UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii
PRAKATA iii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xviii
EXECUTIVE SUMMARY xxi
INTISARI xxiii
ABSTRACT xxiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tinjauan Pustaka 2
1.3 Pemilihan Proses 4
1.4 Analisis Market dan Kapasitas Produksi 8
1.5 Penentuan Lokasi 13
BAB II URAIAN PROSES 19
2.1. Unit Preparasi Bahan 19
2.2. Unit Sintesis 19
2.3. Unit Purifikasi 22
2.4. Unit *Gas Treatment* 22
BAB III SPESIFIKASI BAHAN 24
3.1 Bahan Baku 24
3.2 Bahan Penunjang 25
3.3 Produk Utama 26
BAB IV *PROCESS FLOW DIAGRAM* 1
4.1. Diagram Blok Kualitatif 1
4.2. Diagram Blok Kuantitatif 3
4.3. *Process Flow Diagram* 4
BAB V NERACA MASSA 1

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1. Neraca Massa Total 1
5.2. Neraca Massa Tiap Alat 2
BAB VI NERACA PANAS 12
6.1. Persamaan Umum Neraca Panas 12
6.2. Neraca Panas Tiap Alat 13
BAB VII SPESIFIKASI ALAT 26
7.1. Daftar Alat 26
7.2. Spesifikasi Alat 27
BAB VIII UNIT UTILITAS 65
8.1. Unit Penyedia dan Pengolahan Air 65
8.2. Unit Pembangkitan *Steam* 73
8.3. Unit Penyedia Udara 78
8.4. Unit Pembangkit dan Distribusi Listrik 85
8.5. Unit Refrigerasi 89
BAB IX TATA LETAK PABRIK 106
9.1 Tata Letak Pabrik *Overall* 106
9.2 Tata Letak Alat Proses 108
BAB X ASPEK *SAFETY, HEALTH, AND ENVIRONTMENT* (SHE) 114
10.1. Sistem Manajemen *Safety, Health, and Environment* 114
10.2. Identifikasi *Hazard* Bahan 151
10.3. Identifikasi Potensi *Hazard* dari Paparan Bahan Kimia dan Fisis .. 165
10.4. Identifikasi *Hazard* Proses dan Peralatan 177
10.5. Identifikasi *Hazard* Limbah 224
10.6. Studi *Hazard & Operability* (HAZOP) 231
10.7. *Layer of Protection Analysis* (LOPA) 252
10.8. Skenario Bahaya 253
10.9. Analisis Proteksi Berlapis 254
10.10. Matriks LOPA dan Risiko Residual 258
10.11. *Dispersion Analysis* 261
10.12. Klasifikasi Area Hazardous 267
BAB XI MANAJEMEN ORGANISASI PERUSAHAAN 270
11.1 Bentuk Perusahaan 270

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

11.2 Struktur Organisasi Perusahaan 271
11.3 Tugas dan Wewenang 273
11.4 Perhitungan Jumlah Operator 280
11.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan 282
11.6 Penggolongan Gaji Karyawan 283
11.7 Kualifikasi Karyawan 284
11.8 Kesejahteraan Sosial 299
11.9 Manajemen Produksi 302
BAB XII EVALUASI EKONOMI 310
12.1 Perhitungan Indeks Harga 310
12.2 Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*) 313
12.3 Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*) 345
12.4 Modal Kerja (*Working Capital*) 348
12.5 Pengeluaran Umum (*General Expenses*) 348
12.6 Total Biaya Investasi dan Biaya Produksi 349
12.7 Analisis Keuntungan 350
12.8 Analisis Kelayakan 350
12.9 Analisis Sensitivitas 358
BAB XIII KESIMPULAN 361
DAFTAR PUSTAKA 362
LAMPIRAN A (*DETAILED CALCULATION OF SELECTED EQUIPMENT*) 366
REAKTOR ASILASI (R-01) 367
REAKTOR SIKLISASI (R-02) 411
PRECIPITATION TANK (PR-01) 452
ROTARY DRYER (RD-01) 495
LAMPIRAN B (*QUICK CALCULATION OF ALL EQUIPMENT*) 530
SILO PENYIMPANAN *PHTHALIC ANHYDRIDE* (S-01) 531
SILO PENYIMPANAN *ALUMINIUM CHLORIDE* (S-02) 537
SILO PENYIMPANAN ANTRAKUINON (S-03) 538
HOPPER REAKTOR ASILASI (H-01) 539
HOPPER ROTARY DRYER (H-02) 540
TANGKI PENYIMPANAN BENZENA (T-01) 541

