UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN **1**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **2**

KATA PENGANTAR **3**

DAFTAR ISI **5**

DAFTAR TABEL **17**

DAFTAR GAMBAR **29**

DAFTAR PEMBAGIAN KERJA **33**

DAFTAR *CODE* DAN *STANDARD* UNTUK ALAT-ALAT PROSES **34**

ABSTRACT **35**

INTISARI **36**

BAB I PENDAHULUAN **37**

1. 1 Latar Belakang 37

1. 2 Tinjauan Pustaka 38

1. 2. 1 Biomassa Lignoselulosik 38

1. 2. 2 BTX 38

1. 2. 3 Proses Delignifikasi 40

1. 2. 4 Proses Termokimia 44

1. 2. 5 Proses *Catalytic Fast Pyrolysis* 46

1. 2. 6 Pemilihan Proses Delignifikasi 50

1. 2. 7 Pemilihan Proses Termokimia 54

1. 2. 8 Pemilihan Proses Pirolisis 57

1. 3 Market Analysis 60

1. 3. 1 Data Produksi BTX di Indonesia 60

1. 3. 2 Potensi dan Permintaan Pasar BTX 62

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1. 3. 3 Penentuan Kapasitas Pabrik Optimum....64
1. 4 Penentuan Lokasi 72
1. 4. 1 Bahan Baku dan Transportasi 72
1. 4. 2 Pemasaran 77
1. 4. 3 Ketersediaan Air dan Energi 77
1. 4. 4 Bahan Buangan dan Gangguan Lingkungan....78
1. 4. 5 Buruh (*Manpower*)....78
1. 4. 6 Iklim dan Bencana Alam....79
1. 4. 7 Faktor – Faktor Ekonomi, Sosial, dan Hukum....80
BAB II URAIAN PROSES....82
2. 1 Unit Pretreatment 82
2. 2 Unit Sintesis 82
2. 3 Unit Separasi 83
BAB III SPESIFIKASI BAHAN 86
3. 1 Spesifikasi Bahan Baku.... 86
3. 1. 1 Air 86
3. 1. 2 TKKS 86
3. 1. 3 NaOH 87
3. 1. 4 Na2S....87
3. 2 Spesifikasi Bahan Pendukung 88
3. 2. 1 Katalis 88
3. 2. 2 Silica Sand....88
3. 3 Spesifikasi Produk.... 89
3. 3. 1 Benzena 89
3. 3. 2 Toluena....89
3. 3. 3 Xilena 90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. 4 Spesifikasi Produk Samping 91

