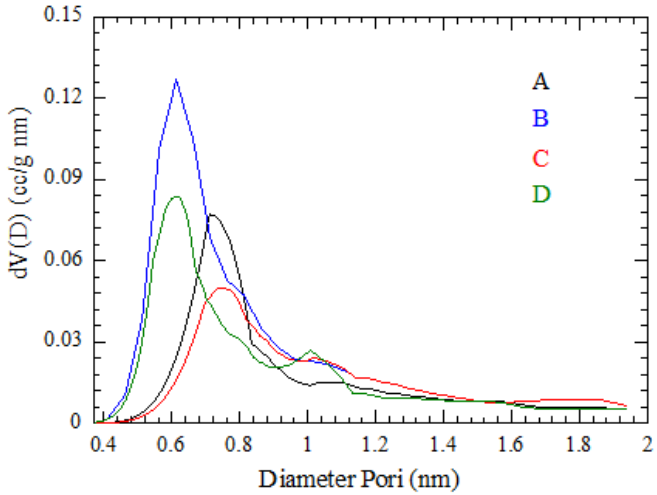


Gambar 4.14 Distribusi ukuran pori dengan metode BJH karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (A) 0,5 (B)1 (C) 2 dan (D) 4

Pada Gambar 4.14 menunjukkan bahwa pada tiap penambahan rasio mol urea/sukrosa memiliki distribusi ukuran pori lebih besar. Distribusi diameter pori untuk rasio mol urea/sukrosa 0,5 hingga 2,0 mengalami penurunan ukuran mesopori. Hal ini diakibatkan keberadaan nitrogen yang merusak struktur karbon sehingga membuat mikropori. Namun nilai distribusi diameter pori untuk rasio mol urea/sukrosa 4,0 menurun, hal ini diakbiatkan karena semakin banyak nitrogen yang ditambahkan akan semakin banyak perusakan pada pori karbon (Yadav dkk, 2017 dan Bing dkk, 2017). Adapun nilai diameter pori BJH pada sampel karbon/zeolit termodifikasi dengan rasio mol urea/sukrosa ½, 1, 2, dan 4 ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan karakteristik distribusi ukuran pori dengan metode BJH

Material Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen	Diameter pori (nm)
Rasio mol urea/sukrosa = 0,5	3,828
Rasio mol urea/sukrosa = 1,0	3,796
Rasio mol urea/sukrosa = 2,0	3,779
Rasio mol urea/sukrosa = 4,0	3,807



Gambar 4.15 Distribusi ukuran pori dengan metode HK karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (A) 0,5 (B)1 (C) 2 dan (D) 4

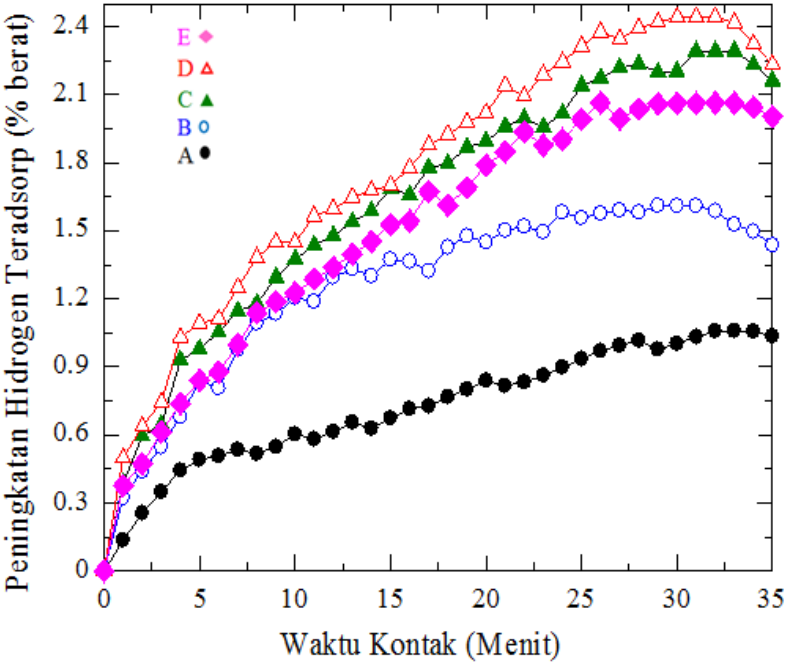
Gambar 4.15 menunjukkan bahwa pada tiap penambahan rasio mol urea/sukrosa memiliki distribusi ukuran mikropori. Keberadaan nitrogen pada struktur karbon dapat merusak struktur karbon sehingga membuat pori baru yaitu mikropori (Yadav dkk, 2017 dan Bing dkk, 2017).

Tabel 4.5 Perbandingan karakteristik distribusi ukuran pori dengan metode HK

Material Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen	Diameter pori (nm)
Rasio mol urea/sukrosa = 0,5	0,783
Rasio mol urea/sukrosa = 1,0	0,645
Rasio mol urea/sukrosa = 2,0	0,779
Rasio mol urea/sukrosa = 4,0	0,637

4.4 Pengujian Adsorpsi Gas Hidrogen

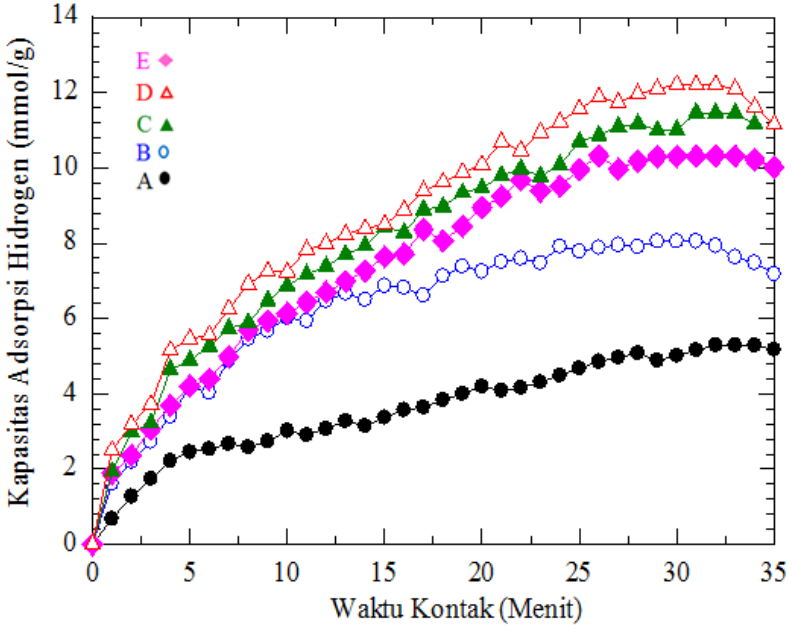
Pada penelitian ini, komposit karbon/zeolit dan Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen digunakan untuk adsorpsi gas hidrogen. Proses pengukuran kapasitas adsorpsi gas hidrogen diuji dengan metode gravimetri (Kayadoe dkk., 2013), yaitu dengan mengamati perubahan massa selama proses penyerapan gas hidrogen dan dicatat setiap 1 menit, kemudian dihitung selisihnya terhadap massa awal (massa sebelum dialiri gas). Hasil pengukuran kapasitas adsorpsi gas hidrogen pada material komposit karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen kemudian dikonversi menjadi persen berat. Sebelum dilakukan pengujian kapasitas adsorpsi gas hidrogen, komposit karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dilakukan proses *degassing* pada suhu 350°C selama 3 jam untuk menghilangkan gas pengotor maupun uap air (Suci, 2015). Setelah proses *degassing* suhu diturunkan hingga suhu ruang (30°C), kemudian dimulai proses adsorpsi gas hidrogen dengan laju alir 20 mL/menit yang diatur menggunakan alat *Mass Flow Control*. Pada penelitian ini proses adsorpsi gas hidrogen dilakukan pada suhu 30°C selama 35 menit (hingga massa konstan).



Gambar 4.16 Peningkatan hidrogen teradsorp (A) Komposit Karbon/Zeolit, (B) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (C) 0,5 (D) 1 (E) 2 dan (F) 4

Berdasarkan Gambar 4.15, pola peningkatan adsorpsi hidrogen pada masing-masing sampel memiliki kesamaan yaitu cenderung naik dan konstan pada antara waktu menit ke-28 dan ke-33. Konstan yang dihasilkan pada profil peningkatan adsorpsi hidrogen menandakan kondisi jenuh pada material komposit karbon/zeolit dan komposit karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Profil peningkatan adsorpsi hidrogen (% berat) juga dapat ditunjukkan dengan profil kapasitas adsorpsi hidrogen (mmol/g),

dimana profil kapasitas adsorpsi hidrogen juga memiliki kesamaan profil.



Gambar 4.17 Kapasitas adsorpsi hidrogen (A) Komposit Karbon/Zeolit, (B) Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi mol rasio urea/sukrosa (C) 0,5 (D) 1 (E) 2 dan (F) 4

Berdasarkan Gambar 4.16, pola kapasitas adsorpsi hidrogen pada masing-masing sampel memiliki kesamaan seperti peningkatan adsorpsi hidrogen yaitu cenderung naik. Pada menit ke-0 hingga menit ke-25 terjadi peningkatan yang tajam, artinya proses adsorpsi gas H_2 berlangsung cepat. Hal tersebut dikarenakan pada awal adsorpsi, gas H_2 memasuki pori dan menempati sisi aktif kosong pada permukaan karbon. Pada kondisi ini, proses adsorpsi gas H_2 mulai berjalan lambat karena

sisi aktif yang kosong telah terisi semua oleh gas H_2 yang masuk terlebih dahulu (Susanti, 2015 dan Susanti, 2018). Proses ini terlihat pada Gambar 4.11, dimana mulai menit ke-25 peningkatan kapasitas adsorpsi H_2 terjadi secara perlahan. Apabila kondisi ini diteruskan, maka gas H_2 akan membentuk lapisan *multilayer* hingga mencapai tingkat jenuh (Susanti, 2015 dan Suci, 2015), seperti tertera pada Gambar 4.11. Tingkat jenuh tersebut ditandai dengan massa yang diperoleh konstan.

Pada material komposit karbon/zeolit yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 memiliki kapasitas adsorpsi hidrogen yang rendah jika dibandingkan dengan adanya karbon/zeolit termodifikasi nitrogen. Pada rasio mol urea/sukrosa 0,5 menuju 2,0 mengalami peningkatan kapasitas adsorpsi hidrogen. Hal tersebut dikarenakan pengaruh nitrogen menambah sisi aktif sekaligus menambah pori baru, sehingga terjadi penambahan luas permukaan dan volume mikropori. Namun pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 4 mengalami penurunan kapasitas adsorpsi hidrogen. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak prekursor nitrogen yang diberikan akan semakin banyak perusakan kerangka karbon, sehingga mengalami penurunan luas permukaan dan volume pori yang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Oleh karena itu, molekul hidrogen dapat mempertahankan sifatnya dan tidak berubah ketika proses adsorpsi berlangsung. Karbon yang berpori memiliki struktur heksagonal seperti benzena dengan hibridisasi sp^2. Ikatan hidrogen pada sistem hibridisasi sp^2 terjadi interaksi yang lemah, yang berasal dari induksi dipol-dipol. Momen dipol yang dihasilkan sangat kecil karena ikatan antar molekul H-H yang cukup kaku dan densitas muatan dari material yang terikat sp^2 sedikit seragam pada saat kesetimbangan adsorpsi hidrogen, sehingga menyebabkan peningkatan molekul hidrogen pada

karbon rendah (Wijiyanti, 2015). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan modifikasi penambahan nitrogen.

Tabel 4. 6 Perbandingan kapasitas adsorpsi gas H_2 material hasil sintesis dengan material lainnya

Jenis Sampel	Kondisi Adsorpsi		Peningkatan Hidrogen Teradsorp (% berat)	Kapasitas Adsorpsi Hidrogen (mmol/g)	Pustaka
	T (^{0}C)	P (bar)			
Material Hasil Sintesis dari Penelitian					
A*	30	1	1,058	5,294	Penelitian berikut ini
B*	30	1	1,611	8,055	
C*	30	1	2,293	11,465	
D*	30	1	2,442	12,211	
E*	30	1	2,062	10,321	
Material dari Referensi					
KTZ-Y teraktivasi K_2CO_3	30	1	3,206	-	Suci dkk, 2015
N doped Karbon Templat Silika Gel	25	1	0,005	-	Konwar dkk, 2016
KTZ – Y	30	1	1,720	-	Wijiyanti, 2015
Karbon Templat ZSM-5	30	1	2,124	-	Ediati dkk, 2017

*(A)karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (E) 4

Peningkatan kapasitas adsorpsi hidrogen dipengaruhi adanya penambahan nitrogen sebagai sisi aktif pada adsorben. Peningkatan tersebut ditunjukkan dari material karbon/zeolit menuju karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0. Namun, pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 4,0 mengalami penurunan kapasitas adsorpsi hidrogen. Hal ini dikarenakan pengaruh banyaknya nitrogen yang ditambahkan akan merusak struktur karbon diluar maupun didalam zeolit, sehingga akan mempengaruhi luas permukaan dan volume pori pada adsorben. Hal ini dapat dilihat pada pembahasan Tabel 4.5 terjadi penurunan volume pori pada rasio mol urea/sukrosa sebesar 4,0. Hal ini diindikasikan pori semakin rusak dan melebar menjadi makropori sehingga hasil kapasitas adsorpsi hidrogen menurun. Menurut penelitian Yang dkk (2016) dan Bing dkk (2017) pada penambahan prekursor nitrogen akan banyak merusak kerangka dari karbon

Pengaruh penambahan urea sebagai prekursor nitrogen memberikan kenaikkan kapasitas adsorpsi gas hidrogen. Semakin besar penambahan urea semakin tinggi kapasitas hidrogen teradsorp. Hal ini diakibatkan semakin besar penambahan urea semakin banyak nitrogen yang terbentuk. Sumber nitrogen yang ditambahkan dengan sumber karbon harus membentuk ikatan kimia sehingga setelah proses karbonisasi didapatkan *pyridinic, pyrrolic*, *graphitic* nitrogen pada struktur karbon (Yang dkk, 2016). Oleh karena itu, kenaikkan kapasitas gas hidrogen ini diakibatkan karena adanya interaksi nitrogen dengan gas hidrogen, dimana terjadi interaksi kemisorpsi antara hidrogen dengan nitrogen (Wang dkk, 2009). Interaksi sisi aktif nitrogen ini yang menambah densitas muatan pada adsorben, sehingga sisi aktif nitrogen dengan hidrogen memungkinkan membentuk ikatan (Zhang dkk, 2013 dan Bing dkk, 2017). Ikatan antar molekul H-H

yang memiliki dipol positif dan dipol negatif. Perbedaan dipol pada H-H akan berinteraksi dengan nitrogen pada atom H yang memiliki dipol positif.

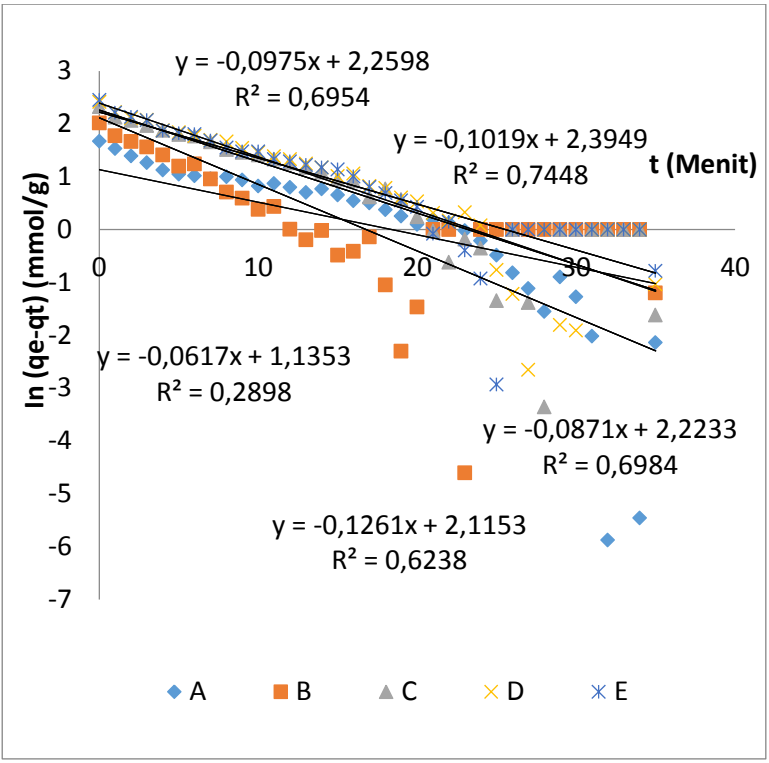
4.5 Model Kinetika Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen

Hasil pengamatan adsorpsi H_2 pada penelitian ini selanjutnya digunakan untuk menentukan model kinetika adsorpsi dengan beberapa model kinetika adsorpsi gas yaitu orde satu semu, orde dua semu dan difusi intra partikel (Ho dkk, 1999, Ho dkk, 2000, Plazinski dkk., 2009; Widiastuti dkk., 2011; dan Holle dkk, 2013).

4.5.1 Orde Satu Semu

Reaksi orde satu semu adalah turunan dari orde dua dengan asumsi salah satu reaktan memiliki konsentrasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi reaktan yang lain (Widiastuti dkk, 2011 dan Holle dkk, 2013). Pemodelan kinetika ini mengasumsikan bahwa laju reaksi orde dua seolah-olah seperti orde satu. Oleh karena itu, muncul kata semu pada reaksi orde ini karena konsentrasi salah satu reaktan seolah tidak berubah (Widiastuti dkk, 2011 dan Holle dkk, 2013).

Persamaan pada orde satu semu dapat dilihat pada Persamaan 2.8. Pada Gambar 4.17 menunjukkan grafik dari orde satu semu, yaitu plot antara ln (q_e–q_t) sebagai ordinat dengan waktu (t) sebagai absis. Dari plot grafik tersebut, diperoleh nilai konstanta laju orde satu semu (k_1) yang dirangkum pada Tabel 4.6. Pemodelan orde satu semu pada penelitian ini ialah konsentrasi dari adsorben karbon/zeolit termodifikasi nitrogen diasumsikan tidak berubah, karena konsentrasinya terlalu besar dibandingkan konsentrasi hidrogen sebagai adsorbat.

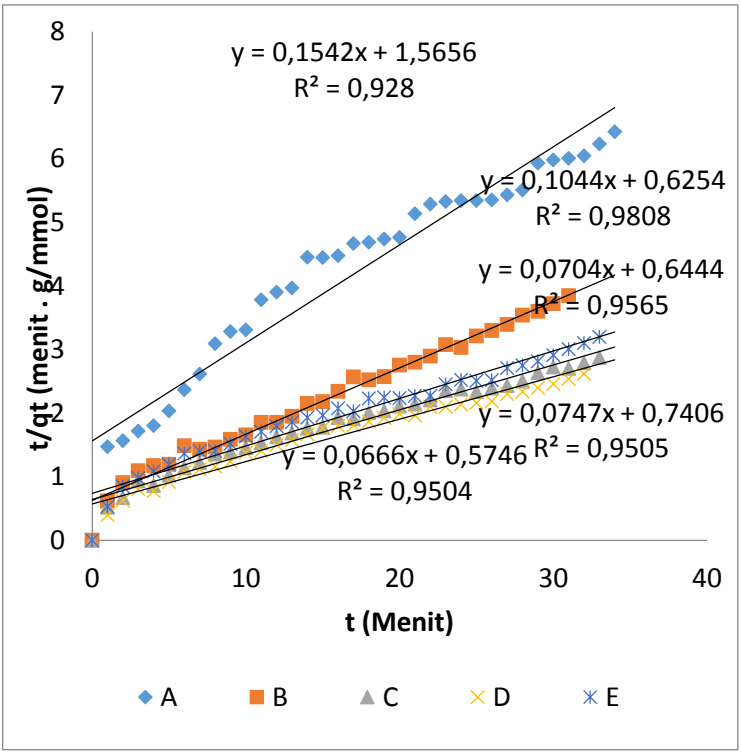


Gambar 4.18 Plot model kinetika orde satu semu pada material (A) karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (4)

4.5.2 Orde Dua Semu

Reaksi orde dua merupakan turunan dari orde satu yang didasarkan pada kapasitas adsorpsi kesetimbangan, dengan asumsi kapasitas adsorpsi selalu proporsional dengan banyaknya sisi aktif yang dimiliki oleh suatu adsorben (Widiastuti dkk, 2011). Persamaan kinetika orde kedua-semu menunjukkan laju

adsorpsi dari sebuah adsorbat tergantung pada kapsitas penyerapan dari adsorben bukan pada konsentrasi adsorbat (Ho dkk, 2000 dan Plazinksi dkk, 2000). Pada penelitian ini, kapasitas adsorpsi hidrogen selalu proporsional dengan banyaknya sisi aktif nitrogen yang dimiliki oleh karbon/zeolit termodifikasi nitrogen.