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

TANGKI PENYIMPANAN ASAM SULFAT (T-02) 548
TANGKI PENYIMPANAN NATRIUM HIDROKSIDA (T-03) 549
SCREW CONVEYOR – 01 (SC-01) 550
SCREW CONVEYOR – 02 (SC-02) 554
SCREW CONVEYOR – 03 (SC-03) 555
SCREW CONVEYOR – 04 (SC-04) 556
SCREW CONVEYOR – 05 (SC-05) 557
SCREW CONVEYOR – 06 (SC-06) 558
SCREW CONVEYOR – 07 (SC-07) 559
SCREW CONVEYOR – 08 (SC-08) 560
SCREW CONVEYOR – 09 (SC-09) 561
MIXER – 1 (M-01) 562
MIXER – 2 (M-02) 575
KNOCK-OUT DRUM (SP-01) 577
SCRUBBER 1 (SCR-01) 586
SCRUBBER 2 (SCR-02) 595
DEKANTER 1 (D-01) 601
DEKANTER 2 (D-02) 613
DEKANTER 3 (D-03) 614
FLASH DRUM (FD-01) 615
QUENCHING (Q-01) 632
CENTRIFUGE 1 (C-01) 653
CENTRIFUGE 2 (C-02) 659
HAMMER MILL (HM-01) 665
SCREENER (SR-01) 667
EVAPORATOR (E-01) 671
HEAT EXCHANGER – 1 (HE-01) 679
HEAT EXCHANGER – 2 (HE-02) 686
HEAT EXCHANGER – 3 (HE-03) 687
HEAT EXCHANGER – 4 (HE-04) 700
HEAT EXCHANGER – 5 (HE-05) 701
HEAT EXCHANGER – 6 (HE-06) 702

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KONDENSER 1 (CO-01) 703
KONDENSER 2 (CO-02) 709
POMPA – 1 (P-01) 710
POMPA – 2 (P-02) 718
POMPA – 3 (P-03) 719
POMPA – 4 (P-04) 720
POMPA – 5 (P-05) 721
POMPA – 6 (P-06) 722
POMPA – 7 (P-07) 723
POMPA – 8 (P-08) 724
POMPA – 9 (P-09) 725
POMPA – 10 (P-10) 726
POMPA – 11 (P-11) 727
POMPA – 12 (P-12) 728
POMPA – 13 (P-13) 729
POMPA – 14 (P-14) 730
POMPA – 15 (P-15) 731
POMPA – 16 (P-16) 732
POMPA – 17 (P-17) 733
POMPA – 18 (P-18) 734
POMPA – 19 (P-19) 735
POMPA – 20 (P-20) 736
LAMPIRAN C (PERHITUNGAN ALAT UTILITAS) 737
SCREENER (SCRN-01) 738
KOLAM EKUALISASI (B-01) 739
KOLAM SEDIMENTASI (B-02) 740
MIXER KOAGULAN (MU-01) 742
CLARIFIER (CL-01) 745
SAND FILTER (FU-01) 751
CARBON FILTER (FU-02) 752
MIXER ANTI-SCALANT (MU-03) 754
SEA WATER REVERSE OSMOSIS (RO-01) 757

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

MIXER DISINFEKTAN (MU-03) 760
TANGKI PENYIMPANAN KAPORIT (TU-02) 763
TANGKI PENYIMPANAN AIR KEBUTUHAN UMUM (TU-03) 764
KOLAM *HYDRANT* (BU-04) 765
COLD BASIN (BU-05) 766
HOT BASIN (BU-06) 767
COOLING TOWER (CT-01) 768
CATION EXCHANGER (FU- 03) 776
ANION EXCHANGER (FU-04) 779
TANGKI PENYIMPANAN LARUTAN HCl 5% (TU-04) 782
TANGKI PENYIMPANAN LARUTAN NaOH (TU-05) 783
TANGKI BOILER FEED WATER (TU- 07) 784
DEAERATOR (DA-01) 785
TANGKI KONDENSAT (TU- 08) 788
TANGKI PENYIMPANAN *HYDRAZINE* (TU-06) 789
TANGKI AIR REAKTAN (TU-09) 790
POMPA UTILITAS (PU-01) 791
POMPA UTILITAS 796
COLD BASIN (BU-10) 798

