UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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 i

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL xviii

DAFTAR GAMBAR xxx

DAFTAR PEMBAGIAN KERJA xxxiv

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

ABSTRACT xxxvi

INTISARI xxxvii

BAB I PENDAHULUAN 1

1. 1 Latar Belakang 1

1. 2 Tinjauan Pustaka 2

1. 2. 1 Biomassa Lignoselulosik 2

1. 2. 2 BTX 2

1. 2. 3 Proses Delignifikasi 4

1. 2. 4 Proses Termokimia 8

1. 2. 5 Proses *Catalytic Fast Pyrolysis* 10

1. 2. 6 Pemilihan Proses Delignifikasi 14

1. 2. 7 Pemilihan Proses Termokimia 18

1. 2. 8 Pemilihan Proses Pirolisis 21

1. 3 Market Analysis 24

1. 3. 1 Data Produksi BTX di Indonesia 24

1. 3. 2 Potensi dan Permintaan Pasar BTX 26

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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 28
1. 4 Penentuan Lokasi 36
1. 4. 1 Bahan Baku dan Transportasi 36
1. 4. 2 Pemasaran 41
1. 4. 3 Ketersediaan Air dan Energi 41
1. 4. 4 Bahan Buangan dan Gangguan Lingkungan 42
1. 4. 5 Buruh (*Manpower*) 42
1. 4. 6 Iklim dan Bencana Alam 43
1. 4. 7 Faktor – Faktor Ekonomi, Sosial, dan Hukum 44
BAB II URAIAN PROSES 46
2. 1 Unit Pretreatment 46
2. 2 Unit Sintesis 46
2. 3 Unit Separasi 47
BAB III SPESIFIKASI BAHAN 50
3. 1 Spesifikasi Bahan Baku 50
3. 1. 1 Air 50
3. 1. 2 TKKS 50
3. 1. 3 NaOH 51
3. 1. 4 Na2S 51
3. 2 Spesifikasi Bahan Pendukung 52
3. 2. 1 Katalis 52
3. 2. 2 Silica Sand 52
3. 3 Spesifikasi Produk 53
3. 3. 1 Benzena 53
3. 3. 2 Toluena 53
3. 3. 3 Xilena 54

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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 55

