TUGAS AKHIR – RE 184804

STUDI KINERJA INSINERATOR PENGOLAH LIMBAH CAIR B3 DI INDUSTRI KIMIA

ANITA FITRIANA
03211640000106

Dosen Pembimbing
Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – RE 184804

STUDI KINERJA INSINERATOR PENGOLAH LIMBAH CAIR B3 DI INDUSTRI KIMIA

Anita Fitriana
03211640000106

Dosen Pembimbing
Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT – RE 184804

STUDY OF THE PERFORMANCE OF HAZARDOUS WASTE WATER PROCESSING INCINERATOR IN CHEMICAL INDUSTRY

Anita Fitriana
03211640000106

Supervisor
Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si.,M.T

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI KINERJA INSINERATOR PENGOLAH LIMBAH CAIR B3 DI INDUSTRI KIMIA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ANITA FITRIANA
NRP. 03211640000106

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T.
NIP. 19751018 200501 1 003

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

Studi Kinerja Insinerator Pengolah Limbah Cair B3 di Industri Kimia

Nama Mahasiswa : Anita Fitriana
NRP : 03211640000106
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si., MT

ABSTRAK

Limbah yang dihasilkan industri dapat berupa limbah cair, padat, gas dan sifat B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Penelitian dilakukan pada PT X, suatu industri kimia yang dalam produksinya menghasilkan limbah berupa limbah cair B3 dan limbah minyak dan untuk mengolah limbahnya PT X menggunakan *Waste Liquid Incinerator System* (WLIS). Insinerator dilengkapi dengan alat pengendali pencemaran udara berupa *wet scrubber* dan *quencher*.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis metode penurunan kadar emisi limbah cair industri dengan proses pembakaran dalam insinerator. Pada instalasi *Waste Liquid Incinerator System* (WLIS) di PT X dilakukan tes kinerja insinerator dengan beberapa variabel antara lain, beban *waste water* umpan insinerator dan komposisi campuran antara *waste wate*r A, B dan C. Analisa dilakukan dengan metode statistik keterkaitan variabel bebas dan terikat dengan Microsoft Excel. Juga dilakukan simulasi kinerja WLIS dengan *software* ChemCAD, serta analisa kualitatif pengaruh parameter operasi insinerator terhadap kinerja dan emisi gas pada *stack* insinerator.

Hasil analisa data penelitian menunjukkan bahwa dengan kenaikan beban insinerator (4,5 ton/jam - 5,5 ton/jam) akan menaikkan efisiensi kinerja insinerator sampai beban 5 ton/jam kemudian cenderung menurun sampai dengan beban 5,5 ton/jam. Hal ini ditunjukkan oleh konsumsi energi spesifik (kcal/kg) terhadap perubahan beban insinerator, dimana efisiensi insinerator adalah berbanding terbalik terhadap konsumsi energi spesifik. Sementara emisi gas CO cenderung naik dengan naiknya beban insinerator. Nilai emisi gas CO terbesar adalah sebesar 91 mg/Nm^3 yaitu pada

saat kondisi beban 5,5 ton/jam. Emisi gas CO terbesar tersebut terjadi pada kondisi *lambda* 1,36 dan rasio antara limbah cair SAP/AA 0,5. Sementara untuk emisi CO paling rendah adalah sebesar 1 yaitu pada kondisi beban 4,5 ton/jam, kondisi *lambda* 1,3 dan rasio antara limbah cair SAP/AA 0,9.

Kata kunci: B3, Emisi, Insinerator, Limbah Cair, Limbah Industri

Study of the Performance of the Hazardous Waste Water Processing Incinerator in Chemical Industry

Name of Student : Anita Fitriana
NRP : 03211640000106
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si., MT

ABSTRACT

Waste produced by industry can be in the form of liquid, solid and gas and has the characteristics of hazardous and toxic material. This research conducted at PT X, a chemical industry which in its production produces waste in the form of hazardous liquid waste and also waste oil. To treat their waste, PT X is using a Waste Liquid Incinerator System (WLIS). The incinerator is equipped with air pollution control devices such as wet scrubber and quencher.

This research aims to analyze the method of reducing the level of emissions of industrial waste water by combustion processes in incinerator. In the installation of the Waste Liquid Incinerator (WLIS) at PT X, an incinerator performance test were tested with several variables, namely the incinerator waste water feed load and the mixed composition of waste water A, B and C. Analysis was carried out using statistical methods related to independent and dependent variables with Microsoft Excel, simulation of WLIS performance with ChemCAD software, and qualitative analysis of the effect of incinerator operating parameters on gas performance and emissions on the incinerator stack.

The result of this research show that with the increase of incinerator load (4.5 tons/hour - 5.5 tons/hour) the efficiency of incinerator performance increased to a load of 5 tons/hour and then tends to decreased up to a load of 5.5 tons/hour. This is indicated by the specific energy consumption (kcal/kg) of the incinerator load changes, where the efficiency of the incinerator is inversely related to the specific energy consumption. While CO gas emissions tend

to increased with the increasing of the incinerator load. The highest value of CO gas emissions is 91 mg/Nm^3, which occured at 5.5 tons/hour load conditions, lambda condition at 1.36 and the ratio between SAP/AA wastewater was in 0.5. Whereas the lowest CO emission is 1 which is 4.5 tons/hour load condition, lambda condition at 1.3 and the ratio of SAP/AA wastewater was in 0.9.

Keywords: hazardous waste, emission, incinerator, waste water, industrial waste

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis diberi kelancaran selama proses pembuatan Tugas Akhir dengan judul Studi Kinerja Insinerator Pengolah Limbah Cair B3 di Industri Kimia. Tugas Akhir dilaksanakan untuk memenuhi syarat menyelesaikan studi pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK ITS. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih, kepada:

1. Mama dan Papa yang selalu memberi dukungan semangat dan doa.
2. Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si. M.T., selaku dosen pebimbing dalam tugas akhir saya. Saya mengucapkan terimakasih atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
3. Prof. Ir. Joni Hermana, MscES, PhD., Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, MT., dan Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso selaku dosen pengarah yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan perbaikan bagi penulis pada tugas akhir ini.
4. Bapak Daryanto, Ibu Nina, dan Mas Alifuddin dari PT X yang telah membantu terlaksananya tugas akhir ini.
5. Kedua saudara penulis yang selalu memberi dukungan semangat.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan, khususnya angkatan 2016 yang telah memberikan semangat dalam melaksanakan penelitian.
7. Teman-teman sebimbingan yang selalu bersama dan memberikan semangat untuk menyusun tugas akhir ini.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini telah diupayakan sebaik-baiknya, namun masih banyak kekurangan yang harus diperbaki. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna hasil yang lebih baik.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK……i
KATA PENGANTAR……v
DAFTAR ISI……vii
DAFTAR GAMBAR……..ix
DAFTAR TABEL……xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian..... 2
1.4 Manfaat Penelitian..... 3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Limbah Cair Industri 5
2.2 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) 5
2.3 Pengelolaan Limbah B3 6
2.3.1 Pengurangan..... 6
2.3.2 Penyimpanan 6
2.3.3 Pengumpulan 6
2.3.4 Pengangkutan 6
2.3.5 Pengolahan 7
2.4 Prinsip Pembakaran 7
2.4.1 Udara Berlebih (*Excess Air)*..... 8
2.4.2 Campuran Udara – Bahan Bakar..... 8
2.5 Prinsip Kerja Insinerator 11
2.5.1 Proses Insinerator 12
2.6 Pencemaran Udara 13
2.6.1 Karbon Monoksida (CO) 14
2.6.2 Nitrogen Oksida (NO_x) 14
2.6.3 Karbon Dioksida (CO_2)..... 14
2.6.4 Sulfur Oksida (SOx) 15
2.6.5 Partikulat Matter (PM) 15
2.7 Baku Mutu Emisi Insinerator 15
BAB III METODE PENELITIAN 17
3.1 Gambaran Umum Wilayah Studi..... 17
3.2 Prosedur Penelitian 18
3.3 Ide Penelitian..... 22
3.4 Tahap Pendahuluan 22

3.5 Tahap Pengumpulan Data 22
3.6 Tahap Pengolahan Data 23
3.6.1 Analisis Uji Statistik 23
3.6.2 Simulasi WLIS Berbantuan Komputer 25
3.6.3 Validasi Model 28
3.6.4 Analisis Kinerja Insinerator dan Emisi.....29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Data dan Hasil Pengukuran 31
4.1.1 Data Limbah Cair (*Waste Water*).....31
4.1.2 Data Limbah Minyak (*Waste Oil*) 35
4.1.3 Data Gas Alam *(Natural Gas)* dan Kondisi WLIS ...36
4.1.4 Data Hasil Pengukuran Operasi WLIS.....36
4.2 Analisis Data.....43
4.2.1 Analisis Kinerja / *Performance* dari Insinerator.....43
4.2.2 Analisa Kinerja WLIS dengan Simulasi berbantuan Komputer (*Computer Aided Design*/CAD) 50
4.2.3 Analisis Emisi Gas 56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....61
5.1 Kesimpulan.....61
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA.....63
BIOGRAFI PENULIS 83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan antara Emisi yang Dihasilkan vs. *Lambda* 10
Gambar 2.2 Proses Insinerator 12
Gambar 3.1 Proses Pengolahan Limbah B3 di PT X 19
Gambar 3.2 Kerangka Penelitian 21
Gambar 3.3 Tampilan Pilihan Regresi pada *Microsoft Excel* ... 24
Gambar 3.4 Tampilan Hasil Regresi 24
Gambar 3.5 Tampilan Pilihan Satuan 25
Gambar 3.6 Tampilan Pilihan Komponen 27
Gambar 3.7 Tampilan *K-Value Options* 28
Gambar 4.1 (a)-(c) *Lambda* vs. CO pada *Flue Gas* Beban 4, 5 dan 5,5 ton/jam 46
Gambar 4.2 Konsumsi Energi Spesifik vs Beban Insinerator .. 48
Gambar 4.3 Konsumsi Energi Spesifik vs Rasio Limbah SAP/AA Berbagai *Load* Insinerator..... 50
Gambar 4.4 Simulasi WLIS dengan *Software* ChemCAD 51
Gambar 4.5 Proses Pembakaran di *Burner* Insinerator 54
Gambar 4.6 Profil Penukar Kalor Gas dan Air 55
Gambar 4.7 Perbandingan Kadar Gas CO pada tiap *Load* Insinerator 57
Gambar 4.8 Komposisi Emisi Gas Sebelum dan Sesudah *Scrubber* Hasil Simulasi ChemCAD..... 58
Gambar 4.9 (a)-(c) Rasio Limbah Cair SAP/AA vs Emisi CO Beban 4, 5 dan 5,5 ton/jam..... 60

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Air Fuel Ratio* Masing-Masing Reaksi 9
Tabel 2.2 Baku Mutu Emisi Insinerator 16
Tabel 3.1 Rincian Data yang Diperlukan..... 23
Tabel 3.2 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi 25
Tabel 4.1 Data Hasil Analisis Limbah Cair *Cleaning* AA dan Ester 31
Tabel 4.2 Data Hasil Analisis Limbah Cair SAP Plant 33
Tabel 4.3 Data Hasil Analisis Limbah Cair AA Plant 34
Tabel 4.4 Data Operasional WLIS dengan Berbagai Parameter Operasi pada Load 4,5 t/h 37
Tabel 4.5 Data Operasional WLIS dengan Berbagai Parameter Operasi pada Load 5 t/h..... 38
Tabel 4.6 Data Operasional WLIS dengan Berbagai Parameter Operasi pada Load 5,5 t/h 40
Tabel 4.7 Ringkasan Analisis Regresi Berganda tiap *Load* 43
Tabel 4.8 Energi Spesifik Proses Insinerasi pada Berbagai Beban Insinerator..... 48
Tabel 4.9 Neraca Massa Insinerator 54
Tabel 4.10 Komposisi Gas Keluar Cerobong Hasil Simulasi ... 55

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia merujuk pada suatu industri yang terlibat dalam produksi zat kimia. Industri ini dalam produksinya menggunakan proses kimia, termasuk reaksi kimia untuk membentuk zat baru, pemisahan berdasarkan sifat seperti kelarutan atau muatan ion, distilasi, transformasi oleh panas, serta metode-metode lain. Industri kimia terlibat dalam pemrosesan bahan mentah yang diperoleh melalui penambangan, pertanian, dan sumber-sumber lain menjadi material, zat kimia, serta senyawa kimia yang dapat berupa produk akhir atau produk antara yang akan digunakan di industri lain.

PT X sebagai salah satu industri kimia di Indonesia memproduksi *Acrylic Acid, Buthyl Acrylate, Ethyl Hexyl Acrylate* dan *Superabsorbent Polymer*. Industri ini dalam memproduksi bahan-bahan kimia tersebut tentunya menghasilkan limbah. Industri kimia pada umumnya mempunyai tiga jenis buangan yang dapat mencemari lingkungan. Limbah industri dapat dikategorikan dalam beberapa jenis limbah, yaitu padat, cair, dan gas. Pencemar-pencemar yang dihasilkan industri kimia tersebut kemungkinan besar mempunyai karakteristik berbahaya dan beracun. Bahkan menurut Sulaiman (2016), pabrik kimia menghasilkan limbah berupa limbah padat dan *sludges*, sebagian sangat berbahaya berbentuk senyawa organik bersifat racun dan logam berat.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun atau disingkat limbah B3 adalah sisa suatu usaha/kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang karena sifat, konsentrasi dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, dan kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain (Sidik dan Damanhuri, 2012). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), sumber limbah B3 dapat dibagi seperti limbah B3 dari sumber tidak spesifik yaitu limbah B3 yang pada umumnya berasal bukan dari proses utamanya, tetapi berasal dari kegiatan

pemeliharaan alat, pencucian, pencegahan korosi (inhibitor korosif) pelarut kerak dan pengemasan, limbah B3 dari sumber spesifik yaitu limbah B3 sisa proses suatu industri atau kegiatan yang secara spesifik dapat ditentukan, sedangkan limbah B3 lain seperti bahan kimia kedaluwarsa, tumpahan, bekas kemasan, dan buangan produk tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan atau tidak dapat dimanfaatkan kembali maka suatu produk menjadi limbah B3 yang memerlukan pengelolaan limbah B3 lainnya. Dalam memusnahkan limbah B3, salah satu cara yang dapat digunakan yaitu dengan teknik insinerasi.

Teknologi insinerasi sebagai salah satu proses dalam mengolah limbah B3 adalah alternatif yang menarik dalam teknologi pengolahan limbah. Insinerasi mengurangi volume dan massa limbah hingga sekitar 90% (volume) dan 75% (berat). Proses insinerasi menghasilkan energi dalam bentuk panas. Proses insinerasi memiliki beberapa kelebihan dimana sebagian besar dari komponen limbah B3 dapat dihancurkan dan limbah berkurang dengan cepat. Selain itu, insinerasi memerlukan lahan yang relatif kecil.

Berdasarkan penjelasan-penjelasan diatas, penerapan pengolahan limbah cair dengan insinerator seperti yang dilakukan di PT X adalah sangat tepat. Berdasarkan kondisi tersebut, dalam penelitian ini dilakukan studi pengaruh variabel-variabel operasi yang ditentukan terhadap kinerja insinerator dan tingkat emisi yang dihasilkan di PT X.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

a. Bagaimana pengaruh beban dan komposisi limbah cair terhadap tingkat emisi yang dihasilkan insinerator PT X.
b. Bagaimana pengaruh beban dan komposisi limbah cair terhadap efisiensi insinerator PT X.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

a. Menetukan pengaruh beban dan komposisi limbah terhadap tingkat emisi.
b. Menentukan efisiensi kinerja insinerator.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai tambahan informasi pengoperasian insinerator yang lebih baik.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

a. Pengambilan data dilakukan dari *Waste Liquid Incinerator System* (WLIS) PT X.
b. Data yang digunakan berupa data sekunder.
c. Lingkup analisis adalah analisa kinerja Insinerator dan analisa kandungan emisi dari *stack* insinerator dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku.
d. Parameter emisi yang dianalisis yaitu karbon monoksida (CO).