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel I. Perbandingan Proses Pembentukan Antrakuinon 7
Tabel II. Desicion Matrix Proses Pembentukan Antrakuinon 8
Tabel III. Data Ekspor dan Impor Bahan Baku (BPS, 2025) 9
Tabel IV. Data Impor Antrakuinon (BPS, 2025) 10
Tabel V. Data Possible Market Antrakuinon di Indonesia 10
Tabel VI. Data Kapasitas Produksi Pabrik Antrakuinon di Dunia 11
Tabel VII. Linearisasi Menggunakan Metode Least Square untuk Impor Antrakuinon 12
Tabel VIII. Neraca Massa *Overall* 1
Tabel IX. Neraca Massa di Mixer 1 (M-01) 2
Tabel X. Neraca Massa di Mixer 1 (M-02) 2
Tabel XI. Neraca Massa di Hopper 01 (H-01) 3
Tabel XII. Neraca Massa di Knock-Out Drum (SP-01) 3
Tabel XIII. Neraca Massa di Scrubber 1 (SCR-01) 3
Tabel XIV. Neraca Massa di Scrubber 2 (SCR-02) 3
Tabel XV. Neraca Massa di Dekanter 1 (D-01) 4
Tabel XVI. Neraca Massa Dekanter 2 (D-02) 4
Tabel XVII. Neraca Massa Dekanter 3 (D-03) 5
Tabel XVIII. Neraca Massa di Flash Drum 1 (FD-01) 5
Tabel XIX. Neraca Massa di Reaktor Asilasi (R-01) 6
Tabel XX. Neraca Massa di Reaktor Siklisasi (R-02) 6
Tabel XXI. Neraca Massa di Quenching 1 (Q-01) 7
Tabel XXII. Neraca Massa di Precipitation Tank (PR-01) 7
Tabel XXIII. Neraca Massa di Centrifuge 1 (C-01) 8
Tabel XXIV. Neraca Massa di Centrifuge 2 (C-02) 8
Tabel XXV. Neraca Massa di Rotary Dryer (RD-01) 9
Tabel XXVI. Neraca Massa di Hammer Mill (HM-01) 9
Tabel XXVII. Neraca Massa di Screener (SR-01) 10
Tabel XXVIII. Neraca Massa di Evaporator (E-01) 10
Tabel XXIX. Neraca Massa di Kondenser 1 (CO-01) 10
Tabel XXX. Neraca Massa di Kondenser 2 (CO-02) 11
Tabel XXXI. Neraca Panas M-01 14
Tabel XXXII. Neraca Panas M-02 15
Tabel XXXIII. Neraca Panas SP-01 15
Tabel XXXIV. Neraca Panas SCR-01 15
Tabel XXXV. Neraca Panas SCR-02 16
Tabel XXXVI. Neraca Panas D-01 16
Tabel XXXVII. Neraca Panas D-02 16
Tabel XXXVIII. Neraca Panas D-03 17
Tabel XXXIX. Neraca Panas FD-01 17

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel XL. Neraca Panas R-01 A 17
Tabel XLI. Neraca Panas R-01B 18
Tabel XLII. Neraca Panas R-02A 18
Tabel XLIII. Neraca Panas R-02B 18
Tabel XLIV. Neraca Panas Q-01 19
Tabel XLV. Neraca Panas PR-01 19
Tabel XLVI. Neraca Panas C-01 20
Tabel XLVII. Neraca Panas C-02 20
Tabel XLVIII. Neraca Panas RD-01 20
Tabel XLIX. Neraca Panas HM-01 21
Tabel L. Neraca Panas SR-01 21
Tabel LI. Neraca Panas E-01 21
Tabel LII. Neraca Panas HE-01 23
Tabel LIII. Neraca Panas HE-02 23
Tabel LIV. Neraca Panas HE-03 23
Tabel LV. Neraca Panas HE-04 23
Tabel LVI. Neraca Panas HE-05 24
Tabel LVII. Neraca Panas HE-06 24
Tabel LVIII. Neraca Panas CO-01 24
Tabel LIX. Neraca Panas CO-02 25
Tabel LX. Daftar Alat Prarancangan Pabrik Antrakuinon 26
Tabel LXI. Kebutuhan Air untuk Keperluan Umum 65
Tabel LXII. Kebutuhan Air Pendingin 66
Tabel LXIII. Kebutuhan Steam Pemanas 66
Tabel LXIV. Spesifikasi Air Laut Selat Sunda 67
Tabel LXV. Kandungan Ion Air Laut Selat Sunda 68
Tabel LXVI. Baku Mutu Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi 68
Tabel LXVII. Spesifikasi Boiler Feed Water 74
Tabel LXVIII. Komposisi Bahan Bakar 77
Tabel LXIX. Kebutuhan Listrik untuk Proses Produksi 85
Tabel LXX. Kebutuhan Listrik untuk Utilitas 87
Tabel LXXI. Baku Mutu Air Limbah Domestik 98
Tabel LXXII. Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri 101
Tabel LXXIII. Baku Mutu Udara Ambien 102
Tabel LXXIV. Baku Mutu Emisi Gas 103
Tabel LXXV. Identifikasi Hazard Bahan 151
Tabel LXXVI. Identifikasi Potensi Hazard dari Paparan Bahan Kimia 165
Tabel LXXVII. Identifikasi Potensi Hazard dari Paparan Fisis 173
Tabel LXXVIII. Identifikasi Hazard pada Peralatan Unit Proses 177
Tabel LXXIX. Identifikasi Hazard pada Peralatan Unit Utilitas 201
Tabel LXXX. Identifikasi Hazard Proses berdasarkan Layout Pabrik 215
Tabel LXXXI. Identifikasi Hazard Proses Berdasarkan Lokasi Proses 222

