

DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. LATAR BELAKANG	1
I.2. KEASLIAN	8
I.3. PERUMUSAN MASALAH.....	10
I.4. TUJUAN DAN MANFAAT	11
I.5. BATASAN PENELITIAN	12
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	 14
II.1. JENIS DAN KARAKTERISTIK SAMPAH	14
II.2. ANALISA SAMPAH SECARA KIMIAWI BERDASARKAN KOMPONEN-KOMPONENNYA	 18
II.3. SAMPAH SEBAGAI SUMBER ENERGI.....	20
II.3.1 Pengolahan Sampah secara Thermal untuk Mendapatkan Energi	20
II.3.1.1. Pembakaran Sampah Menggunakan Insinerator	22
II.3.1.2. Jenis-jenis insinerator	24
II.3.1.3. Emisi Gas Buang	29
II.3.1.4. Residu Abu	32
II.4. LANDASAN TEORI	33
II.4.1 Pembakaran Bahan Bakar Padat.....	33
II.4.2. Proses Pembakaran Sampah	35
II.4.2.1. Proses Pengeringan	36
II.4.2.2. Devolatiliasi	37
II.4.2.3. Proses Pembakaran Arang	38
II.4.3. Kineika pada Pembakaran Sampah	38
II.4.3.1. Laju Proses Pengeringan.....	38
II.4.3.2. Laju Proses Pembakaran Primer	39
II.4.3.3. Proses Pembakaran Arang	40

II.4.4. Kalor Pembakaran Persatuan Waktu (Head Release)	40
II.4.5. Neraca Panas pada Proses Pembakaran Sampah.....	41
II.4.6. Teori Gas Ideal	46
II.4.7. Kalor Sensibel dan Kalor Laten	47
II.4.8. Kapasitas Kalor	48
II.5. .HIPOTESIS	50
BAB III METODE PENELITIAN.....	51
III.1. BAHAN	51
III.1.1. Jenis Sampah yang Digunakan dalam Penelitian.....	51
III.1.2. Karakteristik Sampel Sampah yang Digunakan.....	53
III.2. ALAT.....	55
III.3. PROSEDUR KERJA	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	67
IV.1. PENGARUH KARAKTERISTIK BAHAN TERHADAP	
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN	67
IV.1.1. Pengaruh Karakteristik Bahan Terhadap <i>Self Burning Time</i>	67
IV.1.2. Pengaruh Bahan Terhadap Suhu.....	70
IV.1.3. Pengaruh Bahan Terhadap Perubahan Massa	77
IV.1.4. Pengaruh Bahan Terhadap Tahapan Proses Pembakaran	79
IV.1.5. Pengaruh Bahan Terhadap Gas Hasil	84
IV.1.5.1. Pengaruh Bahan Terhadap Kadar CO pada Gas Hasil.....	84
IV.1.5.2. Pengaruh Bahan Terhadap Kadar CO ₂ pada Gas Hasil	86
IV.1.5.3. Pengaruh Bahan Terhadap Kadar NO _x pada Gas Hasil	88
IV.1.5.4. Pengaruh Bahan Terhadap Kadar SO _x pada Gas Hasil.....	90
IV.1.5.5. Penilaian Gas Hasil Pembakaran Sampah terhadap Baku Mutu	
Lingkungan	92
IV.2. PENGARUH LAJU PASOKAN OKSIGEN TERHADAP	
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN	93
IV.2.1. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap <i>Self Burning Time</i>	93