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri

Limbah industri adalah limbah yang dihasilkan oleh aktivitas industri yang mencakup semua bahan yang dianggap tidak berguna selama proses pembuatan. Beberapa contoh limbah industri adalah pelarut kimia, cat, amplas, produk kertas, produk sampingan industri, logam, dan limbah radioaktif (Godswill dan Somtochukwu, 2017). Sedangkan air limbah industri menurut Moertinah (2010) adalah air yang berasal dari rangkaian proses produksi suatu industri, dengan demikian maka air limbah tersebut dapat mengandung komponen yang berasal dari proses produksi tersebut dan apabila dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan yang benar tentunya akan dapat mengganggu badan air penerima.

Menurut Siagian (2014), secara umum limbah cair industri dapat dikategorikan sebagai berikut:

a) Limbah sanitasi, contoh: dari buangan WC/kamar mandi.
b) Limbah proses, berasal dari proses pengolahan bahan dalam operasi.
c) Limbah yang berasal dari air pendingin (*cooling water*).
d) Limbah dari ketel (*boiler*).
e) Limbah yang berasal dari operasi pembersihan peralatan.

Sifat-sifat kimia suatu limbah cair dinyatakan senyawa organik dan anorganik, protein, karbohidrat, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), keasaman (pH), alkalinitas, kandungan senyawa toksik misalnya sianida dan logam berat, seperti Ni, Pb, Hg, Cd dan lain-lain.

2.2 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun mendefinisikan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sebagai zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup,

dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.

2.3 Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan limbah B3 adalah rangkaian kegiatan yang mencakup reduksi, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan penimbunan limbah B3 (PP Nomor 101 Tahun 2014).

2.3.1 Pengurangan

Pengurangan adalah kegiatan penghasil limbah B3 untuk mengurangi jumlah dan/atau mengurangi sifat bahaya dan/atau racun dari limbah B3 sebelum dihasilkan dari suatu kegiatan atau usaha. Pengurangan dapat dilakukan melalui substitusi bahan, modifikasi proses atau penggunaan bahan yang ramah lingkungan (PP 101 Tahun 2014).

2.3.2 Penyimpanan

Penyimpanan merupakan kegiatan penampungan sementara limbah B3 sampai jumlah yang mencukupi untuk diangkut atau diolah. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan efisien ekonomis. Penyimpanan dalam jumlah yang banyak dapat dikumpulkan di pengumpulan limbah. Limbah cair maupun limbah padat dapat disimpan, untuk limbah cair dapat dimasukkan ke dalam drum dan disimpan dalam gudang yang terlindungi dari panas dan hujan. Limbah B3 bentuk padat/lumpur disimpan dalam bak penimbun yang dasarnya dilapisi dengan lapisan kedap air (Ciptaningayu,2017).

2.3.3 Pengumpulan

Berdasarkan PP Nomor 101 Tahun 2014, pengumpulan limbah B3 merupakan kegiatan mengumpulkan limbah dari penghasil limbah B3 sebelum diserahkan kepada pemanfaat limbah B3, pengolah limbah B3, dan/atau penimbun limbah B3.

2.3.4 Pengangkutan

Apabila tidak ditangani di tempat, limbah B3 diangkut ke sarana penyimpanan, pengolahan/pembuangan akhir. Sarana pengangkutan yang dipakai mengangkut limbah B3: truk, kereta api dan kapal.. Untuk limbah B3 cair jumlah besar digunakan tanker sedangkan limbah B3 padat digunakan *lugger box* dari baja. (Padmaningrum,2010).

2.3.5 Pengolahan

Menurut PP 101 Tahun 2014, pengolahan limbah B3 adalah kegiatan untuk mengurangi dan/atau menghilangkan sifat bahaya dan/atau sifat racun. Kegiatan ini wajib dilakukan oleh setiap orang yang menghasilkan limbah B3. Bila penghasil limbah B3 tidak mampu melakukan pengolahan sendiri maka pengolahan limbah B3 diserahkan kepada pengolah limbah B3. Pengolahan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara termal, stabilisasi dan solidifikasi dan/atau cara lain sesuai dengan perkembangan teknologi.

2.3.5.1 Proses Termal

Proses termal adalah proses untuk mengurangi volume dan / atau toksisitas limbah organik dengan memaparkannya pada suhu tinggi di lingkungan terkontrol yang dirancang untuk mendorong perusakan material. Ketika aliran limbah terkena suhu dari 800ºF ke 3000ºF (430-1530ºC), limbah cenderung terurai menjadi bentuk yang lebih sederhana dan berkurang kadar beracun nya. Secara umum, proses termal terdiri dari insinerator suhu tinggi, sistem pirolisis, boiler, dan proses industri (Freeman et al, 1987).

2.4 Prinsip Pembakaran

Pembakaran adalah oksidasi bahan bakar secara cepat yang disertai dengan produksi panas atau panas dan cahaya. Proses pembakaran juga dapat diartikan sebagai reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara. Hasil utama pembakaran adalah karbon dioksida dan uap air serta energi panas. Sedangkan hasil pembakaran yang lain adalah karbon monoksida, abu (*ash*), NOx, atau SOx, tergantung dari jenis bahan bakarnya (Triwibowo, 2013).

Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya akan menghasilkan CO_2, seluruh unsur H menghasilkan H_2O dan seluruh unsur S menghasilkan SO_2. Sedangkan pembakaran tak sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen seluruhnya tidak menjadi gas CO_2. Keberadaan CO pada hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung tidak sempurna (Almu dkk, 2014).

Pembakaran sempurna atau tidak sempurna (indikator efisiensi pembakaran) adalah perhitungan seberapa baik peralatan membakar bahan bakar tertentu, ditunjukkan dalam

persen. Efisiensi pembakaran sempurna akan mengekstraksi semua energi yang tersedia dalam bahan bakar. Namun, efisiensi pembakaran 100% tidak dapat dicapai secara realistis. Proses pembakaran umum menghasilkan efisiensi 10 hingga 95%. Perhitungan efisiensi pembakaran mengasumsikan pembakaran bahan bakar lengkap dan didasarkan pada tiga faktor: (1) kimia dari bahan bakar; (2) temperatur dari gas stack; dan (3) persentase oksigen atau CO_2 berdasarkan volume setelah pembakaran (Speigh, 2010).

2.4.1 Udara Berlebih (*Excess Air)*

Udara berlebih atau *excess air* sering dinyatakan dengan rasio udara. Rasio udara adalah perbandingan antara udara pembakaran aktual dengan udara pembakaran teoritis. *Excess air* dapat diketahui dengan cara mengukur kadar oksigen (O_2) pada gas buang dengan *gas analizer* dan data hasil pengukuran digunakan untuk menghitung rasio udara dengan persamaan berikut (Winarto, 2010) :

$$\text{Rasio Udara} = \frac{O_2}{(21 - O_2)} \quad \text{.....(2.1)}$$

2.4.2 Campuran Udara – Bahan Bakar

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain bahan bakar, udara (oksigen), kalor dan reaksi kimia. Selain itu, perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang juga penting dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung memengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil produk proses pembakaran. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung rasio campuran bahan bakar dan udara antara lain, AFR (*Air Fuel Ratio*), FAR (*Fuel Air Ratio*) dan rasio ekivalen.

- Rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR)

  Metode ini merupakan metode yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar

pada suatu titik tinjau. Secara simbolis AFR dihitung sebagai: (Firmansyah, 2008)

$$\text{AFR} = \frac{m_a}{m_f} = \frac{M_{aN_a}}{M_{fN_f}} \quad \text{.....(2.2)}$$

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dikatakan kaya bahan bakar.

Setiap senyawa memiliki nilai AFR stoikiometrik yang berbeda-beda. Berikut adalah nilai AFR stoikiometrik dari beberapa senyawa.

Tabel 2.1 *Air Fuel Ratio* Masing-Masing Reaksi

No	Senyawa	*Air Fuel Ratio* Stoikiometrik
1	Methana	19,1
2	*Acrylic Acid*	6,33
3	*Acetic Acid*	4,48
4	*Acetildehyde*	2,61
5	Sulfur	1,00
6	*Maleic Anhydride*	4,76

- Rasio bahan bakar-udara (*Fuel Air Ratio*/FAR)
  Rasio bahan bakar-udara merupakan kebalikan dari AFR yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{FAR} = \frac{m_f}{m_a} = \frac{M_{fN_f}}{M_{aN_a}} \quad \text{.....(2.3)}$$

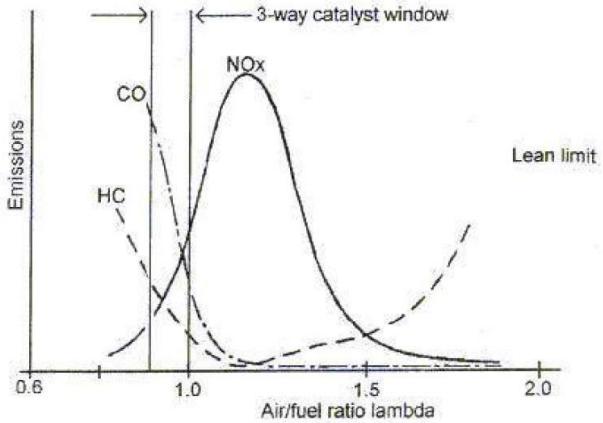
- Rasio ekivalen (*Equivalent Ratio*, ϕ)
  Metode ini termasuk juga metode yang umum digunakan. Rasio ekivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometrik dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar-udara (FAR) aktual dengan rasio bahan bakar-udara (FAR) stoikiometrik.

$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a} = \frac{FAR_a}{FAR_s} \quad \text{.....(2.4)}$$

Jika,

- Φ > 1 terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture)*
- Φ < 1 campurannya disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- Φ = 1 merupakan campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna)

Menurut (Hochgreb, 1998) *Air fuel equivalence* ratio ʎ (Φ = 1/ʎ) mempengaruhi suhu gas dan konsentrasi gas dalam gas yang terbakar. Suhu tertinggi terjadi di sekitar nilai stoikiometrik dimana emisi NO memuncak pada saat *lean condition* (Φ < 1). Jika hal ini digambarkan dengan grafik akan terlihat pada Gambar 2.1. Pada Gambar 2.1 menunjukan area dimana *lambda* < 1, *lambda* = 1 (stoikiometri) dan *lambda* lebih besar > 1 dan hubungannya dengan emisi hasil pembakaran yang terbentuk seperti HC, CO dan NO_x secara umum.



Gambar 2.1 Hubungan antara Emisi yang Dihasilkan vs. *Lambda*
Sumber: Hien (2002) dalam ChangChun dan Haeng Muk (2016)

Metode penentuan *lambda* yang optimum dapat dilakukan dengan melakukan *modelling* terhadap komposisi bahan bakar yang akan digunakan (Pitel dan Mizak, 2011).

2.5 Prinsip Kerja Insinerator

Insinerasi adalah proses rekayasa yang menggunakan dekomposisi termal melalui oksidasi termal pada suhu tinggi (biasanya 900°C atau lebih besar) untuk menghancurkan fraksi organik limbah dan mengurangi volume. Secara umum, limbah yang mudah terbakar atau limbah dengan kandungan organik yang signifikan dianggap paling tepat untuk pembakaran. Namun, secara teknis setiap limbah dengan fraksi organik berbahaya, sekecil apa pun, setidaknya merupakan kandidat fungsional untuk insinerasi (Opelt, 1987).

Jenis limbah yang dapat dimusnahkan dengan alat insinerator adalah limbah infeksius dari rumah sakit, limbah Industri yang terbagi atas limbah padat, obat kadaluarsa pada industri farmasi, produk sisa pada industri makanan dan lain-lain dan limbah *sludge* dari proses pengolahan limbah cair *(Wastewater Treatment Sludge)* dari berbagai jenis industri (Rizal dan Nurhayati, 2017).

Menurut European Comission (2006), Insinerasi terbagi atas beberapa sub sektor, yaitu:

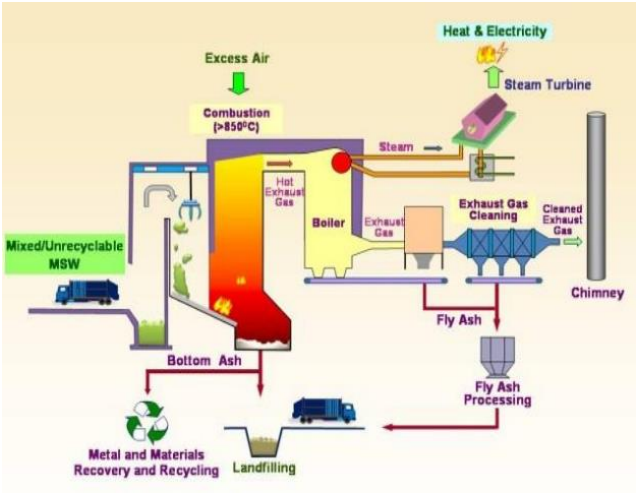
a) Insinerasi limbah kota campuran
   Insinerator limbah kota campuran mengolah limbah rumah tangga dan domestik, campuran yang sebagian besar belum diolah yang terkadang juga termasuk limbah industri dan komersial.
b) Insinerasi limbah *pretreated*
   Instalasi yang mengolah limbah yang telah dikumpulkan secara selektif, pretreated, atau diolah dengan cara tertentu, sehingga karakteristik limbah berbeda dari limbah campuran.
c) Insinerasi limbah berbahaya
   Insinerasi ini biasanya terdapat di lokasi industri (yang biasanya menerima beragam jenis limbah).
d) Insinerasi *sewage sludge*
   Di beberapa lokasi sewage sludge di insinerasi secara terpisah dari limbah lainnya.

e) Insinerasi limbah klinis
instalasi khusus untuk pengolahan limbah klinis, biasanya yang terdapat di rumah sakit dan lembaga layanan kesehatan lainnya. Insinerasi ini ada sebagai fasilitas terpusat atau di lokasi rumah sakit individu dan lain-lain.

Faktor yang mempengaruhi proses insinerasi, yaitu komposisi atau jenis limbah, waktu insinerasi, suhu dan berat limbah (Hidayah, 2007).

2.5.1 Proses Insinerator

Sampah atau limbah yang telah dikumpulkan, dimasukkan ke dalam insinerator untuk dilakukan proses insinerasi. Gas yang berasal dari proses pembakaran pada suhu 900 – 1000 ºC dikirim ke *heat exchanger* untuk produksi uap yang kemudian digunakan dalam siklus termal untuk produksi energi. Gas yang keluar dari *heat exchanger* dengan temperatur 200 – 250ºC kemudian dikirim ke alat pembersih gas untuk mengurangi zat pencemar (debu, gas asam dan lain-lain) dan setelah itu dikeluarkan ke atmosfer melalui cerobong (Nidoni, 2017).



Gambar 2.2 Proses Insinerator
Sumber: Nidoni, 2017

Gambar 2.2 menunjukkan rangkaian proses dari insinerator, yang kemudian dijabarkan sebagai berikut:

- *Combustion*

  Sampah terus menerus dimasukkan ke dalam tungku oleh *overhead crane*. Limbah tersebut dibakar dalam tungku yang dirancang khusus pada suhu tinggi >850ºC selama lebih dari 2 detik dengan pasokan udara yang cukup untuk memastikan pembakaran limbah yang sempurna dan untuk mencegah pembentukan dioksin dan karbon monoksida.
- *Boiler / Steam Turbine*

  Panas dari pembakaran digunakan untuk menghasilkan uap dalam *boiler*. Uap kemudian menggerakkan turbin yang digabungkan ke generator listrik. Kelebihan panas yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk tujuan lain, misalnya panas untuk kolam renang.
- Pembersihan Gas Buang

  Gas buang dari boiler biasanya dibersihkan dengan sistem kontrol polusi canggih berikut untuk memastikan kepatuhan dengan standar lingkungan yang ketat.
- *Dry* atau *Wet Scubber*

  Untuk menyemprotkan bubuk kapur atau bubur halus yang diatomisasi ke dalam gas buang panas untuk menetralkan dan menghilangkan gas asam yang tercemar (sulfur oksida, hidrogen klorida).
- Injeksi Karbon Aktif

  Untuk mengadsorpsi dan menghilangkan logam berat dan polutan organik (misalnya Dioxin) dalam gas buang.
- *Bag House Filter*

  Untuk menyaring dan menghilangkan debu dan partikel halus.
- *Selective Non-Catalytic Reduction.*

  Untuk menghilangkan nitrogen oksida (yang merupakan penyebab kabut asap kota) dengan bereaksi dengan amonia atau urea.