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel LXXXII. Identifikasi Hazard Limbah Gas 224
Tabel LXXXIII. Identifikasi Hazard Limbah Cair 227
Tabel LXXXIV. MatriksRisiko pada R-01 259
Tabel LXXXV. Matriks Risiko pada Q-01 261
Tabel LXXXVI. Data Simulasi Ledakan pada R-01 262
Tabel LXXXVII. Data Simulasi Kebocoran HCl pada R-01 .... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel LXXXVIII. Zona Bahaya Kebocoran Gas Benzena 267
Tabel LXXXIX. Perhitungan Jumlah Operator 280
Tabel XC. Jadwal Kerja Karyawan Reguler 282
Tabel XCI. Pembagian Waktu Shift Karyawan 282
Tabel XCII. Jadwal Kerja Karyawan Shift dalam 1 Bulan 283
Tabel XCIII. Penggolongan Gaji Karyawan 283
Tabel XCIV. Kualifikasi Jabatan pada Pabrik Antrakuinon 284
Tabel XCV. Nilai Indeks Harga Berdasarkan CEPCI pada Berbagai Tahun 310
Tabel XCVI. Hasil Ekstrapolasi Nilai CEPCI Hingga Tahun 2032 312
Tabel XCVII. Perhitungan Harga Alat Proses 314
Tabel XCVIII, Perhitungan Harga Alat Utilitas 318
Tabel XCIX. Perhitungan Biaya Labor 342
Tabel C. Perhitungan Fixed Cost 342
Tabel CI. Perhitungan Harga Bahan Baku 345
Tabel CII. Perhitungan Harga Bahan Pendukung 345
Tabel CIII. Perhitungan Harga Sales 346
Tabel CIV. Perhitungan Manufacturing Cost 347
Tabel CV. Perhitungan Working Capital 348
Tabel CVI. Perhitungan General Expenses 348
Tabel CVII. Perhitungan Total Capital Investment 349
Tabel CVIII. Perhitungan Total Product Cost 350
Tabel CIX. Komponen Perhitungan BEP dan SDP 354
Tabel CX. Aliran Kas 357
Tabel CXI. Nilai DCFRR pada Berbagai variasi Variabel 359
Tabel CXII. Grafik Analisis Sensitivitas 359
Tabel CXIII. Kesimpulan Evaluasi Ekonomi dan Analisis Kelayakan 361
Tabel LXXXIX. Konstanta Perhitungan Densitas R-01 370
Tabel XC. Konstanta Perhitungan Viskositas R-01 370
Tabel XCI. Neraca Massa Total R-01 370
Tabel XCII. Perhitungan fraksi vapor-liquid pada reaktor (R-01A) 371
Tabel XCIII. Perhitungan fraksi vapor-liquid pada reaktor (R-01B) 371
Tabel XCIV. Neraca Massa Campuran pada Reaktor 01A 372
Tabel XCV. Neraca Massa Campuran pada Reaktor 01B 372
Tabel XCVI. Rangkuman perhitungan spesifikasi Head Reaktor 378
Tabel XCVII. Koefisien perhtiungan yaws 383

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel XCVIII. Spesifikasi Rotary Airlock Valve 396
Tabel XCIX. Spesifikasi Rotary Airlock Valve..... 397
Tabel C. Data Koefisien Densitas Yaws 398
Tabel CI. Perhitungan Densitas Campuran Inlet R-01A 398
Tabel CII. Perhitungan Densitas Campuran Outlet R01-A 398
Tabel CIII. Densitas Campuran Outlet Gas R-01A..... 398
Tabel CIV. Densitas Inlet R-01B..... 399
Tabel CV. Densitas Outlet Liquid R-01B 399
Tabel CVI. Spesifikasi Dimensi Pipa Standar R-01A 400
Tabel CVII. Spesifikasi Dimensi Pipa Standar R-01B..... 401
Tabel CVIII. Spesifikasi Manhole R-01..... 406
Tabel CIX. Kesimpulan Perancangan..... 408
Tabel CX. Komposisi Arus Masuk R-02 413
Tabel CXI. Konstanta Perhitungan Densitas R-02 413
Tabel CXII. Hasil Perhitungan Densitas Komponen R-02..... 414
Tabel CXIII. Hasil Perhitungan Densitas Campuran R-02 414
Tabel CXIV. Konstanta Perhitungan Viskositas R-02 415
Tabel CXV. Hasil Perhitungan Viskositas Campuran R-02 415
Tabel CXVI. Neraca Massa R-02 A 426
Tabel CXVII. Neraca Massa R-02 B..... 426
Tabel CXVIII. Hasil Perhitungan Spesifikasi Pipa Standar R-02..... 427
Tabel CXIX. Konstanta Perhitungan Kapasitas Panas R-02 428
Tabel CXX. Panas Reaksi R-02A 429
Tabel CXXI. Panas Reaksi R-02B..... 429
Tabel CXXII. Neraca Panas R-02A..... 429
Tabel CXXIII. Neraca Panas R-02B 430
Tabel CXXIV. Kesimpulan Perancangan R-02 448
Tabel CXXV. Neraca Massa Tangki Presipitasi (PR-01)..... 452
Tabel CXXVI. Konstanta Perhitungan Densitas PR-01 453
Tabel CXXVII. Hasil Perhitungan Densitas Komponen PR-01..... 454
Tabel CXXVIII. Hasil Perhitungan Densitas Campuran PR-01 454
Tabel CXXIX. Konstanta Perhitungan Viskositas PR-01 455
Tabel CXXX. Hasil Perhitungan Viskositas Campuran PR-01 455
Tabel CXXXI. Konstanta Perhitungan Konduktivitas PR-01 456
Tabel CXXXII. Hasil Perhitungan Konduktivitas Campuran PR-01 457
Tabel CXXXIII. Konstanta Perhitungan Kapasitas Panas PR-01 457
Tabel CXXXIV. Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Campuran PR-01 458
Tabel CXXXV. Hasil Perhitungan Waktu Tinggal PR-01 dengan Coding..... 474
Tabel CXXXVI. Ukuran Pipa Aliran Inlet dan Outlet..... 491
Tabel CXXXVII. Konstanta Perhitungan Kapasitas Panas RD-01 498
Tabel CXXXVIII. Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Padatan Kering 498
Tabel CXXXIX. Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Udara Kering 499