IV.2.2. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Suhu	94
IV.2.3. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Laju Perubahan Massa.....	97
IV.2.4. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Tahapan Proses Pembakaran.	102
IV.2.5. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Gas Hasil Pembakaran	105
IV.2.5.1. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Konsentrasi CO pada Gas Hasil Pembakaran	105
IV.2.5.2. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Konsentrasi CO ₂ pada Gas Hasil Pembakaran	107
IV.2.5.3. Pengaruh Laju Pasokan Oksigen Terhadap Konsentrasi NO _x pada Gas Hasil Pembakaran	109
IV.2.5.4. Pengaruh Laju Pasokan Udara Terhadap Konsentrasi SO _x pada Gas Hasil Pembakaran	110
IV.3. PENGARUH SUHU PEMBAKARAN TERHADAP LAJU PENGURANGAN MASSA.....	111
IV.4. PENGGUNAAN UDARA SEBAGAI GAS PEMASOK.....	116
IV.4.1. Pengaruh Penggunaan Udara Terhadap Laju Perubahan Massa.....	116
IV.4.2. Pengaruh Penggunaan Udara Terhadap Suhu Pembakaran	117
IV.4.3. Pengaruh Penggunaan Udara Terhadap Gas Hasil	118
IV.4.4. Pengaruh Penggunaan Udara Terhadap Tahapan Proses.....	121
IV.5. LAJU KALOR PEMBAKARAN.....	123
IV.6. ENERGI KALOR PADA GAS HASIL PEMBAKARAN SAMPAH	127
IV.6.1. Perhitungan Energi Kalor Pada Gas Hasil Pembakaran Sampah	127
IV.6.2. Perhitungan Efisiensi Sistem Pembakaran Pada Insinerator	134
IV.6.3. Pemanfaatan Kalor Pada Gas Hasil Pembakaran Sebagai Energi Alternatif.....	136
IV.7. HUBUNGAN ANTARA Q _{INPUT} DAN Q _{OUTPUT}	143
IV.8. RASIO OKSIGEN YANG TERSEDIA TERHADAP KEB. OKSIGEN	146
IV.9. KORELASI ANTARA KOMPOSISI SAMPAH DENGAN SUHU	147
IV.10. IMPLIKASI OPERASIONAL DARI HASIL PENELITIAN	152



BAB VKESIMPULAN DAN SARAN	154
V.1. KESIMPULAN.....	154
V.2. SARAN.....	155

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Timbunan Sampah di Berbagai Negara.....	1
Tabel 1.2. Komposisi Sampah Kota di Indonesia (%berat)	2
Tabel 1.3. Persentase Sampah Kering yang Dapat Diambil oleh Pemulung terhadap Jumlah Sampah yang Masuk TPA	4
Tabel 1.4. Data Pembakaran Sampah di Beberapa Negara	6
Tabel 1.5. Ringkasan Penelitian Pembakaran Sampah oleh Beberapa Peneliti Lain	10
Tabel 2.1. Kandungan Unsur-Unsur Kimia Pada Sampah Kota	16
Tabel 2.2. Komposisi dan Nilai Kalor Bakar Pada Setiap Komponen Sampah.....	17
Tabel 2.3. Rumus Kimia Empirik Beberapa Jenis Sampah.....	19
Tabel 2.4. Perbandingan Berbagai Tipe Insinerator	29
Tabel 3.1. Metoda uji yang digunakan untuk analisis ultimat terhadap sampel sampah.....	53
Tabel 3.2. Metoda uji yang digunakan untuk analisis proksimat dan nilai kalor bakar terhadap sampel sampah.....	54
Tabel 3.3. Spesifikasi sampel percobaan berdasarkan hasil analisis ultimat	54
Tabel 3.4. Spesifikasi sampel percobaan berdasarkan hasil analisis proksimat.....	55
Tabel 3.5. Spesifikasi sampel percobaan berdasarkan hasil analisis nilai kalor.....	55
Tabel 3.6. Merek dan Tipe Sensor Gas yang Digunakan dalam Penelitian	58
Tabel 3.7. Variasi Komposisi Sampah yang Sibakar	64
Tabel 4.1.. Hasil Pengujian <i>Self Burning Time</i> Komponen Sampah Kota	68
Tabel 4.2. Data Durasi <i>Self Burning Time</i> Dan Durasi Produksi Uap Air/Humiditas, SOx, Hidrokarbon Pada Emisi Cerobong Pada Laju Aliran Oksigen 0,5 l/menit.	80
Tabel 4.3. Hasil penilaian gas hasil pembakaran dibandingkan dengan baku mutu sesuai dengan Keputusan Kepala Bapedal No Kep-03/BAPEDAL/1995	93
Tabel 4.4. Durasi fase <i>start up</i> pada setiap variasi percobaan.....	133
Tabel 4.5. Waktu penambahan pasokan umpan pada berbagai variasi jenis sampah pada operasional insinerator secara kontinyu	134

Tabel 4.6. Perhitungan efisiensi proses pembakaran sampah dengan laju pasokan oksigen 1 l/menit	135
Tabel 4.7. Perhitungan Faktor Koreksi.....	137
Tabel 4.8. Rekapitulasi hasil perhitungan pemanfaatan kalor gas hasil pembakaran untuk pengeringan sampah dan pembangkitan <i>steam</i> (alternatif-1)	140
Tabel 4.9. Rekapitulasi hasil perhitungan pemanfaatan kalor gas hasil pembakaran sampah untuk pembangkitan <i>steam</i> (alternatif-2).....	141
Tabel 4.10. Hubungan antara kadar air sampah dan selisih Q_{output} dan Q_{input}	145
Tabel 4.11. Perkiraan rata-rata laju kalor pada gas hasil pembakaran per ton.....	146
Tabel 4.12. Nilai konduktivitas termal (k) untuk berbagai jenis sampah.....	152
Tabel 4.10. Waktu penambahan pasokan umpan pada berbagai variasi jenis/ komposisi sampah yang disarankan.....	153