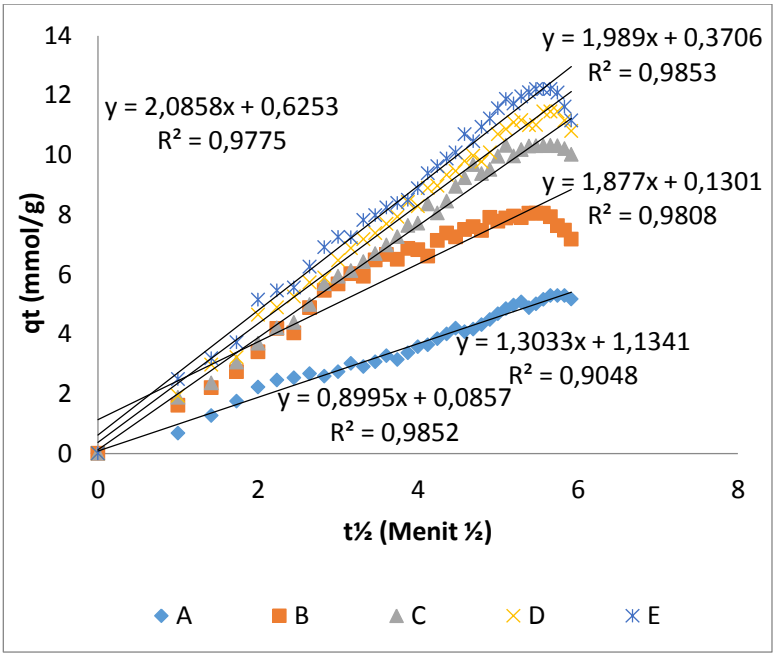


Gambar 4.19 Plot model kinetika orde dua semu pada material (A) karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (4)

Persamaan orde dua semu dapat dilihat pada Persamaan 2.18. Plot antara t/q_t dengan waktu (t) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 merupakan grafik orde dua semu. Dari plot grafik tersebut, diperoleh nilai konstanta laju orde dua semu (k_s) yang dirangkum pada Tabel 4.6. Berdasarkan Tabel 4.6, laju adsorpsi hidrogen lebih besar pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen daripada karbon/zeolit. Penambahan rasio mol urea/sukrosa meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen sehingga , laju adsorpsi hidrogen juga. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung lebih cepat dengan penambahan rasio mol urea/sukrosa karena nitrogen menjadi sisi aktif pada *framework* karbon. Selain itu, model kinetika orde dua semu juga menunjukkan bahwa kapasitas hidrogen pada saat kesetimbangan hampir sama dengan data eksperimen adsorpsi hidrogen yang didapatkan, yaitu kapasitas adsorpsi hidrogen pada saat kestimbangan cenderung lebih banyak pada penambahan rasio mol urea/sukrosa.

4.5.3 Difusi Intrapartikel

Model kinetika difusi intra partikel mengindikasikan proses adsorpsi H_2 ke dalam pori karbon/zeolit termodifikasi nitrogen berlangsung dalam dua tahap, yaitu tahap difusi mesopori dan tahap difusi mikropori. Pada tahap difusi mesopori, molekul gas H_2 teradsorp pada karbon amorf yang ada di permukaan luar karbon/zeolit termodifikasi nitrogen, sedangkan pada tahap difusi mikropori, molekul gas H_2 akan terdesorp pada permukaan dalam karbon/zeolit termodifikasi nitrogen yaitu masuk kedalam pori zeolit sebagai templatnya (Widiastuti dkk., 2011 dan Susanti 2018).



Gambar 4.20 Plot model kinetika difusi intrapartikel pada material (A) karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (4)

Persamaan difusi intra partikel dapat dilihat pada Persamaan 2.19. Plot antara q_t sebagai ordinat dan $t^{1/2}$ sebagai absis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19 merupakan grafik difusi intra partikel. Berdasarkan Gambar 4.14, proses awal atau difusi mesopori berlangsung cepat yang kemudian melambat pada saat berdifusi ke dalam permukaan difusi mikropori pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen yaitu masuk kedalam pori zeolit sebagai templatnya (Widiastuti dkk., 2011 dan Susanti 2018).

Tabel 4.7 Parameter model kinetika adsorpsi hidrogen pada karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen

Model Kinetika	**Parameter**			
Orde Satu Semu	k_f		q_e	R^2
A*	0,062		3,112	0,290
B*	0,126		8,292	0,624
C*	0,098		9,581	0,695
D*	0,102		10,961	0,745
E*	0,087		9,238	0,698
Orde Dua Semu	k_s	H	q_e	R^2
A*	0,015	0,639	6,485	0,928
B*	0,017	1,599	9,579	0,981
C*	0,008	1,552	14,205	0,951
D*	0,008	1,740	15,015	0,950
E*	0,007	1,350	13,387	0,957
Difusi Intra Partikel	k_{id}		C	R^2
A*	0,899		0,086	0,985
B*	1,303		1,134	0,905
C*	1,877		0,130	0,981
D*	1,989		0,371	0,986
E*	2,086		0,625	0,978

Keterangan:
k_f = konstanta laju orde satu semu (menit^{-1})
q_e = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mmol/g)
h = laju penyerapan awal orde dua semu (mmol/g.menit)
k_s = konstanta laju orde dua semu (g/mmol.menit)
k_{id} = konstanta laju difusi intra partikel (mmol.g^{-1}.menit$^{-0,5}$)
C = intersep yang menyatakan ketebalan batas lapisan

*(A)karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa (B) 0,5 (C)1 (D) 2 dan (E) 4

Pada orde satu semu dan orde dua semu yang ditunjukkan pada Tabel 4.6, kenaikkan nilai q_e yaitu kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mmol/g) seiring dengan kenaikan rasio mol urea/sukrosa. Kenaikkan q_e ini diakibatkan semakin banyaknya sisi aktif dengan pengaruh penambahan rasio mol urea/sukrosa. Kemudian adsorpsi pada karbon/zeolit dan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen mengikut persamaan orde dua semu. Asumsi dari orde dua semu yaitu kapasitas adsorpsi selalu proporsional dengan banyaknya sisi aktif yang dimiliki oleh suatu adsorben (Widiastuti dkk, 2011 dan Susanti 2018), sehingga pengaruh penambahan nitrogen pada *framework* karbon menambah sisi aktif dan kapasitas adsorpsi hidrogen. hal ini ditunjukkan dengan nilai h yaitu laju penyerapan awal orde dua semu (mmol/g.menit). Laju penyerapan awal orde dua semu tertinggi pada material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan rasio mol urea/sukrosa, hal ini dipengaruhi adanya banyaknya sisi aktif nitorgen dan luas permukaan. Luas permukaan yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 akan mempengaruhi persebaran sisi aktif nitrogen dan laju adsorp gas hidrogen.

BAB V.
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen dengan variasi rasio mol urea/sukrosa sebesar ½, 1, 2, dan 4 telah berhasil disintesis. Hasil XRD menunjukkan bahwa material hasil sintesis memiliki puncak karakteristik yang sama dengan zeolit Na-Y pada 2θ= 6,2° ; 10,1°; 11,8°; 20,2°; 23,5°; 26,9°; 30,5°; 31,2°; dan 32,2°. *Elemental analyzer* menunjukkan bahwa peningkatan mol rasio urea/sukrosa akan menambah kadar nitrogen, namun menurunkan kadar karbon. Spektra FTIR pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0 menunjukkan adanya vibrasi ulur C-N pada 1257-1326 cm^{-1}, vibrasi sp^3 C-N pada 1430-1480 cm^{-1} serta, vibrasi ulur C=N pada 1527-1547 cm^{-1} yang menunjukkan terjadi ikatan antara karbon dengan nitrogen. Hasil luas permukaan karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0 hasil luas permukaan sebesar 267,21 m^2/g, volume mikropori sebesar 0,13 cc/g, dan volume mesopori sebesar 0,097 cc/g. Hasil kapasitas adsorpsi hidrogen yang optimum pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0 sebesar 2,442% berat pada kondisi suhu 30 ^oC dengan tekanan 1 bar Kinetika adsorpsi hidrogen. pada karbon/zeolit termodifikasi nitrogen rasio mol urea/sukrosa sebesar 2,0 mengikuti reaksi orde dua semu yaitu kapasitas adsorpsi selalu proporsional dengan banyaknya sisi aktif.

5.2 Saran

Karbon/zeolit termodifikasi nitrogen perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mengetahui karakteristik lebih lanjut dan kapasitas adsorpsi gas hidrogen tersebut dapat ditingkatkan

lagi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan adsorpsi gas hidrogen lebih besar, diantaranya:

1. Optimasi kondisi adsorpsi gas hidrogen pada suhu atau tekanan tertentu.
2. Melakukan aplikasi adsorpsi hidrogen dengan variasi tekanan untuk mendapatkan sifat adsorpsi fisik atau kimia dari material karbon/zeolit termodifikasi nitrogen.
3. Melakukan studi termodinamika.

DAFTAR PUSTAKA

Adamson, A.W. and A.P. Gast. 1997. Physical Chemistry of Surface. 6th edition. John Willy and Sons Inc. New York.

Agustina E. 2013. Karbon Tertemplat ZeolitY dengan aktivasi $ZnCl_2$ Sebagai Material Penyimpan Hidrogen. Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Akasaka, H. Takahata, T. Toda, I. Ono, H. Ohshio, S. Himeno, S. Kokubu, T. Saitoh, H. 2011. Hydrogen Storage Ability of Porous Carbon Material Fabricated from Coffee Bean Waste, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 36, pp. 580-585.

Alam, N. dan Mokaya. 2011. R. The Effect of Al Content OF Zeolite Template on The Properties and Hydrogen Storage Capacity of Zeolite Templated Carbons. *Journal of Microprous and Mesoporous Materials*. Vol.144, pp.140-147.

Alberty, R.A dan Daniel, F. 1983. Kimia Fisika (Alih bahasa: DR. N.M Surdia). Jakarta: Erlangga.

Alyaa. K. Mageed, Dayang Radiah.A.B., A. Salmiaton, Shamsul Izhar, Musab Abdul Razak, H.M.Yusoff, F.M. Yasin, Suryani Kamarudin. 2016. Preparation and Characterization of Nitrogen Doped Reduced Graphene Oxide Sheet. *International Journal of Applied Chemistry. ISSN 0973-1792*. Vol. 12, pp. 104-108.

Atta, Y.A., Jibril, Y.B., Aderemi, O.B., Adefila, S.S. 2012. ―Preparation of Analicime from Local Kaolin and Rice

Husk Ash. *Journal of Applied Clay Science*. Vol.61, pp.8-13.

Bing. X, Wei. Y, Wang. M, Xu. S, Long. D, Wang. J, Qiao. W, Ling. L. 2017. Template-free synthesis of nitrogen-doped hierarchical porous carbons for CO_2 adsorption and supercapacitor electrodes. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 488, pp. 207–217.

Bannec, RJ. 1972. *The Australian Science Teachers Journal vol.18 no.4*, pp 79-82.

Belmabkhout, Y., Frere, M., Weireld, G. D. 2004. High-pressure adsorption measurements. A comparative study of the volumetric and gravimetric methods. *Measurement Science And Technology*. Vol.15, pp. 848-858.

Bhatia, S. 1990. Zeolite Catalysis Principles and Applications. CRC Press.

Breck,W.D., (1974), "Zeolit Molecular Sieves", John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 636.

Callister , W.D. 2009. Materials Science Engineering An Introduction 8th. John Willey & Sonc Inc.

Chen, L. Singh, Ranjeet, K. dan Webley, P. 2007. Synthesis, Characterization and Hydrogen Properties of Microporous Carbons Templated by Cation Exchanged Forms of Zeolite Y with Propylene and Butylene as Carbon Precursors. *Journal of Microporous and Mesoporous Materials*. Vol.102, pp.159 – 170.

Chester, A. W. dan Derouane, E. G. 2009. Zeolite Characterization dan Catalysis", Springer, New York

Cheung O., Bacsik Z., Liu Q., Mace A. dan Hedin N., (2013), "Adsorption kinetics for CO_2 on highly selective zeolites Na KA dan nano-Na KA. *Journal of Applied Energy*, Vol. 112, pp. 1326–1336.

Chung, Kyong-Hwan. 2010. High-Pressure Hydrogen Storage on Microporous Zeolites with Varying Pore Properties, *Energy*. Vol. 35, pp. 2235-2241.

Cordero, T., Thrower, P.A. and Radovic, L.R. 1992. On the oxidation resistance of carbon-carbon composites obtained by chemical vapour infiltration of different carbon cloths", *Journal of Carbon*. Vol. 30, pp. 365–374.

Costa. N. A, Pereira. J, Ferra. J, Paulo Cruzc, J. Moreira. A, Martins. J, Magalhães. F. D, Mendes. D, Carvalho. L. H. 2013. The role of sucrose in amino polymers synthesized by the strongly acid Process. *Journal of Adhesion Science and Technology*. Vol. 27, pp.763–774.

Currel, 1997.Principles of Thermal Analysis TG, DSC, STA. NETZSCH *Instruments* Vol. 2, pp.117

Dong, J. Wang, X. Xu, H. Zhao, Q, dan Li, Jee. 2007. Hydrogen Storage in Several Microporous Zeolites. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 32, pp.4998-5004.

Dutta, Suman. A. 2013. Review on Production, Storage of Hydrogen and Its Utilization as an Energy Resource, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol.1478, pp. 1-9.

Ediati. R, Mukminin. A, Widiastuti. N. 2017. Impregnation of Nickel on Mesoporous ZSM-5 Templated Carbons as

Candidate Material for Hydrogen Storage. *Indones. Journal. Chem.* Vol. 17 (1), pp. 30 – 36

Ewels, C. P., Glerup M. 2005. Nitrogen doping in carbon nanotubes, *Journal of Nanosci Nanotechnol*. Vol.5, pp.13-63.

Fatmawati, Anif. 2014. Amobilisasi kation logam berat Cr(III) pada geopolimer berbahan baku abu layang PT.IPMOMI. Surabaya : Jurusan Kimia ITS.

Fujiwara, M. Fujio, Yoshiharu, Sakurai, Hiroaki, Senoh, Hiroshi, Kiyobayashi, T. 2014. Storage of Molecular Hydrogen Into ZSM-5 Zeolite in the Ambient Atmosphere by the Sealing of the Micropore Outlet, *Chemical Engineering and Processing*. Vol. 79, pp. 1-6.

Furukawa, H. Yaghi, O. M. 2009. *Jounal of Am. Chem. Soc*. Vol.131, pp. 8875

Geng, D. Yang, S. Zhang, Y. Yang, J. Liu, J. Li, R. Sham, T. K. Sun, X. L. Ye, S. Knights, S. 2011. Nitrogen doping effects on the structure of graphene. *J. Applied Surface Science*. Vol 257. pp. 9193-9198.

Guan, C. Zhang, X. Wang, K. Yang, C. 2009. Investigation of H_2 Storage in a Templated Carbon Derived from Zeolite Y and PFA, *Separation and Purification*. Vol. 66, pp. 565-569.

Haber, J., Block, J.H. dan Delmon B.. 1995. Manual of Methods and Procedures for Catalyst Characterizatio. *Pure and Applied Chemistry*. Vol.67, pp.1257-1306.

Han, Sang Soo, Choi, Seung-Hoon, dan Goddard, William A. 2011. Improved H_2 Storage in Zeolitic Imidazolate Frameworks Using Li^+, Na^+, and K^+ Dopants, with an Emphasis on Delivery H_2 Uptake, *Journal of Physics Chemistry C*, Vol. 115, pp. 3507-3512.

Harney West, 1984.Ewing's Analytical Instrumentation Handbook 3rd Edition :Chapter 15. Newyork: Marcel Dekker.

Hu YP, Yang J, Tian JW, Yu JS. 2015. How do nitrogen-doped carbon dots generate from molecular precursors An investigation of the formation mechanism and a solution-based large-scale synthesis. *Journal of Mater Chem B*. Vol. 3, pp.5608–5614.

Huang, C., Chen, H., Chen, C, 2010, Hydrogen adsorption on modified activated carbon, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 35, pp. 2777-2780.

Ho Y.S. dan McKay G. 1999. "Pseudo-Second Order Model For Sorption Processes". *Process Biochemistry*. Vol. 34, pp. 451-465.

Ho, Y.S., 2006, Review of Second-order Models for Adsorption Systems, *Journal of Hazard. Mater*. Vol.36, pp.681-689.

Holle, R.B., Audy, D. Wuntu., Meiske S. 2013. " Kinetika Adsorpsi Gas Benzen pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa". *Jurnal MIPA UNSRAT*, hal 100-104.

Hu YP, Yang J, Tian JW, Yu JS (2015) How do nitrogen-doped carbon dots generate from molecular precursors? An investigation of the formation mechanism and a solution-based large-scale synthesis. *Journal of Mater Chem B*. Vol. 3, pp.5608–5614.

Indrawirawan. S, Sun. H, Duan. X, and Wang. S. 2015. Low temperature combustion synthesis of nitrogen-doped graphene for metal-free catalytic oxidation. *Journal of Mater. Chem. A***.** Vol.3. pp.3432-3440.

Jiménez, V. Ramírez-Lucas, A. Sánchez, P. Valverde, J.L. Romero, A. 2012. Hydrogen Storage in Different Carbon Materials: Influence of the Porosity Development by Chemical Activation. *Applied Surface Science*, Vol. 258, pp. 2498-2509.

Jing Li and Erdong Wu. 2009. Adsorption of hydrogen on porous material of activated carbon and zeolite NaX crossover critical temperature. *Journal of Supercritical Fluids.* Vol. 49, pp. 196-202.

Kayadoe V. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Karbon Tertemplat Zeolit NaY dengan Prekursor Sukrosa sebagai material Penyimpan Hidrogen". Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Klepel,O. Danneberg, N. Dräger, M. Erlitz, M, dan Taubert, M. 2016. Nitrogen modified templated carbons for energy application: Effect of templates and nitrogen precursors. *Materials.* Vol. 9, pp. 214.

Kleitz. F, Schmidt. W, Schuth. F. 2001. Evolution of mesoporous materials during the calcination process: structural and chemical behavior. Microporous and mesoporous materials, Vol. 44-45, pp. 95-109.

Konwar, Jyoti, R. De, Mahuya. 2013. Effects of Synthesis Parameters on Zeolite Templated Carbon for Hydrogen

Storage Application, *Journal of Microprous and Mesoporous Materials*. Vol. 175, pp. 16-24.

Konwar, R J. De, M. 2015. Development of templated carbon by carbonisation of sucrose–zeolite composite for hydrogen storage. *Int. Journal of Energy Res*. Vol.39, pp.223–233.

Konwar, R J, dan De, M. 2016. Nitrogen modified templated carbons for energy application: Effect of templates and nitrogen precursors. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 30, pp.1-10.

Krishna, R., Titus, E., Salimian, M., Okhay, O., Rajendran, S., Rajkumar, A., Sousa M. G., Fereira, A. L. C., Gil, J.C., Gracio, J., 2012, "Hydrogen Storage for Energy Application", *Intech Open Science.* Vol. 33, pp.1-15.

Kumar. A, Kuma. P, Joshi. C, Manchanda. M, Boukherroub. R, and Jain, S.L, 2016. Nickel Decorated on Phosphorous-Doped Carbon Nitride as an Efficient Photocatalyst for Reduction of Nitrobenzenes. *Journal of Nanomaterial*, Vol. 6, pp.59.

Kurniawan. R.Y, 2017. adsorpsi gas CH_4 pada zeolit-A dan zeolit A-karbon dari abu dasar. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Lagergren, S., 1898. Zurtheorie der sogenannten adsorption gelosterstoffe. *Kungliga Sevenska Vetenskapas akademiens*, *Handlingar*. Vol.24, pp.1–39.

Langmi, H.W. Walton, A. Al-Mamouri, M.M. Johnson, S.R. Book, D. Speight, J.D. Edwards, P.P. Gameson, I. Anderson, P.A. Harris, I.R. 2003. Hydrogen Adsorption

in Zeolites A, X, Y and RHO, *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 356-357, pp. 710-715.

Li, Yingwei.Yang, Ralph.T. 2006. Hydrogen Storage in Low Silica Type X Zeolites, *Journal of Physics Chemistry*, Vol. 110, pp. 17175-17181.

Li. Y, Ye .K, Cheng. K, Cao. D, Pan.Y, Kong.S, Zhang.X, Wang. G. 2014. Anchoring CuO nanoparticles on nitrogen-doped reduced graphene oxide nanosheets as electrode material for supercapacitors. *Journal of Electroanal. Chem*. Vol. 727, pp. 154–162.

Li, G. 2005. FT-IR studies of zeolite materials: characterization and environmental applications. Iowa : University of Iowa.

Lim, K. M., Kazemian, H., Yaakob, Z., Daud, W. R. 2010, "Solid-state Materials and Methods for Hydrogen Storage: A Critical Review", *Chem. Eng. Technol.*, Vol. 33, pp. 213-226.

Ma, Z. Kyotani, T. Liu, Z. Terasaki, O. Tomita, A. 2001. Very High Surface Area Microporous Carbon with a Three-Dimensional Nanoarray Structure: Synthesis and Its Molecular Structure, *Journal Chemistry of Materials*, Vol. 13, pp. 4413-4415.

Manggiasih, N L. 2013. pengaruh kondisi penghilangan *template* zeolit nay menggunakan pelarut HF dan HCl terhadap karakteristik karbon ter-*template* zeolit NaY (KTZ-Y). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Mallouk, 1997, “Effect of micropore topology on the structure and properties of zeolite polymer replicas”, *Journal of Chemistry Matter*. Vol.9, pp. 2448-2458.

Martell, A. E. and R.D. Hancock. 1996. Metal Complexes in Aqueose Solution. Plenum Press. New York.

Mc Cash, E. M. 2000. Surface Chemistry. Oxford University Press, Cambridge.

Oscik, J. 1982. *Adsorption*. New York. John Wiley & Sons.