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel CXL. Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Campuran Padatan Kering 499
Tabel CXLI. Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Campuran Udara Kering..... 499
Tabel CXLII. Konstanta Perhitungan Densitas RD-01 500
Tabel CXLIII. Hasil Perhitungan Densitas Campuran Padatan Kering RD-01 501
Tabel CXLIV. Konstanta Perhitungan Panas Laten RD-01 501
Tabel CXLV. Tebal Shell S-01 Tiap Plat 534
Tabel CXLVI. Spesifikasi Perancangan S-01 536
Tabel CXLVII. Spesifikasi Perancangan S-02 537
Tabel CXLVIII. Spesifikasi Perancangan S-03 538
Tabel CXLIX. Spesifikasi Perancangan H-01 539
Tabel CL. Spesifikasi Perancangan H-02 540
Tabel CLI. Data Arus Keluar T-01 541
Tabel CLII. Konstanta Perhitungan Densitas T-01 541
Tabel CLIII. Hasil Perhitungan Tebal Shell T-01 Tiap Plat 545
Tabel CLIV. Dimensi Head T-01 546
Tabel CLV. Spesifikasi Perancangan T-01 547
Tabel CLVI. Spesifikasi Perancangan T-02 548
Tabel CLVII. Spesifikasi Perancangan T-03 549
Tabel CLVIII. Spesifikasi Perancangan SC-01 552
Tabel CLIX. Spesifikasi Perancangan SC-02 554
Tabel CLX. Spesifikasi Perancangan SC-03 555
Tabel CLXI. Spesifikasi Perancangan SC-04 556
Tabel CLXII. Spesifikasi Perancangan SC-05 557
Tabel CLXIII. Spesifikasi Perancangan SC-06 558
Tabel CLXIV. Spesifikasi Perancangan SC-07 559
Tabel CLXV. Spesifikasi Perancangan SC-08 560
Tabel CLXVI. Spesifikasi Perancangan SC-09 561
Tabel CLXVII. Neraca Massa pada Mixer 562
Tabel CLXVIII. Perhitungan Densitas Bahan di Mixer 563
Tabel CLXIX. Spesifikasi Perancangan M-01 573
Tabel CLXX. Spesifikasi Perancangan M-02 575
Tabel CLXXI. Komposisi Arus Masuk dan Keluar KO Drum - 01 577
Tabel CLXXII. Konstanta Perhitungan Densitas Fase Liquid SP-01 578
Tabel CLXXIII. Hasil Perhitungan Densitas Campuran Fase Liquid SP-01 578
Tabel CLXXIV. Hasil Perhitungan Massa Molar Campuran Fase Vapor SP-01 579
Tabel CLXXV. Spesifikasi Perancangan SP-01 585
Tabel CLXXVI. Data Umpan Gas Masuk SCR-01 586
Tabel CLXXVII. Densitas Gas Campuran SCR-01 586
Tabel CLXXVIII. Konstanta Perhitungan Viskositas Gas pada SCR-01 587
Tabel CLXXIX. Hasil Pehitungan Viskositas Gas SCR-01 587
Tabel CLXXX. Data Umpan Gas Masuk SCR-01 595