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Perkembangan komposisi sampah kota di Indonesia.	3
Gambar 2.1. Sketsa <i>Fixed Bed Incinerator</i>	24
Gambar 2.2. Sketsa <i>Fluidized Bed Incinerator</i>	26
Gambar 2.3. Sketsa <i>Rotary Kiln Incinerator</i>	27
Gambar 2.4. Sketsa <i>Multiple Hearth Incinerator</i>	28
Gambar 2.5a. Urutan Proses Pembakaran untuk Partikel Tunggal Bahan Bakar Padat yang Berukuran Sangat Kecil	35
Gambar 2.5b. Urutan Proses Pembakaran untuk Partikel Tunggal Bahan Bakar Padat yang Berukuran Sangat Besar	35
Gambar 2.5c. Urutan Proses Pembakaran untuk Partikel Bahan Bakar Dalam Jumlah Besar	35
Gambar 2.6. Sketsa Langkah-langkah Proses Terjadinya Pembakaran pada Material Padat	36
Gambar 2.7. Diagram Neraca Kalor pada Ruang Pembakaran Insinerator	41
Gambar 2.8. Ilustrasi tumpukan sampah yang dibakar	43
Gambar 3.1. Sampel sampah yang digunakan dalam penelitian	52
Gambar 3.2. Insinerator yang Digunakan dalam Penelitian	56
Gambar 3.3. Regulator	57
Gambar 3.4. <i>Thermocouple</i> dan Panel <i>Display</i>	57
Gambar 3.5. Titik Sampling dan Sensor Gas Emisi	58
Gambar 3.6. Modul data <i>Logger</i>	59
Gambar 3.7. Komputer yang Digunakan dalam Penelitian	59
Gambar 3.8. Tabung Gas Elpiji dan <i>Burner</i>	60
Gambar 3.9. Timbangan Gantung Digital	60
Gambar 3.10. Tabung untuk Percobaan <i>Self Burning</i>	61
Gambar 3.11. Gambar <i>Currentmeter</i>	61
Gambar 3.12. Skema Peralatan yang Digunakan	62
Gambar 3.13. Tampilan program pada komputer	65

Gambar 4.1. Suhu pembakaran pada berbagai posisi <i>termocouple</i> pada pembakaran sampah kain katun dengan laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	71
Gambar 4.2. Suhu pembakaran pada berbagai posisi pada pembakaran sampah plastik polietilen dengan laju pasokan oksigen 0,5 L/menit.....	71
Gambar 4.3. Suhu pembakaran pada berbagai posisi <i>termocouple</i> pada pembakaran sampah plastik polietilen dengan laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	72
Gambar 4.4. Suhu pembakaran pada berbagai posisi <i>termocouple</i> pada pembakaran sampah tercampur dengan laju pasokan oksigen 0,5 L/menit.....	72
Gambar 4.5. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran sampah perkomponen dengan laju pasokan oksigen 0,5 L/menit.	78
Gambar 4.6. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran sampah campuran dengan laju pasokan oksigen 0,5 L/menit.	79
Gambar 4.7. Tahapan proses pembakaran dengan laju aliran oksigen 0,5 l/min	81
Gambar 4.8 . Tahapan proses pembakaran sampah plastik polietilen dengan laju aliran oksigen sebesar 0,5 l/min	81
Gambar 4.9. Tahapan proses pembakaran sampah kertas HVS dengan laju aliran oksigen sebesar 0,5 l/min.	82
Gambar 4.10. Tahapan proses pembakaran campuran 20% sampah basah, 40% kain katun, 20% plastik polietilen, 20% kertas HVS dengan laju aliran oksigen sebesar 0,5 l/min.	82
Gambar 4.11. Tahapan proses pembakaran campuran 20% sampah basah, 20% kain katun, 40% plastik polietilen, 20% kertas HVS dengan laju aliran oksigen sebesar 0,5 l/min.	82
Gambar 4.12. Tahapan proses pembakaran campuran 20% sampah basah, 20% kain katun, 20% plastik polietilen, 40% kertas HVS dengan laju aliran oksigen sebesar 0,5 l/min.	82
Gambar 4.13. Tahapan proses pembakaran campuran 40% sampah basah, 20% kain katun, 20% plastik polietilen, 40% kertas HVS dengan laju aliran oksigen sebesar 0,5 l/min.	83
Gambar 4.14. Konsentrasi CO pada gas hasil pembakaran sampah perkomponen pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	85