2.6 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau tercampurnya unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfir yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan sehingga

menurunkan kualitas lingkungan. Dengan demikian akan terjadi gangguan pada kesehatan manusia. Terdapat dua jenis sumber pencemaran udara, yang pertama adalah pencemaran akibat sumber alamiah (*natural sources*) seperti letusan gunung berapi dan yang kedua berasal dari kegiatan manusia (*anthropogenic sources*) seperti yang berasal dari transportasi, emisi pabrik, dan lain-lain (Simanjuntak,2007). Zat-zat pencemar udara utama yang berasal dari kegiatan manusia adalah sebagai berikut:

2.6.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) adalah suatu gas yang tak berwarna, tidak berbau dan juga tidak berasa. Gas CO dapat berbentuk cairan pada suhu di bawah -192°C. Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara, berupa gas buangan. Selain itu gas CO dapat pula terbentuk dari proses industri. Secara alamiah gas CO juga dapat terbentuk, walaupun jumlahnya relatif sedikit, seperti gas hasil kegiatan gunung berapi, proses biologi dan lain-lainnya (Damara dkk, 2004). CO adalah hasil dari pembakaran tidak sempurna dengan bahan bakar fosil dan gas CO dikeluarkan dari kendaraan bermotor dan pembakaran biomassa, terutama pembakaran limbah tanaman (Boedisantoso dkk, 2018).

2.6.2 Nitrogen Oksida (NO_x)

Oksida nitrogen (NOx) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri atas nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). NO terdapat di udara dalam jumlah lebih besar daripada NO_2. Pembentukan NO dan NO_2 adalah reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO_2. Komposisi nitrogen dalam udara adalah 78%. NO_2 merupakan gas yang toksik bagi manusia. Pada kadar 50-100 ppm dapat menyebabkan peradangan paru-paru untuk paparan selama satu menit (Budianto, 2008).

2.6.3 Karbon Dioksida (CO_2)

Udara merupakan campuran beberapa gas yang perbandingannya tidak tetap. Dalam udara terdapat oksigen, karbondioksida dan ozon. Gas CO_2 dalam udara murni berjumlah 0,03%, bila melebihi toleransi dapat mengganggu pernapasan.

Selain itu, gas CO_2 yang terlalu berlebihan di bumi dapat mengikat panas matahari sehingga suhu bumi panas. Pemanasan global di bumi akibat CO_2 disebut juga sebagai efek rumah kaca (Ghaziyad, 2015).

2.6.4 Sulfur Oksida (SOx)

Emisi SOx terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar, selain itu kandungan sulfur dalam pelumas, juga menjadi penyebab terbentuknya SOx emisi. Struktur sulfur terbentuk pada ikatan *aromatic* dan *alkyl*. Dalam proses pembakaran sulfur dioxide dan sulfur trioxide terbentuk dari reaksi :

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$
$$SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow SO_3$$

Kandungan SO_3 dalam SOx sangat kecil sekali yaitu sekitar (1-5)%. Gas yang berbau tajam tapi tidak berwarna ini dapat menimbulkan serangan asma, gas ini pun apabila bereaksi di atmosfer akan membentuk zat asam (Simanjuntak,2007).

2.6.5 Partikulat Matter (PM)

Partikel debu dalam emisi gas buang terdiri dari bermacam-macam komponen. Bukan hanya berbentuk padatan tapi juga berbentuk cairan yang mengendap dalam partikel debu. Pada proses pembakaran debu terbentuk dari pemecahan unsur hidrokarbon dan setelah proses oksidasi. Dalam debu tersebut terkandung debu sendiri dan beberapa kandungan metal oksida. Dalam kelanjutan proses ekspansi di atmosfir, kandungan metal dan debu tersebut membentuk partikulat. Beberapa unsur kandungan partikulat adalah karbon, SOF (*Soluble Organic Fraction*), debu, SO_4, dan H_2O (Simanjutak, 2007).

2.7 Baku Mutu Emisi Insinerator

Baku mutu yang digunakan dalam memantau emisi insinerator yang mengolah limbah B3 adalah Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan nomor 3 tahun 1995. Berikut adalah parameter-parameter nya:

Tabel 2.2 Baku Mutu Emisi Insinerator

Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm^3)
Partikel	50
Sulfur Dioksida (SO_2)	250
Nitrogen Dioksida (NO_2)	300
Hidrogen Flourida (HF)	10
Karbon Monoksida (CO)	100
Hidrogen Klorida (HCl)	70
Total Hidrokarbon (sebagai CH_4)	35
Arsen (As)	1
Kadmium (Cd)	0,2
Kromium (Cr)	1
Timbal (Pb)	5
Merkuri (Hg)	0,2
Talium (Tl)	0,2
Opasitas	10%

Sumber: KEP-03/BAPEDAL/09/1995

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Studi

PT X merupakan perusahaan kimia yang memproduksi *Acrylic Acid* (AA), *Acrylic Ester* (AE) seperti *Ethyl Acrylate* (EA), *Butyl Acrylate* (BA*), 2-Ethylhexyl Acrylate* (2EHA) dan *Super Absorbent Polymer* (SAP). Limbah yang dihasilkan dari hasil proses produksi bahan kimia tersebut, yaitu limbah cair yang bersifat B3 dan juga limbah minyak sebagai sisa produksi dari proses distilasi. Industri kimia ini dalam mengolah limbahnya menggunakan *Waste Liquid Incenerator* (WLIS) dan *Nippon Shokubai Liquid Catalitic* (NS-LC) *System.*

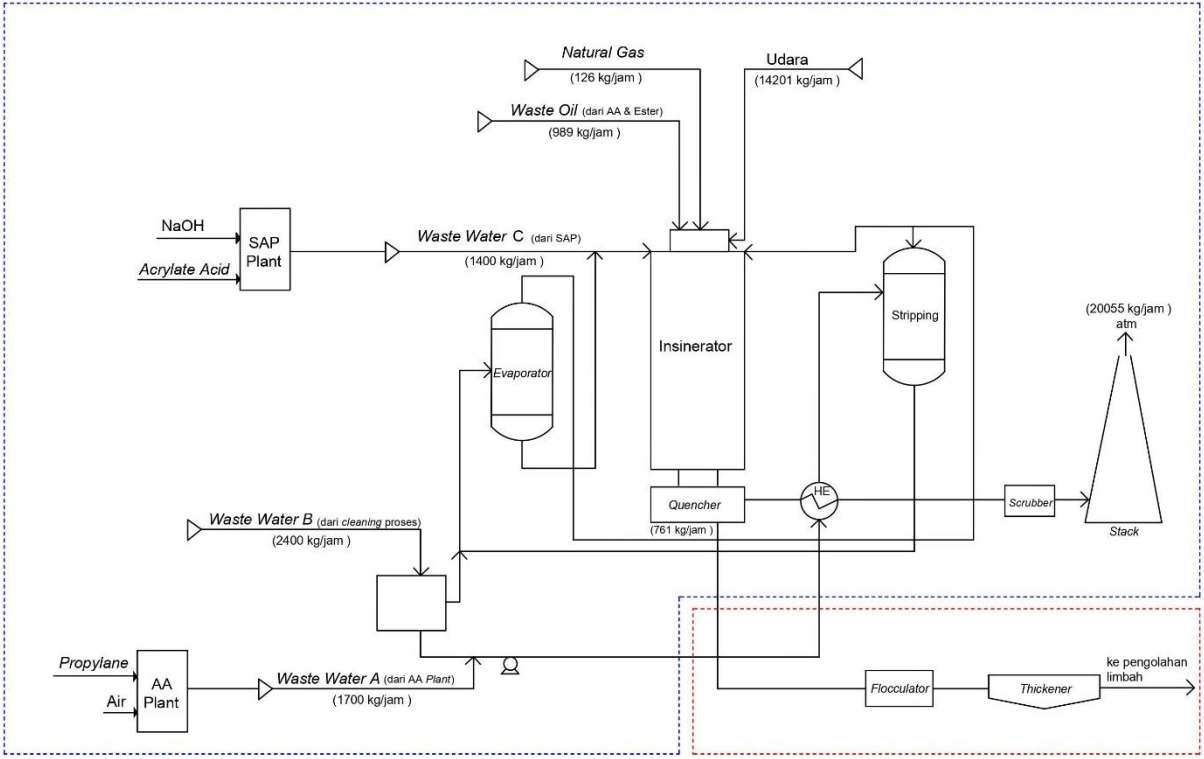
Penelitian ini dilaksanakan pada unit *waste liquid insinerator system* (WLIS) di PT X. WLIS adalah unit pengolah limbah cair yang dimana umpan air limbah akan dibakar langsung di dalam sebuah insinerator pada suhu 985°C, sehingga zat-zat organik yang terdapat didalam air limbah akan terurai membentuk gas karbon dioksida (CO_2) dan uap air, yang dapat dibuang langsung ke atmosfer setelah melewati bejana berisi air (*quencher*) dan alat penangkap debu. Diagram alir WLIS di PT X dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Beberapa komponen proses pengolahan limbah pada WLIS pada Gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

- *Waste wate*r A
  Merupakan air limbah yang berasal dari proses *Acrylic Acid* (AA) *Plant.*
- *Waste water* B
  Merupakan air limbah yang berasal dari *cleaning Acrylic Acid* (AA) *Plant* dan *Ester Plant.*
- *Waste water* C
  Merupakan air limbah dari *Super Absorbent Plant* (SAP)
- Insinerator
  Insinerator memiliki *down-fired cylindrical brick-lined furnace* yang dilengkapi dengan pembakar bahan bakar yang terpasang di atasnya.
- *Quencher*
  Gas hasil pembakaran yang disuntikkan ke dalam larutan didinginkan sampai sekitar 92°C melalui kontak langsung dengan larutan yang terdapat dalam *quencher* tersebut dan gas yang padam keluar dari pendingin ke *scrubber.*
- *Scrubber*
  Gas buang pembakaran yang telah melewati pemanas sirkulasi insinerator kemudian masuk ke *scrubber* untuk menghilangkan debu.

3.2 Prosedur Penelitian

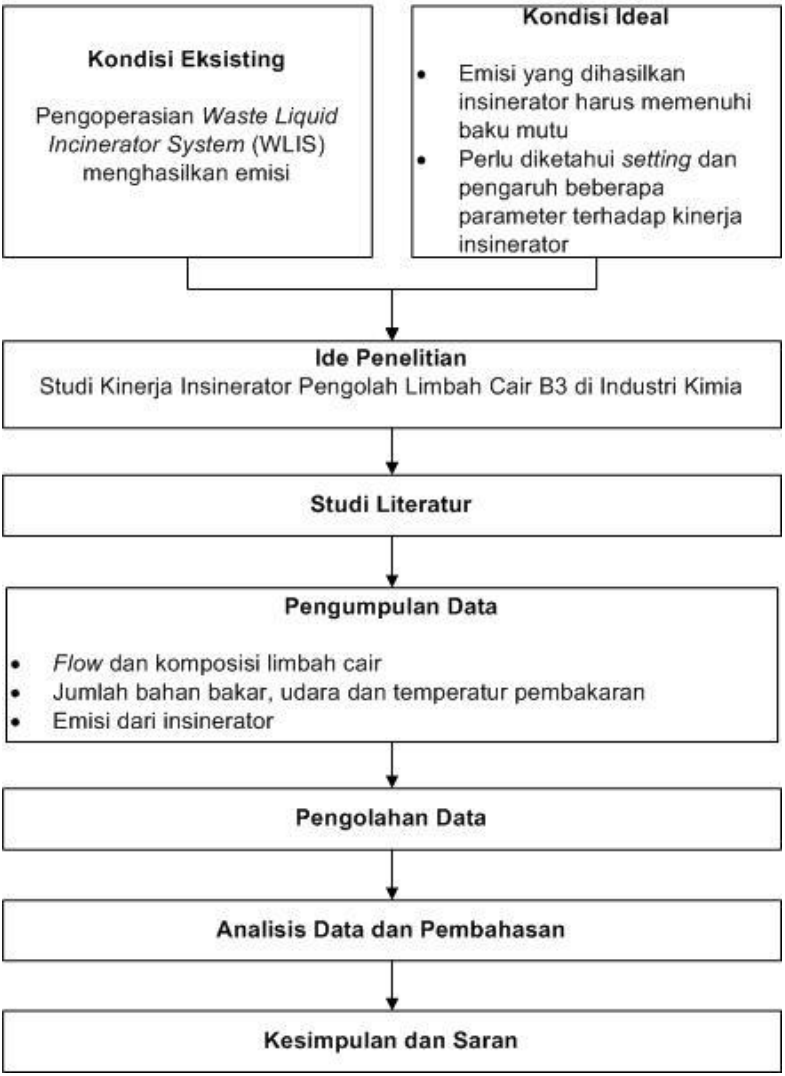
Susunan prosedur penelitian ini di dasarkan pada tujuan penelitian. Tujuan tersebut dikembangkan menjadi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data lapangan, analisis kinerja insinerator dan tingkat emisi. Prosedur penelitian dapat di lihat pada Gambar 3.2.



Keterangan: ---------- ruang lingkup penelitian

Gambar 3.1 Proses Pengolahan Limbah B3 di PT X

halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 3.2 Kerangka Penelitian

3.3 Ide Penelitian

Ide penelitian berasal dari industri kimia yang menghasilkan multi produk seperti *Acrylic Acid, Acrylic Ester* dan *Superabsorbent Polimer* juga menghasilkan limbah. PT X salah satu industri kimia di Indonesia yang menghasilkan limbah cair yang termasuk kedalam limbah B3 dan dalam jumlah yang cukup besar, dalam mengolah limbah nya memilih menggunakan teknologi insinerasi. Namun untuk mendapatkan emisi yang minimal yang memenuhi nilai ambang batas yang ditentukan dan kinerja insinerator yang optimal, maka perlu diketahui *setting* dan pengaruh beberapa parameter terhadap kinerja insinerator dan emisi yang dihasilkan.