3. 4. 1 Naftalena 55

3. 4. 2 Indane 55

BAB IV DIAGRAM KUALITATIF, KUANTITATIF, DAN PEFD 56

BAB V NERACA MASSA 63

5. 1 Neraca Massa Overall 63

5. 1. 1 Neraca Massa Area 1 63

5. 1. 2 Neraca Massa Area 2 64

5. 1. 3 Neraca Massa Area 3 66

5. 2 Neraca Massa Per Alat 68

5. 2. 1 *Shredder Machine* (SD-101) 68

5. 2. 2 *Screener* (SC-101).....68

5. 2. 3 *Washer* (W-101).....68

5. 2. 4 *Mixer* (M-101).....69

5. 2. 5 Reaktor Delignifikasi (R-101) 69

5. 2. 6 *Pulp Washer* (W-102) 70

5. 2. 7 *Rotary Dryer* (RD-101).....71

5. 2. 8 *Vacuum Evaporator* (E-101).....71

5. 2. 9 Reaktor *Pyrolysis* (R-201) 72

5. 2. 10 *Cyclone* (CYC-201) 73

5. 2. 11 Reaktor Catalytic Upgrading (R-202).....75

5. 2. 12 *Cyclone* (CYC-202) 77

5. 2. 13 *Shell and Tube Heat Exchanger* (HE-301) 79

5. 2. 14 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-302).....80

5. 2. 15 Vertical Gas-Liquid Separator (V-301) 82

5. 2. 16 Dekanter (DEC-301) 84

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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).....85
5. 2. 18 Menara Distilasi (MD-302).....86
5. 2. 19 Menara Distilasi (MD-303).....87
5. 2. 20 Menara Distilasi (MD-304).....88
5. 2. 21 *Drum Flaker* (DF-301).....89
5. 2. 22 Vertical Gas-Liquid Separator (V-302) 90
5. 2. 23 Vertical Gas-Liquid Separator (V-303) 92
BAB VI NERACA PANAS.....94
6. 1 Mixer (M-101) 94
6. 2 Reaktor Delignifikasi (R-101)..... 94
6. 3 Pulp Washer (W-102) 95
6. 4 Rotary Dryer (RD-101)..... 96
6. 5 Vacuum Evaporator (E-101)..... 97
6. 6 Reaktor Pirolisis (R-201) 98
6. 7 Reaktor Catalytic Upgrading (R-202)..... 99
6. 8 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-301)..... 101
6. 9 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-302)..... 102
6. 10 Double Pipe Heat Exchanger (HE-303)..... 102
6. 11 Double Pipe Heat Exchanger (HE-304)..... 102
6. 12 Double Pipe Heat Exchanger (HE-305)..... 102
6. 13 Double Pipe Heat Exchanger (HE-306)..... 102
6. 14 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-307)..... 102
6. 15 Shell and Tube Heat Exchanger (HE-308)..... 102
6. 16 Double Pipe Heat Exchanger (HE-309)..... 102
6. 17 Menara Distilasi (MD-301)..... 102
6. 18 Menara Distilasi (MD-302)..... 103

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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) 103

6. 20 Menara Distilasi (MD-304) 103

BAB VII SPESIFIKASI ALAT 104

7. 1 Spesifikasi Alat Area 100 104

7. 1. 1 Tangki Air Proses (TP-101) 104

7. 1. 2 Pompa (P-101) 105

7. 1. 3 Silo Penyimpanan NaOH (S-101) 105

7. 1. 4 *Belt Conveyor* (BC-102) 106

7. 1. 5 Silo Penyimpanan Na_2S (S-102) 107

7. 1. 6 *Belt Conveyor* (BC-106) 107

7. 1. 7 *Hopper Storage* (HS-101) 108

7. 1. 8 *Mixer* (M-101) 108

7. 1. 9 Pompa (P-102) 109

7. 1. 10 *Belt Conveyor* (BC-101) 110

7. 1. 11 *Shredder Machine* (SD-101) 110

7. 1. 12 *Belt Conveyor* (BC-103) 111

7. 1. 13 *Screener* (SC-101) 111

7. 1. 14 *Belt Conveyor* (BC-104) 112

7. 1. 15 Belt Conveyor (BC-105) 112

7. 1. 16 *Washer* (W-101) 113

7. 1. 17 *Screw Conveyor* (SCV-101) 113

7. 1. 18 *Hopper* (HS-102) 114

7. 1. 19 Reaktor Delignifikasi (R-101) 115

7. 1. 20 Pompa (P-103) 115

7. 1. 21 *Washer* (W-102) 116

7. 1. 22 Evaporator (E-101) 116

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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) 117
7. 1. 24 *Rotary Dryer* (RD-101).....117
7. 2 Spesifikasi Alat Area 200..... 118
7. 2. 1 *Screw Conveyor* (SCV-201).....118
7. 2. 2 Reaktor Pirolisis (R-201) 118
7. 2. 3 *Cyclone* (CYC-201) 119
7. 2. 4 Reaktor *Upgrading* (R-202).....119
7. 2. 5 *Cyclone* (CYC-202) 120
7. 3 Spesifikasi Alat Area 300..... 120
7. 3. 1 *Heat Exchanger* (HE-301) 120
7. 3. 2 *Heat Exchanger* (HE-302) 121
7. 3. 3 Separator (V-301).....122
7. 3. 4 *Decanter* (DEC-301).....123
7. 3. 5 *Heat Exchanger* (HE-307) 123
7. 3. 6 Separator (V-302).....124
7. 3. 7 *Heat Exchanger* (HE-308) 125
7. 3. 8 Separator (V-303).....126
7. 3. 9 *Heat Exchanger* (HE-303) 126
7. 3. 10 Menara Distilasi (MD-301).....127
7. 3. 11 *Condenser* (C-301).....127
7. 3. 12 *Accumulator* (ACC-301).....128
7. 3. 13 Pompa (P-301) 129
7. 3. 14 *Reboiler* (RB-301).....130
7. 3. 15 Menara Distilasi (MD-302).....131
7. 3. 16 *Condenser* (C-302).....131
7. 3. 17 *Accumulator* (ACC-302).....132