Ozdemir, O. D. & Piskin, S. 2013. “Zeolite X Sythesis with Different Sources. *International Journal of Chemical, enviromental & Biological Sciences.* Vol.1, pp.2.

Prasanth, K.P. Pillai, Renjith. S. Bajaj, H.C. Jasra, R.V. Chung, H.D. Kim, T.H. Song, S.D. 2008. Adsorption of Hydrogen in Nickel and Rhodium Exchanged Zeolite X, *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 33, pp. 735-745.

Peng. H, Mo. Z, Liao. S, Liang. H, Luo. F, Song. H, Zhong. Y, Zhang. B. 2013. High Performance Fe- and N- Doped Carbon Catalyst with Graphene Structure for Oxygen Reduction. *Scientific Reports*. Vol.3, pp.1765.

Prasetyoko, D., Ni’mah, Y. L., Fansuri, H., Fadlan, A., 2016. Karakterisasi Struktur Padatan. Yogyakarta: Deepublish.

Ramm, Louise E., Michael B. Whitlow, and Manfred M. Mayer. 1982. “Trans membrane channel formation by complement: functional analysis of the number of C5b6, C7, C8, and C9 molecules required for a single

channel". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol.79-15, pp.4751-4755.

Robson H. and Lillerud K.P. 2001. Verified Syntheses of zeolitic materials". Second ed., Elsevier.

Ruß. C. 2012. Conversion of Carbohydrates in Low Melting Mixtures and Melanoma Inhibitory Activity (MIA) Protein Inhibitors for the Treatment of Malignant Melanoma. Fakultät IV- Chemie und Pharmazie -der Universität Regensburg

Saha.D Deng.S.G. 2009. *Journal of Chemical Enginering Data*. Vol.54,pp. 2245.

Sculley, J., Yuan, D., Zhou, H. 2011. The Current Status of Hydrogen Storage In Metal–Organic Frameworks", *Energy Environ. Sci.,* Vol.4, pp. 2721-2735.

Sevilla, Marta. Alam, dan N. Mokaya, R. 2010. Enhancement of Hydrogen Storage Capacity of Zeolite-Templated Carbons by Chemical Activation. *Journal of Physical Chemistry*. Vol.114, pp. 11314 – 11319.

Sevilla, M. Fuertes, A. B, dan Mokaya, R. 2011. Preparation and Hydrogen Storage Capacity of Highly Porous Activated Carbon Materials Derived from Polythiophene. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 36, pp.15658-15663.

Sibilia, P. 1996. *Guide to Material Characterization and Chemical Analysis, Second Edition*. John Willey-VCH, New York.

Siriwardane R., Shen M., Fisher E., Poston J. danShamsi A. 2001. Adsorption dan desorption of CO_2 on solid sorbents", *Journal of Energy & Environmental* Research. Vol.1 , pp. 19–22.

Suci, F.C. 2015. adsorpsi hidrogen pada material karbon tertemplat zeolite-Y dengan aktivasi K_2CO_3. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Su, F. Zhao, X.S. Lv, Lu. Zhou, Z. 2004. Synthesis and Characterization of Microporous Carbons Templated by Ammonium-form Zeolite Y, *Journal of Carbon*. Vol. 42, pp. 2821-2831.

Sumbono, Aung. 2010. *Thermogravimetric Analysis*. Palembang: Universitas Sriwijaya.

Susanti I. 2016. pengaruh aktivator KOH pada KTZ-Y dalam peningkatan kapasitas adsorpsi gas CO_2. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Susanti I. 2018. Sintesis, karakterisasi KTZ-Y untuk adsorpsi gas CH_4 terhadap Kinetika Reaksi dan Termodinamika Adsorpsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Suzuki, I., Oki, S., Namba, S. 1986. “Determination of External Surface Area of Zeolites”. *Journal of Catalysis*, Vol.100, pp. 219-227.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th edition. Metcalf &Eddy, McGraw-Hill Companies Inc, New York.

Treacy, M.M.J., Higgins, J.B. 2001. Collection of Stimulated XRD Powder Patterns for Zeolites. Elsevier. Amsterdam.

Wang, H. Gao, Q. Hu, J, dan Chen, Z. 2009. Hydrogen storage properties of N-doped microporous carbon. *Journal of Physics Chemistry*. Vol.113, pp.21883– 21888.

Weber, J.W., Morris, J.C., 1963. Kinetics of adsorption oncarbon from solution. *Journal of Sanitary Eng. Div., ASCE*. Vol.89, pp. 31–60.

Weitkamp, J., Fritz, M. and Ernst, S. 1995 .Zeolites as Media for Hydrogen Storage. *International Journal of Hydrogen Storage*. Vol.20, pp. 967-970 .

Weitkamp, J., 2000. Zeolites and Catalysis. *Solid State Ionics,* Vol. 131, pp. 175-188.

Widiastuti.N, Wu. H, Ang. H. M, Zhang. D. 2011. Removal of ammonium from grey water using natural zeolite. *Desalination*. Vol. 277, pp. 15-23.

Widiastuti. N, Hidayah. M. Z. N, Praseytoko.D , Fansuri. H. 2014. Synthesis of zeolite X-carbon from coal bottom ash for hydrogen storage material. *Journal of Advanced Materials Letters*. Vol. XX, pp.XXX.

Wijiyanti. R. 2015. Sintesis karbon tertemplat zeolit sebagai material penyimpan hidrogen. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Wong, K. K., Lee, C. K., Low, K. S. and Haron, M. J., 2003. Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice

husk from aqueous solutions. *Journal of Chemosphere*, Vol.50, pp.23-28.

Xia, Y. Yang, Z. Mokaya, R. 2004. Mesostructured Hollow Spheres of Graphitic N-Doped Carbon Nanocast from Spherical Mesoporous Silica. *Journal of Phys. Chem. B*, Vol.108, pp.19293-19298.

Xia, Y. Mokaya, R. Grant , DM. Walker, GS. 2011. A simplified synthesis of N-doped zeolite-templated carbons, the control of the level of zeolite-like ordering and its effect on hydrogen storage properties. *Journal of Carbon*. Vol.49, pp.844–853.

Xia, Yongde. Yang, Zhuxian. Gou, Xinglong. dan Zhu, Yanqiu. 2013.A Simple Method for the Production of Highly Ordered Porous Carbon Materials with Increased Hydrogen Uptake Capacities, *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol.38, pp. 5039-5052.

Xiao, D. Wang, X.W. Lou. 2010. *Journal of Phys. Chem. C*. Vol.114 , pp. 1694

Xu, W.C. Takahashi, K. Matsuo, Y. Hattori, Y. Kumagai, M. Ishiyama, S. Kaneko, K. Iijima, S. Investigation of Hydrogen Storage Capacity of Various Carbon Materials, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 32, 2007, pp. 2504-2512.

Yadav, S. K., Dixit, A. K. 2015. Efficient Removal of Cr (VI) from Aqueous Solution onto Palm Trunk Charcoal: Kinetic and Equilibrium Studies. *Journal of Chem Sci*. Vol. 6, pp.114.

Yadav. R, Dixit. C.K. 2017. Synthesis, characterization and prospective applications of nitrogen-doped grapheme. *A short review Journal of Science: Advanced Materials and Devices.* Vol 2, pp.141-149.

Yang, Y. Lan, G. Wang, X. Li, Y. 2016. Direct synthesis of nitrogen-doped mesoporous carbons for acetylene hydrochlorination. *Chinese Journal of Catalysis*, Vol.37, pp. 1242–1248.

Yang, S. J., Kim, T., Im J. H., Kim, Y. S., Lee, K., Jung, H., Park., C.R. 2012. MOF-Derived Hierarchically Porous Carbon with Exceptional Porosity and Hydrogen Storage Capacity", *Journal of Particulogy*, Vol.7, pp. 129-140.

Yang, Zhuxian. Xia, Yongde. Sun, Xuezhong. dan Mokaya, R. 2006. Preparation and Hydrogen Storage Properties of Zeolite-Templated Carbon Materials Nanocast via Chemical Vapor Deposition : Effect of the Zeolite Templated and Nitrogen Doping, *Journal of Physical Chemistry B*. Vol. 110, pp. 18424-18431.

Y. Li, K. Ye, K. Cheng, D. Cao, Y. Pan, S. Kong, X. Zhang, G. Wang. 2014. Anchoring CuO nanoparticles on nitrogen-doped reduced graphene oxide nanosheets as electrode material for supercapacitors. *Journal of Electroanal. Chem*. Vol.727, pp.154–162.

Yi, H., Li, F., Ning, P., Tang, X., Peng, J., Li, P., dan Deng, H. 2013. "Adsorption Separation of CO2, CH4, and N2 on Microwave Activated Carbon". *Chemical Engineering Journal*, Vol.215-216, pp. 635-642.

Yu L., Gong J., Zeng C. dan Zhang L. 2013. Synthesis of binderless zeolite X microspheres dan their CO_2 adsorption properties, *Separation dan Purification Technology*. Vol.118, pp.188–195.

Zhang. Y, Ge. J, Wang. L, Wang. D, Ding. F, Tao. X, Chen. W. 2013. Manageable N-doped Graphene for High Performance Oxygen Reduction Reaction. *Scientific Reports*. Vol.3, pp.2771.

Zhao, D., Yuan, D., Zhou, H. 2008. The Current Status of Hydrogen Storage In Metal–Organic Frameworks", *Energy Environ. Sci.,* Vol.1, pp. 222-235.

Zhao, W. Fierro, V. Fernández-Huerta, N. Izquierdo, M. T, dan Celzard, A. 2013. Hydrogen Uptake of High Surface Area-Activated Carbons Doped with Nitrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol.30, pp.1-8.

Zhao. Y, Zhang. X, He. Y, Liu. N, Tan. T, and Liang. C. 2017. Biomass Derived Nitrogen-Doped Highly Porous Carbon Material with a Hierarchical Porous Structure for High-Performance Lithium/Sulfur Batteries. *Journal of Materials*. Vol 10, pp.10.

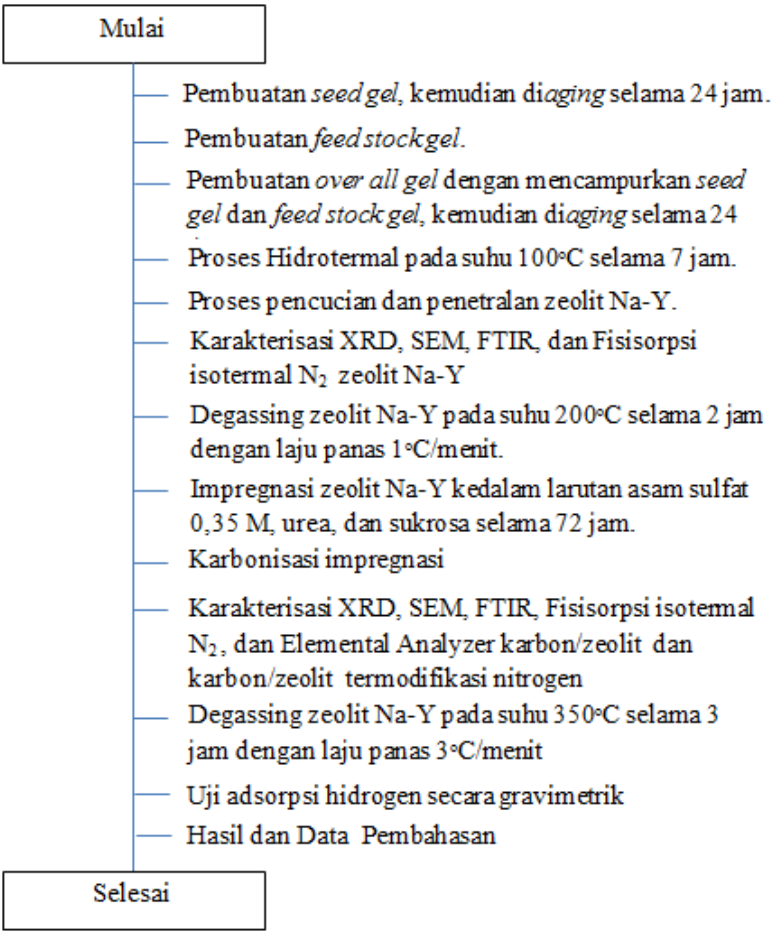
Zheng. F, Yang. Y,Chen. Q. 2014. High lithium anodic performance of highly nitrogen-doped porous carbon prepared from a metal-organic framework. *Journal of Nature communication.*Vol 5, pp.5621.

Zhou, L., Zhou, Y., Sun, Y. 2004. A comparative study of hydrogen adsorption on superactivated carbon versus carbon nanotubes**,** *International Journal of Hydrogen Energy,* Vol.29 (5), pp. 475-479.

Zubizarreta, L. Arenillas A. Pis J. J. 2009. Carbon Materials for H_2 Storage, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, pp. 4575-4581.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Skema Kerja Penelitian



Gambar A.1 Skema Kerja Penelitian

LAMPIRAN B. Perhitungan Formula Zeolit-Y

1. Prosentase Komposisi Bahan

a. Na_2SiO_3 35,5%
   - Perbandingan Na_2O : SiO_2 = 1 : 1, Prosentase = 21–50%, rata-rata= 35,5%
     sehingga Na_2O : SiO_2 = 17,75% : 17,75%
   - SiO_2 = 16 – 17%, rata-rata = 16,5% (Mr = 60,09 gr/mol)
   - H_2O = 33 – 63%, rata-rata = 48% (Mr = 18 gr/mol)

b. $NaAlO_2$
   - Al_2O_3 = 50 – 56%, rata-rata = 53% (Mr = 101,96 gr/mol)
   - Na_2O = 40 – 45%, rata-rata = 42,5% (Mr = 62 gr/mol)
   - Fe_2O_3 = 0,05%

c. NaOH pelet = 99% (Mr = 40 gr/mol)

2. Pembuatan *Seed Gel*

Komposisi molar bahan untuk pembuatan *seed gel*

$Na_2O : Al_2O_3 : SiO_2 : H_2O$ = 10,67 : 1 : 10 : 180

a. Massa $NaAlO_2$ yang dibutuhkan

Gram Al_2O_3 = n x Mr
= 1 mol x 101,96 gr/mol
= 101,96 gr

Prosentase Al_2O_3 dalam $NaAlO_2$ adalah 53%, maka gram $NaAlO_2$ yang harus diambil adalah:

$$\text{Gram } NaAlO_2 = \frac{\text{gram } Al_2O_3}{53\%} = \frac{101{,}96 \text{ gr}}{53\%} = 192{,}38 \text{ gr}$$

b. Massa Na_2SiO_3 yang diperlukan

Gram SiO_2 = n x Mr
= 10 mol x 60,09 gr/mol
= 600,90 gr

Prosentase SiO_2 dalam Na_2SiO_3 = 17,75% + 16,5% = 34,25%, maka gram Na_2SiO_3 yang harus diambil adalah

Gram Na_2SiO_3 $= \frac{\text{gram } SiO_2}{34,25\%}$

$= \frac{600,90 \text{ gr}}{34,25\%}$

= 1752,07 gr

c. Massa H_2O yang diperlukan

Gram H_2O = n x Mr

= 180 mol x 18 gr/ mol

= 3240 gr

Prosentase H_2O dalam Na_2SiO_3 adalah 48%

Gram H_2O = 48% x gram Na_2SiO_3

= 48% x 1752,07 gr

= 840,99 gr

Sehingga gram H_2O yang harus diambil adalah

Gram H_2O = 3240 – 840,99 gr

= 2399,01 gr

d. Massa NaOH yang diperlukan

Prosentase Na_2O dalam $NaAlO_2$ adalah 42,5%

Gram Na_2O = 42,5% x gram $NaAlO_2$

= 42,5% x 192,38 gr

= 81,76 gr

Mol Na_2O $= \frac{81,76 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}}$

= 1,32 mol

Prosentase Na_2O dalam Na_2SiO_3 adalah 17,75%

Gram Na_2O = 17,75% x gram Na_2SiO_3

= 17,75% x 1752,07 gr

= 310,99 gr

Mol Na_2O $= \frac{310,99 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}}$

= 5,02 mol

Total mol Na_2O dari $NaAlO_2$ dan Na_2SiO_3 adalah
= 1,32 + 5,02 mol = 6,34 mol

Maka penambahan mol Na_2O yang dibutuhkan adalah :
= 10,67 – 6,34 mol = 4,33 mol (ditambahkan dari NaOH)

Penambahan NaOH = 2 x 4,33 mol
= 8,67 mol

Gram NaOH yang harus ditambahkan = 8,67 mol x 40 gr/mol
= 346,82 gr

Semua massa bahan dalam *seed gel* dibagi dengan 100, sehingga massa bahan untuk pembuatan *seed ge*l adalah :

$NaAlO_2$	= 192,38 gr : 100	= 1,92 gr
Na_2SiO_3	= 1752,07 gr : 100	= 17,52 gr
H_2O	= 2399,01 gr : 100	= 23,99 gr
NaOH	= 346,82 gr : 100	= 3,47 gr +
Massa total teoritis		= 46,03 gr

Untuk membuat *overall gel*, massa seed gel yang ditambahkan ke dalam feedstock gel adalah 16,5 gr, sehingga komposisi molar masing-masing bahan dalam 16,5 gr *seed gel* ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel B.1 Komposisi molar masing-masing bahan dalam 16,5 gram *seed gel*

Bahan	Mol	Gram
Na_2O	0,1067	0,1067 mol x 62 gr/mol = 6,62 gr
Al_2O_3	0,01	0,01 mol x 101,96 gr/mol = 1,02 gr
SiO_2	0,1	0,1 mol x 60 gr/mol = 6 gr
H_2O	1,8	1,8 mol x 18 gr/mol = 32,4 gr

Tabel B.2 Mol komponen dalam 16,5 gram *seed gel*

Mol Na_2O	= (16,5 gr/ 46,03 gr) x 0,1067 mol = 0,0382 mol
Mol Al_2O_3	= (16,5 gr/ 46,03 gr) x 0,01 mol = 0,0036 mol
Mol SiO_2	= (16,5 gr/ 46,03 gr) x 0,1 mol = 0,0358 mol
Mol H_2O	= (16,5 gr/ 46,03 gr) x 0,1067 mol = 0,6452 mol

3. Feedstock Gel

Perbandingan *feedstock gel* : *seed gel* yang harus ditambahkan untuk membentuk overall gel adalah 18 : 1

Rasio perbandingan SiO_2 dan Al_2O_3 pada *feedstock gel : seed gel*

= (0,0645 + 0,6452) : (0,0036 + 0,0358)

= 0,7097 : 0,0394

= 18 : 1

Tabel B.3 Rasio SiO_2 dan Al_2O_3 pada *feedstock gel : seed gel*

Spesi	Mol Al_2O_3	Mol SiO_2	Mol H_2O
Seed gel	0,0036	0, 0358	0,6452
Feedstock gel	0,0645	0,6451	11,6129
Rasio terhadap Al_2O_3	1	10	18

a. Massa $NaAlO_2$ yang diperlukan

Gram Al_2O_3 = n x Mr

= 0,0645 mol x 101,96 gr/mol

= 6,5777 gr

Prosentase Al_2O_3 dalam $NaAlO_2$ adalah 53%, maka gram $NaAlO_2$ yang harus diambil adalah

Gram $NaAlO_2$ $= \frac{\text{gram } Al_2O_3}{53\%}$

$= \frac{6{,}5777 \text{ gr}}{53\%}$

= 12,4106 gr

b. Massa Na_2SiO_3 yang diperlukan

Gram SiO_2 = n x Mr

= 0,6451 mol x 60,09 gr/mol

= 38,7072 gr

Prosentase SiO_2 dalam Na_2SiO_3 = 17,75% + 16,5% = 34,25%, maka gram Na_2SiO_3 yang harus diambil adalah

Gram Na_2SiO_3 $= \frac{\text{gram } SiO_2}{34{,}25\%}$

$= \frac{38{,}7072 \text{ gr}}{34{,}25\%}$

= 113,0137 gr

c. Gram H_2O

Gram H_2O = n x Mr

= 11,6129 mol x 18 gr/ mol

= 209,0318 gr

Prosentase H_2O dalam $NaSiO_3$ adalah 48%

Gram H_2O = 48% x gram $NaSiO_3$

= 48% x 113,0137 gr

= 54,2466 gr

Sehingga massa H_2O yang harus diambil adalah

Gram H_2O = 209,0318 – 54,2466 gr

= 154,7852 gr

d. Gram NaOH

Prosentase Na_2O dalam $NaAlO_2$ adalah 42,5%

Gram Na_2O = 42,5% x gram $NaAlO_2$

= 42,5% x 12,4106 gr
= 5,2745 gr

Mol Na_2O = $\frac{5,2745 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}}$
= 0,0851 mol

Prosentase Na_2O dalam Na_2SiO_3 adalah 17,75%
Gram Na_2O = 17,75% x gram $NaSiO_3$
= 17,75% x 113,0137 gr
= 20,0599 gr

Mol Na_2O = $\frac{20,0599 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}}$
= 0,3235 mol

Total mol Na_2O dari $NaAlO_2$ dan Na_2SiO_3 adalah
= 0,0851 + 0,3235 mol = 0,4086 mol
Rasio Na_2O : Al_2O_3 = 0,4086 : 0,0645
= 6,334
Karena rasio Na_2O 6,334 lebih besar dari perbandingan 4,30 maka jumlah NaOH yang harus ditambahkan adalah 0,1 gram.