3. 4. 1 Naftalena 91

3. 4. 2 Indane 91

BAB IV DIAGRAM KUALITATIF, KUANTITATIF, DAN PEFD 92

BAB V NERACA MASSA 99

5. 1 Neraca Massa Overall 99

5. 1. 1 Neraca Massa Area 1 99

5. 1. 2 Neraca Massa Area 2 100

5. 1. 3 Neraca Massa Area 3 102

5. 2 Neraca Massa Per Alat 104

5. 2. 1 *Shredder Machine* (SD-101) 104

5. 2. 2 *Screener* (SC-101).....104

5. 2. 3 *Washer* (W-101).....104

5. 2. 4 *Mixer* (M-101).....105

5. 2. 5 Reaktor Delignifikasi (R-101) 105

5. 2. 6 *Pulp Washer* (W-102) 106

5. 2. 7 *Rotary Dryer* (RD-101).....107

5. 2. 8 *Vacuum Evaporator* (E-101).....107

5. 2. 9 Reaktor *Pyrolysis* (R-201) 108

5. 2. 10 *Cyclone* (CYC-201) 109

5. 2. 11 Reaktor Catalytic Upgrading (R-202).....111

5. 2. 12 *Cyclone* (CYC-202) 113

5. 2. 13 *Shell and Tube Heat Exchanger* (HE-301) 115

5. 2. 14 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-302).....116

5. 2. 15 Vertical Gas-Liquid Separator (V-301) 118

5. 2. 16 Dekanter (DEC-301) 120

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5. 2. 17 Menara Distilasi (MD-301).....121
5. 2. 18 Menara Distilasi (MD-302).....122
5. 2. 19 Menara Distilasi (MD-303).....123
5. 2. 20 Menara Distilasi (MD-304).....124
5. 2. 21 *Drum Flaker* (DF-301).....125
5. 2. 22 Vertical Gas-Liquid Separator (V-302) 126
5. 2. 23 Vertical Gas-Liquid Separator (V-303) 128
BAB VI NERACA PANAS.....130
6. 1 Mixer (M-101) 130
6. 2 Reaktor Delignifikasi (R-101)..... 130
6. 3 Pulp Washer (W-102) 131
6. 4 Rotary Dryer (RD-101)..... 132
6. 5 Vacuum Evaporator (E-101)..... 133
6. 6 Reaktor Pirolisis (R-201) 134
6. 7 Reaktor Catalytic Upgrading (R-202)..... 135
6. 8 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-301)..... 137
6. 9 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-302)..... 138
6. 10 Double Pipe Heat Exchanger (HE-303)..... 138
6. 11 Double Pipe Heat Exchanger (HE-304)..... 138
6. 12 Double Pipe Heat Exchanger (HE-305)..... 138
6. 13 Double Pipe Heat Exchanger (HE-306)..... 138
6. 14 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-307)..... 138
6. 15 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-308)..... 138
6. 16 Double Pipe Heat Exchanger (HE-309)..... 138
6. 17 Menara Distilasi (MD-301)..... 138
6. 18 Menara Distilasi (MD-302)..... 139

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6. 19 Menara Distilasi (MD-303) 139

6. 20 Menara Distilasi (MD-304) 139

BAB VII SPESIFIKASI ALAT 140

7. 1 Spesifikasi Alat Area 100 140

7. 1. 1 Tangki Air Proses (TP-101) 140

7. 1. 2 Pompa (P-101) 141

7. 1. 3 Silo Penyimpanan NaOH (S-101) 141

7. 1. 4 *Belt Conveyor* (BC-102) 142

7. 1. 5 Silo Penyimpanan Na_2S (S-102) 143

7. 1. 6 *Belt Conveyor* (BC-106) 143

7. 1. 7 *Hopper Storage* (HS-101) 144

7. 1. 8 *Mixer* (M-101) 144

7. 1. 9 Pompa (P-102) 145

7. 1. 10 *Belt Conveyor* (BC-101) 146

7. 1. 11 *Shredder Machine* (SD-101) 146

7. 1. 12 *Belt Conveyor* (BC-103) 147

7. 1. 13 *Screener* (SC-101) 147

7. 1. 14 *Belt Conveyor* (BC-104) 148

7. 1. 15 Belt Conveyor (BC-105) 148

7. 1. 16 *Washer* (W-101) 149

7. 1. 17 *Screw Conveyor* (SCV-101) 149

7. 1. 18 *Hopper* (HS-102) 150

7. 1. 19 Reaktor Delignifikasi (R-101) 151

7. 1. 20 Pompa (P-103) 151

7. 1. 21 *Washer* (W-102) 152

7. 1. 22 Evaporator (E-101) 152

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

7. 1. 23 Pompa (P-104) 153
7. 1. 24 *Rotary Dryer* (RD-101).....153
7. 2 Spesifikasi Alat Area 200..... 154
7. 2. 1 *Screw Conveyor* (SCV-201).....154
7. 2. 2 Reaktor Pirolisis (R-201) 154
7. 2. 3 *Cyclone* (CYC-201) 155
7. 2. 4 Reaktor *Upgrading* (R-202).....155
7. 2. 5 *Cyclone* (CYC-202) 156
7. 3 Spesifikasi Alat Area 300..... 156
7. 3. 1 *Heat Exchanger* (HE-301) 156
7. 3. 2 *Heat Exchanger* (HE-302) 157
7. 3. 3 Separator (V-301).....158
7. 3. 4 *Decanter* (DEC-301).....159
7. 3. 5 *Heat Exchanger* (HE-307) 159
7. 3. 6 Separator (V-302).....160
7. 3. 7 *Heat Exchanger* (HE-308) 161
7. 3. 8 Separator (V-303).....162
7. 3. 9 *Heat Exchanger* (HE-303) 162
7. 3. 10 Menara Distilasi (MD-301).....163
7. 3. 11 *Condenser* (C-301).....163
7. 3. 12 *Accumulator* (ACC-301).....164
7. 3. 13 Pompa (P-301) 165
7. 3. 14 *Reboiler* (RB-301).....166
7. 3. 15 Menara Distilasi (MD-302).....167
7. 3. 16 *Condenser* (C-302).....167
7. 3. 17 *Accumulator* (ACC-302).....168