3.4 Tahap Pendahuluan

A. Kajian Literatur yang dilakukan antara lain :

- Limbah cair industri
- Pengolahan limbah B3
- Teknologi insinerasi
- Prinsip pembakaran
- Pencemaran udara ambien
- Sumber emisi dari cerobong
- *Software* ChemCAD

B. Melakukan perizinan untuk kepentingan data pada pihak PT X

3.5 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan adalah berupa data sekunder. Data sekunder di dapatkan dari operasioanal *test run* WLIS di PT X. Data yang diambil berupa kondisi operasi WLIS mulai dari tahun 2018 hingga 2020 dan dalam kondisi yang normal atau sedang tidak terjadi gangguan apapun pada WLIS. Pengambilan data dilakukan dengan menetapkan kondisi operasi sesuai dengan variabel penelitian (beban limbah cair umpan insinerator dan komposisi limbah cair). Kemudian menunggu (± 3 jam) hingga keadaan insinerator stabil terlebih dahulu. Setelah itu dapat dicatat kondisi operasi (kebutuhan bahan bakar dan kebutuhan udara) dan juga hasil emisi insinerator. Rincian data yang diperlukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rincian Data yang Diperlukan

No	Jenis Data	Metode Pengambilan Data	Asal Data
1	*Flow* dan komposisi limbah cair	Data Sekunder	PT X
2	Jumlah bahan bakar, udara pembakaran dan temperatur	Data Sekunder	PT X
3	Emisi CO, SO_2, NO_2, dan partikulat dari insinerator	Data Sekunder	PT X

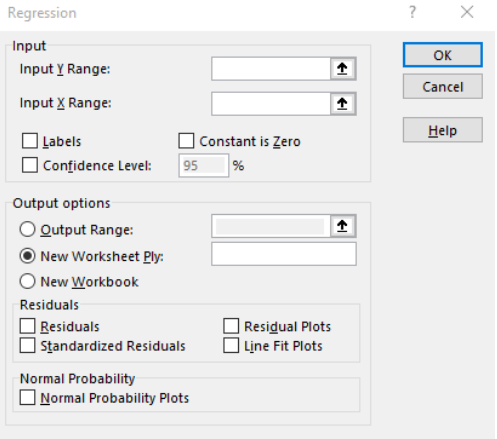
3.6 Tahap Pengolahan Data

Setelah melakukan pengamatan dan pengukuran terhadap parameter-parameter penelitian maka dilakukan analisis dan pembahasan mengenai pengaruh masing-masing variabel penelitian terhadap nilai dari setiap parameter. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu beban limbah dan komposisi limbah. Analisis data dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh beban dan komposisi limbah terhadap kinerja dari insinerator serta pengaruhnya terhadap emisi. Analisis dan pembahasan penelitian ini didasarkan pada teori di tinjauan pustaka dan hasil pengamatan yang didapatkan.

3.6.1 Analisis Uji Statistik

Analisis statistik yang digunakan untuk pengolahan data adalah analisis regresi berganda. Analisis regresi berganda adalah regresi linier dengan satu variabel respon dan beberapa variabel prediktor. Analisis regresi linier berganda ini dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Berikut adalah langkah-langkah nya:

1. Memasukkan data-data berupa kondisi operasi WLIS dan juga data emisi dalam tabel pada *Microsoft Excel.*
2. Klik menu *Tool* kemudian klik *Data Analysis* kemudian pilih *Regression*.
3. Selanjutnya akan muncul Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Tampilan Pilihan Regresi pada *Microsoft Excel*

Isi Input Y *Range* dengan variabel yang menjadi variabel terikat (*dependent variable*). Kemudian isikan Input X *Range* dengan variabel yang menjadi variabel bebas (*independent variable*). Semua variabel bebas diblok sekaligus. Setelah mengisi Y dan X *Range* maka akan muncul tampilan regresi seperti Gambar 3.4 berikut:

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,99973201							
R Square	0,99946409							
Adjusted R Square	0,99785635							
Standard Error	0,02750836							
Observations	5							
ANOVA								
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*			
Regression	3	1,41124329	0,470414	621,6578	0,029472611			
Residual	1	0,00075671	0,000757					
Total	4	1,412						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95,0%*	*Upper 95,0%*
Intercept	17,2099602	0,403732652	42,62712	0,014932	12,08005045	22,33987	12,08005045	22,33986993
ʎ	-7,69603091	0,452537285	-17,0064	0,037391	-13,44606231	-1,9459995	-13,4460623	-1,945999512
waste oil	0,00196049	0,000839588	2,335068	0,257591	-0,008707483	0,0126285	-0,00870748	0,012628473
natural gas	0,00108891	0,000837055	1,300882	0,41722	-0,009546879	0,0117247	-0,00954688	0,011724699

Gambar 3.4 Tampilan Hasil Regresi

Sementara itu, menurut Soegiyono (2008) untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi adalah sebagai berikut:

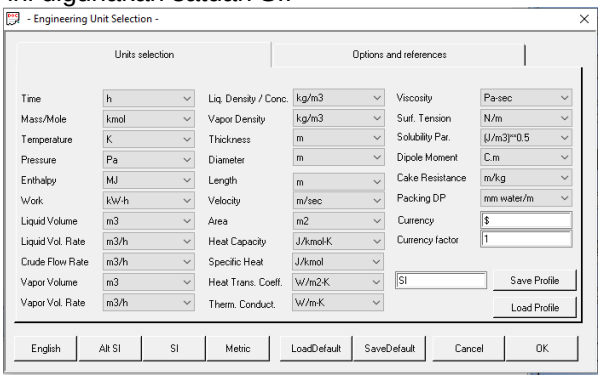
Tabel 3.2 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0 – 0,19	Sangat rendah
0,2 – 0,39	Rendah
0,4 – 0,59	Sedang
0,6 – 0,79	Kuat
0,8 – 1	Sangat kuat

3.6.2 Simulasi WLIS Berbantuan Komputer

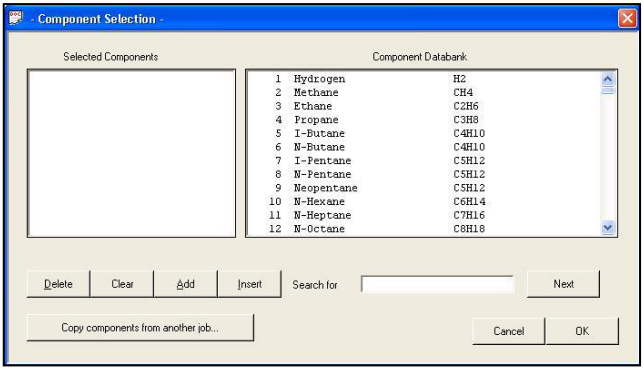
Untuk memudahkan melakukan analisa kondisi operasi WLIS maka pada penelitian ini dilakukan simulasi berbantuan komputer dengan menggunakan ChemCAD. Simulasi bertujuan untuk menganalisa kinerja sistem WLIS maupun komponen peralatan utama seperti *furnace* insinerator, *quencher*, evaporator, kolom stripping dan *scrubber* berdasarkan kondisi desain peralatan.

1. Menentukan satuan operasi yang akan digunakan selama pembuatan model. Untuk mengubah satuan, klik *Format* pada *Menu Bar* lalu pilih *Engineering Unit.* Pada penelitian ini digunakan satuan SI.



Gambar 3.5 Tampilan Pilihan Satuan

2. Menggambar diagram alir. Untuk keperluan ini, kita akan bekerja menggunakan simbol-simbol yang terdapat dalam *Main Palette***.** Simbol-simbol ini menyatakan UnitOp yang dapat digunakan.
    - Selanjutnya adalah menempatkan simbol umpan (*feed*). Pilih symbol yang kita inginkan dengan meng-klik kiri simbol yang dimaksud. Tampilan *Main Palette* dan *Sub-Palette* akan hilang dan muncullah kotak kecil berwarna putih dan bergaris tepi hitam (□) pada layar. Kotak kecil ini adalah kursor yang berfungsi untuk menempatkan simbol yang dimaksud pada posisi yang kita inginkan. Gerakkan kursor menuju bagian kiri layar, kalu klik kiri tombol *mouse*. Simbol *feed* akan muncul pada layar dan *Main Palette* akan muncul kembali. Dengan ini, penempatan simbol *feed* telah selesai.
    - Menempatkan *Heat exchanger*. Tunjuk simbol *heat exchanger* pada *Main Palette*, klik kanan kotak tersebut hingga muncul sub-simbol yang berhubungan dengan *heat exchanger.*
    - Menempatkan produk*.* Simbol terakhir yang akan definisikan adalah aliran produk. Simbol produk pada ChemCAD berupa anak panah berwarna ungu/biru.
3. Memilih komponen. Pada tahap ini adalah mengidentifikasi seluruh komponen yang terlibat dalam proses ini. Klik *Thermophysical* pada *Menu Bar* dan pilih *Component List*. Atau klik *shortcut* pada *Tool Bar*, maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini:



Gambar 3.6 Tampilan Pilihan Komponen

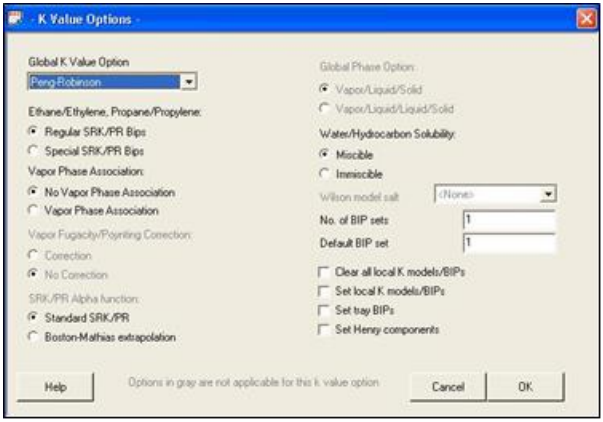
Kolom sebelah kiri (*Selected Component Area*) merupakan daftar komponen yang kita pilih, sedangkan kolom sebelah kanan (adalah daftar komponen yang tersedia dalam bank data ChemCAD. Prosedur memilih komponen adalah sebagai berikut :

- Pilih/klik komponen pada kolom bank data, lalu tekan tombol [*Add*]. Bisa juga dengan cara *double*-klik komponen yang dimaksud. Maka komponen tersebut akan muncul pada komlom sebelah kiri.
- Pilih/klik kembali komponen-komponen selanjutnya dengan cara yang sama sampai semua komponen yang terlibat dalam proses ini terisi ke dalam kolom sebelah kiri.

4. Menentukan metode / sistem termodinamika

   Maksudnya adalah memilih metode untuk menghitung kesetimbangan fasa uap-cair - VLE atau kesetimbangan uap-cair-cair – VLLE (jika ada) yang biasa didefinisikan dengan K-value. Juga memilih metode untuk menghitung neraca energi yang didefinisikan dengan entalpi. Caranya dengan mengklik perintah *Thermophysical* pada *Menu bar* dan pilih *K-value options* untuk menentukan metode perhitungan kesetimbangan fasa uap-cair.

Cara lainnya (sebagai *shortcut*) adalah dengan meng-klik ikon K-Value dan untuk entaphi. Akan muncul tampilan sebagai berikut :



Gambar 3.7 Tampilan *K-Value Options*

5. Tahap berikutnya adalah mendefinisikan aliran umpan. Caranya dengan mengklik perintah *Specification*, lalu *Feed Stream* pada *Menu Bar* atau dengan *double*-klik pada aliran umpan yang ingin kita spesifikasikan atau dapat pula menggunakan ikon *shortcut* pada *Tool Bar*.
6. Memasukkan parameter peralatan. Caranya adalah dengan *double*-klik peralatan/UnitOp yang ingin dimasukkan parameternya.
7. Melakukan simulasi. Caranya dengan klik kiri perintah *Run* pada *Menu Bar* dan pilih *Run All* atau dengan meng-klik ikon shortcut pada *Tool Bar*. Artinya akan dilakukan simulasi *steady state* pada semua aliran dan UnitOp yang terlibat pada diagram alir ini.

3.6.3 Validasi Model

Setelah melakukan verifikasi pada model maka tahap terakhir yang dilakukan ialah validasi model. Agar model dapat dikatakan valid dan *reliabel*, maka model harus melalui proses

validasi. Pada prinsipnya validasi model adalah membandingkan data hasil monitoring langsung di lapangan dengan data hasil simulasi model (Soleiman, 2008). Dalam penelitian ini validasi menggunakan perbandingan hasil simulasi model dengan data primer hasil pengukuran di lapangan.

3.6.4 Analisis Kinerja Insinerator dan Emisi

- Analisis kinerja

  Melakukan analisis kinerja insinerator dengan cara melihat besaran *lambda* insinerator. Air fuel equivalent ratio atau *lambda* (λ) adalah rasio AFR aktual terhadap stoikiometrik untuk campuran bahan bakar-udara. Untuk menghitung nilai *lambda* dapat pula menggunakan data hasil pengukuran oksigen di lapangan, rumus nya adalah sebagai berikut:

  $$\textit{Lambda}\ (\lambda) = 1 + \frac{O2}{21 - O2} \quad \text{.....(3.1)}$$

  Selain itu juga dilakukan perhitungan akan konsumsi energi spesifik nya. Konsumsi energi spesifik disini menunjukkan banyaknya bahan bakar (energi) yang diperlukan dalam membakar satu satuan berat limbah. Perhitungan energi spesifik didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

  1. *Waste oil* dan *natural gas* dihitung jumlah kalorinya (HHV) terlebih dahulu, yaitu dengan cara mengalikan beban *waste oil* dan *natural gas* yang dalam satuan (ton/jam) dengan masing-masing nilai kalori nya (kcal/kg).
  2. Menghitung nilai energi spesifik pada tiap-tiap *load*, yaitu dengan cara berikut:

     $$\text{Energi spesifik} = \frac{waste\ oil + natural\ gas\ (\text{kcal/jam})}{load\ (\text{kg/jam})} \quad \text{..... (3.2)}$$

- Analisis emisi

  Analisis emisi dilakukan dengan melihat tingkat emisi gas karbon monoksida (CO) yang dihasilkan pada berbagai beban insinerator pada kondisi yang sama (temperatur pembakaran, lambda). Selain itu dilihat pula bagaimana tingkat emisi CO yang dihasilkan pada komposisi *waste waster* yang berbeda-beda. Komposisi yang dibedakan, yaitu besaran perbandingan antara *waste water* SAP dan *waste water* AA.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Hasil Pengukuran

Data dalam penelitian ini adalah data sekunder yang merupakan data operasional *test run* WLIS. Data primer minor yang diperoleh selama di *Plant* PT X dan pengamatan langsung terhadap pola operasi akan dijadikan referensi tambahan pada penelitian ini. Data yg diambil dalam penelitian ini meliputi data limbah cair (*waste water*) dan limbah minyak (*waste oil*) yang dihasilkan dari proses *Acrylic Acid* (AA) *Plant* dan Ester serta proses *Super Absorbent Plant* (SAP). Data hasil pengukuran / karakterisasi limbah, bahan bakar, kinerja insinerator dan emisi gas adalah sebagai berikut:

4.1.1 Data Limbah Cair (*Waste Water*)

Insinerator PT X mengolah tiga macam limbah cair yang dibedakan berdasarkan sumber nya, yaitu limbah cair dari proses AA plant, limbah cair dari proses SAP dan limbah cair *cleaning* AA ditambah ester. Tiap-tiap limbah cair tersebut memiliki karakteristik nya yang berbeda. Berikut adalah hasil analisis dari masing-masing limbah cair:

4.1.1.1 Limbah Cair *Cleaning* AA dan Ester *Plant*

Limbah cair *cleaning* berasal dari *plant* AA dan Ester. Hasil analisis dari limbah cair *cleaning* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Analisis Limbah Cair *Cleaning* AA dan Ester

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
A	**Fisika**			
1	Suhu	^{o}C	40	34,7
2	Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	4.000	6.130
3	Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	400	700

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
B	**Kimia**			
1	pH	-	6,0 – 9,0	6,72
2	Besi terlarut (Fe)	mg/L	10	<0,00306
3	Mangan terlarut (Mn)	mg/L	5	<0,00289
4	Barium (Ba)	mg/L	3	<0,00419
5	Tembaga (Cu)	mg/L	3	<0,00864
6	Seng (Zn)	mg/L	10	<0,00851
7	Kromium total (Cr)	mg/L	1	<0,01
8	Kadmium (Cd)	mg/L	0,1	<0,00321
9	Raksa (Hg)	mg/L	0,005	<0,00180
10	Timbal (Pb)	mg/L	1	<0,0005
11	Stanum (Sn)	mg/L	3	<0,00451
12	Arsen (Ar)	mg/L	0,5	<0,4
13	Selenium (Se)	mg/L	0,5	<0,005
14	Nikel (Ni)	mg/L	0,5	<0,002
15	Kobalt (Co)	mg/L	0,6	<0,00430
16	Sianida (CN)	mg/L	0,5	<0,00442
17	Sulfida (H_2S)	mg/L	0,1	<0,005
18	Flourida (F)	mg/L	3	1,31
19	Klorin bebas (Cl_2)	mg/L	2	<0,01
20	Amoniak bebas (NH_3-N)	mg/L	5	<0,01
21	Nitrat (NO_3-N)	mg/L	30	1,4
22	Nitrit (NO_2-N)	mg/L	3	<0,002
23	BOD_5	mg/L	150	10.164
24	COD	mg/L	300	25.412
25	Surfactan anion (MBAS)	mg/L	10	0,006