Gambar 4.15. Konsentrasi CO pada gas hasil pembakaran sampah campuran pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit.	86
Gambar 4.16. Konsentrasi CO ₂ pada gas hasil pembakaran sampah perkomponen pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	87
Gambar 4.17. Konsentrasi CO ₂ pada gas hasil pembakaran sampah tercampur pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	88
Gambar 4.18. Konsentrasi NO _x pada gas hasil pembakaran sampah perkomponen pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	90
Gambar 4.19. Konsentrasi NO _x pada gas hasil pembakaran sampah tercampur pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	90
Gambar 4.20. Konsentrasi SO _x pada gas hasil pembakaran sampah tercampur. pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit.	92
Gambar 4.21. Suhu pada ruang bakar utama titik 1 berjarak 25 cm dari dasar kolom pada pembakaran berbagai jenis/variasi sampah	95
Gambar 4.22. Suhu pada berbagai posisi <i>thermocouple</i> pada pembakaran sampah campuran	97
Gambar 4.23. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran sampah kain katun.....	99
Gambar 4.24. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran sampah plastik polietilen.....	99
Gambar 4.25. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran sampah kertas HVS	99
Gambar 4.26. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran campuran sampah basah 20%, kain katun 40%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20%	100
Gambar 4.27. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran campuran sampah basah 20%, kain katun 20%, plastik polietilen 40% dan kertas HVS 20%	100
Gambar 4.28. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran campuran sampah basah 20%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 40%	101

Gambar 4.29. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran campuran sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20%	101
Gambar 4.30. Tahapan proses pembakaran sampah kain katun pada laju pasokan oksigen 0,5 l/menit	103
Gambar 4.31. Tahapan proses pembakaran sampah kain katun pada laju pasokan oksigen 1,0 l/menit	104
Gambar 4.32. Tahapan proses pembakaran sampah kain katun pada laju pasokan oksigen 1,5 l/menit	104
Gambar 4.33. Tahapan proses pembakaran sampah campuran dengan komposisi sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20% pada laju pasokan oksigen 0,5 L/menit	104
Gambar 4.34. Tahapan proses pembakaran sampah campuran dengan komposisi sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20% pada laju pasokan oksigen 1,0 L/menit	105
Gambar 4.35. Tahapan proses pembakaran sampah campuran dengan komposisi sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20% pada laju pasokan oksigen 1,5 L/menit	105
Gambar 4.36. Konsentrasi CO rata-rata pada gas hasil pembakaran sampah perkomponen.....	106
Gambar 4.37. Konsentrasi CO rata-rata pada gas hasil pembakaran campuran.....	107
Gambar 4.38. Konsentrasi CO ₂ rata-rata pada gas hasil pembakaran sampah kain katun.....	108
Gambar 4.39. Konsentrasi CO ₂ rata pada pembakaran sampah campuran sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20%	108
Gambar 4.40. Konsentrasi NO _x pada gas hasil pembakaran sampah perkomponen	110
Gambar 4.41. Konsentrasi NO _x pada gas hasil pembakaran sampah campuran	110
Gambar 4.42. Campuran sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20%	111
Gambar 4.43. Hubungan antara laju penurunan massa dengan suhu ruang	