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

7. 3. 18 Heat Exchanger (HE-304) 169
7. 3. 19 Tangki *Benzene* (TP-301) 169
7. 3. 20 *Reboiler* (RB-302) 170
7. 3. 21 Pompa (P-302) 171
7. 3. 22 Menara Distilasi (MD-303) 172
7. 3. 23 *Condenser* (C-303) 172
7. 3. 24 *Accumulator* (ACC-303) 173
7. 3. 25 *Heat Exchanger* (HE-305) 174
7. 3. 26 Tangki *Toluene* (TP-302) 175
7. 3. 27 *Reboiler* (RB-303) 175
7. 3. 28 *Heat Exchanger* (HE-306) 176
7. 3. 29 Tangki *Xylene* (TP-303) 177
7. 3. 30 Menara Distilasi (MD-304) 178
7. 3. 31 Condenser (C-304) 179
7. 3. 32 Accumulator (ACC-304) 180
7. 3. 33 *Heat Exchanger* (HE-309) 180
7. 3. 34 Tangki *Indane* (TP-304) 181
7. 3. 35 Reboiler (RB-304) 182
7. 3. 36 Drum Flaker (DF-301) 183
7. 3. 37 Belt Conveyor (BC-301) 183
7. 3. 38 Silo Penyimpanan *Naphthalene* (S-301) 184
BAB VIII UTILITAS 185
8. 1 Unit Penyedia dan Pengolahan Air 185
8. 1. 1 Kebutuhan Air Pabrik 185
8. 1. 2 Sumber Air 187
8. 1. 3 Proses Pengolahan Air 187

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

8. 1. 4 Spesifikasi Alat Proses Pengolahan Air 191
8. 2 Unit Pembangkit Steam..... 203
8. 2. 1 Kebutuhan *Steam* 204
8. 2. 2 Persiapan *Boiler Feed Water* (BFW) dan Perhitungan Dimensi 205
8. 2. 3 Perhitungan *Boiler* 212
8. 3 Unit Penyedia Udara 215
8. 3. 1 Unit Penyedia Udara 215
8. 3. 2 Uraian Setiap Cabang Sistem Udara 217
8. 3. 3 Perhitungan Udara.....219
8. 4 Unit Pembangkit dan Distribusi Listrik 226
8. 4. 1 Kebutuhan Listrik.....227
8. 4. 2 Pembangkitan Listrik Emergency 230
8. 5 Unit Pengolahan Limbah..... 231
8. 5. 1 Limbah Gas 231
8. 5. 2 Limbah Cair 234
8. 5. 3 Limbah Padat 239
8. 6 Unit Refrigerasi..... 240
BAB IX TATA LETAK PABRIK 241
9. 1 Tata Letak Umum Pabrik..... 241
9. 2 Studi Dispersion (Kebocoran Kritis)..... 247
9. 3 Klasifikasi Area Hazardous 248
9. 4 Analisis Tata Letak dan Zona Risiko..... 252
BAB X ASPEK SAFETY, HEALTH, AND ENVIRONMENT.....254
10. 1 Sistem Manajemen SHE 254
10. 1. 1 Konsep SHE.....254
10. 1. 2 Process Safety Management 256