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
26	Fenol	mg/L	1	19,000
27	Minyak & lemak	mg/L	-	53,3

Sumber: Laporan hasil pengujian PT. UNILAB

4.1.1.2 Limbah Cair SAP *Plant*

Limbah SAP berasal dari *Super Absorbent Plant*. Hasil analisis dari limbah cair SAP adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Hasil Analisis Limbah Cair SAP Plant

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
A	**Fisika**			
1	Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	Di bawah kondisi alami	9.150
2	Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	400	16
B	**Kimia**			
1	pH	-	6,0 – 9,0	4
2	Mangan terlarut (Mn)	mg/L	5	0,06
3	Tembaga (Cu)	mg/L	3	0,02
4	Sianida (CN)	mg/L	0,2	<0,005
5	Kromium (Cr)	mg/L	1	0,2
6	Amonia (NH_3-N)	mg/L	5	<0,01
7	Flourida (F)	mg/L	2	0,8
8	Klorin bebas (Cl_2)	mg/L	2	0,3
9	Nitrat (NO_3-N)	mg/L	30	<0,1
10	Nitrit (NO_2-N)	mg/L	3	<0,002

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
11	BOD_5	mg/L	125	1.278
12	COD	mg/L	250	5.556
13	Krom Heksavalen (Cr VI)	mg/L	0,5	<0,01

Sumber: Laporan hasil pengujian PT. UNILAB

4.1.1.3 Limbah Cair Proses AA Plant

Limbah cair AA berasal dari *plant Acrylic Acid*. Hasil analisis dari limbah cair AA adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Hasil Analisis Limbah Cair AA Plant

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
A	**Fisika**			
1	Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	Di bawah kondisi alami	100
2	Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	400	14
B	**Kimia**			
1	pH	-	6,0 – 9,0	4
2	Mangan (Mn)	mg/L	5	0,04
3	Tembaga (Cu)	mg/L	3	0,06
4	Sianida (CN)	mg/L	0,2	<0,005
5	Kromium (Cr)	mg/L	1	0,01
6	Amonia (NH_3-N)	mg/L	5	<0,01
7	Krom Heksavalen (Cr VI)	mg/L	0,5	<0,01
8	Flourida (F)	mg/L	2	<0,01
9	Klorin (Cl_2)	mg/L	2	<0,01

NO	PARAMETER	SATUAN	BAKU MUTU	HASIL
10	Nitrat (NO_3-N)	mg/L	30	0,2
11	Nitrit (NO_2-N)	mg/L	3	<0,002
12	BOD_5	mg/L	125	8.369
13	COD	mg/L	250	20.923

Sumber: Laporan hasil pengujian PT. UNILAB

Dari data-data hasil pengujian limbah cair di atas dapat diketahui bahwa limbah cair yang dihasilkan oleh PT X mengandung banyak logam berat dan juga memiliki kandungan organik yang sangat tinggi. Jika dibandingkan dengan baku mutu, yaitu KepmenLH No. 51 tahun 1995 tentang baku mutu untuk limbah cair bagi kegiatan industri, rata-rata parameter limbah cair PT X masih di bawah ambang batas, kecuali untuk parameter BOD_5 dan COD. Dari karakteristik limbah yang demikian itu, maka penggunaan tekonologi insinerasi dapat digunakan untuk mengolah limbah cair B3 dan limbah minyak yang ada.

4.1.2 Data Limbah Minyak (*Waste Oil*)

Limbah minyak (*waste oil*) merupakan salah satu limbah yang dihasilkan oleh PT X. Limbah ini merupakan produk samping dari proses *Acrylic Acid* (AA) *Plant* dan *Ester Plant*. Data mengenai limbah minyak diperlukan untuk keperluan analisis data, seperti nilai kalorinya dan komponen dari limbah minyak. Berdasarkan spesifikasi desain WLIS NCE, karakteristik dari *waste oil* tersebut adalah sebagai berikut:

- Densitas : sekitar 1000 kg/m^3
- LHV / nilai kalori : 6000 kkal/kg
- Komponen :
  - Cu = 0,035 – 0,06 wt%
  - Mn = 0,065 – 0,16 wt%
  - S = 0,5 wt%
  - N = 0,2 wt%
  - Organik = *balance*

4.1.3 Data Gas Alam *(Natural Gas)* dan Kondisi WLIS

Gas alam (*natural gas*) adalah bahan bakar yang digunakan dalam pengoperasian insinerator. Gas alam yang digunakan memiliki nilai kalori (GHV) adalah sebesar 9175 kcal/m^3. Data mengenai gas alam ini diperlukan untuk keperluan analisis data, seperti contohnya adalah data nilai kalori. Adapun komposisi detail dari gas alam seperti tercantum dalam lampiran.

Sementara untuk kapasitas desain maksimum dari insinerator adalah sebesar 6970 kg/jam, dan untuk detail spesifikasi data desain insinerator pada kondisi maksimal dan minimum seperti pada lampiran. Data mengenai kapasitas desain insinerator tersebut diperlukan untuk analisis data dan juga simulasi WLIS.

4.1.4 Data Hasil Pengukuran Operasi WLIS

Data primer yang didapatkan digunakan sebagai acuan dalam menkoreksi data-data sekunder. Berikut adalah data primer yang didapat

<u>Kondisi operasi</u>

Waste water AA Plant (AT 1603)	= 1,7 t/h
Waste water Cleaning AA+Ester *Plant* (AT 1602)	= 2,15 t/h
Waste water SAP *Plant*	= 1,6 t/h
Waste oil AA	= 138 kg/h
Waste oil Ester	= 620 kg/h
Natural Gas	= 258 Nm^3/h
Velocity	= 10,71 m/detik

<u>Emisi</u>

CO	= 10 mg/ m^3
CO_2	= 8,96 %
O_2	= 4,93 %
NO_2	= 306 mg/m^3
SO_2	= 41 mg/m^3
Partikulat	= 37 mg/Nm^3

Sementara untuk data sekunder yang diambil berasal dari waktu yang berbeda-beda. Berikut adalah data sekunder dari kondisi operasi WLIS dalam berbagai *load* berserta emisi nya.

Data Sekunder WLIS pada Load 4,5 t/h didapatkan dari *Distributed Control System* (DCS). Data operasional pada load 4,5 t/h dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Data Operasional WLIS dengan Berbagai Parameter Operasi pada Load 4,5 t/h

Description										Process data				
	AT-1603			AT-1602			SAP	AH-1601	Total	Supply	Supply	AFC1671A	AFC1671B	AFC1672
	Feed	Bott	F/B	Feed	Bott	F/B	WW	Feed	WW feed	Liq	Gas			
Standard	t/h	t/h	-	t/h	t/h	-		t/h	t/h	t/h	t/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Load 4,5 t/h														
15/Jan/2019 14:30	1,82	0,76	2,39	1,60	0,53	3,03	1,60	2,36	4,49	2,36	2,13	8672	1199	1050
04/Feb/2019 14:30	1,90	0,79	2,41	1,65	0,52	3,16	1,45	2,24	4,48	2,24	2,24	9143	1204	1023
26/Jun/2019 10:50	1,90	0,76	2,50	1,70	0,50	3,41	1,40	2,16	4,50	2,16	2,34	6790	1206	1452
01/Jul/2019 10:00	2,00	0,79	2,54	1,70	0,50	3,38	1,30	2,09	4,50	2,09	2,41	6911	1215	1441
11/Oct/2019 09:50	2,20	0,88	2,50	1,70	0,45	3,79	1,05	1,93	4,50	1,93	2,57	9301	1199	3

Tabel 4.4 (lanjutan)

		Fuel			WLIS emission gas							Particulate	
Total	Burning	NG	WO	WO	O2	CO2	CO	CO	NO2	SO2	BE	Measured	Corrected
Air flow	Temp		AA	AE	%	%	mg/Nm3	%	mg/Nm3	%	%	mg/Nm3	mg/Nm3
Nm3/h	degC	Nm3/h	kg/h	kg/h	-	-	<100	-	<250	<300	>99.99		
						CO2	CO						
10922	985	283	530	221	4,8	9,0	1	0,0001	98	23	100,00		
11371	985	181	590	348	6,5	8,1	14	0,0012	104	26	99,98		
9448	985	194	610	200	3,8	9,6	2	0,0002	197	54	100,00		
9567	985	209	599	200	4,7	9,1	11	0,0010	216	63	99,99		
10503	985	266	482	279	4,0	9,5	20	0,0018	179	51	99,98		

Data Sekunder WLIS pada Load 5 t/h didapatkan dari *Distributed Control System* (DCS). Data operasional pada load 5 t/h dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Data Operasional WLIS dengan Berbagai Parameter Operasi pada Load 5 t/h

Description										Process data				
	AT-1603			AT-1602			SAP	AH-1601	Total	Supply	Supply	AFC1671A	AFC1671B	AFC1672
	Feed	Bott	F/B	Feed	Bott	F/B	WW	Feed	WW feed	Liq	Gas			
Standard	t/h	t/h	-	t/h	t/h	-		t/h	t/h	t/h	t/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Load 5 t/h														
18/Mar/2019 14:00	2,40	0,88	2,71	1,70	0,50	3,37	1,40	2,28	5,00	2,28	2,71	8317	1203	1143
22/Mar/2019 15:45	2,28	0,83	2,73	1,72	0,50	3,44	1,50	2,33	5,00	2,34	2,67	7585	1200	1484
28/Mar/2019 10:00	2,20	0,82	2,69	1,70	0,50	3,43	1,60	2,42	5,00	2,42	2,59	7824	1201	1475
08/Apr/2019 10:30	2,30	0,92	2,51	1,70	0,50	3,39	1,50	2,42	5,00	2,42	2,58	8020	1195	1394
20/May/2019 10:00	2,50	0,99	2,52	1,65	0,47	3,51	1,34	2,33	5,01	2,33	2,69	7960	1206	1423
18/Nov/2019 10:00	2,45	0,98	2,50	1,60	0,45	3,56	1,40	2,38	5,00	2,38	2,62	7979	1206	1431
20/Nov/2019 14:00	2,40	0,96	2,50	1,60	0,45	3,55	1,45	2,41	5,00	2,41	2,59	7729	1198	1430
02/Dec/2019 10:10	2,40	0,96	2,50	1,60	0,40	4,00	1,40	2,36	5,00	2,36	2,64	8515	1202	1418
30/Dec/2019 10:00	2,60	1,04	2,50	1,60	0,40	3,99	1,20	2,24	5,00	2,24	2,76	7670	1198	1415
08/Jan/2020 14:50	2,30	0,92	2,50	1,60	0,45	3,55	1,55	2,47	5,00	2,47	2,53	7873	1193	1428
13/Jan/2020 10:20	2,25	0,90	2,50	1,70	0,45	3,78	1,50	2,40	5,00	2,40	2,60	7695	1202	1458
19/Mar/2020 13:40	2,50	1,00	2,50	1,80	0,55	3,29	1,25	2,25	5,00	2,25	2,75	8662	1200	1409
19/Mar/2020 15:50	2,43	0,97	2,50	1,80	0,47	3,81	1,25	2,22	5,00	2,22	2,78	8782	1194	1409

Tabel 4.5 (lanjutan)

		Fuel			WLIS emission gas							Particulate	
Total	Burning	NG	WO	WO	O2	CO2	CO	CO	NO2	SO2	BE	Measured	Corrected
Air flow	Temp		AA	AE	%	%	mg/Nm3	%	mg/Nm3	%	%	mg/Nm3	mg/Nm3
Nm3/h	degC	Nm3/h	kg/h	kg/h	-	-	<100	-	<250	<300	>99.99		
						CO2	CO						
10662	985	185	615	375	4,6	9,1	23	0,0020	96	23	99,98		
10270	985	177	619	341	3,9	9,5	9	0,0008	100	26	99,99		
10500	985	181	620	360	7,6	7,4	34	0,0030	108	29	99,96		
10609	985	181	750	300	7,4	7,6	14	0,0012	101	23	99,98		
10589	985	188	560	361	5,4	8,7	6	0,0005	205	57	99,99		
10615	985	220	551	320	4,2	9,3	25	0,0022	212	57	99,98		
10358	985	200	549	320	3,8	9,6	30	0,0026	218	63	99,97		
11135	950	236	548	210	5,5	8,6	59	0,0052	233	66	99,94		
10284	985	215	480	300	6,9	7,9	21	0,0018	4	0	99,98		
10494	985	339	450	189	6,0	8,3	4	0,0004	98	0	100,00	7	5
10356	985	315	500	169	8,1	6,6	56	0,0049	4	3	99,93		
11271	985	222	300	550	4,5	9,2	15	0,0013	133	29	99,99		
11385	985	231	299	550	5,6	8,6	7	0,0006	130	0	99,99		

Data Sekunder WLIS pada Load 5,5 t/h didapatkan dari *Distributed Control System* (DCS). Data operasional pada load 5,5 t/h dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Data Operasional WLIS dengan Berbagai Parameter Operasi pada Load 5,5 t/h

Description										Process data				
	AT-1603			AT-1602			SAP	AH-1601	Total	Supply	Supply	AFC1671A	AFC1671B	AFC1672
	Feed	Bott	F/B	Feed	Bott	F/B	WW	Feed	WW feed	Liq	Gas			
Standard	t/h	t/h	-	t/h	t/h	-		t/h	t/h	t/h	t/h	Nm3/h	Nm3/h	Nm3/h
Load 5,5 t/h														
06/Apr/2018 10:30	2,75	1,10	2,50	1,80	0,45	4,00	1,40	2,50	5,50	2,50	3,00	9507	1203	1221
06/Apr/2018 14:40	2,75	1,10	2,50	1,80	0,45	4,00	1,40	2,50	5,50	2,50	3,00	9502	1197	1223
09/Apr/2019 09:45	2,80	1,12	2,51	1,70	0,50	3,41	1,50	2,61	5,50	2,61	2,89	8163	1205	1412
10/Apr/2019 10:00	2,90	1,17	2,48	1,70	0,50	3,40	1,40	2,57	5,50	2,57	2,93	8061	1199	1495
12/Apr/2019 11:00	3,00	1,20	2,50	1,70	0,50	3,41	1,30	2,50	5,50	2,50	3,00	8550	1199	1502
29/Apr/2019 14:00	3,00	1,20	2,50	1,70	0,50	3,42	1,30	2,50	5,50	2,50	3,00	8264	1207	1436
21/Oct/2019 10:30	2,75	1,10	2,50	1,70	0,45	3,79	1,50	2,60	5,50	2,60	2,90	8794	1200	1428
04/Nov/2019 10:00	2,85	1,14	2,50	1,70	0,45	3,78	1,40	2,54	5,50	2,54	2,96	8886	1203	1405
20/Mar/2020 14:30	2,90	1,16	2,50	1,80	0,45	4,01	1,25	2,41	5,50	2,41	3,09	8997	1201	1407
06/Apr/2020 09:50	2,50	1,00	2,50	1,80	0,45	3,99	1,65	2,65	5,50	2,65	2,85	7935	1202	1417
20/Apr/2020 10:10	2,70	1,08	2,50	1,79	0,51	3,55	1,50	2,58	5,49	2,58	2,91	7617	1202	1416

Tabel 4.6 (lanjutan)

		Fuel			WLIS emission gas							Particulate	
Total	Burning	NG	WO	WO	O2	CO2	CO	CO	NO2	SO2	BE	Measured	Corrected
Air flow	Temp		AA	AE	%	%	mg/Nm3	%	mg/Nm3	%	%	mg/Nm3	mg/Nm3
Nm3/h	degC	Nm3/h	kg/h	kg/h	-	-	<100	-	<250	<300	>99.99		
						CO2	CO						
11931	985	199	720	478	8,2	7,2	5	0,0004	5	0	99,99		
11922	985	207	722	481	7,1	7,8	6	0,0005	6	0	99,99		
10781	985	178	750	299	5,6	8,6	91	0,0080	108	26	99,91		
10756	985	236	599	299	9,5	6,4	89	0,0078	100	29	99,88		
11251	985	255	650	300	3,1	10,0	36	0,0032	87	6	99,97		
10907	985	197	630	341	6,6	8,0	64	0,0056	12	20	99,93		
11422	985	379	529	220	4,1	9,4	14	0,0012	171	49	99,99	5	3
11495	985	364	522	250	4,1	9,4	4	0,0004	176	49	100,00		
11604	985	236	300	600	6,7	7,9	47	0,0041	127	29	99,95		
10553	985	266	600	270	2,7	10,2	9	0,0008	94	23	99,99		
10235	985	205	501	370	2,0	10,6	19	0,0017	98	26	99,98		

halaman ini sengaja dikosongkan

4.2 Analisis Data

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan analisis data operasi insinerator yang diperoleh secara statistik. Dari data-data yang ada, dilakukan *screening* awal terhadap data mana saja yang berpengaruh terhadap CO_2. Uji statistik yang dilakukan yaitu analisis regresi linier berganda. Analisis regresi linier berganda dalam statistik adalah salah satu metode untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variabel-variabel yang lain. Berikut ini adalah ringkasan dari hasil analisis regresi linear berganda yang dilakukan:

Tabel 4.7 Ringkasan Analisis Regresi Berganda tiap *Load*

***Load* (t/h)**	**R *square* CO_2**
4,5	0,9994
5	0,9920
5,5	0,9785

Dari Tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa rata-rata R square adalah 0,9 atau mendekati 1, yang menurut Soegiyono (2008) jika interval koefisien berada diatas 0,8 – 1 maka hubungan keterkaitan adalah sangat kuat. Dengan demikian menunjukkan bahwa terdapat adanya hubungan yang sangat kuat antara variabel-variabel bebas dengan variabel terikat. Variabel bebas dalam analisis ini adalah ʎ (*lambda*), *waste oil* dan *natural gas*. Sedangkan untuk variabel terikatnya adalah CO_2. Dari hasil analisis statistik tersebut, maka dilakukan analisis lanjutan terhadap variabel-variabel bebas tersebut pada berbagai beban insinerator dan komposisi limbah cairnya. Untuk hasil analisis regresi linier berganda dari tiap-tiap *load* insinerator tertera pada lampiran.