Tabel B.4 Massa zat yang digunakan dalam pembuatan *feedstock gel* dan *seed gel*

Spesi	$NaAlO_2$ (gr)	Na_2SiO_3 (gr)	H_2O (gr)	NaOH (gr)
Seed gel	1,9238	17,5207	23,9901	3,4682
Feedstock gel	12,4106	113,0137	154,7852	0,1

LAMPIRAN C. Perhitungan Formula Rasio Mol Urea / Sukrosa

Pada penelitian ini dilakukan variasi mol urea / sukrosa sebagai doping N karbon / zeolit. Adapun nilai variasi rasio mol adalah ½, 1, dan 2.

$$\text{Rasio mol urea/sukrosa} = \frac{\text{mol urea}}{\text{mol sukrosa}}$$

$$\text{Rasio mol urea/sukrosa} = \frac{\text{massa urea/Mr urea}}{\text{massa sukrosa/Mr sukrosa}}$$

$$\text{Massa urea} = \frac{\text{Rasio mol urea/sukrosa x Massa sukrosa x Mr urea}}{\text{Mr sukrosa}}$$

Sukrosa pada variasi mol urea/sukrosa ini dibuat tetap yaitu sebesar 12,5 gram, sehingga yang divariasikan adalah pengaruh penambahan mol urea.

a. Rasio mol urea/sukrosa = 0,5

$$\text{Massa urea} = \frac{\text{Rasio mol urea/sukrosa x Massa sukrosa x Mr urea}}{\text{Mr sukrosa}}$$

$$= \frac{0{,}5 \text{ x } 12{,}5 \text{ g x } 60 \text{ g/mol}}{342{,}3 \text{ g/mol}}$$

$$= 1{,}0955 \text{ g}$$

b. Rasio mol urea/sukrosa = 1,0

$$\text{Massa urea} = \frac{\text{Rasio mol urea/sukrosa x Massa sukrosa x Mr urea}}{\text{Mr sukrosa}}$$

$$= \frac{1{,}0 \text{ x } 12{,}5 \text{ g x } 60 \text{ g/mol}}{342{,}3 \text{ g/mol}}$$

$$= 2{,}191 \text{ g}$$

c. Rasio mol urea/sukrosa = 2,0

$$\text{Massa urea} = \frac{\text{Rasio mol urea/sukrosa x Massa sukrosa x Mr urea}}{\text{Mr sukrosa}}$$

$$= \frac{2{,}0 \text{ x } 12{,}5 \text{ g x } 60 \text{ g/mol}}{342{,}3 \text{ g/mol}}$$

$$= 4{,}382 \text{ g}$$

d. Rasio mol urea/sukrosa = 4,0

$$\text{Massa urea} = \frac{\text{Rasio mol urea/sukrosa x Massa sukrosa x Mr urea}}{\text{Mr sukrosa}}$$

$$= \frac{4{,}0 \text{ x } 12{,}5 \text{ g x } 60 \text{ g/mol}}{342{,}3 \text{ g/mol}}$$

$$= 8{,}764 \text{ g}$$

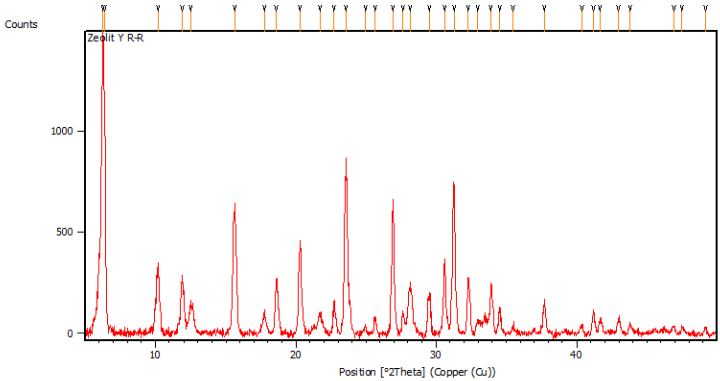
Sehingga, massa urea dan sukrosa yang harus digunakan dalam pembuatan komposit karbon / zeolit adalah :

Tabel C.1 Perhitungan Rasio Mol Urea/Sukrosa

	Massa (g)			
Mol rasio	0,5	1,0	2,0	4,0
Urea	1,095	2,191	4,382	8,764
Sukrosa	12,500	12,500	12,500	12,500

LAMPIRAN D. Hasil Pola *X-Ray Diffraction* (XRD)

1. XRD Zeolit-Y



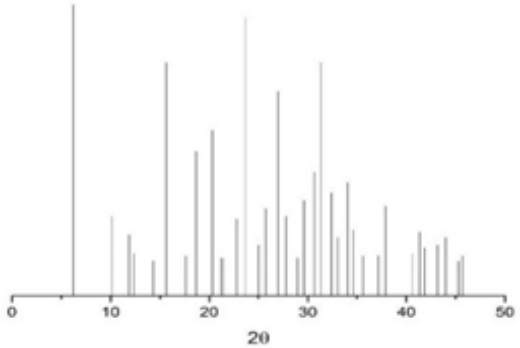
Gambar D. 1 Difraktogram XRD dari Zeolit-Y

Tabel D.1 Data Hasil XRD Zeolit-Y

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2831	1507.97	0.1673	14.06749	100.00
6.3853	1053.27	0.0669	13.84247	69.85
10.2033	321.73	0.2676	8.66972	21.34
11.8902	272.88	0.2007	7.44321	18.10
12.5109	160.05	0.2007	7.07531	10.61
15.6248	652.56	0.0669	5.67159	43.27
17.7414	113.51	0.1338	4.99941	7.53
18.5957	256.54	0.1004	4.77162	17.01
20.2768	444.92	0.1673	4.37966	29.50
21.7291	105.45	0.2676	4.09012	6.99
22.7168	158.10	0.2007	3.91447	10.48
23.5296	854.38	0.1506	3.78106	56.66
24.9433	49.59	0.1338	3.56988	3.29
25.6540	79.94	0.1673	3.47256	5.30
26.9426	672.98	0.1840	3.30933	44.63

27.6399	132.04	0.1673	3.22742	8.76
28.1273	286.42	0.2007	3.17259	18.99
29.4952	210.75	0.2007	3.02849	13.98
30.6181	395.43	0.1171	2.91993	26.22
31.2975	746.74	0.1840	2.85808	49.52
32.2804	309.47	0.0836	2.77327	20.52
32.9567	109.32	0.2007	2.71788	7.25
33.9059	277.94	0.0836	2.64394	18.43
34.5496	146.48	0.1171	2.59614	9.71
35.4938	44.97	0.2007	2.52921	2.98
37.6981	182.40	0.1004	2.38624	12.10
40.3768	39.59	0.2676	2.23390	2.63
41.2069	117.85	0.1673	2.19080	7.81
41.6648	63.02	0.2676	2.16777	4.18
42.9931	73.23	0.1673	2.10383	4.86
43.8234	46.43	0.1338	2.06587	3.08
46.9208	33.36	0.2676	1.93647	2.21
47.5155	41.96	0.1004	1.91361	2.78
49.1823	35.73	0.1004	1.85259	2.37

2. XRD Standart JCPDS No. 39-1380

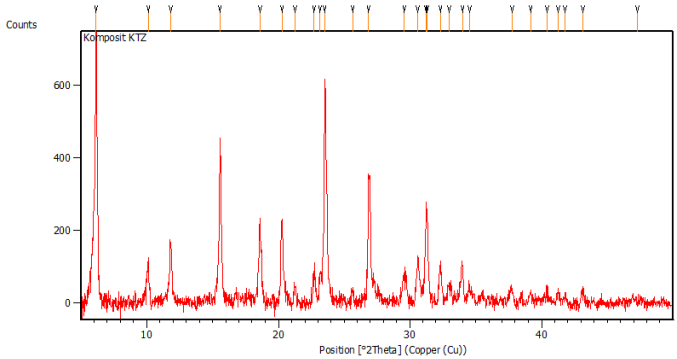


Gambar D. 2 Difraktogram XRD dari standar JCPDS No. 39-1380 zeolit-Y

Tabel D.2 Data hasil standar JCPDS No. 39-1380

2θ	Intensitas	2θ	Intensitas
6,184	100	29,603	25
10,112	19	30,697	36
11,869	12	31,36	78
12,386	5	32,41	28
14,343	2	33,025	11
15,615	78	34,033	32
17,582	4	34,644	14
18,664	44	35,625	4
20,304	52	37,151	4
21,237	3	37,865	23
21,497	3	40,565	5
22,764	18	41,342	13
23,642	95	41,844	7
24,977	8	43,143	8
25,748	22	43,959	11
26,988	67	45,256	2
27,768	19	45,714	4
28,936	3		

3. XRD Komposit Karbon/Zeolit-Y



Gambar D. 3 Difraktogram XRD dari Karbon/Zeolit-Y

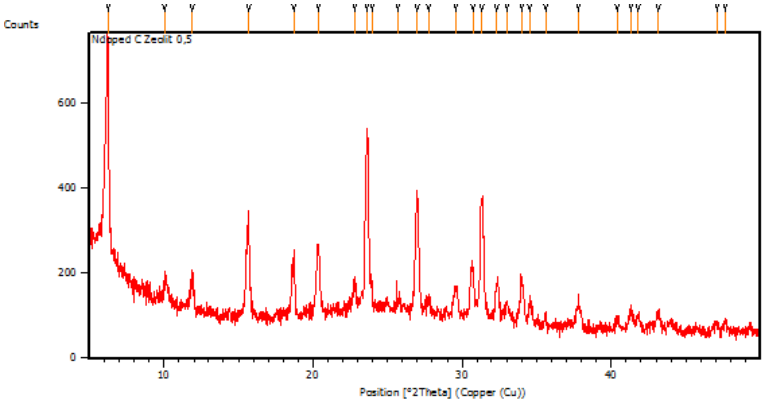
Tabel D.3 Data Hasil XRD Karbon/Zeolit-Y

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1617	761.18	0.1004	14.34429	100.00
10.0905	109.05	0.1338	8.76642	14.33
11.8055	160.82	0.0669	7.49646	21.13
15.5548	462.04	0.1004	5.69696	60.70
18.6004	240.44	0.1506	4.77043	31.59
20.2691	248.11	0.1004	4.38130	32.59
21.2499	76.50	0.1673	4.18125	10.05
22.7199	123.09	0.1673	3.91395	16.17
23.1537	111.97	0.1338	3.84158	14.71
23.5098	591.49	0.1673	3.78420	77.71
25.6822	73.16	0.2007	3.46881	9.61
26.9007	387.72	0.1004	3.31440	50.94
29.6001	89.14	0.4015	3.01800	11.71
30.6078	145.27	0.2007	2.92089	19.08
31.2265	264.64	0.1224	2.86205	34.77
31.3510	245.83	0.1004	2.85333	32.30
32.3368	111.67	0.1673	2.76856	14.67

33.0292	47.25	0.2676	2.71209	6.21
33.9987	97.26	0.1004	2.63694	12.78
34.5213	50.16	0.2007	2.59820	6.59
37.7517	45.27	0.2676	2.38298	5.95
39.1851	24.47	0.2007	2.29905	3.21
40.4241	16.80	0.4015	2.23140	2.21
41.2541	30.38	0.2007	2.18840	3.99
41.8080	29.45	0.2007	2.16068	3.87
43.1146	38.50	0.2007	2.09818	5.06
47.2641	10.59	0.8029	1.92320	1.39

4. XRD Karbon/Zeolit-Y Termodifikasi Nitrogen

a. Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5



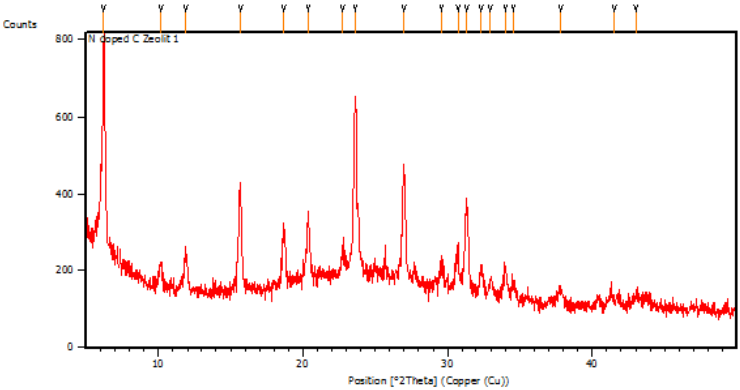
Gambar D. 4 Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5

Tabel D.4 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2518	575.53	0.1338	14.13787	100.00
10.0419	56.42	0.2007	8.80870	9.80
11.8830	74.19	0.1673	7.44772	12.89
15.7128	190.93	0.1840	5.64001	33.18

18.7095	121.57	0.2342	4.74286	21.12
20.3568	173.48	0.2342	4.36263	30.14
22.7610	85.39	0.2007	3.90696	14.84
23.6110	447.67	0.2342	3.76820	77.78
23.9645	76.62	0.1171	3.71341	13.31
25.7249	49.46	0.4015	3.46315	8.59
26.9875	310.68	0.1338	3.30394	53.98
27.7513	55.40	0.2676	3.21471	9.63
29.5806	82.33	0.2676	3.01994	14.30
30.7216	134.63	0.2676	2.91034	23.39
31.3423	293.70	0.1171	2.85410	51.03
32.3434	97.98	0.1673	2.76801	17.02
33.0011	49.05	0.2676	2.71433	8.52
33.9841	117.57	0.2342	2.63804	20.43
34.5291	54.66	0.1338	2.59763	9.50
35.6005	29.52	0.1004	2.52188	5.13
37.8010	71.69	0.1004	2.37998	12.46
40.4098	24.25	0.2676	2.23215	4.21
41.3106	38.60	0.2342	2.18554	6.71
41.8165	30.93	0.2007	2.16026	5.37
43.1542	34.18	0.2007	2.09635	5.94
47.0968	17.87	0.4015	1.92964	3.11
47.6369	27.35	0.2676	1.90902	4.75

b. Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0



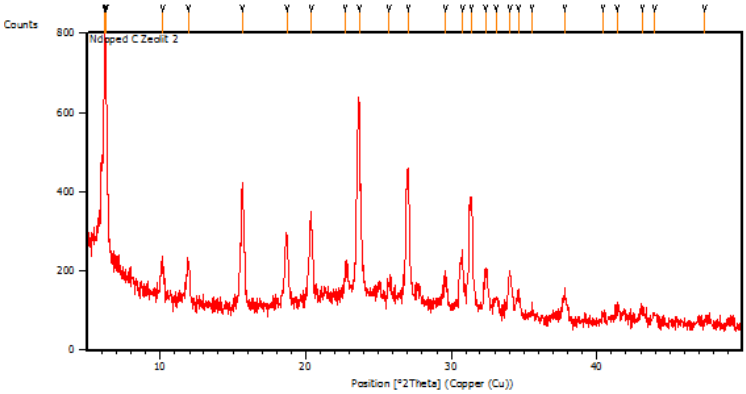
Gambar D. 5 Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 1,0

Tabel D.5 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 1,0

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2365	571.15	0.1338	14.17255	100.00
10.1881	57.52	0.2676	8.68260	10.07
11.9049	94.85	0.1338	7.43408	16.61
15.6901	284.05	0.0836	5.64811	49.73
18.6750	165.28	0.1004	4.75155	28.94
20.3513	166.54	0.1338	4.36381	29.16
22.7392	66.23	0.2676	3.91066	11.60
23.6106	466.66	0.1338	3.76827	81.71
26.9881	299.36	0.1338	3.30386	52.41
29.5870	56.55	0.2007	3.01931	9.90
30.7156	116.79	0.2007	2.91089	20.45
31.3267	230.82	0.2007	2.85549	40.41
32.3196	73.02	0.1673	2.76999	12.79
32.9835	38.16	0.2676	2.71574	6.68
34.0080	82.60	0.1338	2.63624	14.46

34.5895	34.87	0.2007	2.59324	6.11
37.8336	39.55	0.2676	2.37801	6.92
41.5363	21.71	0.5353	2.17418	3.80
43.0292	29.66	0.4015	2.10214	5.19

c. Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0



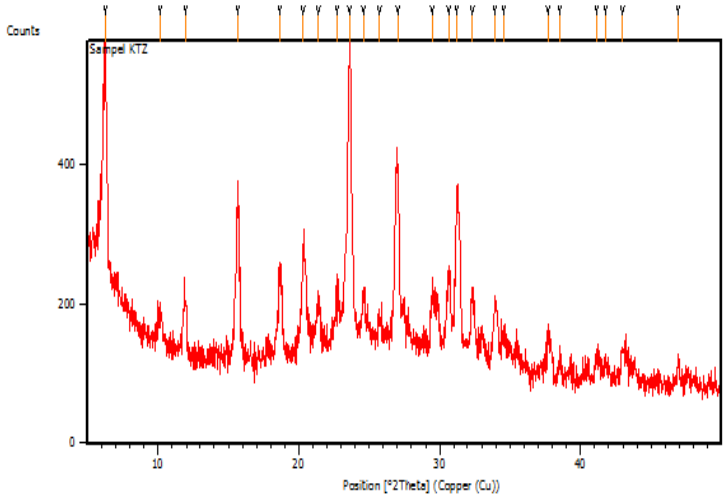
Gambar D. 6 Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 2,0

Tabel D.6 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 2,0

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2125	607.48	0.0836	14.22724	100.00
6.2928	547.26	0.0669	14.04582	90.09
10.1855	74.89	0.2676	8.68484	12.33
11.9377	99.65	0.1673	7.41372	16.40
15.6106	306.74	0.0836	5.67669	50.49
18.6944	175.79	0.2342	4.74665	28.94
20.3729	233.42	0.1506	4.35922	38.42
22.7018	99.60	0.2342	3.91702	16.40
23.6366	524.92	0.0669	3.76418	86.41
25.7489	77.68	0.2007	3.45999	12.79

27.0746	325.08	0.0836	3.29350	53.51
29.6116	96.20	0.2007	3.01685	15.84
30.7943	151.60	0.0669	2.90363	24.96
31.4101	284.54	0.2342	2.84809	46.84
32.3732	121.84	0.2676	2.76553	20.06
33.0863	50.09	0.2676	2.70754	8.25
34.0438	113.88	0.2342	2.63355	18.75
34.6264	63.75	0.2342	2.59056	10.49
35.5591	20.46	0.4015	2.52472	3.37
37.8250	70.86	0.3346	2.37852	11.66
40.4470	20.04	0.2007	2.23019	3.30
41.3671	42.54	0.2007	2.18268	7.00
43.1141	35.98	0.2007	2.09820	5.92
43.9600	23.48	0.3346	2.05977	3.87
47.4001	8.97	0.8029	1.91800	1.48

d. Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0



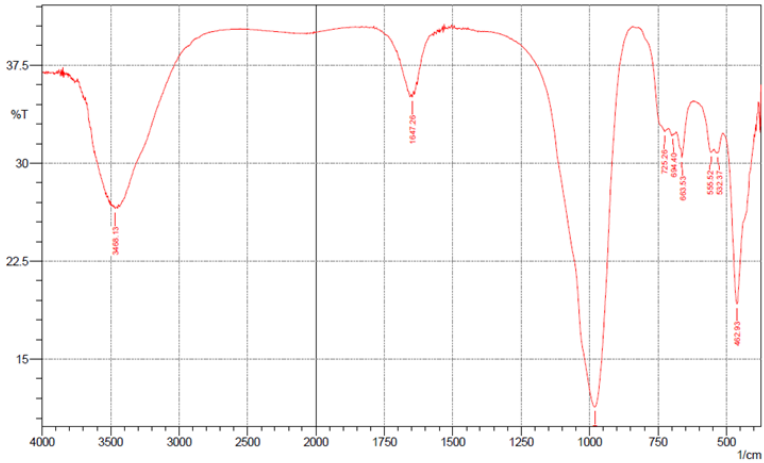
Gambar D. 7 Difraktogram XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5

Tabel D.7 Data Hasil XRD Mol Urea/Sukrosa 0,5

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.2621	336.54	0.1171	14.11448	72.41
10.1307	35.44	0.3346	8.73172	7.63
11.9620	70.31	0.2342	7.39873	15.13
15.6750	218.04	0.2342	5.65353	46.91
18.6130	120.64	0.2676	4.76723	25.96
20.3095	160.14	0.2342	4.37269	34.46
21.3563	86.10	0.2007	4.16066	18.53
22.7099	95.41	0.2007	3.91564	20.53
23.5874	464.75	0.1004	3.77192	100.00
24.5787	92.49	0.2007	3.62199	19.90
25.7466	57.49	0.2676	3.46028	12.37
27.0278	281.52	0.3011	3.29910	60.58
29.4865	98.45	0.2007	3.02937	21.18
30.6481	125.63	0.2676	2.91714	27.03
31.2300	242.61	0.2007	2.86411	52.20
32.3232	101.70	0.2676	2.76970	21.88
33.9311	90.16	0.1673	2.64204	19.40
34.5552	48.66	0.2676	2.59573	10.47
37.6984	53.47	0.1673	2.38622	11.51
38.5309	27.73	0.2007	2.33656	5.97
41.1630	31.90	0.2676	2.19303	6.86
41.7707	28.65	0.3346	2.16252	6.17
42.9820	43.42	0.4015	2.10434	9.34
46.9340	32.09	0.2007	1.93595	6.90

LAMPIRAN E. Fourier Transform Infrared (FTIR)