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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) 133
7. 3. 19 Tangki *Benzene* (TP-301) 133
7. 3. 20 *Reboiler* (RB-302) 134
7. 3. 21 Pompa (P-302) 135
7. 3. 22 Menara Distilasi (MD-303) 136
7. 3. 23 *Condenser* (C-303) 136
7. 3. 24 *Accumulator* (ACC-303) 137
7. 3. 25 *Heat Exchanger* (HE-305) 138
7. 3. 26 Tangki *Toluene* (TP-302) 139
7. 3. 27 *Reboiler* (RB-303) 139
7. 3. 28 *Heat Exchanger* (HE-306) 140
7. 3. 29 Tangki *Xylene* (TP-303) 141
7. 3. 30 Menara Distilasi (MD-304) 142
7. 3. 31 Condenser (C-304) 143
7. 3. 32 Accumulator (ACC-304) 144
7. 3. 33 *Heat Exchanger* (HE-309) 144
7. 3. 34 Tangki *Indane* (TP-304) 145
7. 3. 35 Reboiler (RB-304) 146
7. 3. 36 Drum Flaker (DF-301) 147
7. 3. 37 Belt Conveyor (BC-301) 147
7. 3. 38 Silo Penyimpanan *Naphthalene* (S-301) 148
BAB VIII UTILITAS 149
8. 1 Unit Penyedia dan Pengolahan Air 149
8. 1. 1 Kebutuhan Air Pabrik 149
8. 1. 2 Sumber Air 151
8. 1. 3 Proses Pengolahan Air 151

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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 155
8. 2 Unit Pembangkit Steam..... 167
8. 2. 1 Kebutuhan *Steam* 168
8. 2. 2 Persiapan *Boiler Feed Water* (BFW) dan Perhitungan Dimensi 169
8. 2. 3 Perhitungan *Boiler* 176
8. 3 Unit Penyedia Udara 179
8. 3. 1 Unit Penyedia Udara 179
8. 3. 2 Uraian Setiap Cabang Sistem Udara 181
8. 3. 3 Perhitungan Udara.....183
8. 4 Unit Pembangkit dan Distribusi Listrik 190
8. 4. 1 Kebutuhan Listrik.....191
8. 4. 2 Pembangkitan Listrik Emergency 194
8. 5 Unit Pengolahan Limbah..... 195
8. 5. 1 Limbah Gas 195
8. 5. 2 Limbah Cair 198
8. 5. 3 Limbah Padat 203
8. 6 Unit Refrigerasi..... 204
BAB IX TATA LETAK PABRIK 205
9. 1 Tata Letak Umum Pabrik..... 205
9. 2 Studi Dispersion (Kebocoran Kritis)..... 211
9. 3 Klasifikasi Area Hazardous 212
9. 4 Analisis Tata Letak dan Zona Risiko..... 216
BAB X ASPEK SAFETY, HEALTH, AND ENVIRONMENT.....218
10. 1 Sistem Manajemen SHE 218
10. 1. 1 Konsep SHE.....218
10. 1. 2 Process Safety Management 220