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel CLXXXI. Densitas Gas Campuran SCR-01 595
Tabel CLXXXII. Konstanta Perhitungan Viskositas Gas pada SCR-01 596
Tabel CLXXXIII. Hasil Pehitungan Viskositas Gas SCR-01 596
Tabel CLXXXIV. Komposisi Light Phase pada D-01 601
Tabel CLXXXV. Komposisi Heavy Phase pada D-01 601
Tabel CLXXXVI. Konstanta Perhitungan Densitas D-01 602
Tabel CLXXXVII. Hasil Perhitungan Densitas Komponen D-01 602
Tabel CLXXXVIII. Hasil Perhitungan Densitas Light Phase D-01 603
Tabel CLXXXIX. Hasil Perhitungan Densitas Heavy Phase D-01 603
Tabel CXC. Konstanta Perhitungan Viskositas D-01 604
Tabel CXCI. Hasil Perhitungan Viskositas Light Phase D-01 604
Tabel CXCII. Hasil Perhitungan Viskositas Heavy Phase D-01 605
Tabel CXCIII. Parameter Penentuan Fase Terdispersi (Rousseau, 1987) 606
Tabel CXCIV. Hubungan antara Bilangan Reynold dan Turbulensi Aliran 609
Tabel CXCV. Spesifikasi Perancangan D-01 612
Tabel CXCVI. Spesifikasi Perancangan D-02 613
Tabel CXCVII. Spesifikasi Perancangan D-03 614
Tabel CXCVIII. Data Umpan Masuk FD-01 615
Tabel CXCIX. Konstanta Persamaan Antoine FD-01 615
Tabel CC. Hasil Perhitungan Dew Point FD-01 616
Tabel CCI. Hasil Perhitungan Bubble Point FD-01 617
Tabel CCII. Hasil Perhitungan Trial Rasio V/F FD-01 618
Tabel CCIII. Komposisi Fase Vapor FD-01 618
Tabel CCIV. Komposisi Fase Liquid FD-01 619
Tabel CCV. Konstanta Perhitungan Densitas Fase Liquid FD-01 619
Tabel CCVI. Hasil Perhitungan Densitas Campuran Fase Liquid FD-01 620
Tabel CCVII. Hasil Perhitungan Massa Molar Campuran Fase Vapor FD-01 . 621
Tabel CCVIII. Spesifikasi Perancangan FD-01 631
Tabel CCIX. Neraca Massa Tangki Quenching 632
Tabel CCX. Perhitungan Densitas Cairan dalam Tangki Quenching 633
Tabel CCXI. Perhitungan Viskositas Cairan di Tangki Quenching 634
Tabel CCXII. Perhitungan Konduktivitas Termal Bahan dalam Tangki Quenching 635
Tabel CCXIII. Perhitungan Kapasitas Panas Setiap Bahan di Tangki Quenching 636
Tabel CCXIV. Neraca Panas Tangki Quenching 647
Tabel CCXV. Spesifikasi Perancangan Q-01 651
Tabel CCXVI. Neraca Massa Umpan 653
Tabel CCXVII. Densitas Total Fluida Umpan Masuk Centrifuge 653
Tabel CCXVIII. Neraca Massa Padatan 654
Tabel CCXIX. Densitas Padatan pada Centrifuge 654
Tabel CCXX. Neraca Massa Cair 654

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel CCXXI. Densitas Cairan pada Centrifuge 655
Tabel CCXXII. Konstanta Perhitungan Viskositas C-01 655
Tabel CCXXIII. Spesifikasi Perancangan C-01 658
Tabel CCXXIV. Neraca Massa Umpan 659
Tabel CCXXV. Densitas Total Fluida Umpan Masuk Centrifuge 659
Tabel CCXXVI. Neraca Massa Padatan 660
Tabel CCXXVII. Densitas Padatan pada Centrifuge 660
Tabel CCXXVIII. Neraca Massa Cair 660
Tabel CCXXIX. Densitas Cairan pada Centrifuge 661
Tabel CCXXX. Konstanta Perhitungan Viskositas C-01 661
Tabel CCXXXI. Spesifikasi Perancangan C-02 664
Tabel CCXXXII. Spesifikasi Hammer Mill (Jiangyin Brightsail Machinery Co.,Ltd.) 666
Tabel CCXXXIII. Spesifikasi Rancangan SR-01 670
Tabel CCXXXIV. Neraca Massa Evaporator 671
Tabel CCXXXV. Hasil Perhitungan Densitas Bahan Evaporator 672
Tabel CCXXXVI. Nilai Volumetrik Umpan Evaporator 672
Tabel CCXXXVII. Perhitungan Temperatur dan Tekanan Setiap Effect 673
Tabel CCXXXVIII. Spesifikasi Perancangan Evaporator E-01 677
Tabel CCXXXIX. Neraca Panas Input Heat Exchanger 680
Tabel CCXL. Data Temperature operation 680
Tabel CCXLI. Konstanta Kapasitas Panas HE-04 688
Tabel CCXLII. Neraca Panas Heat Exchanger 692
Tabel CCXLIII. Data Temperature operation 694
Tabel CCXLIV. Neraca Panas Input Heat Exchanger 704
Tabel CCXLV. Data Temperature operation 704
Tabel CCXLVI. Layout doble pipe heat excahnger 705
Tabel CCXLVII. Rangkuman perhitungan pressure drop kondenser 707
Tabel CCXLVIII. Konstanta Perhitungan Densitas Liquid pada Mixer 710
Tabel CCXLIX. Konstanta Perhitungan Viskositas Cairan pada Mixer 711
Tabel CCL. Spesifikasi Perancangan P-01 716
Tabel CCLI. Spesifikasi Perancangan P-02 718
Tabel CCLII. Spesifikasi Perancangan P-03 719
Tabel CCLIII. Spesifikasi Perancangan P-04 720
Tabel CCLIV. Spesifikasi Perancangan P-05 721
Tabel CCLV. Spesifikasi Perancangan P-06 722
Tabel CCLVI. Spesifikasi Perancangan P-07 723
Tabel CCLVII. Spesifikasi Perancangan P-08 724
Tabel CCLVIII. Spesifikasi Perancangan P-09 725
Tabel CCLIX. Spesifikasi Perancangan P-10 726
Tabel CCLX. Spesifikasi Perancangan P-11 727
Tabel CCLXI. Spesifikasi Perancangan P-12 728