1. Hasil FTIR Zeolit Na-Y

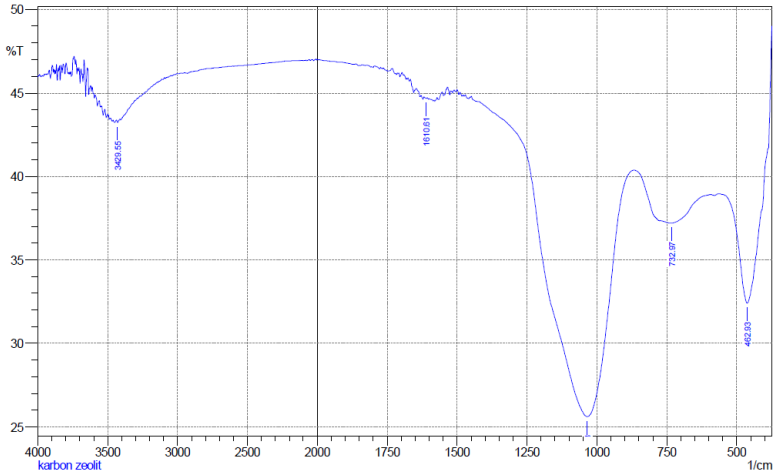


Gambar E.1 Hasil FTIR Zeolit Na-Y

Tabel E.1 Hasil FTIR Zeolit Na-Y

Peak	Intensitas
462,93	19,247
532,37	30,814
555,52	30,821
663,53	30,397
694,40	32,190
725,26	32,418
981,80	11,348
1647,26	35,059
3468,13	26,527

2. Hasil FTIR Karbon/Zeolit



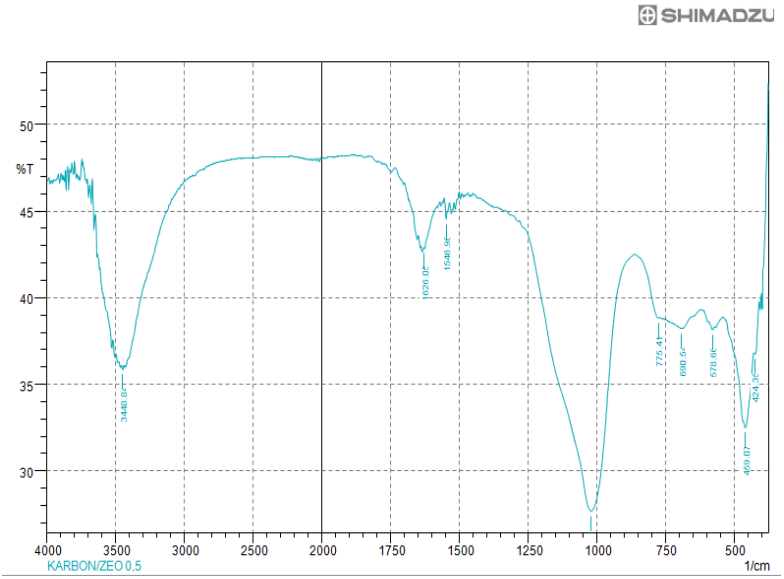
Gambar E.2 Hasil FTIR Karbon/Zeolit

Tabel E.2 Hasil FTIR Karbon/Zeolit

Peak	Intensitas
462,93	32,404
732,97	37,210
1033,88	25,615
1610,61	44,683
3429,55	43,230

3. Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen

A. Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5

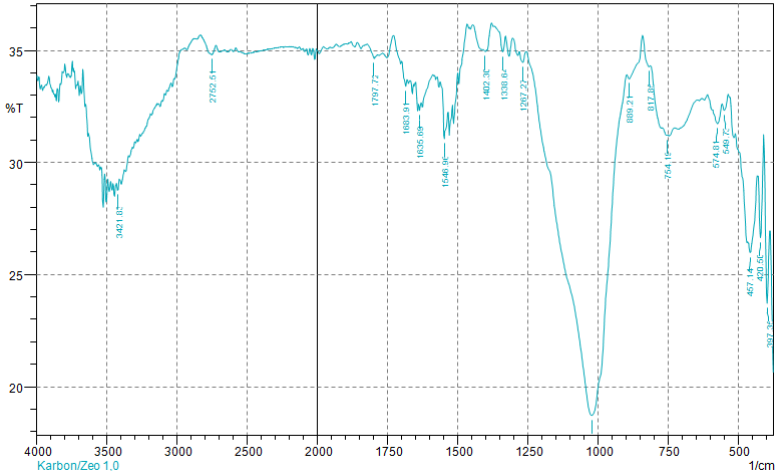


Gambar E.3 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5

Tabel E.3 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5

Peak	Intensitas
424,35	36,746
459,07	32,497
578,66	38,153
690,54	38,227
775,41	38,832
1020,38	27,683
1546,96	44,533
1626,05	42,837
3448,84	35,861

B. Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0



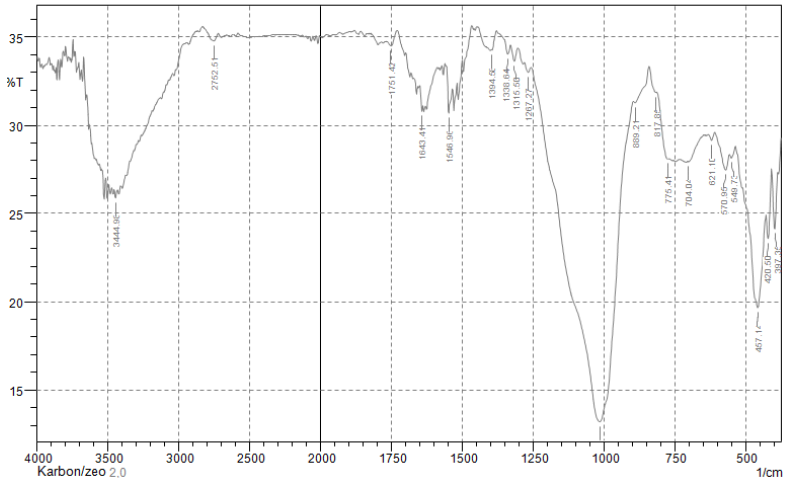
Gambar E.4 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0

Tabel E.4 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0

Peak	Intensitas
397,35	23,714
420,50	26,634
457,14	25,968
549,73	32,324
574,81	31,737
754,19	31,206
817,85	34,270
889,21	33,729
1022,31	18,717
1267,27	34,466
1338,64	34,940
1402,30	34,941

1546,96	31,062
1635,69	32,315
1638,91	33,402
1797,72	34,644
2752,51	34,813
3421,83	28,766

C. Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0



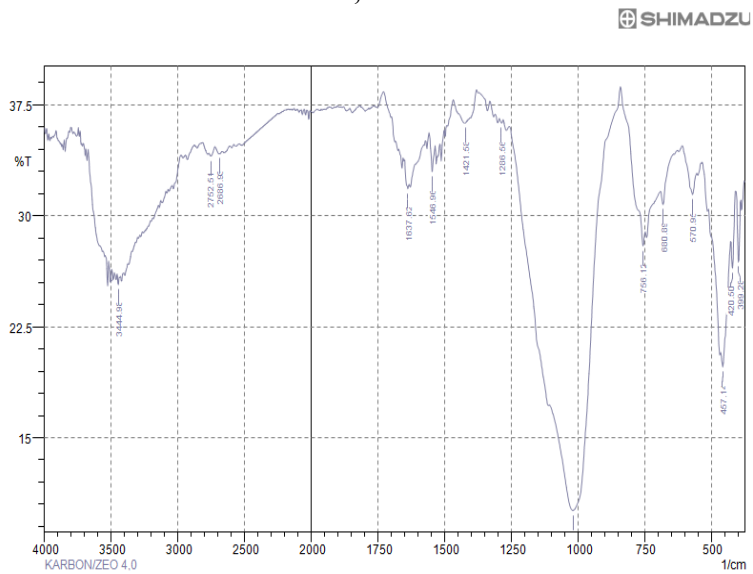
Gambar E.5 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0

Tabel E.5 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0

Peak	Intensitas
397,35	24,128
420,50	23,574
457,14	19,668
549,73	28,149
570,95	27,473

621,10	29,143
704,04	27,924
775,41	28,078
817,85	31,863
889,21	31,273
1014,59	13,202
1267,27	32,997
1315,50	33,630
1394,58	34,029
1546,96	30,693
1643,41	30,792
1751,42	34,491
2752,51	34,784
3444,98	25,867

D. Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0



Gambar E.6 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0

Tabel E.6 Hasil FTIR Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0

Peak	Intensitas
399,28	26,871
420,50	26,453
457,14	19,794
570,95	31,426
680,89	30,76
756,12	27,969
1018,45	10,101
1286,56	36,25
1421,58	36,251
1546,96	32,971
1637,62	31,803
2686,93	34,178
2752,51	34,033
3444,98	25,34
570,95	31,426

LAMPIRAN F. *Elemental Analyzer*

Document = 2 May 2018 (VarioMICRO) from: -.-.- (modified)
UTM
varioMICRO CHNS
serial number : 15135057

Text Report

No	Weight (mg)	Name	method	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	Date Time
1	1.0000	Blank	Blank without O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 10:39
2	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 10:48
3	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 10:58
4	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 11:07
5	2.0460	Runin	2mgChem70s	15.2581	38.6018	4.1761	14.3909	2.5299	02.05.2018 11:24
6	2.0470	Runin	2mgChem70s	15.0956	38.5489	4.1801	15.3516	2.5536	02.05.2018 11:37
7	2.0520	Sulphanilamide srm	2mgChem70s	16.3300	41.8000	4.6800	18.6200	2.5597	02.05.2018 11:49
8	2.0540	Sulphanilamide srm	2mgChem70s	16.3300	41.8000	4.6800	18.6200	2.5597	02.05.2018 12:01
9	2.0550	Sulphanilamide srm	2mgChem70s	16.3300	41.8000	4.6800	18.6200	2.5597	02.05.2018 12:14
10	2.0620	AQC	2mgChem70s	16.2911	41.7453	4.7073	18.7210	2.5625	02.05.2018 12:26
11	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 12:36
12	7.5280	Karbon/zeo 2	5mgChem90s	0.0088	18.9123	0.4893	0.1918	1009.6595	02.05.2018 16:07
13	7.2590	Karbon/zeo 3	5mgChem90s	0.0136	18.1091	0.5071	0.1486	595.3605	02.05.2018 16:20
14	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 16:29
15	7.3830	0.5 N doped C/Z 1	5mgChem90s	0.3429	12.0649	1.6610	0.2338	35.1834	02.05.2018 16:42
16	7.7030	0.5 N doped C/Z 2	5mgChem90s	0.3335	12.2183	1.7341	0.2348	36.6337	02.05.2018 16:54
17	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 17:16
18	7.7600	1.0 N doped C/Z 1	5mgChem90s	0.4634	11.2940	1.3431	0.2974	26.5463	02.05.2018 17:29
19	7.6920	1.0 N doped C/Z 2	5mgChem90s	0.4801	11.6341	1.4983	0.2354	26.5171	02.05.2018 17:54
20	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 18:03
21	7.2850	2.0 N doped C/Z 2	5mgChem90s	0.4804	10.7652	1.7285	0.1712	22.4065	02.05.2018 18:28
22	7.2620	2.0 N doped C/Z 2	5mgChem90s	0.4769	10.4645	1.7746	0.1479	22.9426	02.05.2018 18:41
23	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 18:50
24	7.5000	4.0 N doped C/Z 1	5mgChem90s	0.5701	9.4209	1.8705	0.1119	16. 5254	02.05.2018 19:02
25	7.5890	4.0 N doped C/Z 2	5mgChem90s	0.5775	9.5634	1.9067	0.1146	16.5605	02.05.2018 19:15
26	1.0000	Blank	Blank with O2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	02.05.2018 19:37

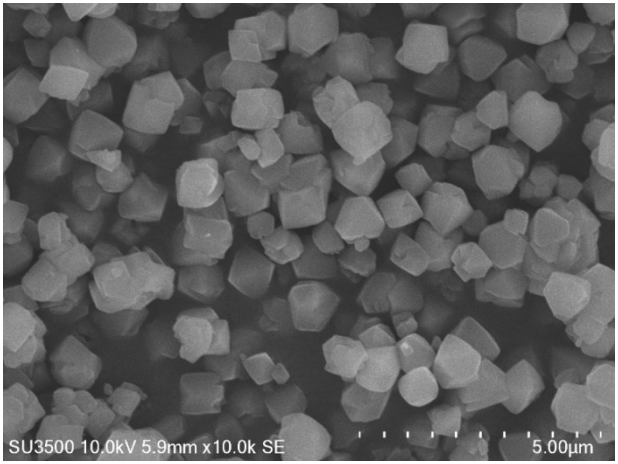
Name : eassuperuser, Access : VarioMICRO superuser 3/5/2018 9:18:49 AM
VarioMICRO V3.1.1 (a57f8cf)2013-06-25, CHNS mode, ser. No.:15135057
Elemental Analysensysteme GmbH

Page 1(of 1)

Gambar F.1 Elemental Analyzer

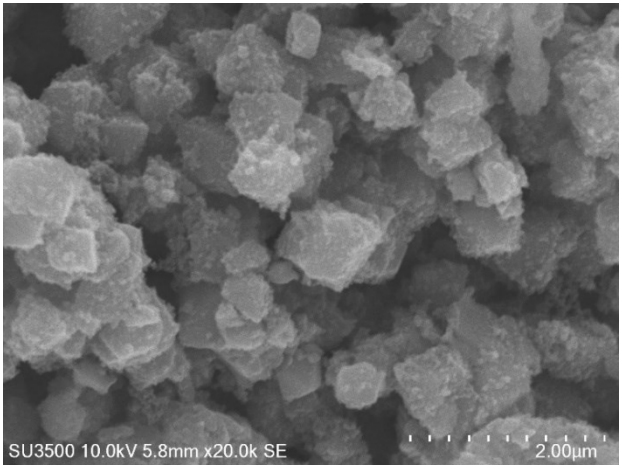
LAMPIRAN G. *Scanning Electron Microscope*

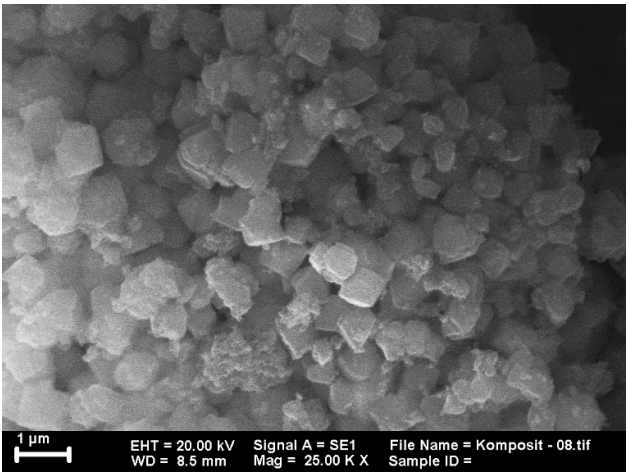
G.1 Zeolit Na-Y



Gambar G.1 Zeolit Na-Y

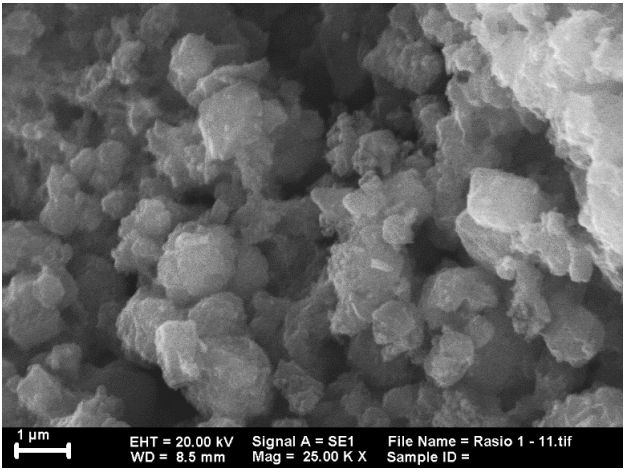
G.2 Karbon/Zeolit





Gambar G.2 Karbon/Zeolit

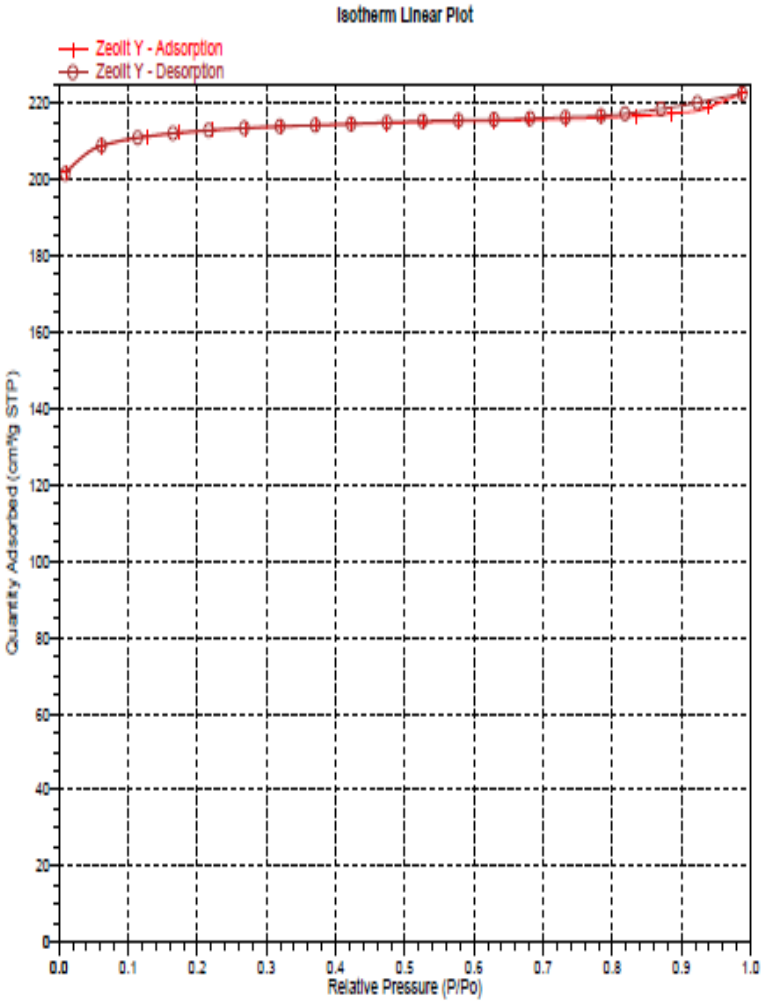
G.3 Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0



Gambar G.3 Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/sukrosa 1,0

LAMPIRAN H. Fisisorpsi Isotermal Nitrogen

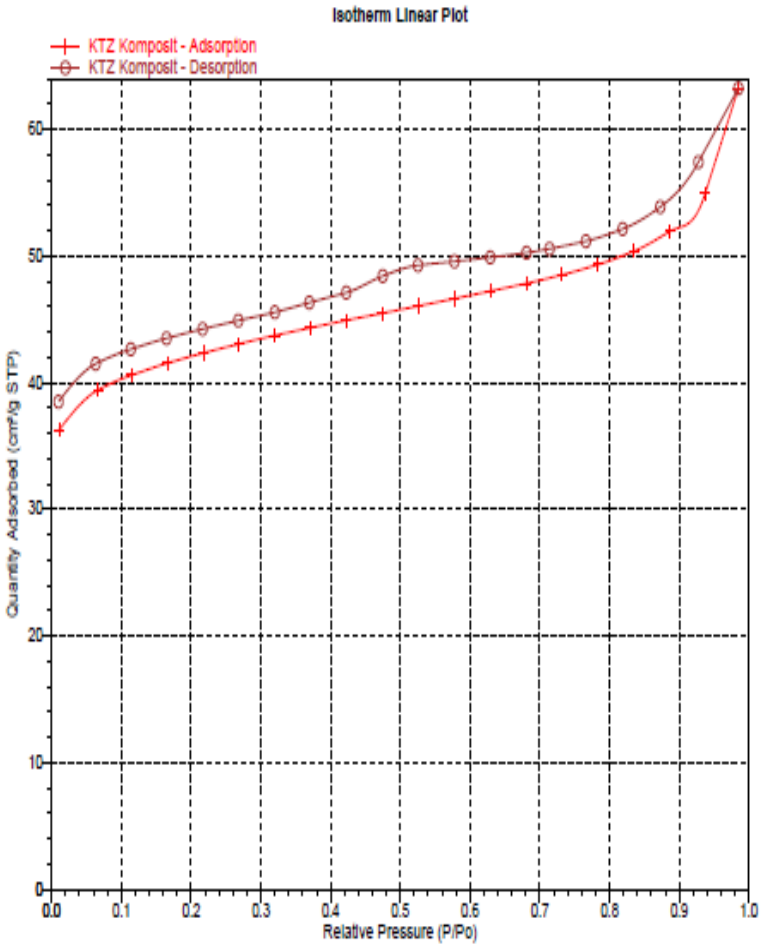
H.1 Zeolit Na-Y



Isotherm Tabular Report

Relative Pressure (P/Po)	Absolute Pressure (mmHg)	Quantity Adsorbed (cm³/g STP)	Elapsed Time (h:min)	Saturation Pressure (mmHg)
			01:08	759.277466
0.010101798	7.671013	201.8883	01:58	
0.060904423	46.249626	208.6687	02:03	
0.127811275	97.058098	211.1560	02:06	
0.173299779	131.602081	212.0901	02:08	
0.220842996	167.706741	212.7802	02:10	
0.269350283	204.543869	213.3150	02:12	
0.320444156	243.345016	213.7595	02:13	
0.371161180	281.860870	214.1101	02:15	
0.422645235	320.958801	214.4055	02:16	
0.474222187	360.127472	214.6568	02:17	
0.525760458	399.267944	214.8767	02:19	
0.577346419	438.443939	215.0959	02:20	
0.628917114	477.609711	215.2881	02:22	
0.680388554	516.699219	215.5042	02:23	
0.731993642	555.891785	215.7510	02:25	
0.783522997	595.025757	216.0739	02:26	
0.835139380	634.226013	216.5163	02:27	
0.886465197	673.207458	217.2425	02:29	
0.937635074	712.070862	218.7321	02:31	
0.987733208	750.120728	222.4504	02:33	
0.923055484	701.005554	220.0276	02:35	
0.870342251	660.976257	218.3828	02:37	
0.818224266	621.397095	217.1335	02:38	
0.783671563	595.159119	216.6132	02:40	
0.732133385	556.019836	216.2020	02:41	
0.680962749	517.160767	215.8990	02:43	
0.629061626	477.745361	215.6490	02:44	
0.577429608	438.535217	215.4336	02:46	
0.525513363	399.108826	215.2246	02:48	
0.474066847	360.037903	214.8814	02:49	
0.422239335	320.678223	214.4749	02:51	
0.370640409	281.491760	214.1591	02:53	
0.319517269	242.666260	213.8248	02:55	
0.267921988	203.481293	213.3988	02:56	
0.216386730	164.342529	212.8187	02:59	
0.164778200	125.147537	212.0606	03:02	
0.113728913	86.376709	210.8838	03:05	
0.061388941	46.625259	208.8154	03:10	
			03:12	759.509583
0.009036498	6.863307	201.4108	03:26	