bakar utama (titik-2) 50 cm dari dasar kolom pada pembakaran sampah perkomponen sampah kain katun.....	113
Gambar 4.44. Hubungan antara laju penurunan massa dengan suhu ruang bakar utama (titik-2) 50 cm dari dasar kolom pada pembakaran sampah perkomponen sampah plastik polietilen.....	114
Gambar 4.45. Hubungan antara laju penurunan massa dengan suhu ruang bakar utama (titik-2) 50 cm dari dasar kolom pada pembakaran sampah perkomponen sampah kertas HVS.....	114
Gambar 4.46. Hubungan antara laju penurunan massa dengan suhu ruang bakar utama (titik-2) 50 cm dari dasar kolom pada pembakaran sampah campuran (sampah basah 40%, kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20%).	115
Gambar 4.47. Laju perubahan massa sampah selama proses pembakaran sampah perkomponen dengan laju pasokan pasokan udara 1,0 l/menit.....	117
Gambar 4.48. Suhu pembakaran pada berbagai posisi <i>termocouple</i> pada pembakaran sampah plastik polietilen dengan laju pasokan udara 1,0 l/menit.....	118
Gambar 4.49. Suhu pembakaran pada berbagai posisi <i>termocouple</i> pada pembakaran sampah kertas dengan laju pasokan udara 1,0 l/menit.....	118
Gambar 4.50. Konsentrasi CO pada gas hasil pembakaran dengan menggunakan udara laju pasokan 1 l/menit	119
Gambar 4.51. Konsentrasi CO ₂ pada gas hasil pembakaran dengan menggunakan udara laju pasokan 1 l/menit	120
Gambar 4.52. Konsentrasi NO ₂ pada gas hasil pembakaran dengan menggunakan udara laju pasokan 1 l/menit	120
Gambar 4.53. Tahapan Proses Pembakaran Sampah Plastik Polietilen dengan pasokan udara 1,0 l/menit	122
Gambar 4.54. Tahapan Proses Pembakaran Sampah kertas dengan pasokan udara 1,0 l/menit	122

Gambar 4.55. Hubungan antara waktu pembakaran dengan laju kalor pembakaran pada pembakaran sampah perkomponen dengan laju oksigen 0,5 l/menit	125
Gambar 4.56..Hubungan antara waktu pembakaran dengan laju kalor pembakaran pada pembakaran sampah perkomponen laju oksigen 1,0 l/menit.....	127
Gambar 4.57..Hubungan antara waktu pembakaran dengan laju kalor pembakaran pada pembakaran sampah perkomponen laju oksigen 1,5 l/menit.....	127
Gambar 4.58..Hubungan antara waktu pembakaran dengan laju kalor pembakaran pada pembakaran sampah campuran 1,0 l/menit	127
Gambar 4.59..Kalor pada gas hasil pembakaran sampah kain katun dengan pasokan oksigen 1 l/menit	128
Gambar 4.60.Kalor pada gas hasil pembakaran sampah plastik polietilen dengan pasokan oksigen 1 l/menit.....	128
Gambar 4.61.Kalor pada gas hasil pembakaran sampah kertas dengan pasokan oksigen 1 l/menit.....	129
Gambar 4.62. Kalor pada gas hasil pembakaran sampah campuran kain katun 40%, plastik polietilen 20% dan kertas 20%, sampahbasah 20%, dengan pasokan oksigen 1 l/menit	129
Gambar 4.63. Kalor pada gas hasil pembakaran sampah campuran kain katun 20%, plastik polietilen 40% dan kertas 20%, sampahbasah 20%, dengan pasokan oksigen 1 l/menit	130
Gambar 4.64. Kalor pada gas hasil pembakaran sampah campuran kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 40%, sampahbasah 20%, dengan pasokan oksigen 1 l/menit	130
Gambar 4.65. Kalor pada gas hasil pembakaran sampah campuran kain katun 20%, plastik polietilen 20% dan kertas HVS 20%, sampahbasah 40%, dengan pasokan oksigen 1 l/menit	131
Gambar 4.66. Kalor pada gas hasil pembakaran sampah kertas HVS dengan pasokanudara 1 l/menit.....	131
Gambar 4.67. Kalor pada gas hasil pembakaran sampah plastik polietilen dengan pasokan udara 1 l/menit.....	132
Gambar 4.68. Skematik alternatif-1 pemanfaatan energi kalor pada gas hasil	

pembakaran insinerator	138
Gambar 4.69. Skematik alternatif-2 pemanfaatan energi kalordpada gas hasil pembakaran insinerator.....	138
Gambar 4.70. Hubungan antara Q input dan Output.....	143
Gambar 4.71. Gambaran Selisih Q input dan Q output masing-masing jenis sampah .	144
Gambar 4.72. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran kain katun.....	148
Gambar 4.73. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran sampah plastik polietilen	149
Gambar 4.74. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran sampah plastik polietilen	149
Gambar 4.75. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran sampah campuran kain katun 40%, plastik polietilen 20%, kertas 20%, sampah basah 20%	150
Gambar 4.76. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran sampah campuran kain katun 20%, plastik polietilen 40%, kertas 20%, sampah basah 20%	150
Gambar 4.77. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran sampah campuran kain katun 20%, plastik polietilen 40%, kertas 20%, sampah basah 20%	151
Gambar 4.78. Perbandingan profil suhu hasil percobaan dengan simulasi model pada pembakaran sampah campuran kain katun 20%, plastik polietilen 20%, kertas 20%, sampah basah 40%	151