4.2.1 Analisis Kinerja / *Performance* dari Insinerator

4.2.1.1 Reaksi Pembakaran pada Insinerator

Pada proses pengolahan limbah di insinerator terjadi proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara. Bahan bakar yang digunakan pada insinerator ini adalah gas alam. Zat yang terkandung dalam limbah cair utamanya berupa zat organik

seperti: *acrylic acid, acetic acid, formic acid, acetaldehyde* dan sulfur. Reaksi pembakaran yang terjadi antara senyawa terkandung pada material limbah dan bahan bakar diantaranya adalah sebagai berikut:

Acryclic Acid : $C_3H_4O_2 + 3O_2 \rightarrow 3CO_2 + 2H_2$……..……(4.1)

Acetic Acid : $HC_2H_3O_2 + 2O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$ …….(4.2)

Acetaldehide : $2CH_3CHO + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 4H_2O$ ……....(4.3)

Formeic Acid : $2HCOOH + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$ ……. (4.4)

Methane : $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ dan

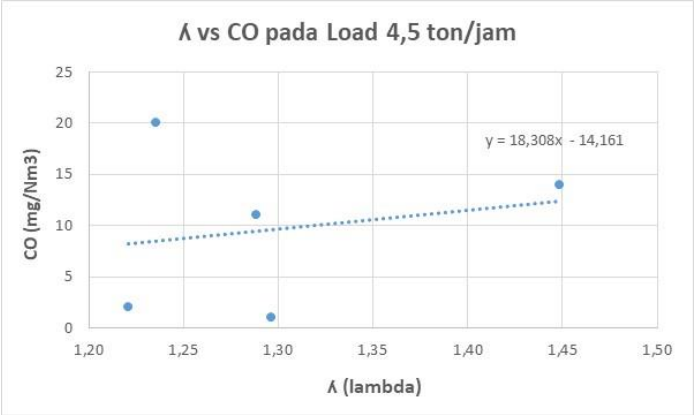
$4CH_4 + 5O_2 \rightarrow 2CO + 8H_2O + 2C$ ……...(4.5)

Sulfur : $S + O_2 \rightarrow SO_2$ ……..……(4.6)

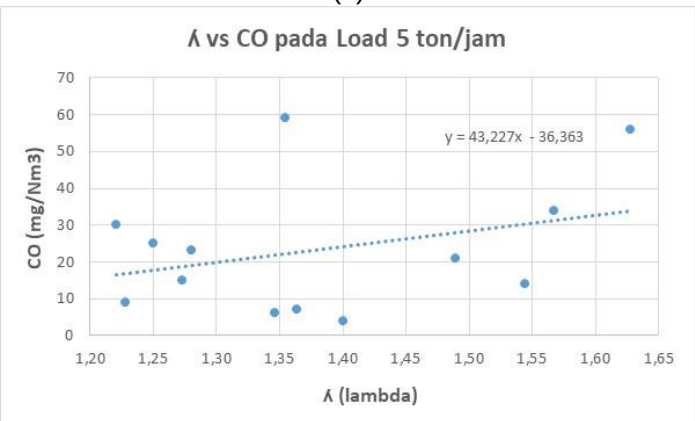
Air Fuel Ratio (AFR) atau rasio udara-bahan bakar menentukan apakah campuran itu mudah terbakar, berapa banyak energi yang dikeluarkan, dan berapa banyak polutan yang tidak diinginkan dihasilkan dalam reaksi. Berdasarkan hasil analisis data, AFR aktual pada penelitian ini di berbagai beban insinerator adalah berkisar 24 – 28.

Pada proses pembakaran, maka sangatlah penting untuk mengetahui kualitas pembakaran yang terjadi. Komponen utama dalam suatu pembakaran adalah komposisi bahan bakar dan udara/oksigen sebagai oksidan. Pembakaran yang baik akan terjadi pada komposisi antara udara dan bahan bakar (*air-fuel ratio*) yang optimal. *Air-fuel equivalent ratio* atau disebut juga dengan λ (*lambda*), adalah rasio AFR aktual terhadap stoikiometrik untuk campuran bahan bakar-udara. Untuk mengetahui besarnya *lambda* dari hasil pengukuran adalah dengan formula 3.1.

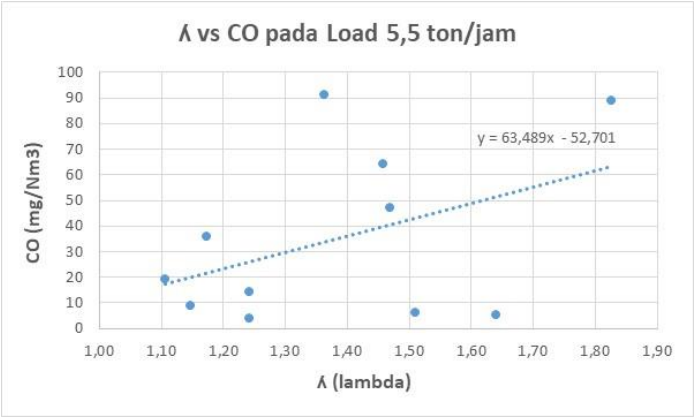
Dari hasil analisis data didapatkan bahwa *lambda* adalah berkisar pada angka 1,1 – 1,8, sedangkan untuk insinerator pengolah limbah cair didesain dengan lambda 1,25. Besarnya *lambda* tiap-tiap *load* insinerator (4,5; 5 dan 5,5 ton/jam) dan hubungan dengan CO yang terbentuk pada *flue gas* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:


Λ vs CO pada Load 4,5 ton/jam
y = 18,308x - 14,161
CO (mg/Nm3)
Λ (lambda)
25
20
15
10
5
0
1,20
1,25
1,30
1,35
1,40
1,45
1,50

(a)


Λ vs CO pada Load 5 ton/jam
y = 43,227x - 36,363
CO (mg/Nm3)
Λ (lambda)
70
60
50
40
30
20
10
0
1,20
1,25
1,30
1,35
1,40
1,45
1,50
1,55
1,60
1,65

(b)



(c)

Gambar 4.1 (a)-(c) *Lambda* vs. CO pada *Flue Gas* Beban 4, 5 dan 5,5 ton/jam

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa tren kenaikan *lambda* terhadap emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan pada berbagai beban insinerator menunjukkan kenaikan emisi CO. Tren fluktuasi emisi CO diatas dan dibawah *lambda* optimum, tren nya mengikuti dengan penelitian sebelumnya oleh Cho & He (2009), yang mengamati hasil emisi CO pada pembakaran di mesin pembakaran dalam dengan bahan bakar gas alam. Dimana dibawah nilai *lambda* optimum maka kenaikan emisi CO akan mengikuti formula ΔCO = 1,55 Δ*lambda*. Kemudian emisi CO akan berada pada nilai terendah pada saat *lambda* optimum, yaitu pada λ = 1,1. Namun selanjutnya emisi CO akan kembali meningkat ketika besaran *lambda* dinaikkan, tetapi peningkatan emisi CO pada nilai *lambda* diatas 1,1 tidak sebesar peningkatan emisi CO apabila dibawah 1,1.

Untuk besaran *lambda* optimum pada penelitian ini, di beban 4,5 ton/jam; 5 ton/jam; 5,5 ton/jam adalah sebesar 1,25. Lambda dalam hal ini tetap 1,25 karena jenis bahan bakar dan komposisi nya tetap. Pada kondisi λ = 1,25 tersebut emisi CO yang dihasilkan oleh pembakaran pada insinerator adalah minimum di berbagai variasi beban insinerator. Jika *lambda* dinaikkan diatas *lambda* optimumnya maka tren emisi CO pada *flue gas* akan

meningkat, sedangkan jika *lambda* dioperasikan dibawah *lambda* optimumnya, maka kenaikan emisi CO akan lebih tinggi.

Hasil penelitian oleh Schare (2008) yang mengamati emisi CO di pembakaran pada *burner*, mendapatkan bahwa *lambda* optimum terjadi pada kisaran 1,05 – 1,2. Sedangkan pada penelitian ini besaran *lambda* optimum lebih tinggi dari pada penelitian tersebut. Hal ini dikarenakan terdapat limbah *waste oil* yang berfungsi sebagai bahan bakar juga. Dimana dengan adanya bahan bakar campuran seperti itu, akan meningkatkan besaran *lambda* pada praktik pembakaran di lapangan, dibandingkan dengan bahan bakar gas murni (gas alam).

*Setting*an *lambda* yang diatas 1 berarti AFR aktual > AFR teoritis. Sehingga proses pembakaran terjadi pada kondisi miskin bahan bakar (*lean condition*). Kondisi *lambda* > 1, secara efisiensi pembakaran lebih efisien dibandingkan jika *lambda* < 1. Pada saat *lambda* kurang dari 1 maka pembakaran terjadi tidak sempurna karena terdapat bahan bakar yang tidak terbakar (*unburned fuel*). Sehingga efisiensi menjadi rendah dan emisi CO tinggi. Untuk itu maka dalam praktik setting lambda selalu lebih tinggi dari 1.

Kondisi hasil pada penelitian terdahulu identik dengan penelitian ini dan memenuhi grafik pada Gambar 4.2. Ini menggambarkan tren emisi CO pada kondisi *lean* ($\lambda < 1$) maupun pada saat kondisi *rich* ($\lambda > 1$) secara teoritis. Namun pada praktik pembakaran dilapangan terjadi pergeseran nilai *lambda* optimum, dimana *lambda* ideal tidak lagi sebesar 1. Hal ini karena pada praktik pembakaran, bahan bakar yang digunakan dapat berupa campuran dari beberapa jenis, sehingga menyebabkan nilai *lambda* bergeser.

4.2.1.2 Konsumsi Energi Spesifik Pengolahan Limbah (kcal/kg limbah cair)

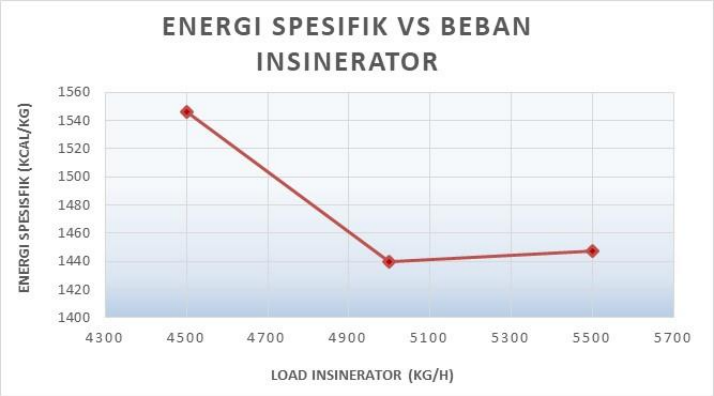
Selanjutnya dilakukan analisis mengenai konsumsi energi spesifik untuk mengetahui besarnya konsumsi energi pada pengolahan limbah per satu satu berat (kg) limbah cair yang diolah, maka dilakukan perhitungan besarnya energi spesifik pengolahan limbah. Perhitungan energi spesifik didapatkan dengan menggunakan formula 3.2.

Dari hasil reaksi pembakaran pada insinerator yang terjadi serta pengukuran konsumsi bahan bakarnya, maka hasil perhitungan energi spesifik pada berbagai beban insinerator (4; 4,5; 5, dan 5,5) ton/jam di tunjukkan pada Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Energi Spesifik Proses Insinerasi pada Berbagai Beban Insinerator

No	Beban Insinerator (Ton/jam)	Energi Spesifik (Kcal/Kg)
1	4,5	1546
2	5	1440
3	5,5	1448

Berdasarkan dari hasil diatas kemudian dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara perubahan beban insinerator dengan energi spesifik insinerator. Hubungan antara perubahan beban insinerator dengan energi spesifik akan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Konsumsi Energi Spesifik vs Beban Insinerator

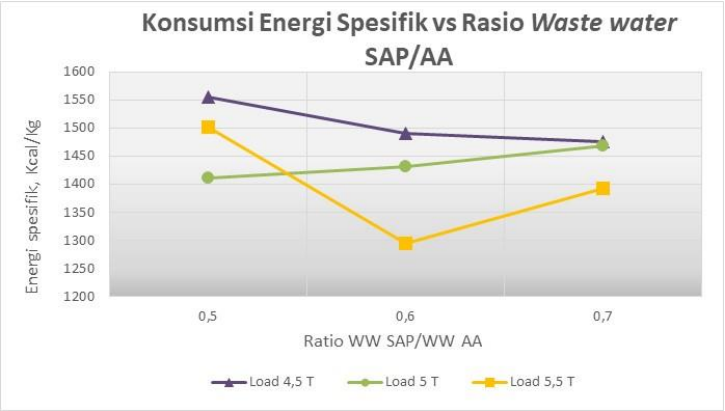
Pada Gambar 4.2 diketahui bahwa dengan menaikkan beban insinerator dari 4,5 ton/jam menjadi 5 dan 5,5 ton/jam, maka konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mengolah limbah cair setiap kilogram nya mengalami penurunan sampai dengan beban 5 ton/jam. Pada beban insinerator 5,5 ton/jam terlihat bahwa

konsumsi energi spesifiknya relatif sama atau sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi energi spesifik pada beban 5 ton/jam. Hal ini menunjukkan adanya tren penurunan energi spesifik. Penurunan energi spesifik ini terjadi karena energi yang di*supply* dari hasil pembakaran *waster water* akan bertambah seiring dengan bertambahnya *load* insinerator. Penambahan *supply* energi hasil pembakaran tersebut menyebabkan kebutuhan energi dari luar semakin sedikit atau dalam hal ini dikatakan sebagai konsumsi energi spesifik. Hal ini lah yang menyebabkan adanya penurunan konsumsi energi spesifik.