H.2 Karbon/Zeolit

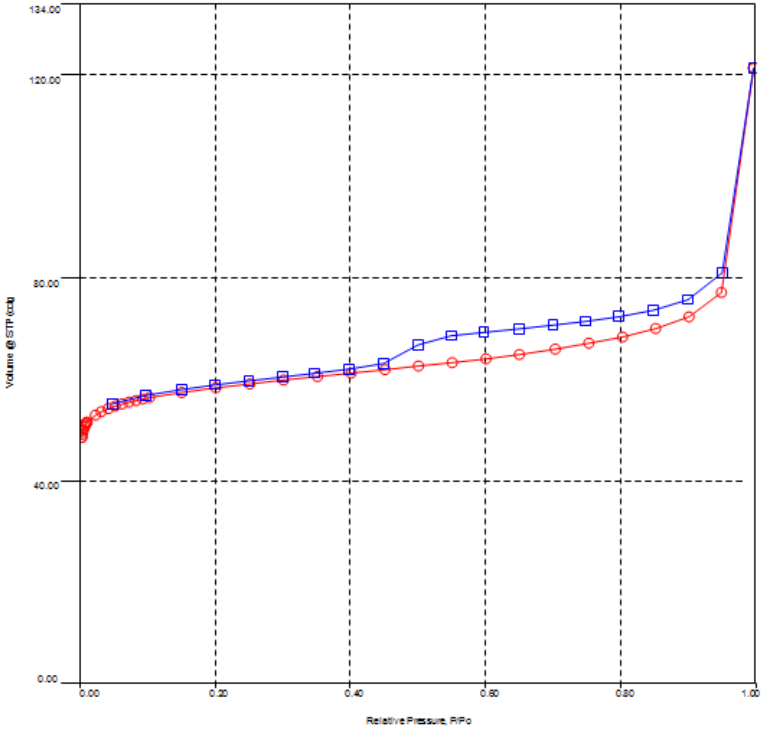


Isotherm Tabular Report

Relative Pressure (P/Po)	Absolute Pressure (mmHg)	Quantity Adsorbed (cm³/g STP)	Elapsed Time (h:min)	Saturation Pressure (mmHg)
			01:03	758.392883
0.010551946	8.002521	36.2400	01:39	
0.066488026	50.424046	39.4084	01:45	
0.114672174	86.966560	40.5797	01:47	
0.166328780	126.142563	41.5297	01:49	
0.217870813	165.231674	42.3307	01:51	
0.269025800	204.027252	43.0464	01:53	
0.320406572	242.994064	43.7188	01:55	
0.371229420	281.537750	44.3169	01:56	
0.422719343	320.587341	44.9109	01:58	
0.474303829	359.708649	45.4680	01:59	
0.525898537	398.837708	46.0356	02:01	
0.577471474	437.950256	46.6179	02:02	
0.628995802	477.025940	47.2120	02:03	
0.680651634	516.201355	47.8171	02:05	
0.732036410	555.171204	48.5006	02:06	
0.783699243	594.351929	49.3090	02:08	
0.835080961	633.319458	50.3675	02:09	
0.886540905	672.346313	51.9231	02:11	
0.937225268	710.784973	54.8995	02:13	
0.984910236	746.948914	63.2244	02:17	
0.927639906	703.515503	57.3985	02:20	
0.872935990	662.028442	53.8662	02:23	
0.818945687	621.082581	52.1247	02:24	
0.766254726	581.122131	51.1608	02:26	
0.714147485	541.604370	50.5574	02:27	
0.681059424	516.510620	50.2437	02:29	
0.629123604	477.122864	49.8805	02:30	
0.577713999	438.134186	49.5584	02:32	
0.525538471	398.564636	49.2572	02:34	
0.474848837	360.121979	48.4069	02:36	
0.422580596	320.482117	47.0916	02:38	
0.369640753	280.332916	46.3075	02:40	
0.320226499	242.857498	45.5467	02:42	
0.267634308	202.971954	44.8902	02:44	
0.216585856	164.257172	44.2230	02:46	
0.164816186	124.995422	43.4942	02:49	
0.113540399	86.108231	42.6251	02:52	
0.063207979	47.936481	41.4733	02:55	
0.009960194	7.553741	38.4822	03:05	

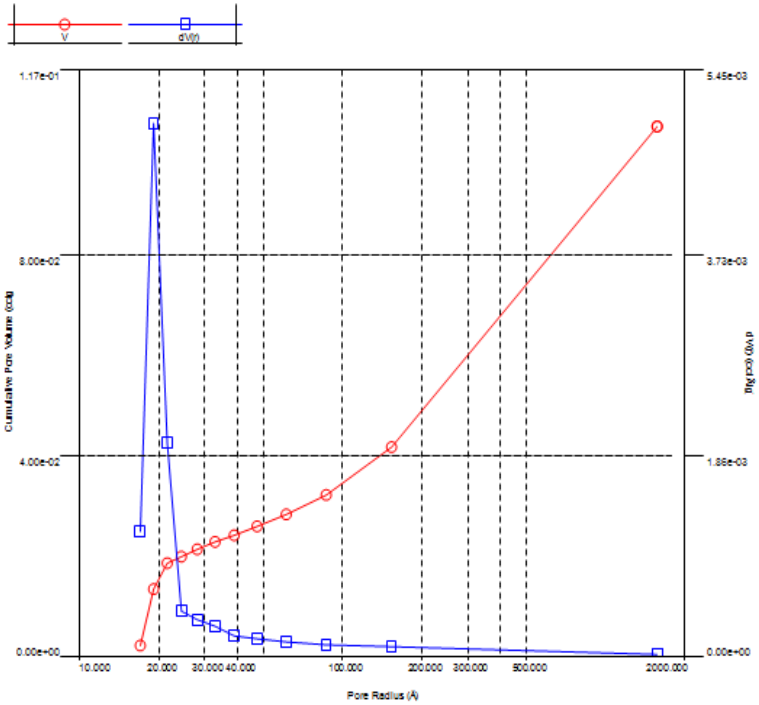
H.3 Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen

H.3.1 Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5



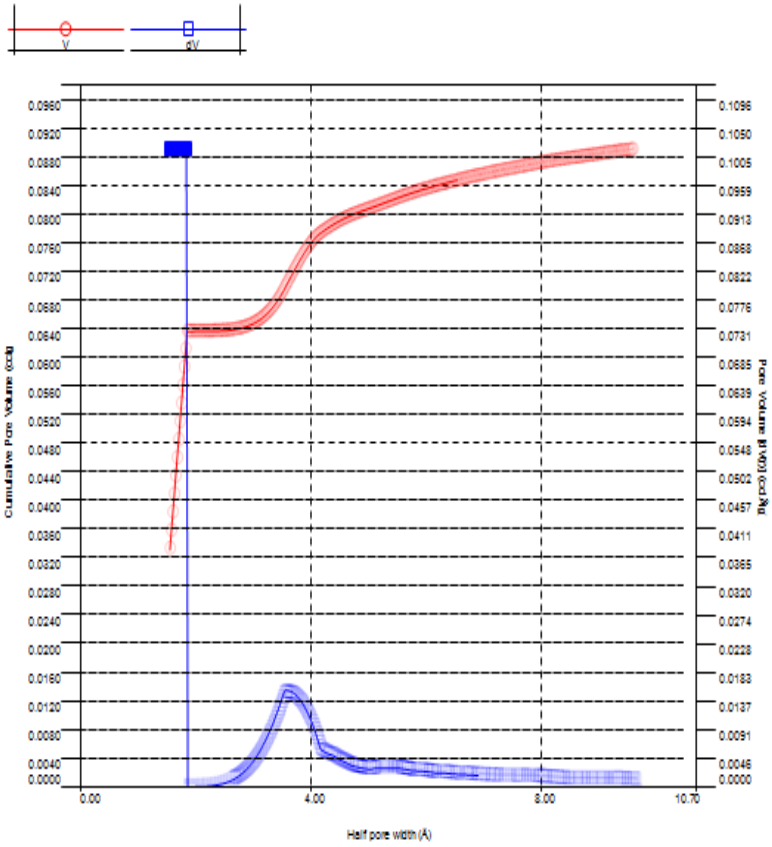
Isotherm Data

Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
2.38268e-03	48.5693	1.50477e-01	57.4446	8.99933e-01	75.7558
2.39356e-03	48.6037	2.00934e-01	58.3563	8.48647e-01	73.6661
3.17253e-03	49.2283	2.51228e-01	59.1251	7.97996e-01	72.3840
4.26500e-03	49.8503	3.01144e-01	59.8862	7.47444e-01	71.4402
5.09923e-03	50.2004	3.51241e-01	60.5724	7.00084e-01	70.7370
6.32509e-03	50.6777	4.01170e-01	61.2628	6.50187e-01	69.9914
7.51390e-03	51.0098	4.51273e-01	61.9253	5.97746e-01	69.2802
8.79340e-03	51.3135	5.00811e-01	62.6586	5.49694e-01	68.6603
9.50087e-03	51.4542	5.50866e-01	63.3317	5.00297e-01	66.8270
1.01899e-02	51.5882	6.00805e-01	64.0542	4.49191e-01	63.1632
2.26202e-02	52.9595	6.50102e-01	64.9118	3.98084e-01	62.0567
3.13711e-02	53.6643	7.03210e-01	65.9760	3.47727e-01	61.2250
4.16003e-02	54.2662	7.52940e-01	67.1578	2.99900e-01	60.5029
5.18787e-02	54.7584	8.02930e-01	68.3862	2.50020e-01	59.7374
6.22063e-02	55.1741	8.52085e-01	70.0426	1.99827e-01	58.9357
7.24556e-02	55.5264	9.01398e-01	72.3467	1.50233e-01	58.0222
8.24650e-02	55.8332	9.49399e-01	77.1682	9.78278e-02	56.8598
9.25800e-02	56.1490	9.96747e-01	121.4041	4.79345e-02	55.2235
1.02628e-01	56.4381	9.50472e-01	81.0319		



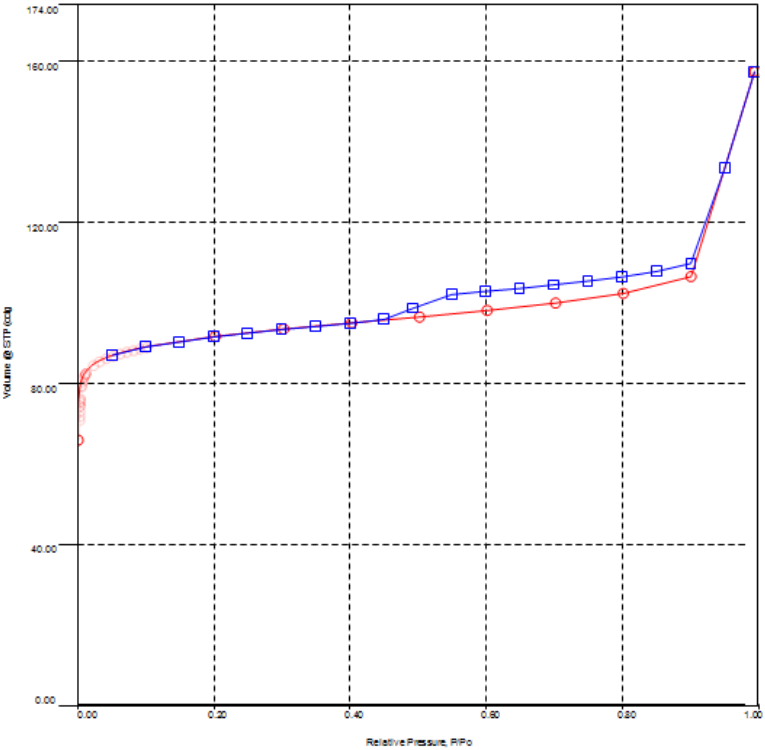
BJH desorption

Surface Area = 27.345 m²/g
Pore Volume = 0.106 cc/g
Pore Radius Dv(r) = 19.142 Å



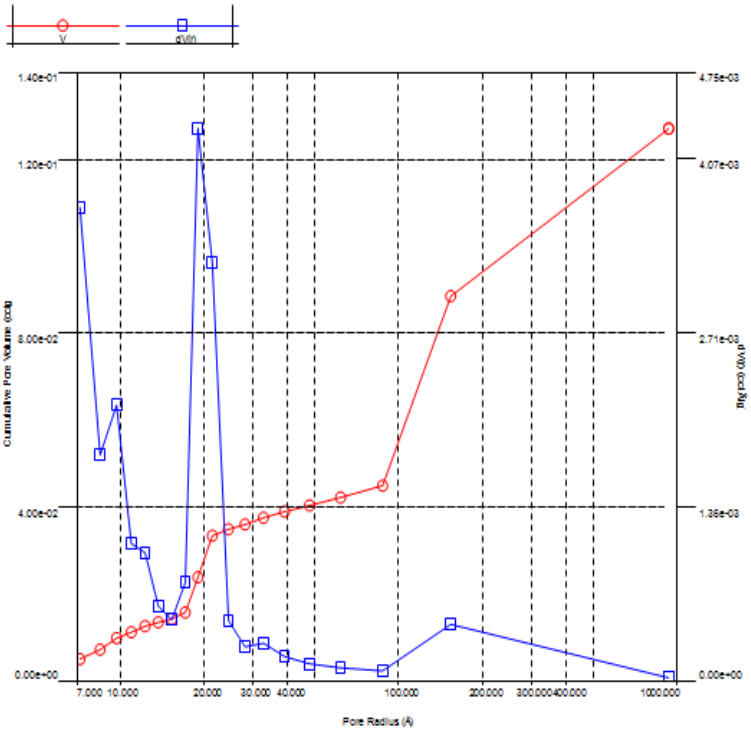
HK method
Mode : 1.838 Å
Micropore Volume : 0.089 cc/g

H.3.2 Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0



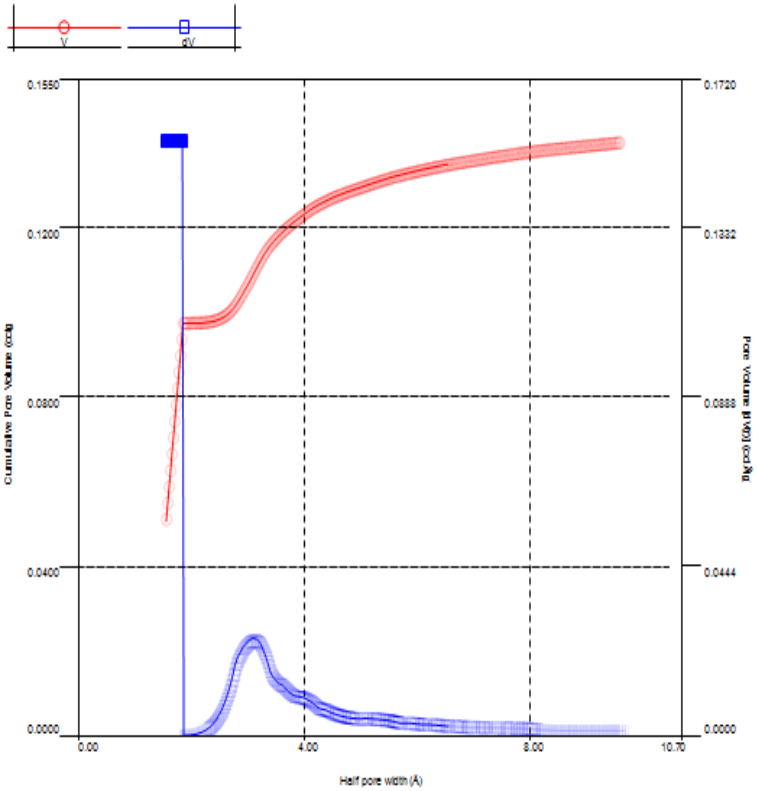
Isotherm Data

Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
1.00590e-04	65.9265	2.12105e-02	84.6628	9.00759e-01	109.8250
2.49154e-04	70.6235	3.02047e-02	85.6031	8.50402e-01	107.8408
3.01856e-04	71.5348	4.06225e-02	86.4283	7.99934e-01	106.4971
4.17932e-04	72.8684	5.10788e-02	87.0856	7.49481e-01	105.4510
5.84403e-04	74.1593	6.15091e-02	87.6078	6.98960e-01	104.5183
6.14550e-04	74.3530	7.17789e-02	88.0526	6.49030e-01	103.5990
7.44635e-04	75.0316	8.18851e-02	88.4672	5.98597e-01	102.8881
8.28544e-04	75.4096	9.18781e-02	88.8572	5.49021e-01	102.0847
9.41253e-04	75.8398	1.02102e-01	89.1974	4.92800e-01	98.7234
1.02236e-03	76.1218	2.01738e-01	91.6997	4.50105e-01	95.9322
2.78069e-03	79.1652	3.02387e-01	93.5313	3.99775e-01	94.9510
3.07396e-03	79.4653	4.02513e-01	95.0905	3.48909e-01	94.1648
4.24148e-03	80.3615	5.02010e-01	96.5117	2.98953e-01	93.3865
5.34017e-03	80.9969	6.01432e-01	98.1406	2.49102e-01	92.4899
6.73871e-03	81.6242	7.01969e-01	99.9691	1.99038e-01	91.5713
7.60656e-03	81.9500	8.01458e-01	102.3734	1.49312e-01	90.3361
8.71226e-03	82.3103	9.00993e-01	106.5580	9.96730e-02	89.0831
9.36921e-03	82.5027	9.94226e-01	157.4276	5.06073e-02	87.0265
1.00210e-02	82.6870	9.50259e-01	133.4139		



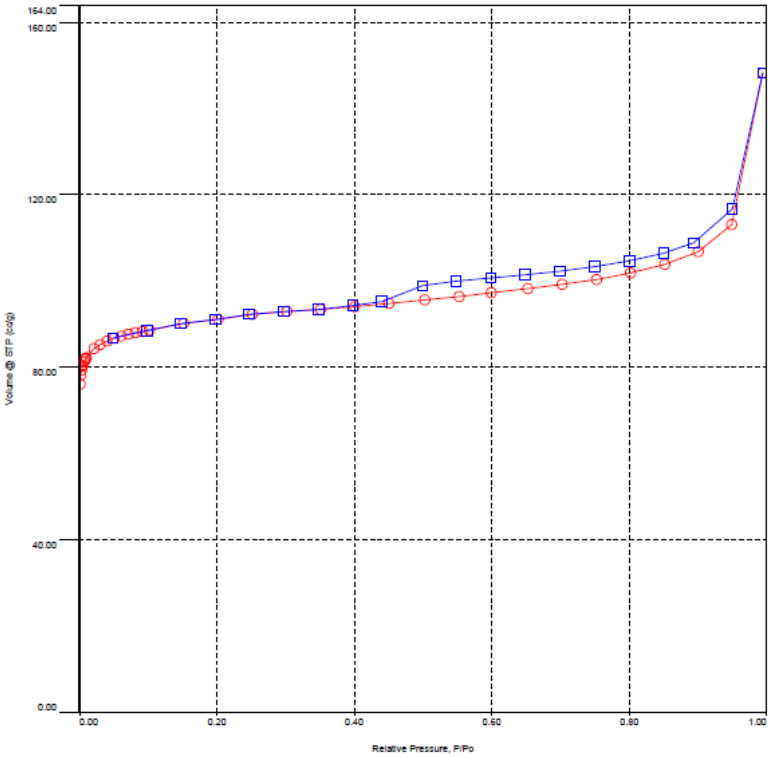
BJH desorption

Surface Area =	63.104 m²/g
Pore Volume =	0.127 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	18.982 Å