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel CCLXII. Spesifikasi Perancangan P-13 729
Tabel CCLXIII. Spesifikasi Perancangan P-14 730
Tabel CCLXIV. Spesifikasi Perancangan P-15..... 731
Tabel CCLXV. Spesifikasi Perancangan P-16 732
Tabel CCLXVI. Spesifikasi Perancangan P-17..... 733
Tabel CCLXVII. Spesifikasi Perancangan P-18 734
Tabel CCLXVIII. Spesifikasi Perancangan P-19 735
Tabel CCLXIX. Spesifikasi Perancangan P-20..... 736
Tabel CCLXVIII. Spesifikasi Bar Rack Screener 738
Tabel CCLXIX. Spesifikasi membrane FILMTEC SW30HR LE-400 adalah sebagai berikut, ... 757
Tabel CCLXX. Tabel Konsentrasi Impurities pada Pengolahan Unit SRWO .. 758
Tabel CCLXXI. Entalpi Udara Jenuh sebagai Fungsi Suhu pada Cooling Tower 769
Tabel CCLXXII. Spesifikasi Bahan Isian Cooling Tower..... 772
Tabel CCLXXIII. Integrasi Metoda Trapezoidal dalam Pehitungan Tinggi Cooling Tower 773
T**abel CCLXXIV.** Alkalinitas Air pada Cation Exchanger 776
Tabel CCLXXV. Alkalinitas Air pada Anion Exchanger 780
Tabel CCLXXVI. Parameter Perhitungan Total Head..... 792
Tabel CCLXXVII. Total Head Pompa..... 793
Tabel CCLXXVIII. Hasil Pehitungan Perancangan Pompa Unit Utilitas 796

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Kimia Anthraquinone 2
Gambar 2. Pembentukan Anthraquinone melalui Oksidasi Anthracane (sc: Kirk 2000) 5
Gambar 3. Pembentukan Antrakuinon melalui Reaksi Friedel-Crafts (Sumber: Kirk, 2000) 6
Gambar 4. Pembentukan Antrakuinon melalui Reaksi Diels-Alder (Sumber: Kirk, 2000) 6
Gambar 5. Pasar Global Antrakuinon pada 2020 – 2032 (Anthraquinone Market Size, Share, Trends | Forecast 2032, n.d.) 9
Gambar 6. Lokasi Pembangunan Pabrik Antrakuinon 14
Gambar 7. Diagram Blok Kualitatif Bagian 1 1
Gambar 8. Diagram Blok Kualitatif Bagian 2 2
Gambar 9. Diagram Blok Kuantitatif Bagian 1 3
Gambar 10. Diagram Blok Kuantitatif Bagian 2 4
Gambar 11. Process Engineering Flow Diagram 5
Gambar 12. *Skema Pembangkitan* Steam 73
Gambar 13. Sistem Unit Refrigerasi 90
Gambar 14. Diagram Alir Pengolahan Limbah Cair 99
Gambar 15. Layout Pabrik Antrakuinon (Skala 1:3500) 107
Gambar 16. Rekomendasi Spacing Inter-Unit pada Pabrik Kimia (GPA$_S$) 108
Gambar 17. Rekomendasi Spacing Intra-Unit pada Pabrik Kimia (GPA$_S$) 109
Gambar 18. Rekomendasi Spacing Storage Tank pada Pabrik Kimia (GPA$_S$) . 109
Gambar 19. Layout Storage Area (Skala 1: 800) 110
Gambar 20. Layout Area Proses Unit Pre-Treatment (Skala 1:250) 110
Gambar 21. Layout Area Proses Sintesis (Skala 1:250) 111
Gambar 22. Layout Area Proses Gas Treatment (skala 1:150) 112
Gambar 23. Layout Area Proses Unit Purifikasi (Skala 1:300) 113
Gambar 24. Sususan Struktur Organisasi Departement Safety, Health, And Environment 147
Gambar 25. Studi Node R-01 dan Q-01 231
Gambar 26. Hasil Rekomendasi HAZOP pada R-01 dan Q-01 251
Gambar 27. Layer of Protection Analysis (Louvar, 2019) 252
Gambar 28. Hasil Simulasi BLEVE dengan ALOHA 263
Gambar 29. Peta Persebaran Thermal Radiation 263
Gambar 30. Hasil Simulasi Kebocoran Gas HCl dengan ALOHA ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 31. Peta Jarak Kebocoran Gas HCl 265
Gambar 32. Hasil Simulasi Kebocoran Gas Benzene dan Flammable Point dengan ALOHA 266