Energi spesifik sendiri dapat pula menggambarkan mengenai efisiensi. Hubungan dari energi spesifik dan efisiensi adalah berbanding terbalik. Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tren efisiensi kinerja insinerator meningkat sebesar 7% pada saat beban dinaikkan dari 4,5 ton/jam menjadi 5 ton/jam. Kemudian jika beban ditingkatkan dari 5 ton/jam menjadi 5,5 ton/jam efisiensi nya cenderung turun. Hal ini dikarenakan dengan semakin sedikit energi spesifik yang dibutuhkan maka akan menunjukkan efisiensi yang semakin tinggi dan begitu pula sebaliknya. Berdasarkan baku mutu KEP-03/BAPEDAL/09/1995, efisiensi penghancuran dan penghilangan insinerator adalah sebesar 99,99%.

Efisiensi sendiri menurut literatur oleh Bujak (2009) adalah berbanding lurus dengan penambahan *load*. Dalam jurnal nya terdapat sebuah grafik yang menggambarkan hubungan antara efisiensi terhadap *load* insinerator dan dari grafik nya dapat diketahui bahwa efisiensi akan naik seiring dengan penambahan *load* insinerator. Dan jika dibandingkan, hasil yang diperoleh dari penelitian ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Bujak.

Selanjutnya dilakukan analisis lebih detail pada setiap beban insinerator dengan menganalisis pengaruh rasio komposisi limbah cair SAP dengan limbah cair AA terhadap konsumsi energi spesifik nya. Perbedaan kandungan zat organik pada tiap-tiap jenis limbah tersebut berpengaruh terhadap konsumsi energi spesifik nya.

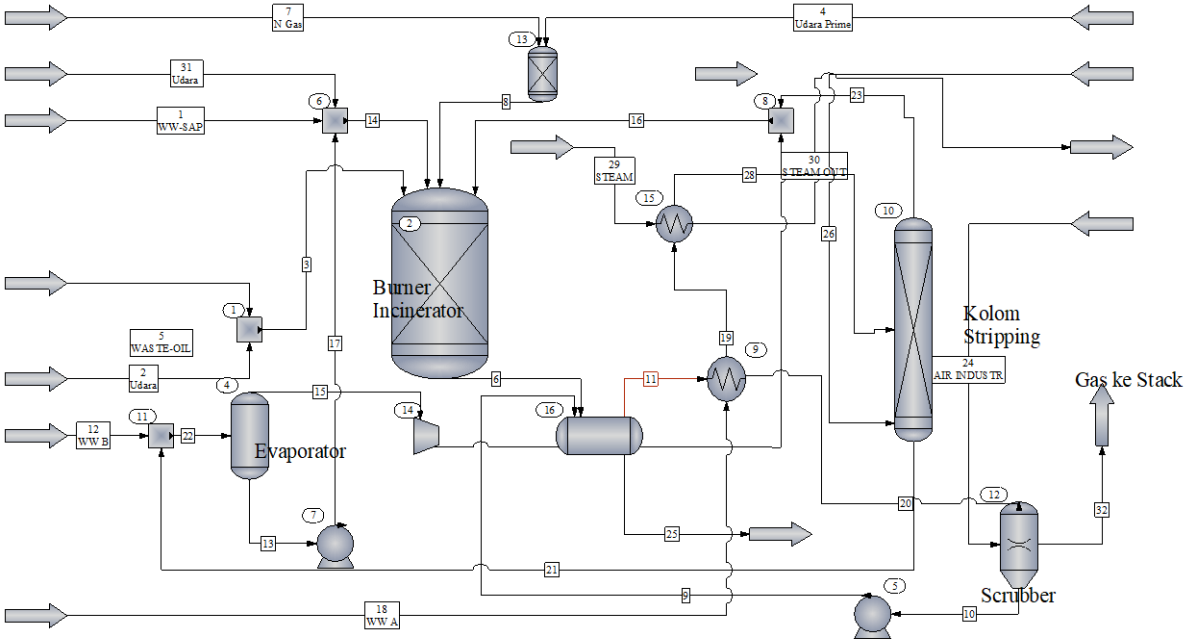


Gambar 4.3 Konsumsi Energi Spesifik vs Rasio Limbah SAP/AA Berbagai *Load* Insinerator

Dari Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan kandungan zat organik pada tiap-tiap jenis limbah tersebut berpengaruh terhadap konsumsi energi spesifik nya. Grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin naik komposisi limbah SAP/AA, maka konsumsi energi spesifiknya akan cenderung turun. Tren turunnya konsumsi energi spesifik tersebut terjadi di semua beban insinerator baik pada beban 4,5, 5 maupun 5,5 ton/jam. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kandungan limbah SAP dalam campuran limbah cair maka energi yang digunakan untuk mengolah limbah pada insinerator akan cenderung turun.

4.2.2 Analisa Kinerja WLIS dengan Simulasi berbantuan Komputer (*Computer Aided Design*/CAD)

Simulasi berbantuan komputer dengan menggunakan ChemCAD dilakukan untuk memudahkan melakukan analisa kondisi operasi WLIS maka pada penelitian in. Simulasi bertujuan untuk menganalisa kinerja sistem WLIS maupun komponen peralatan utama seperti *furnace* insinerator, *quencher*, evaporator, kolom stripping dan *scrubber* berdasarkan kondisi desain peralatan. Dari hasil simulasi WLIS menggunakan perangkat lunak Chemcad maka, *flow* diagram proses insinerasi sebagai berikut:



Simulasi Proses Pengolahan Waste Liquid Incineration di PT.Nippon Shokubai Indonesia, Kapasitas Desain maks 6,7 Ton/jam

Gambar 4.4 Simulasi WLIS dengan *Software* ChemCAD

halaman ini sengaja dikosongkan

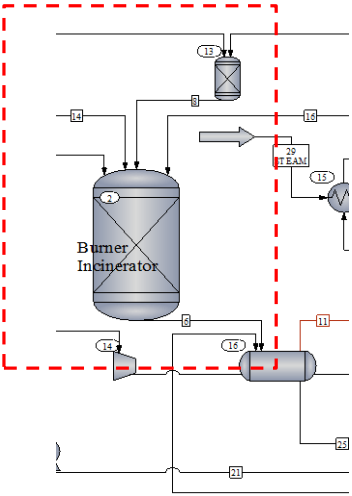
- **Deskripsi Proses**

Proses pengolahan limbah cair (WLIS) di PT. X seperti terlihat pada Gambar 4.4 diatas. *Feed* limbah cair ke WLIS, yaitu limbah dari SAP (WW SAP), limbah dari proses AA (WW A), limbah dari *cleaning* proses (WW B) serta limbah minyak (*waste oil*) yang berasal dari proses AA dan Ester *Plant*. Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam (*natural gas*). Limbah cair dari SAP diumpankan langsung kedalam insinerator, sedangkan limbah AA sebelum dimasukan kedalam insinerator diproses dalam kolom stripping. Limbah cair dari proses *cleaning* sebelum dimasukan ke dalam insinerator di proses dalam bejana evaporator, dimana uap dari evaporator digabung dengan hasil stripping untuk dimasukan kedalam insinerator. Bagian *liquid* dari evaporator dialirkan ke *stream* limbah SAP untuk dimasukkan ke insinerator.

Proses pembakaran bahan bakar terjadi di insinerator dalam simulasi ini menggunakan *burner reactor Gibs.* Gas hasil pembakaran dimasukan kedalam *quencher* untuk dikontakkan langsung dengan air pada suhu 92°C. Logam berat akan terendapkan sedangkan gas hasil pembakaran dilanjutkan ke proses *scrubber* untuk menangkap partikulat sebelum dibuang ke *stack* gas.

- **Hasil dan Pembahasan Simulasi**

Hasil dari simulasi pada beban insinerator 5 ton/jam umpan limbah cair seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 dibawah ini. Proses pembakaran pada *burner* insinerator dengan desain lambda 1,2 dan pada temperatur 985°C pada tekanan operasi 1,2 Bar.



Gambar 4.5 Proses Pembakaran di *Burner* Insinerator

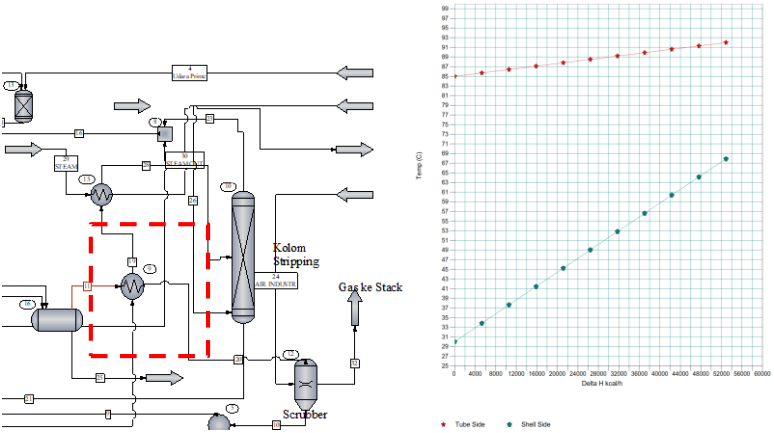
Kemudian dibuat perhitungan neraca massa dari hasil simulasi pada beban insinerator 5 ton/jam. Neraca massa insinerator seperti pada Tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Neraca Massa Insinerator

No	Material Masuk [Kg/jam]	Jumlah	Material Keluar [Kg/jam]	Jumlah
1	*Natural Gas*	126	Gas Hasil Pembakaran	20055
2	*Waste Oil*	989	Loses	761
3	*Waste Water* AA	1700		
4	*Waste Water* B *(Cleaning)*	2400		
5	*Waste Water* SAP	1400		
6	Udara Pembakaran	14201		
Total Masuk		**20816**	**Total Keluar**	**20815**

Gas hasil pembakaran pada *burner* insinerator tersebut dikontakkan dengan air pendingin secara langsung pada *Quencher* pada temperatur 92°C. Pada proses *Quenching* ini beberapa oksida logam (Cu, Mn, Na) dan garamnya terlarut pada air dan dikirimkan ke proses pemisahan padatan dan sedangkan gas digunakan untuk memanaskan limbah cair (WW-A) kemudian

dialirkan ke dalam *scrubber* sebelum dibuang ke cerobong gas. Proses pemanfaatan panas gas untuk pemanasan limbah cair (WW-A) dalam penukar kalor dengan profil seperti pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Profil Penukar Kalor Gas dan Air

Limbah cair SAP langsung masuk ke dalam *burner* insinerator, sedangkan limbah cair AA (WW-A) sebelum masuk insinerator dipisahkan dahulu antara fraksi pekat dan gas nya dalam kolom stripping, yang terdiri dari 7 *stage*. Gas dari puncak kolom digabung dengan limbah cair B (WW-B) dari hasil evaporasi dimasukan kedalam *burner* insinerator. Gas hasil pembakaran di insinerator setelah dipertukarkan panasnya dalam penukar kalor kemudian dikontakkan dengan air dingin pada *ventury scrubber* untuk menangkap partikulat sebelum dibuang melalui cerobong gas. Komposisi gas keluar cerobong dari hasil simulasi adalah seperti Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 Komposisi Gas Keluar Cerobong Hasil Simulasi

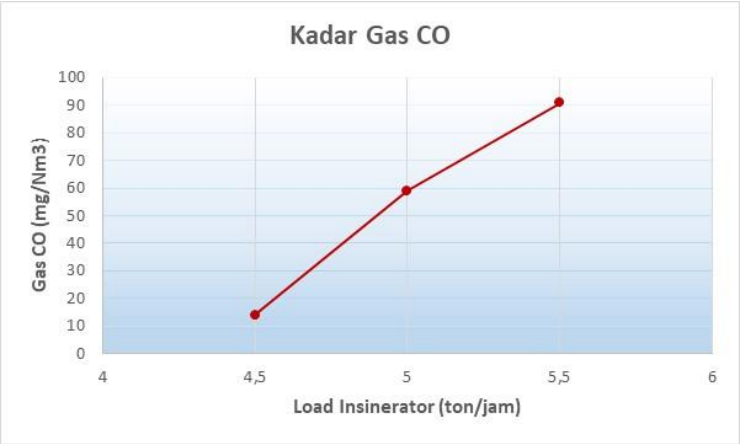
No	Komponen	Hasil Simulasi Mole %	Hasil Pengukuran Mole %
1	Temperatur (ºC)	985	985
2	Tekanan (bar)	1 atm	1 atm

No	Komponen	Hasil Simulasi Mole %	Hasil Pengukuran Mole %
3	Molar *Flow* Kmol/jam	960,56	
4	*Mass Flow* Kg/jam	23537,3	
5	Nitrogen	40,5	
6	Oxygen	1,29%	4,6%
7	Carbon Monoksida	4,06 ppm	23 ppm
8	Carbon Dioksida	8,7%	9,1%
9	H_2O	49,5%	
10	Nitrogen Dioksida	24 ppm	96 ppm
11	Sulfur Dioksida	0,13 ppm	23 %

Dari hasil simulasi berbasis komputer dengan piranti lunak ChemCAD diperoleh hasil komposisi gas keluar cerobong seperti pada Tabel 4.11 diatas. Simulasi ini berdasarkan beban insinerator sebesar 5 ton/jam. Hasil simulasi ini dapat digunakan untuk memprediksi hasil proses insinerasi yang hasilnya dibandingkan dengan hasil pengukuran data primer maupun data sekunder.

4.2.3 Analisis Emisi Gas

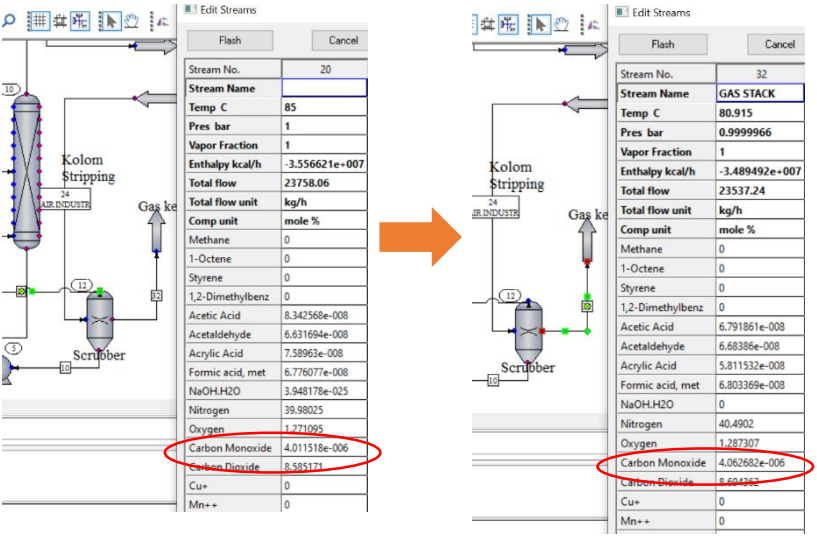
Pada pengoperasian insinerator, besar beban insinerator adalah berbeda-beda setiap hari nya. Beban insinerator umumnya berada di 5 ton/hari, namun hal ini dapat berubah-ubah tergantung pada produksi pabrik, sehingga beban insinerator bisa berada di 4,5 ton/hari dan paling besar sebesar 5,5 ton/hari. Pada pembahasan ini dilihat pengaruh dari besaran beban/*load* insinerator terhadap emisi CO. Berikut adalah grafik kadar gas CO di tiap-tiap *load* insinerator.



Gambar 4.7 Perbandingan Kadar Gas CO pada tiap *Load* Insinerator

Berdasarkan pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa kadar emisi gas CO turut meningkat sebesar 77 mg/Nm^3 seiring dengan penambahan *load* insinerator. Perbandingan antara tingkat emisi CO dan *load* tersebut diambil dengan kondisi operasional yang sama, yaitu pada saat ʎ=1,4. *Lambda* desain yg optimum adalah di 1,25 namun demikian karena di penelitian ini menggunakan data sekunder, tidak terdapat data pada lambda 1,25 pada berbagai beban untuk membandingkan emisi CO. Maka untuk membandingkan emisi CO pada berbagai beban, dilakukan dengan menggunakan data yang tersedia pada lambda yang sama yaitu pada 1,4.