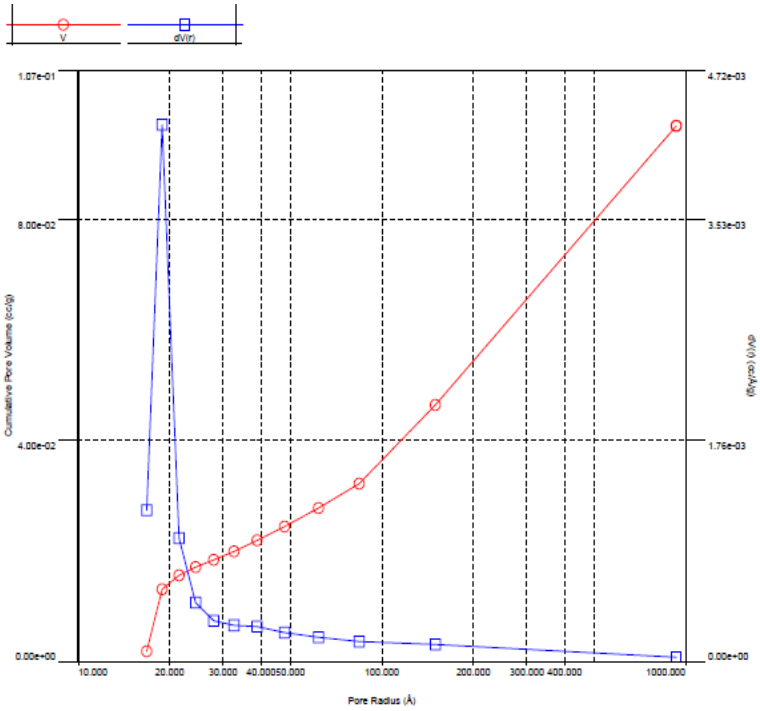
HK method
Mode : 1.838 Å
Micropore Volume : 0.140 cc/g

H.3.3 Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0



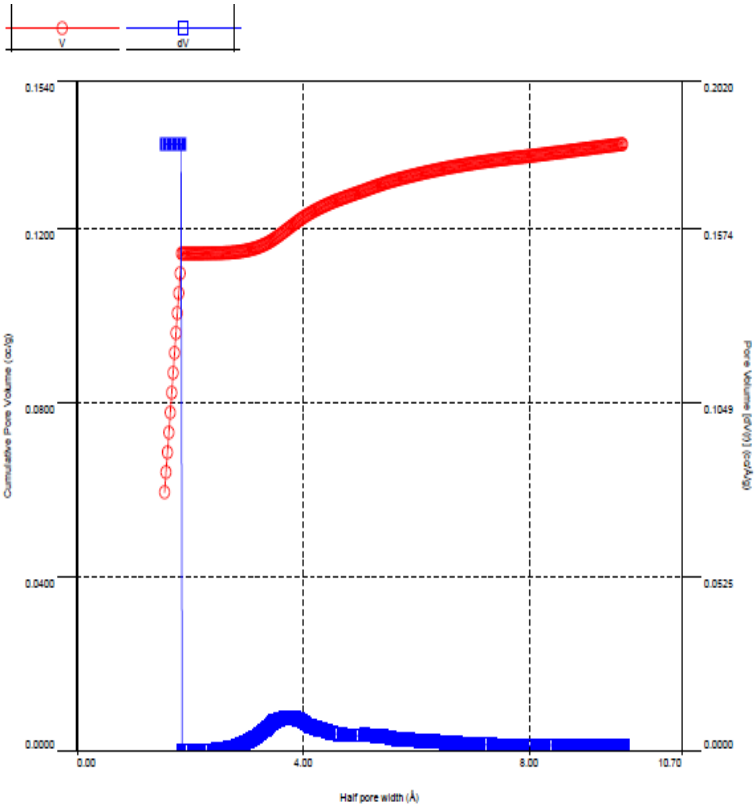
Isotherm Data

Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
1.02672e-03	76.0395	1.51699e-01	90.1518	8.93635e-01	108.8382
2.05088e-03	78.1587	2.02000e-01	91.1035	8.50395e-01	106.4652
3.09066e-03	79.2737	2.51637e-01	92.2615	8.00247e-01	104.6659
4.42327e-03	80.1879	3.01910e-01	92.9322	7.49410e-01	103.3364
5.08496e-03	80.5426	3.50923e-01	93.3764	6.98955e-01	102.2657
6.56166e-03	81.1757	4.00342e-01	94.0694	6.48441e-01	101.4294
7.61914e-03	81.5373	4.50270e-01	94.7643	5.98287e-01	100.7108
8.79722e-03	81.8822	5.02722e-01	95.6227	5.48379e-01	99.9609
9.21178e-03	81.9906	5.52697e-01	96.3750	4.99570e-01	98.9153
1.00430e-02	82.1965	5.99302e-01	97.2676	4.39558e-01	95.1989
2.13907e-02	84.3057	6.52540e-01	98.2269	3.98156e-01	94.2944
3.00582e-02	85.2107	7.02469e-01	99.2001	3.48016e-01	93.3974
4.02153e-02	86.0493	7.52506e-01	100.3062	2.97767e-01	92.8879
5.06402e-02	86.7064	8.01927e-01	101.8478	2.47209e-01	92.2449
6.10317e-02	87.2160	8.51624e-01	103.8517	1.98061e-01	91.0259
7.12328e-02	87.6312	9.00598e-01	106.7749	1.47618e-01	90.0876
8.14540e-02	87.9842	9.49039e-01	113.0619	9.84480e-02	88.5218
9.17622e-02	88.2659	9.94205e-01	148.2596	4.86979e-02	86.7248
1.01864e-01	88.5705	9.50051e-01	116.7175		



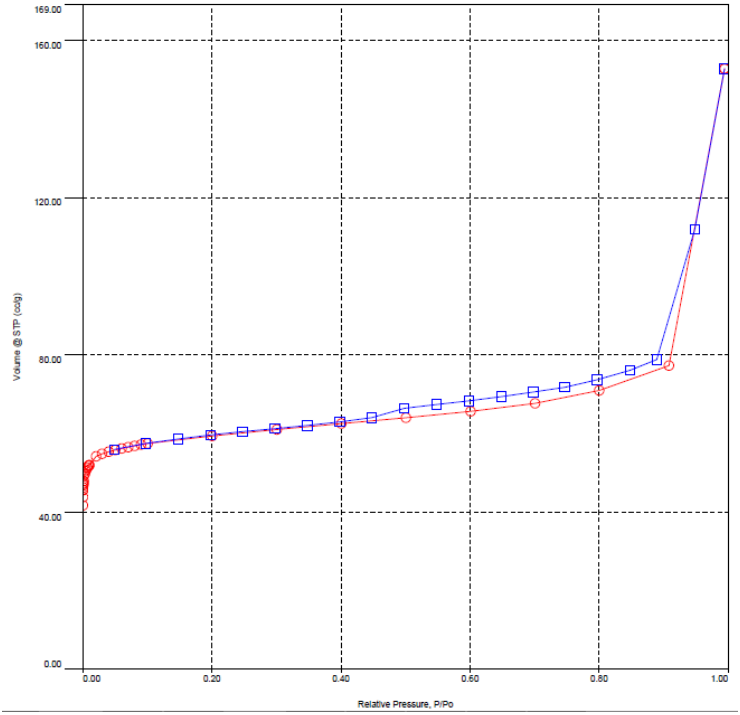
BJH desorption summary

Surface Area =	26.734 m^2/g
Pore Volume =	0.097 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	18.899 Å



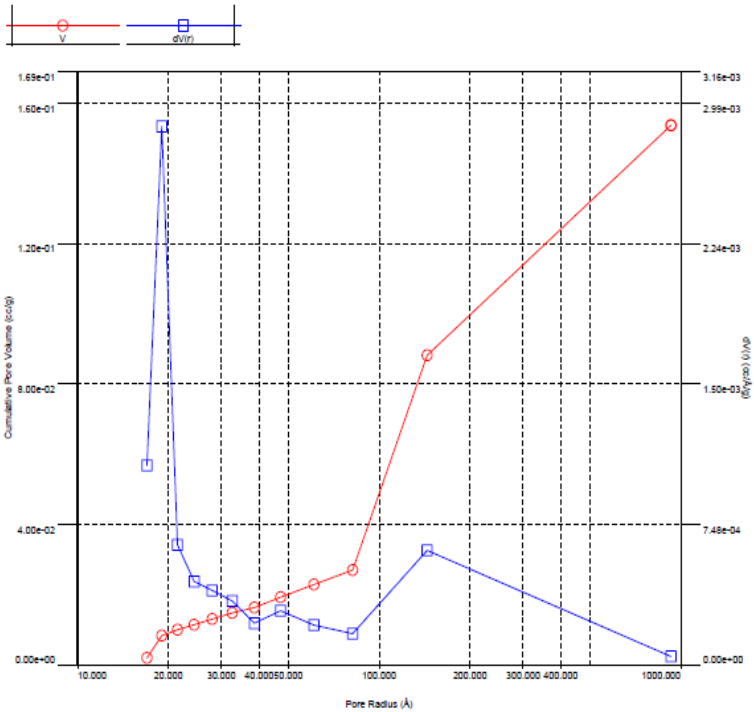
HK method summary
Mode : 1.838 Å
Micropore Volume : 0.139 cc/g

H.3.4 Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0



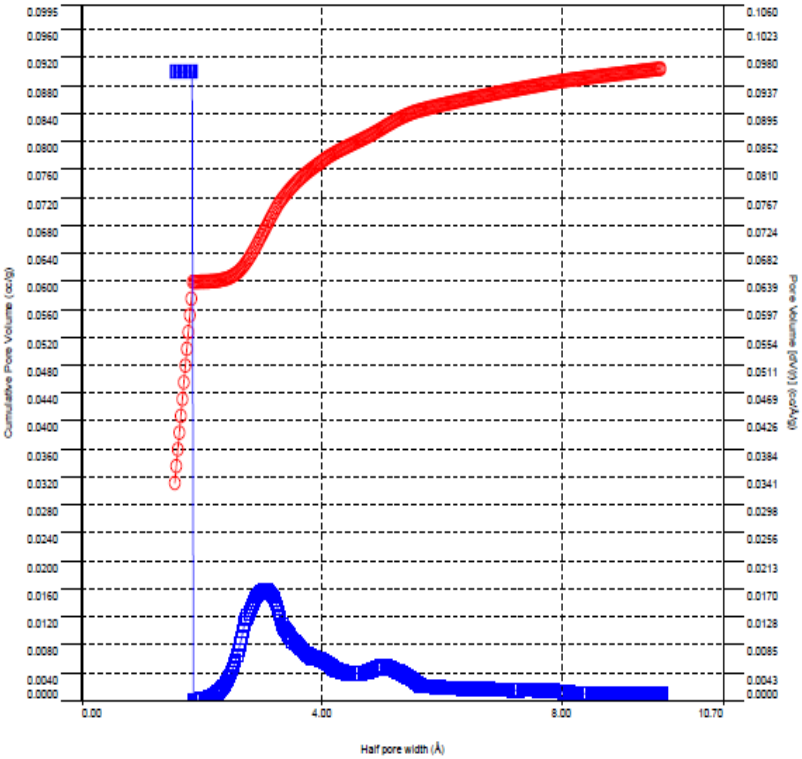
Isotherm Data

Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
1.17827e-04	41.6883	2.04887e-02	54.1655	8.89189e-01	78.8208
2.01438e-04	43.7899	2.96210e-02	54.8176	8.47749e-01	76.0679
3.85214e-04	45.5460	3.99300e-02	55.3444	7.96689e-01	73.6517
4.01967e-04	45.6539	5.00466e-02	55.7758	7.46727e-01	71.7442
5.19923e-04	46.2526	6.00569e-02	56.1717	6.98238e-01	70.5570
6.53759e-04	46.7783	7.01293e-02	56.5097	6.48656e-01	69.3690
7.69388e-04	47.1527	8.01003e-02	56.8288	5.98218e-01	68.3034
8.09571e-04	47.2493	9.00495e-02	57.1575	5.47915e-01	67.3575
1.07608e-03	47.8594	1.00365e-01	57.4292	4.98203e-01	66.3870
1.08877e-03	47.8632	2.00393e-01	59.3663	4.47935e-01	64.0346
2.51499e-03	49.5133	3.00594e-01	61.0039	3.98207e-01	62.9450
3.04152e-03	49.8665	4.00578e-01	62.4978	3.47786e-01	62.0314
4.13547e-03	50.4179	5.00550e-01	63.9936	2.97638e-01	61.2284
5.02872e-03	50.7569	6.00872e-01	65.6086	2.47103e-01	60.4817
6.18948e-03	51.1349	7.00644e-01	67.6597	1.97497e-01	59.6149
7.04205e-03	51.3553	8.00006e-01	70.9306	1.47663e-01	58.5986
8.85621e-03	51.7364	9.08134e-01	77.2524	9.78469e-02	57.4827
9.69267e-03	51.8883	9.94205e-01	152.7939	4.86433e-02	55.9261
1.00367e-02	51.9467	9.48029e-01	111.8836		



BJH desorption summary

Surface Area =	28.100 m^2/g
Pore Volume =	0.154 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	19.034 Å



HK method summary
Mode : 1.838 Å
Micropore Volume : 0.090 cc/g

I.3 Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen.

I.3.1 Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5

Aliran gas H_2 = 20 mL/menit
Suhu adsorpsi = 30 °C
Massa holder = 15,612 gram
Massa sampel (m_0) = 0,6479 gram
Tekanan luar = 1 bar

Tabel I.1 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 0,5

Waktu Kontak (Menit)	Δm (gram)	Peningkatan adsorpsi H_2 (% Berat)	Kapasitas Adsorpsi H_2 (mmol/g)
0	0,0000	0,000	0,000
1	0,0617	0,323	0,680
2	0,0842	0,441	1,275
3	0,1047	0,548	1,749
4	0,1301	0,681	2,221
5	0,1598	0,837	2,457
6	0,1541	0,807	2,536
7	0,1866	0,977	2,676
8	0,2087	1,093	2,587
9	0,2168	1,135	2,742
10	0,2301	1,205	3,020
11	0,2269	1,188	2,908
12	0,2475	1,296	3,073
13	0,2546	1,333	3,280
14	0,2485	1,301	3,150
15	0,2624	1,374	3,373
16	0,2607	1,365	3,574
17	0,2527	1,323	3,643

18	0,2725	1,427	3,840
19	0,2820	1,477	4,007
20	0,2771	1,451	4,198
21	0,2866	1,501	4,086
22	0,2901	1,519	4,162
23	0,2855	1,495	4,314
24	0,3023	1,583	4,489
25	0,2973	1,557	4,679
26	0,3012	1,577	4,855
27	0,3038	1,591	4,967
28	0,3019	1,581	5,083
29	0,3077	1,611	4,887
30	0,3077	1,611	5,015
31	0,3077	1,611	5,161
32	0,3031	1,587	5,292
33	0,2916	1,527	5,294
34	0,2859	1,497	5,290
35	0,2744	1,437	5,177

I.3.2 Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0

Aliran gas H_2 = 20 mL/menit
Suhu adsorpsi = 30 °C
Massa holder = 15,612 gram
Massa sampel (m_0) = 0,6479 gram
Tekanan luar = 1 bar

Tabel I.2 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 1,0

Waktu Kontak (Menit)	**Δm (gram)**	**Peningkatan adsorpsi H_2 (% Berat)**	**Kapasitas Adsorpsi H_2 (mmol/g)**
0	0,0000	0,000	0,000
1	0,0738	0,387	1,885
2	0,1137	0,596	2,365
3	0,1230	0,645	3,065
4	0,1773	0,930	3,690
5	0,1868	0,979	4,205
6	0,2010	1,053	4,390
7	0,2190	1,147	4,990
8	0,2251	1,179	5,690
9	0,2473	1,296	5,935
10	0,2626	1,376	6,135
11	0,2740	1,436	6,435
12	0,2819	1,477	6,695
13	0,2939	1,540	6,985
14	0,3030	1,587	7,265
15	0,3218	1,686	7,640
16	0,3164	1,658	7,715
17	0,3395	1,779	8,365
18	0,3426	1,795	8,062
19	0,3566	1,868	8,453
20	0,3614	1,894	8,949

21	0,3741	1,960	9,242
22	0,3810	1,996	9,681
23	0,3734	1,956	9,385
24	0,3850	2,017	9,516
25	0,4084	2,140	9,958
26	0,4149	2,173	10,322
27	0,4235	2,219	9,967
28	0,4266	2,235	10,184
29	0,4199	2,199	10,299
30	0,4205	2,203	10,312
31	0,4377	2,293	10,313
32	0,4377	2,293	10,321
33	0,4377	2,293	10,317
34	0,4262	2,233	10,219
35	0,4127	2,162	10,020

I.3.3 Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0

Aliran gas H_2 = 20 mL/menit
Suhu adsorpsi = 30 °C
Massa holder = 15,612 gram
Massa sampel (m_0) = 0,6479 gram
Tekanan luar = 1 bar

Tabel I.3 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 2,0

Waktu Kontak (Menit)	**Δm (gram)**	**Peningkatan adsorpsi H_2 (% Berat)**	**Kapasitas Adsorpsi H_2 (mmol/g)**
0	0,0000	0,000	0
1	0,0954	0,499	1,934
2	0,1217	0,638	2,979
3	0,1421	0,745	3,223
4	0,1968	1,031	4,646
5	0,2086	1,093	4,895
6	0,2122	1,112	5,266
7	0,2387	1,251	5,735
8	0,2639	1,383	5,896
9	0,2768	1,451	6,478
10	0,2764	1,449	6,878
11	0,2988	1,566	7,179
12	0,3049	1,598	7,384
13	0,3145	1,648	7,700
14	0,3203	1,678	7,936
15	0,3244	1,699	8,429
16	0,3392	1,777	8,288
17	0,3586	1,879	8,893
18	0,3674	1,925	8,975
19	0,3772	1,977	9,341
20	0,3851	2,018	9,468

21	0,4083	2,140	9,799
22	0,3994	2,093	9,981
23	0,4178	2,189	9,782
24	0,4284	2,245	10,085
25	0,4414	2,313	10,699
26	0,4536	2,377	10,867
27	0,4477	2,346	11,093
28	0,4568	2,394	11,175
29	0,4619	2,420	10,999
30	0,4660	2,442	11,015
31	0,4660	2,442	11,465
32	0,4660	2,442	11,465
33	0,4615	2,418	11,465
34	0,4435	2,324	11,164

I.3.4 Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0

Aliran gas H_2 = 20 mL/menit
Suhu adsorpsi = 30 °C
Massa holder = 15,612 gram
Massa sampel (m_0) = 0,6479 gram
Tekanan luar = 1 bar

Tabel I.4 Data Kapasitas Adsorpsi Hidrogen pada Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen Rasio Mol Urea/Sukrosa 4,0

Waktu Kontak (Menit)	**Δm (gram)**	**Peningkatan adsorpsi H_2 (% Berat)**	**Kapasitas Adsorpsi H_2 (mmol/g)**
0	0,0000	0,000	0,000
1	0,0720	0,377	2,499
2	0,0903	0,473	3,189
3	0,1171	0,613	3,723
4	0,1409	0,738	5,156
5	0,1606	0,841	5,465
6	0,1677	0,878	5,561
7	0,1906	0,998	6,255
8	0,2173	1,138	6,916
9	0,2267	1,187	7,253
10	0,2343	1,227	7,243
11	0,2458	1,287	7,829
12	0,2557	1,339	7,989
13	0,2668	1,397	8,240
14	0,2775	1,453	8,391
15	0,2918	1,528	8,499
16	0,2947	1,543	8,888
17	0,3195	1,673	9,394
18	0,3079	1,612	9,625
19	0,3229	1,691	9,884
20	0,3418	1,790	10,089

21	0,3530	1,850	10,699
22	0,3698	1,940	10,465
23	0,3585	1,877	10,946
24	0,3635	1,903	11,225
25	0,3804	1,992	11,566
26	0,3943	2,064	11,884
27	0,3807	1,993	11,732
28	0,3889	2,037	11,969
29	0,3934	2,060	12,102
30	0,3939	2,062	12,211
31	0,3942	2,063	12,211
32	0,3942	2,063	12,211
33	0,3942	2,063	12,092
34	0,3903	2,043	11,619
35	0,3828	2,004	11,162

LAMPIRAN J. Kinetika Adsorpsi Hidrogen

Tabel J.1 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit

$t^{1/2}$	qe (mmol/g)	qt (mmol/g)	(qe-qt)	In (qe-qt) (mmol/g)
0,000	5,925	0,000	5,294	1,666
1,000	5,925	0,680	4,610	1,529
1,414	5,925	1,275	3,901	1,391
1,732	5,925	1,749	-1,749	1,266
2,000	5,925	2,221	-2,221	1,123
2,236	5,925	2,457	-2,457	1,043
2,450	5,925	2,536	-2,536	1,015
2,646	5,925	2,676	-2,676	0,962
2,828	5,925	2,587	-2,587	0,996
3,000	5,925	2,742	-2,742	0,937
3,162	5,925	3,020	-3,020	0,822
3,317	5,925	2,908	-2,908	0,870
3,464	5,925	3,073	-3,073	0,798
3,606	5,925	3,280	-3,277	0,702
3,742	5,925	3,150	-3,146	0,765
3,873	5,925	3,373	-3,373	0,653
4,000	5,925	3,574	-3,574	0,543
4,123	5,925	3,643	-3,643	0,502
4,243	5,925	3,840	-3,840	0,375
4,359	5,925	4,007	-4,007	0,253
4,472	5,925	4,198	-4,198	0,092
4,583	5,925	4,086	-4,086	0,189
4,690	5,925	4,162	-4,162	0,124