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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 234
10. 2 Struktur Organisasi Manajemen SHE 242
10. 3 Identifikasi Hazard Bahan 245
10. 4 Identifikasi Potensi Paparan Fisis 265
10. 5 Identifikasi Potensi Paparan Bahan Kimia 268
10. 6 Identifikasi Hazard Proses dan Utilitas 284
10. 7 Identifikasi Hazard Plant Layout dan Lokasi Pabrik 312
10. 8 Identifikasi Hazard Limbah Proses dan Utilitas 316
10. 9 Process Hazard Analysis (PHA) dengan Metode HAZOP 324
10. 9. 1 Pemilihan Peralatan 324
10. 9. 2 Studi HAZOP 326
10. 9. 3 Piping and Instrumentation Diagram Setelah HAZOP 338
10. 10 Layer of Protection Analysis (LOPA) 339
10. 10. 1 Identifikasi Skenario Bahaya 339
10. 10. 2 Layer Protecion Analysis 340
10. 10. 3 Matriks LOPA dan Risiko Residual 344
BAB XI ORGANISASI PERUSAHAAN 347
11. 1 Bentuk Perusahaan 347
11. 2 Struktur Organisasi 347
11. 3 Tugas dan Wewenang 349
11. 4 Perhitungan Jumlah Operator 369
11. 5 Pembagian Jam Kerja Karyawan 371
11. 6 Penggolongan Gaji Karyawan 373
11. 7 Kesejahteraan Sosial 375
11. 8 Manajemen Produksi 378
BAB XII EVALUASI EKONOMI 382

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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 382
12. 2 Modal Tetap (Fixed Capital Investment) 384
12. 3 Biaya Produksi (Manufacturing Cost) 401
12. 4 Modal Kerja (Working Capital) 402
12. 5 Pengeluaran Umum (General Expenses) 403
12. 6 Analisis Keuntungan 403
12. 7 Analisis Kelayakan..... 404
12. 8 Analisis Sensitivitas 410
BAB XIII KESIMPULAN.....412
DAFTAR PUSTAKA.....413
LAMPIRAN I QUICK CALCULATION DESIGN EQUIPMENT.....419
Silo Penyimpanan NaOH pellets (S-102) 420
Tangki Penyimpanan Air Proses (TP-101) 423
Pompa (P-101) 429
Belt Conveyor (BC-101)..... 438
Screw Conveyor (SCV-101) 441
Hopper Storage (HS-101) 443
Shredder (SD-101)..... 446
Screener (SC-101)..... 448
Rotary Dryer (RD-101)..... 453
Cyclone (CYC-201) 459
STHE (HE-301) 461
DPHE (HE-303)..... 470
Separator (V-301)..... 479
Decanter (DEC-301)..... 489
Menara Distilasi (MD-301)..... 494

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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) 507

LAMPIRAN II *QUICK CALCULATION DESIGN UTILITY*.....513

Tangki Penyimpanan Larutan NaOCl (TP-501) 514

Tangki Penyimpanan $NaHSO_3$ (TP-502) 521

Tangki Penyimpanan Antiscalant (TP-503) 522

Tangki Penyimpanan Larutan HCl (TP-504) 523

Tangki Larutan NaOH (TP-505) 525

Tangki Air Demineralisasi (TP-506) 527

Tangki Boiler Feed Water (TP-507) 529

Tangki Hydrazine (TP-508) 531

Hopper NaOH pellets (HO-501) 533

Mixer Larutan HCl (MIX-501) 537

Mixer Larutan NaOH (MIX-502) 542

Screener *(SC-501)* 543

Basin Ekualisasi (EQ-501) 545

Clarifier (CL-501) 547

Sand Filter (SF-501) 554

Carbon Filter *(CF-501)* 556

BWRO (RO-501) 561

Basin Ekualisasi Air Proses (EQ-502) 563

Cation Exchanger (IE-501) 565

Anion Exchanger (IE-502) 568

Cooling Tower (CT-501) 571

Deaerator (DE-501) 579

Boiler (B-501) 580

Recovery Boiler (RB-401) 581

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Benzena, Toluena, Xilena (BTX) dengan Kapasitas Total 62 Ribu Ton/Tahun dari Biomassa Lignoselulosik
Dafiq Ruliyono, 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* 582

Reaktor Delignifikasi (R-101)..... 583

Reaktor Pirolisis (R-201) 591

Reaktor Upgrading (R-202) 612

Menara Distilasi (MD-302)..... 628

Menara Distilasi (MD-303)..... 667