UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis dan Redesain Prototipe Reaktor IPAL Sludge Tambang Batu Bara Melalui Pendekatan Reverse
Engineering dengan Evaluasi Hydraulic Parameters pada Sistem Ozonasi Continuous**
Fariz Ramzi Asshidqi, Ir. Johan Syafri Mahathir Ahmad, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
HALAMAN PERNYATAAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
INTISARI xiv
ABSTRACT xv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Batasan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Struktur Skripsi 6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Studi Terdahulu 7
2.1.1 Air Limbah Limpasan Tambang Batu Bara 7
2.1.2 Pengelolaan Air Limbah Limpasan Tambang Batu Bara 7
2.1.3 Ozonasi 8
2.1.4 Keasliaan Penelitian 11
BAB 3 LANDASAN TEORI 21
3.1 Air Limpasan Tambang Batu Bara 21
3.1.1 Tambang Batu Bara 21
3.1.2 Air Limpasan Tambang Batu Bara 22
3.1.3 Karakteristik *Sludge Runoff* Tambang Batu Bara 23
3.2 *Oxidation Reduction Potential* (ORP) 24
3.2.1 Oksidasi 25
3.2.2 Reduksi 26
3.2.3 Standar Potensial 26

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis dan Redesain Prototipe Reaktor IPAL Sludge Tambang Batu Bara Melalui Pendekatan Reverse
Engineering dengan Evaluasi Hydraulic Parameters pada Sistem Ozonasi Continuous**
Fariz Ramzi Asshidqi, Ir. Johan Syafri Mahathir Ahmad, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.4 Zeta Potensial 26
3.2.5 Persamaan Nersnt 27
3.3 Proses Ozonasi 28
3.3.1 Prinsip Dasar Ozonasi 28
3.3.2 Mekanisme Produksi *Ozone* Generator 28
3.3.3 Laju Aliran 29
3.3.4 Mekanisme Ozonasi 30
3.3.5 Teori Kinetika Ozon 31
3.4 Reaktor *Continuous* 31
3.4.1 *Counter and Cocurrent Reactor* 32
3.5 Dimensi Reaktor 33
3.5.1 Panjang dan Lebar 33
3.5.2 Kedalaman Total 34
3.5.3 Tinggi Jagaan 34
3.5.4 Lebar *Baffle* 35
3.5.5 Jumlah Pass 35
3.5.6 Jumlah *Baffle* 35
3.5.7 Lebar Saluran 36
3.5.8 Luas Permukaan Air 36
3.5.9 Kedalaman Efektif 37
3.5.10 Volume Efektif Air 37
3.5.11 Volume Total 37
3.6 Parameter Hidraulik 38
3.6.1 Debit Aliran 38
3.6.2 *Hydraulic Retention Time* (HRT) 39
3.6.3 *Horizontal Velocity* (*v0*) 40
3.6.4 *Surface Loading* (*vs0*) 41
3.7 Kinetika Daya Pengadukan 42
3.7.1 Intensitas Pengadukan 42
3.7.2 Daya Hidraulik 43
3.7.3 Daya Ozonasi 43
3.8 *Particle Type Parameters* 44
3.8.1 Densitas Air 44
3.8.2 *Kinematic Viscosity* 45

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis dan Redesain Prototipe Reaktor IPAL Sludge Tambang Batu Bara Melalui Pendekatan Reverse
Engineering dengan Evaluasi Hydraulic Parameters pada Sistem Ozonasi Continuous**
Fariz Ramzi Asshidqi, Ir. Johan Syafri Mahathir Ahmad, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.8.3 Diameter Partikel 46
3.8.4 Densitas Partikel 46
3.8.5 Berat Jenis Partikel 46
3.9 Parameter Kinetika Pengendapan 47
3.9.1 *Settling Velocity* (*vs*) 47
3.9.2 *Scouring Velocity* (*vsc*) 48
3.9.3 *Settling Time* 48
3.10 Kriteria Pengendapan 49
3.10.1 *Settling Velocity* > *Horizontal Velocity* 49
3.10.2 *Settling Velocity* > *Surface Loading* 49
3.10.3 *Horizontal Velocity* < *Scouring Velocity* 49
3.11 Proses Pemisahan Padat – Cair 50
3.11.1 Perhitungan Laju Filtrasi 50
3.12 Parameter Kualitas Air 51
3.12.1 Kekeruhan (*Turbidity*) 51
BAB 4 METODE PENELITIAN 53
4.1 Lokasi Penelitian 53
4.2 Alat dan Data Penelitian 53
4.3 Prosedur Penelitian 53
4.3.1 Identifikasi Awal Reaktor Eksisting 56
4.3.2 Pengukuran Parameter Hidraulik Awal 57
4.3.3 Penentuan Variasi Debit dan HRT 58
4.3.4 Perhitungan Parameter Hidraulik Lanjutan 58
4.3.5 Persyaratan Kondisi Operasional 59
4.3.6 Karakterisasi Sampel Awal 59
4.3.7 Perhitungan Parameter Kinetika Pengendapan 60
4.4 Gambar Desain Reaktor 60
4.5 Prosedur Pengujian Laboratorium 61
4.5.1 Rekayasa Sampel Pengenceran 61
4.5.2 Proses Ozonasi 61
4.5.3 Proses Filtrasi Pemisahan Padat – Cair 62
4.5.4 Pengujian Parameter Filtrat 62
4.6 Metode Analisis Data 63
4.6.1 Analisis Parameter Uji 63

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis dan Redesain Prototipe Reaktor IPAL Sludge Tambang Batu Bara Melalui Pendekatan Reverse Engineering dengan Evaluasi Hydraulic Parameters pada Sistem Ozonasi Continuous
Fariz Ramzi Asshidqi, Ir. Johan Syafri Mahathir Ahmad, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.6.2 Analisis Efektivitas 63
BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 65
5.1 Konsep dan Spesifikasi Reaktor 65
5.1.1 Konsep Dasar Reaktor 65
5.1.2 Pemilihan Material dan Komponen 65
5.1.3 Analisis Dimensi Kompartemen Ozonasi 66
5.1.4 Desain Reaktor *Continuous* 70
5.2 Analisis Parameter Hidraulik 70
5.2.1 Penentuan Nilai Debit dan HRT 70
5.2.2 Analisis *Horizontal Velocity* dan *Surface Loading* 71
5.3 Analisis Intensitas Pengadukan 72
5.3.1 Daya Hidraulik 72
5.3.2 Daya Ozonasi 75
5.3.3 Daya Total 76
5.3.4 Nilai Intensitas Pengadukan (G.t) 77
5.4 Analisis Karakteristik Partikel 82
5.5 Analisis Kinetika Pengendapan 83
5.5.1 Parameter Pengendapan Partikel 83
5.5.2 Analisis Kriteria Pengendapan 85
5.6 Validasi Kinerja Reaktor *Continuous* 87
5.6.1 Karakterisasi Sampel Pengenceran 87
5.6.2 Observasi Visual Proses Ozonasi 88
5.6.3 Perubahan Karakteristik Filtrat 89
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 93
6.1 Kesimpulan 93
6.2 Saran 93
DAFTAR PUSTAKA 94
LAMPIRAN 1 101
LAMPIRAN 2 102
LAMPIRAN 3 103