4,796	5,925	4,314	-4,315	-0,020
4,899	5,925	4,489	-4,489	-0,217
5,000	5,925	4,679	-4,679	-0,486
5,099	5,925	4,855	-4,855	-0,823
5,196	5,925	4,967	-4,967	-1,117
5,292	5,925	5,083	-5,083	-1,555
5,385	5,925	4,887	-4,887	-0,899
5,477	5,925	5,015	-5,015	-1,274
5,568	5,925	5,161	-5,161	-2,017
5,657	5,925	5,292	-5,292	-5,878
5,745	5,925	5,294	-5,294	#NUM!
5,831	5,925	5,290	-5,290	-5,460
5,916	5,925	5,177	-5,177	-2,138

Tabel J.2 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 0,5

$t^{1/2}$	qe (mmol/g)	qt (mmol/g)	(qe-qt)	In (qe-qt) (mmol/g)
0,000	7,485	0,000	7,485	0,000
1,000	7,485	1,615	5,870	0,680
1,414	7,485	2,205	5,280	1,275
1,732	7,485	2,740	4,745	1,749
2,000	7,485	3,405	4,080	2,221
2,236	7,485	4,185	3,300	2,457
2,450	7,485	4,035	3,450	2,536
2,646	7,485	4,885	2,600	2,676
2,828	7,485	5,465	2,020	2,5873

3,000	7,485	5,675	1,810	2,742
3,162	7,485	6,025	1,460	3,020
3,317	7,485	5,940	1,545	2,908
3,464	7,485	6,480	1,005	3,073
3,606	7,485	6,665	0,820	3,277
3,742	7,485	6,505	0,980	3,150
3,873	7,485	6,870	0,615	3,373
4,000	7,485	6,825	0,660	3,574
4,123	7,485	6,615	0,870	3,643
4,243	7,485	7,135	0,350	3,840
4,359	7,485	7,385	0,100	4,007
4,472	7,485	7,255	0,230	4,198
4,583	7,485	7,505	-0,020	4,086
4,690	7,485	7,595	-0,110	4,162
4,796	7,485	7,475	0,010	4,315
4,899	7,485	7,915	-0,430	4,489
5,000	7,485	7,785	-0,300	4,680
5,099	7,485	7,885	-0,400	4,855
5,196	7,485	7,955	-0,470	4,967
5,292	7,485	7,905	-0,420	5,083
5,385	7,485	8,055	-0,570	4,887
5,477	7,485	8,055	-0,570	5,015
5,568	7,485	8,055	-0,570	5,161
5,657	7,485	7,935	-0,450	5,292
5,745	7,485	7,635	-0,150	5,294
5,831	7,485	7,485	0,000	5,290
5,916	7,485	7,185	0,300	5,177

Tabel J.3 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 1, 0

$t^{1/2}$	qe (mmol/g)	qt (mmol/g)	(qe-qt)	In (qe-qt) (mmol/g)
0,000	10,219	0,000	10,219	2,324
1,000	10,219	1,885	8,334	2,120
1,414	10,219	2,365	7,854	2,061
1,732	10,219	3,065	7,154	1,968
2,000	10,219	3,690	6,529	1,876
2,236	10,219	4,205	6,014	1,794
2,450	10,219	4,390	5,829	1,763
2,646	10,219	4,990	5,229	1,654
2,828	10,219	5,690	4,529	1,510
3,000	10,219	5,935	4,284	1,455
3,162	10,219	6,135	4,084	1,407
3,317	10,219	6,435	3,784	1,331
3,464	10,219	6,695	3,524	1,259
3,606	10,219	6,985	3,234	1,174
3,742	10,219	7,265	2,954	1,083
3,873	10,219	7,640	2,579	0,947
4,000	10,219	7,715	2,504	0,918
4,123	10,219	8,365	1,854	0,617
4,243	10,219	8,062	2,156	0,768
4,359	10,219	8,453	1,765	0,568
4,472	10,219	8,949	1,270	0,239
4,583	10,219	9,242	0,977	-0,024

4,690	10,219	9,681	0,538	-0,620
4,796	10,219	9,3845	0,8340	-0,181
4,899	10,219	9,51562	0,703	-0,353
5,000	10,219	9,957885	0,261	-1,345
5,099	10,219	10,32241	-0,104	#NUM!
5,196	10,219	9,96707	0,251	-1,380
5,292	10,219	10,1837	0,035	-3,357
5,385	10,219	10,29921	-0,081	#NUM!
5,477	10,219	10,31152	-0,093	#NUM!
5,568	10,219	10,31289	-0,094	#NUM!
5,657	10,219	10,32079	-0,102	#NUM!
5,745	10,219	10,31716	-0,099	#NUM!
5,831	10,219	10,21853	0,000	#NUM!
5,916	10,219	10,02037	0,1982	-1,619

Tabel J.4 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 2, 0

$t^{1/2}$	qe (mmol/g)	qt (mmol/g)	(qe-qt)	In (qe-qt) (mmol/g)
0,000	11,164	0	11,164	2,413
1,000	11,164	1,93365	9,230	2,222
1,414	11,164	2,97952	8,184	2,102
1,732	11,164	3,222745	7,941	2,072
2,000	11,164	4,64562	6,518	1,875
2,236	11,164	4,894555	6,269	1,836
2,450	11,164	5,265845	5,898	1,775
2,646	11,164	5,73517	5,428	1,692

2,828	11,164	5,895785	5,268	1,662
3,000	11,164	6,478	4,686	1,545
3,162	11,164	6,878	4,286	1,455
3,317	11,164	7,179	3,984	1,382
3,464	11,164	7,384	3,780	1,330
3,606	11,164	7,700	3,464	1,243
3,742	11,164	7,936	3,227	1,172
3,873	11,164	8,429	2,734	1,006
4,000	11,164	8,288	2,875	1,056
4,123	11,164	8,893	2,271	0,820
4,243	11,164	8,975	2,188	0,783
4,359	11,164	9,341	1,823	0,600
4,472	11,164	9,468	1,695	0,528
4,583	11,164	9,799	1,365	0,311
4,690	11,164	9,981	1,183	0,168
4,796	11,164	9,782	1,382	0,323
4,899	11,164	10,085	1,078	0,075
5,000	11,164	10,699	0,464	-0,767
5,099	11,164	10,867	0,296	-1,217
5,196	11,164	11,093	0,070	-2,655
5,292	11,164	11,175	-0,011	#NUM!
5,385	11,164	10,999	0,164	-1,806
5,477	11,164	11,015	0,148	-1,908
5,568	11,164	11,465	-0,301	#NUM!
5,657	11,164	11,465	-0,301	#NUM!
5,745	11,164	11,465	-0,301	#NUM!
5,831	11,164	11,164	0,000	#NUM!

Tabel J.5 Kinetika Orde Satu Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 4, 0

$t^{1/2}$	qe (mmol/g)	qt (mmol/g)	(qe-qt)	In (qe-qt) (mmol/g)
0,000	11,620	0,000	11,619	2,453
1,000	11,620	2,499	9,121	2,211
1,414	11,620	3,189	8,430	2,132
1,732	11,620	3,723	7,897	2,066
2,000	11,620	5,156	6,463	1,866
2,236	11,620	5,465	6,155	1,817
2,450	11,620	5,561	6,059	1,801
2,646	11,620	6,255	5,364	1,680
2,828	11,620	6,916	4,704	1,548
3,000	11,620	7,253	4,367	1,474
3,162	11,620	7,243	4,377	1,476
3,317	11,620	7,829	3,790	1,332
3,464	11,620	7,989	3,631	1,289
3,606	11,620	8,240	3,380	1,218
3,742	11,620	8,391	3,228	1,172
3,873	11,620	8,499	3,120	1,138
4,000	11,620	8,888	2,731	1,005
4,123	11,620	9,394	2,225	0,799
4,243	11,620	9,625	1,994	0,690
4,359	11,620	9,884	1,735	0,551
4,472	11,620	10,089	1,530	0,425
4,583	11,620	10,699	0,921	-0,083

4,690	11,620	10,465	1,155	0,144
4,796	11,620	10,946	0,6734	-0,395
4,899	11,620	11,225	0,395	-0,929
5,000	11,620	11,566	0,053	-2,935
5,099	11,620	11,884	-0,265	#NUM!
5,196	11,620	11,732	-0,112	#NUM!
5,292	11,620	11,969	-0,349	#NUM!
5,385	11,620	12,102	-0,482	#NUM!
5,477	11,620	12,211	-0,591	#NUM!
5,568	11,620	12,211	-0,591	#NUM!
5,657	11,620	12,211	-0,591	#NUM!
5,745	11,620	12,092	-0,472	#NUM!
5,831	11,620	11,619	0,000	#NUM!
5,916	11,620	11,162	0,4575	-0,782

Tabel J.6 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit

t (menit)	qt (mmol/g)	t/qt (menit .g/mmol)
0	0,000	1,666
1	0,680	1,529
2	1,275	1,391
3	1,749	1,266
4	2,221	1,123
5	2,457	1,043
6	2,536	1,015
7	2,676	0,962
8	2,587	0,996
9	2,742	0,937
10	3,020	0,822
11	2,908	0,870
12	3,073	0,798
13	3,277	0,702
14	3,146	0,765
15	3,373	0,653
16	3,574	0,543
17	3,643	0,502
18	3,839	0,375
19	4,007	0,253
20	4,198	0,092
21	4,086	0,189
22	4,162	0,124
23	4,315	-0,020

24	4,489	-0,217
25	4,679	-0,486
26	4,855	-0,823
27	4,967	-1,117
28	5,083	-1,555
29	4,887	-0,899
30	5,015	-1,274
31	5,161	-2,017
32	5,292	-5,878
33	5,294	#NUM!
34	5,290	-5,461
35	5,177	-2,138

Tabel J.7 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 0,5

T (menit)	**qt (mmol/g)**	**t/qt (menit .g/mmol)**
0	0,000	#DIV/0!
1	1,615	0,619
2	2,205	0,907
3	2,740	1,095
4	3,405	1,175
5	4,185	1,195
6	4,035	1,487
7	4,885	1,433
8	5,465	1,464

9	5,675	1,586
10	6,025	1,660
11	5,940	1,852
12	6,480	1,852
13	6,665	1,950
14	6,505	2,152
15	6,870	2,183
16	6,825	2,344
17	6,615	2,570
18	7,135	2,523
19	7,385	2,573
20	7,255	2,756
21	7,505	2,798
22	7,595	2,897
23	7,475	3,077
24	7,915	3,032
25	7,785	3,211
26	7,885	3,297
27	7,955	3,394
28	7,905	3,542
29	8,055	3,600
30	8,055	3,724
31	8,055	3,849
32	7,935	4,033
33	7,635	4,322
34	7,485	4,542
35	7,185	4,871

Tabel J.8 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 1, 0

T (menit)	qt (mmol/g)	t/qt (menit .g/mmol)
0	0,000	#DIV/0!
1	1,885	0,531
2	2,365	0,846
3	3,065	0,979
4	3,690	1,084
5	4,205	1,1891
6	4,390	1,367
7	4,990	1,403
8	5,690	1,406
9	5,935	1,516
10	6,135	1,630
11	6,435	1,709
12	6,695	1,792
13	6,985	1,861
14	7,265	1,927
15	7,640	1,963
16	7,715	2,074
17	8,365	2,032
18	8,062	2,233
19	8,453	2,248
20	8,949	2,235
21	9,242	2,272

22	9,681	2,273
23	9,385	2,451
24	9,516	2,522
25	9,958	2,511
26	10,322	2,519
27	9,967	2,709
28	10,184	2,749
29	10,299	2,816
30	10,312	2,909
31	10,313	3,006
32	10,321	3,100
33	10,317	3,199
34	10,219	3,327
35	10,020	3,493

Tabel J.9 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 2, 0

t (menit)	**qt (mmol/g)**	**t/qt (menit .g/mmol)**
0	0,000	#DIV/0!
1	1,934	0,517
2	2,979	0,671
3	3,223	0,931
4	4,646	0,861
5	4,895	1,022
6	5,266	1,139

7	5,735	1,221
8	5,896	1,357
9	6,478	1,389
10	6,878	1,454
11	7,180	1,532
12	7,384	1,625
13	7,699	1,688
14	7,936	1,764
15	8,430	1,779
16	8,288	1,930
17	8,893	1,912
18	8,975	2,005
19	9,341	2,034
20	9,468	2,112
21	9,799	2,143
22	9,981	2,204
23	9,782	2,351
24	10,086	2,379
25	10,699	2,337
26	10,867	2,392
27	11,093	2,434
28	11,175	2,506
29	10,999	2,637
30	11,015	2,724
31	11,465	2,704
32	11,465	2,791
33	11,465	2,878

34	11,164	3,046
35	10,810	3,238

Tabel J.10 Kinetika Orde Dua Semu Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 4, 0

t (menit)	**qt (mmol/g)**	**t/qt (menit .g/mmol)**
0	0,000	#DIV/0!
1	2,499	0,400
2	3,189	0,627
3	3,723	0,806
4	5,156	0,776
5	5,465	0,915
6	5,561	1,079
7	6,255	1,119
8	6,916	1,157
9	7,253	1,241
10	7,243	1,381
11	7,829	1,405
12	7,988	1,502
13	8,239	1,578
14	8,391	1,668
15	8,499	1,765
16	8,888	1,800
17	9,394	1,809
18	9,625	1,870

19	9,884	1,922
20	10,089	1,982
21	10,698	1,963
22	10,465	2,102
23	10,946	2,101
24	11,225	2,138
25	11,566	2,161
26	11,884	2,188
27	11,732	2,301
28	11,970	2,339
29	12,102	2,396
30	12,211	2,457
31	12,211	2,539
32	12,211	2,621
33	12,092	2,729
34	11,619	2,926
35	11,162	3,136

Tabel J.11 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit

T (menit)	$t^{½}$ (menit $^{1/2}$)	qt (mmol/g)
0	0,000	0,000
1	1,000	0,680
2	1,414	1,275
3	1,732	1,749
4	2,000	2,221
5	2,236	2,457
6	2,449	2,536
7	2,646	2,676
8	2,828	2,587
9	3,000	2,742
10	3,162	3,020
11	3,317	2,908
12	3,464	3,073
13	3,606	3,277
14	3,742	3,146
15	3,873	3,373
16	4,000	3,574
17	4,123	3,643
18	4,243	3,839
19	4,359	4,007
20	4,472	4,198
21	4,583	4,086
22	4,690	4,162
23	4,796	4,315

24	4,899	4,489
25	5,000	4,679
26	5,099	4,855
27	5,1962	4,967
28	5,292	5,083
29	5,385	4,887
30	5,477	5,015
31	5,5677	5,161
32	5,657	5,292
33	5,745	5,294
34	5,831	5,290
35	5,916	5,177

Tabel J.12 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 0,5

T (menit)	**$t^{1/2}$ (menit $^{1/2}$)**	**qt (mmol/g)**
0	0,000	0,000
1	1,000	1,615
2	1,414	2,205
3	1,732	2,740
4	2,000	3,405
5	2,236	4,185
6	2,449	4,035
7	2,646	4,885
8	2,828	5,465
9	3,000	5,675

10	3,162	6,025
11	3,317	5,940
12	3,464	6,480
13	3,606	6,665
14	3,742	6,505
15	3,873	6,870
16	4,000	6,825
17	4,123	6,615
18	4,243	7,135
19	4,359	7,385
20	4,472	7,255
21	4,583	7,505
22	4,690	7,595
23	4,796	7,475
24	4,899	7,915
25	5,000	7,785
26	5,099	7,885
27	5,196	7,955
28	5,292	7,905
29	5,385	8,055
30	5,477	8,055
31	5,568	8,055
32	5,656	7,935
33	5,745	7,635
34	5,830	7,485
35	5,916	7,185

Tabel J.13 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 1, 0

T (menit)	$t^{½}$ (menit $^{1/2}$)	qt (mmol/g)
0	0,000	0,000
1	1,000	1,885
2	1,4142	2,365
3	1,732	3,065
4	2,000	3,690
5	2,236	4,205
6	2,449	4,390
7	2,646	4,990
8	2,828	5,690
9	3,000	5,935
10	3,162	6,135
11	3,317	6,435
12	3,464	6,695
13	3,606	6,985
14	3,742	7,265
15	3,873	7,640
16	4,000	7,715
17	4,123	8,365
18	4,243	8,062
19	4,359	8,453
20	4,472	8,949
21	4,583	9,242
22	4,690	9,681

23	4,796	9,385
24	4,899	9,516
25	5,000	9,958
26	5,099	10,322
27	5,196	9,967
28	5,292	10,184
29	5,385	10,299
30	5,477	10,312
31	5,568	10,313
32	5,657	10,321
33	5,745	10,317
34	5,831	10,218
35	5,916	10,020

Tabel J.14 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 2,0

T (menit)	**$t^{½}$ (menit $^{1/2}$)**	**qt (mmol/g)**
0	0,000	0,000
1	1,000	1,934
2	1,414	2,979
3	1,732	3,223
4	2,000	4,646
5	2,236	4,895
6	2,449	5,266
7	2,646	5,735
8	2,828	5,896

9	3,000	6,478
10	3,162	6,878
11	3,317	7,179
12	3,464	7,384
13	3,606	7,699
14	3,742	7,936
15	3,873	8,429
16	4,000	8,288
17	4,123	8,893
18	4,243	8,975
19	4,359	9,341
20	4,472	9,468
21	4,583	9,799
22	4,690	9,981
23	4,796	9,782
24	4,899	10,086
25	5,000	10,699
26	5,099	10,867
27	5,196	11,093
28	5,292	11,175
29	5,385	10,999
30	5,477	11,015
31	5,568	11,465
32	5,657	11,465
33	5,745	11,465
34	5,831	11,164
35	5,916	10,810

Tabel J.15 Kinetika Difusi Intrapartikel Karbon/Zeolit Termodifikasi Nitrogen dengan Rasio Mol Urea/sukrosa 4,0

t (menit)	$t^{½}$ (menit $^{1/2}$)	qt (mmol/g)
0	0,000	0,000
1	1,000	2,499
2	1,414	3,189
3	1,732	3,723
4	2,000	5,156
5	2,236	5,465
6	2,449	5,561
7	2,646	6,255
8	2,828	6,916
9	3,000	7,253
10	3,162	7,243
11	3,317	7,829
12	3,464	7,988
13	3,606	8,239
14	3,742	8,391
15	3,873	8,499
16	4,000	8,888
17	4,123	9,394
18	4,243	9,625
19	4,359	9,884
20	4,472	10,089
21	4,583	10,699
22	4,690	10,465

23	4,796	10,946
24	4,899	11,225
25	5,000	11,566
26	5,099	11,884
27	5,196	11,732
28	5,292	11,969
29	5,385	12,102
30	5,477	12,211
31	5,568	12,211
32	5,657	12,211
33	5,745	12,092
34	5,831	11,619
35	5,916	11,162

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Surabaya, 26 Agustus 1996 dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Bhakti Pertiwi Surabaya, SDN Rangkah VII Surabaya, SMPN 37 Surabaya dan SMAN 1 Surabaya. Pada tahun 2014, penulis diterima di Departemen Kimia Fakultas Ilmu Alam ITS Surabaya melalui jalur undangan SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 01211440000023. Pada tahun 2016, penulis pernah menjalani kerja praktik di PT. Petrokimia Gresik, selama satu bulan. Penulis juga aktif berorganisasi sebagai Staff Riset dan Teknologi di Himpunan Mahasiswa Kimia tahun periode 2015-2016, menjadi sebagai Kepala Bidang Keilmiahan di Himpunan Mahasiswa Kimia tahun periode 2016-2017. Penulis juga bergabung di organisasi Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) komisariat Sepuluh Nopember. Penulis juga aktif mengikuti berbagai perlombaan karya tulis ilmiah dengan beberapa penghargaan seperti Medali Emas pada International Young Inventors Awards 2016 dengan judul penelitian "*In Plasma Catalyst Technology*", mendapatkan finalis pada Pekan Ilmiah Nasional (PIMNAS XXX) dengan judul penelitian "*Microbial Fuel Cell* Sebagai Bioremediasi Dan Bioelektrokimia Dengan Menggunakan Biosorben Kulit Singkong (*Manihot Utilissima*) Untuk Analisa Aktivitas Daya Reduksi Logam Berat Kromium (VI) Dengan Teknik Kombinasi Bio(Adsorpsi-Elektrokimia)" di Universitas Muslim Indonesia Makassar, dan mendapatkan 3 Medali Emas pada International Young Inventors Awards 2017 dengan judul penelitian "*Microbial Fuel Cell As Bioremediation*

And Bioelectrochemistry Using Biosorbent Of Cassava Peel (Manihot Utilissima) For The Analysis Of Chromium (Vi) With Combination Technique Of Biosortion-Bioelectrochemistry" "*Analysis Concentration Effect Cellulose Extract Of Bambusa Vulgaris Leaves As Organic Inhibitor For SS-304*" dan "*Analysis Of Oyster Mushroom (Pleurotus Ostreatus) Growing Media On With Sengon Wood, Bagasse, And Elephant Grass On Protein Containers As Innovation Of Superior Products Osyter Mushroom For High Protein*". Juara 2 LKTI PSPC Fisika ITS. Pada masa akhir studi, penulis mengambil bidang minat Kimia Material dan Energi di bawah bimbingan Nurul Widiastuti., M.Si, Ph.D. dengan penelitian mengenai "Sintesis Komposit Karbon/Zeolit Na-Y Termodifikasi Nitrogen dengan Variasi Rasio Mol Urea/Sukrosa Sebagai Material Penyimpan Hidrogen".

Email : rahadian.chem.its.ac.id@gmail.com
Telp. : 081 335 841 750