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 33. Peta Potensi Persebaran Kebocoran Gas Benzene dengan Potensi Kebakaran 266
Gambar 34. Peta Potensi Ledakan dan Kebocoran Gas Benzene pada Layout Pabrik Antrakuinon 269
Gambar 35. Struktur Organisasi Pabrik Antrakuinon dari Anhidrida Ftalat dan Benzena Secara Keseluruhan 273
Gambar 36. Grafik Hubungan Tahun vs Indeks Harga (CEPCI) 312
Gambar 37. Grafik BEP dan SDP 356
Gambar 38. Grafik Cashflow Setiap Tahun 358
Gambar 39. Hasil Fitting Kinetika Reaksi R-01 369
Gambar 40. Konfigurasi Reaktor Tangki Berpengaduk 374
Gambar 41. Layout Torisperical Head 377
Gambar 42. Penentuan Kecepatan Putar Rotary Valve Airlock 396
Gambar 43. Penentuan Ukuran Pipa R-01 400
Gambar 44. Skema Tebal Reaktor 402
Gambar 45. Penentuan Ukuran Manhole 406
Gambar 46. Gambar Mekanis Reaktor R-01A 407
Gambar 47. Gambar Mekanis Reaktor R-01B 407
Gambar 48. Skema Reaktor Alir Tangki Berpengaduk Seri 416
Gambar 49. Konfigurasi Reaktor Tangki Berpengaduk 419
Gambar 50. Konfigurasi Torispherical Head 422
Gambar 51. Layout Isolator 431
Gambar 52. Pemilihan Spesifikasi Manhole R-02 447
Gambar 53. Pemilihan Spesifikasi Manhole R-02 447
Gambar 54. Mechanical Drawing Reaktor R-02 452
Gambar 55. Profil Waktu Tangki PR-01 Setiap Waktu 475
Gambar 56. Skema Precipitation Tank PR-01 482
Gambar 57. Dimensi Torispherical head 485
Gambar 58. Dimensi Ketebalan Cover dan Bolting-flange pada Manhole (API Standard 12 C) 492
Gambar 59. Spesifikasi Dimensi Manhole 24-in Berdasarkan Tebal Shell (API Standard 12 C) 492
Gambar 60. Mechanical Drawing Tangki Presipitasi (PR-01) 495
Gambar 61. Psychrometric Chart untuk Menentukan Humiditas Udara 496
Gambar 62. Penentuan Wet Bulb Temperature Udara Pengering RD-01 497
Gambar 63. Profil Perubahan Suhu pada RD-01 521
Gambar 64. Profil Kadar Cairan pada RD-01 521
Gambar 65. Profil Relative Humidity pada RD-01 522
Gambar 66. Desain Rotary Dryer (RD-01) 529
Gambar 67. Skema Desain Silo (Sumber: Ulrich, 1984) 532
Gambar 68. Konfigurasi Torispherical Head 545
Gambar 69. Layout Mixer 564

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Antrakuinon dari Benzena dan Anhidrida Ftalat dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
Miftaqus Sa'adah, Prof. Ir. Arief Budiman, MS., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 70. Layout Torispherical Head 568
Gambar 71. Grafik Hubungan K_v dan f (Evans, 1974) 580
Gambar 72. Penentuan Ukuran Vessel Standar SP-01 581
Gambar 73. Skema Torispherical Head..... 584
Gambar 74. Skema Countercurrent Packed Bed Scrubber..... 589
Gambar 75. Skema Countercurrent Packed Bed Scrubber..... 597
Gambar 76. Bentuk dan Dimensi Horizontal Dekanter..... 608
Gambar 77. Grafik Hubungan K_v dan f (Evans, 1974) 622
Gambar 78. Skema Alat Vertical Knock Out Drum (Evans, 1980) 625
Gambar 79. Grafik Hubungan Faktor B dan Faktor A (Brownell and Young). 629
Gambar 80. Skema Torispherical Head..... 630
Gambar 81. Layout Shell Tangki Quenching..... 638
Gambar 82. Layout Torispherical Head 642
Gambar 83. Multistage pusher centrifuge 657
Gambar 84. Multistage pusher centrifuge 663
Gambar 85. Tabel Spesifikasi Screener (Perry's, 1997)..... 668
Gambar 86. Penentuan Kapasitas Unit Screener (Perry's, 1997) 669
Gambar 87. Skema Double Effect Evaporation 673
Gambar 88. Konfigurasi Mixer 743
Gambar 89. Konfigurasi Mixer 746
Gambar 90. Konfigurasi Mixer 748
Gambar 91. Konfigurasi Mixer 755
Gambar 92. Konfigurasi Mixer 761
Gambar 93. Grafik Penentuan Jenis Pompa..... 793