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

10. 1. 3 Konsep SHE 270
10. 2 Struktur Organisasi Manajemen SHE 278
10. 3 Identifikasi Hazard Bahan 281
10. 4 Identifikasi Potensi Paparan Fisis 301
10. 5 Identifikasi Potensi Paparan Bahan Kimia 304
10. 6 Identifikasi Hazard Proses dan Utilitas 320
10. 7 Identifikasi Hazard Plant Layout dan Lokasi Pabrik 348
10. 8 Identifikasi Hazard Limbah Proses dan Utilitas 352
10. 9 Process Hazard Analysis (PHA) dengan Metode HAZOP 360
10. 9. 1 Pemilihan Peralatan 360
10. 9. 2 Studi HAZOP 362
10. 9. 3 Piping and Instrumentation Diagram Setelah HAZOP 374
10. 10 Layer of Protection Analysis (LOPA) 375
10. 10. 1 Identifikasi Skenario Bahaya 375
10. 10. 2 Layer Protecion Analysis 376
10. 10. 3 Matriks LOPA dan Risiko Residual 380
BAB XI ORGANISASI PERUSAHAAN 383
11. 1 Bentuk Perusahaan 383
11. 2 Struktur Organisasi 383
11. 3 Tugas dan Wewenang 385
11. 4 Perhitungan Jumlah Operator 405
11. 5 Pembagian Jam Kerja Karyawan 407
11. 6 Penggolongan Gaji Karyawan 409
11. 7 Kesejahteraan Sosial 411
11. 8 Manajemen Produksi 414
BAB XII EVALUASI EKONOMI 417

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

12. 1 Perhitungan Indeks Harga 418
12. 2 Modal Tetap (Fixed Capital Investment) 420
12. 3 Biaya Produksi (Manufacturing Cost) 437
12. 4 Modal Kerja (Working Capital) 438
12. 5 Pengeluaran Umum (General Expenses) 439
12. 6 Analisis Keuntungan 439
12. 7 Analisis Kelayakan..... 440
12. 8 Analisis Sensitivitas 446
BAB XIII KESIMPULAN.....448
DAFTAR PUSTAKA.....449
LAMPIRAN I QUICK CALCULATION DESIGN EQUIPMENT.....455
Silo Penyimpanan NaOH pellets (S-102) 456
Tangki Penyimpanan Air Proses (TP-101) 459
Pompa (P-101) 465
Belt Conveyor (BC-101)..... 474
Screw Conveyor (SCV-101) 477
Hopper Storage (HS-101) 479
Shredder (SD-101)..... 482
Screener (SC-101)..... 484
Rotary Dryer (RD-101)..... 489
Cyclone (CYC-201) 495
STHE (HE-301) 497
DPHE (HE-303)..... 506
Separator (V-301)..... 515
Decanter (DEC-301)..... 525
Menara Distilasi (MD-301)..... 530

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Akumulator (ACC-301) 543

LAMPIRAN II *QUICK CALCULATION DESIGN UTILITY*.....549

Tangki Penyimpanan Larutan NaOCl (TP-501) 550

Tangki Penyimpanan $NaHSO_3$ (TP-502) 557

Tangki Penyimpanan Antiscalant (TP-503) 558

Tangki Penyimpanan Larutan HCl (TP-504) 559

Tangki Larutan NaOH (TP-505) 561

Tangki Air Demineralisasi (TP-506) 563

Tangki Boiler Feed Water (TP-507) 565

Tangki Hydrazine (TP-508) 567

Hopper NaOH pellets (HO-501) 569

Mixer Larutan HCl (MIX-501) 573

Mixer Larutan NaOH (MIX-502) 578

Screener *(SC-501)* 579

Basin Ekualisasi (EQ-501) 581

Clarifier (CL-501) 583

Sand Filter (SF-501) 590

Carbon Filter *(CF-501)* 592

BWRO (RO-501) 597

Basin Ekualisasi Air Proses (EQ-502) 599

Cation Exchanger (IE-501) 601

Anion Exchanger (IE-502) 604

Cooling Tower (CT-501) 607

Deaerator (DE-501) 615

Boiler (B-501) 616

Recovery Boiler (RB-401) 617

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 60 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Danendra Aryasatya Utoyo, Ir. Hanifrahmawan Sudibyo, S.T., M.Eng., M.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN III *DETAIL CALCULATION* 618

Reaktor Delignifikasi (R-101)..... 619

Reaktor Pirolisis (R-201) 627

Reaktor Upgrading (R-202) 648

Menara Distilasi (MD-302)..... 664

Menara Distilasi (MD-303)..... 703