Pada penelitian ini, data pengukuran emisi diperoleh dari pengukuran gas setelah *scrubber* sehingga asumsi yang diambil adalah kinerja *scrubber* tidak berpengaruh banyak pada kadar emisi sebelum dan sesudah proses *scrubber* pada tiap-tiap variabel. Asumsi pengaruh proses *scrubber* terhadap komposisi emisi gas tersebut dibuktikan dari hasil simulasi ChemCAD pada proses di *scrubber*, yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

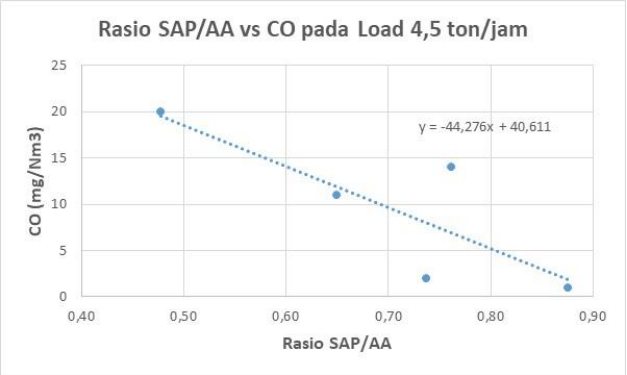


Gambar 4.8 Komposisi Emisi Gas Sebelum dan Sesudah *Scrubber* Hasil Simulasi ChemCAD

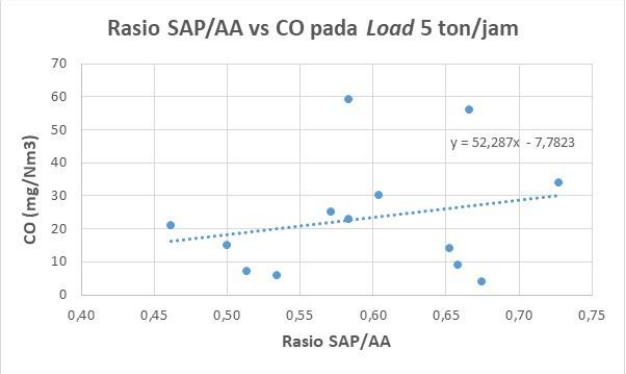
Hal ini disebabkan karena titik sampling emisi gas yang ada di *plant* hanya tersedia setelah proses *scrubber* dimana temperaturnya relatif sudah cukup rendah (80ºC).

4.2.3.1 Hubungan antara Komposisi *Waste Water* terhadap Emisi Gas yang Dihasilkan

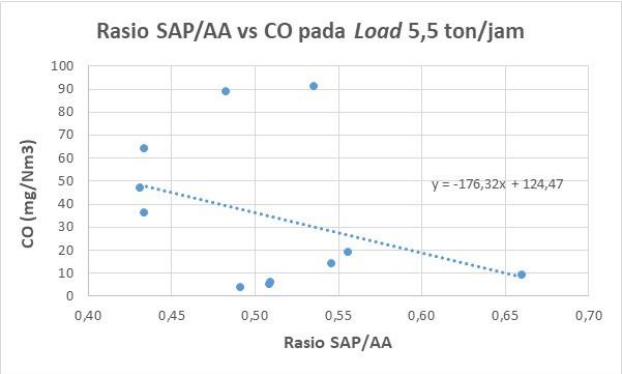
Limbah cair yang diolah WLIS terdiri dari tiga jenis, yaitu *waste water* AA, *cleaning* AA+ Ester, dan *waste water* SAP. Dalam pengoperasian WLIS komposisi dari ketiga limbah cair tersebut berubah-ubah setiap harinya, kecuali untuk *cleaning* AA+Ester. Limbah ini rasionya dijaga untuk cenderung tetap. Kemudian dilakukan analisis terhadap pengaruh komposisi masing-masing limbah cair tersebut terhadap emisi gas yang dihasilkan pada setiap beban insinerator dalam penelitian ini. Untuk menganalisis pengaruh komposisi limbah cair terhadap emisi, maka dibuat rasio antara *wastewater* SAP dan AA. Rasio limbah cair SAP/AA vs. CO dapat dilihat pada grafik berikut ini:


Rasio SAP/AA vs CO pada Load 4,5 ton/jam
CO (mg/Nm3)
Rasio SAP/AA
y = -44,276x + 40,611
25
20
15
10
5
0
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90

(a)


Rasio SAP/AA vs CO pada *Load* 5 ton/jam
CO (mg/Nm3)
Rasio SAP/AA
y = 52,287x - 7,7823
70
60
50
40
30
20
10
0
0,40
0,45
0,50
0,55
0,60
0,65
0,70
0,75

(b)



(c)

Gambar 4.9 (a)-(c) Rasio Limbah Cair SAP/AA vs Emisi CO Beban 4, 5 dan 5,5 ton/jam

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa komposisi limbah SAP/AA terlihat berpengaruh pada CO yang dihasilkan pada temperature operasi insinerator yang sama, yaitu pada 985°C. Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa jika rasio limbah cair SAP/AA meningkat maka emisi CO yang dihasilkan cenderung turun. Hal ini disebabkan senyawa organik utama yang terkandung pada limbah SAP cenderung lebih mudah terbakar dibandingkan dengan zat organik yang terkandung pada limbah cair AA, serta kandungan air pada limbah SAP lebih rendah. Pada beban 5 ton/jam, kenaikan komposisi limbah SAP/AA tidak terlalu berpengaruh terhadap emisi CO, hal ini diperkirakan dapat disebabkan karena parameter lain tidak konstan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian mengenai studi kinerja insinerator pengolah limbah cair B3 di industri kimia menghasilkan kesimpulan:

1. Dengan kenaikan beban insinerator dari 4,5 – 5 ton/jam konsumsi energi spesifiknya turun dari 1546 kcal/kg menjadi 1440 kcal/kg atau mengalami penurunan sebesar 106 kcal/kg (±7%). Kemudian dengan menaikkan beban 5 – 5,5 ton/jam energi spesifiknya naik dari 1440 kcal/kg menjadi 1448 kcal/kg (±0,05%)
2. Dengan kenaikan beban insinerator maka emisi gas CO mengalami kenaikan dari 14 mg/Nm^3 menjadi 91 mg/Nm^3 atau meningkat sebesar 77 mg/Nm^3.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil pembahasan penelitian antara lain:

1. Untuk mencerminkan kinerja insinerator yang terkini maka lebih tepat jika studi menggunakan data primer pada setiap kondisi pengoperasian insinerator.
2. Untuk melihat kinerja insinerator sesuai dengan desain sebaiknya dilakukan penelitian pada temperatur operasi insinerator pada 950ºC
3. Untuk dapat menghitung nilai *lambda* yang akurat maka diperlukan adanya data mengenai reaksi kimia lengkap dari bahan bakar yang digunakan.

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Almu, M. A., Syahrul, S., & Padang, Y. A. (2014). Analisa Nilai Kalor dan Laju Pembakaran Pada Briket Campuran Biji Nyamplung (Calophyllm Inophyllum) dan Abu Sekam Padi. *Dinamika Teknik Mesin*, *4*(2).

Boedisantoso, R., Ciptaningayu, T. N., Syafei, A. D., Assomadi, A. F., Slamet, A., & Hermana, J. (2019). Reduction of CO, NOx and SO 2 emissions from the transfer of private vehicles to public transportation: a case study of Surabaya. *E&ES*, *239*(1), 012041.

Budianto, W. (2008). Analisis Hubungan Kualitas Udara Ambien dengan Kejadian Penyakit ISPA. Tesis FKM Universitas Indonesia. Jakarta.

Bujak, J. (2009). Experimental Study of the Energy Efficiency of an Incinerator for Medical Waste. *Applied Energy*, *86*(11), 2386-2393.

Cho, H. M., & He, B. Q. (2009). Combustion and Emission Characteristics of a Natural Gas Engine under Different Operating Conditions. *Environmental Engineering Research*, *14*(2), 95-101.

Chun Xu, C., & Muk Cho, H. (2016). The Study of the Effect of the Natural Gas in the CNG Engine. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(12), 7688-7690.

Ciptaningayu, T. N. (2017). Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Laboratorium di Kampus ITS. *Tugas Akhir FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*. Surabaya

Damara, D. Y., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2017). Analisis dampak Kualitas Udara Karbon Monoksida (CO) di Sekitar Jl. Pemuda akibat Kegiatan Car Free Day menggunakan Program CALINE4 dan Surfer (studi kasus: Kota Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1).

European Comission. (2006) Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Technique for Waste Incinerator.

Firmansyah, Rachmat Harris. (2008). Penelitian Kestabilan dan Panjang Nyala Api Premix akibat Variasi Diameter dalam

Ring Menggunakan Gas Propana pada Bunsen Burner. Skripsi. Fakultas Teknik. Depok: Universitas Indonesia.

Freeman, H. M., Olexsey, R. A., Oberacker D. A dan Mournighan R. E. (1987). Thermal Destruction of Hazardous Waste – A State of the Art Review. *Journal of Hazardous Materi*al, 14, 108 – 117.

Ghaziyad, V. N. (2015). Analisis Efektivitas Arang Tempurung Kelapa dan Karbon Aktif dalam Mengadsorpsi Gas Karbondioksida (CO_2) yang Dihasilkan oleh Lumpur Tinja dan Kotoran Sapi. *Tugas Akhir FTSP Intitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.* Surabaya.

Godswill, A. C & Igwe, V. S. (2017). Industrial Waste Management: Brief Survet and Advice to Cottage, Small, and Medium Scale Industries in Uganda. *International Journal of Advanced Academic Research*, 3(1).

Hidayah, E. N. (2007). Uji Kemampuan Pengoperasian Insinerator untuk Mereduksi Limbah Klinis Rumah Sakit Umum Haji Surabaya. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 4(1).

Hochgreb, Simone. (1998). *Combustion-Related Emission in SI Engines. Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines*. USA: Academic Press.

Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 3 Tahun 1995 tentang Persayaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri.

Moertinah, Sri. (2010). Kajian Proses Anaerobik sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri*, 1(2), 104-114.

Nidoni, P. G. (2017). Incineration Process for Solid Waste Management and Effective Utilization of By Product. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(12).

Opelt, E. T. (1987). Incineration of Hazardous Waste. *JAPCA,* 37(5), 558-586.

Padmaningrum, R.T. (2010). *Penanganan Limbah Laboratorium Kimia.* Pendidikan Kimia FMIPA UNY

Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun.

Pitel, J & Mizak, J. (2011). Approximation of CO/lambda Biomass Combustion Dependence by Artificial Intelligence Technique. *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, 22(1).

Rizal, A. M. dan Indah, N. (2017). Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan Insinerator Tipe Reciprocating Grate Incinerator. *Jurnal Teknik WAKTU*, 15(2).

Schare, C. (2008). Saving Fuel Gas in Industry by Means of Optimum Burner Setting. *Heat Processing*, 6(2).

Siagian, L. (2014). Dampak dan Pengendalian Limbah Cair Industri. *Jurnal Teknik Nommensen,* 1(2), 98-105.

Sidik, A. A dan Enri, D. (2012). Studi Pengelolaan Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) Laboratorium Laboratorium di ITB. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(1), 12-20.

Simanjuntak, A. G. (2007). Pencemaran Udara. *Buletin Limbah,* 11(1).

Speigh, J. G. (2011). *Handbook of Industrial Hydrocarbon Process*. Gulf Professional Publishing, Elsevier, Oxford UK.

Sugiyono. (2013). *Statistika Untuk Penelitian.* Bandung: Alfabeta.

Soleiman, N. (2008). Model Sistem Dinamis Untuk Estimasi Pencemaran Udara dari Emisi Kendaraan Bermotor di Jakarta. *Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi*, 9(1), 1-10.

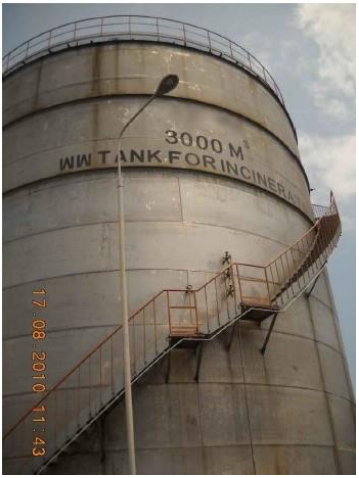
Sulaiman, Fatah. (2016). *Mengenal Industri Kimia*. Serang: Untirta Press.

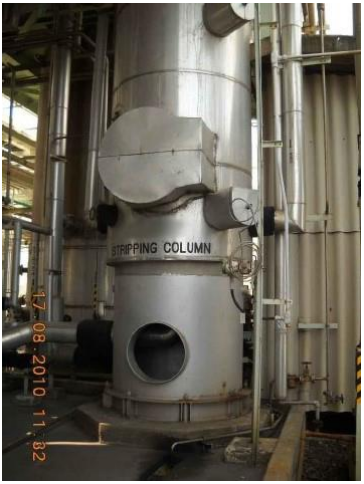
Triwibowo, Bayu. (2013). Teori Dasar Simulasi Proses Pembakaran Limbah Vinasse dari Industri Alkohol Berbasis CFD. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan,* 2(2), 14-24.

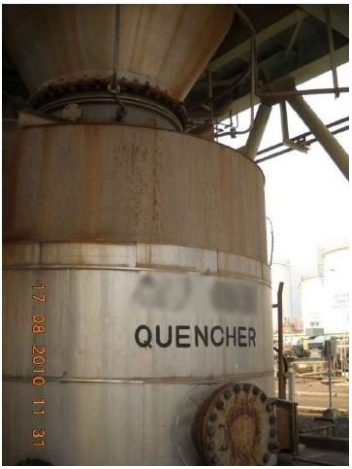
Winarto, Sonden. (2010). Penghematan Energi pada Sistem Boiler. *Jurnal Forum Teknologi*, 4(2).

halaman ini sengaja dikosongkan

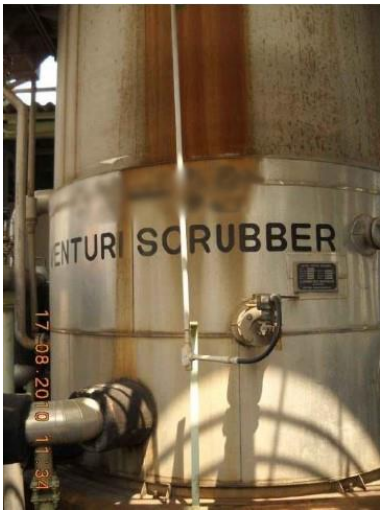
Lampiran 1 Dokumentasi Lapangan di *Waste Liquid Incinerator System*

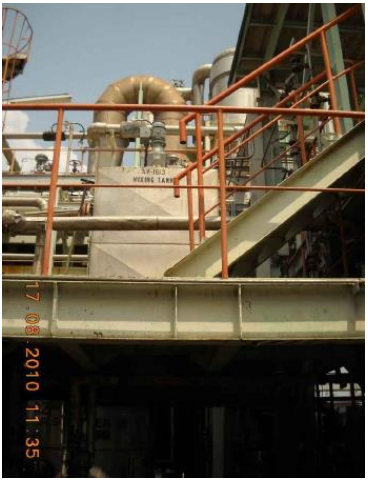






FEED NATURAL GAS & WASTE OIL





Lampiran 2 Tabel Desain Kondisi WLIS

	Nor.	Max.	Min.
Waste Oil (kg/h)	870	1270	0
Fuel Oil (kg/h)	0	0	830
Wastewater A (kg/h)	3300	4200	0
Wastewater B (kg/h)	800	1500	3500
	4970	**6970**	**4330**

halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 3 Tabel Komposisi Detail dari Gas Alam

SSWJ GAS COMPOSITION
JULI 2016

COMPOSITION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Methane	89,7889	89,6689	89,5420	88,8545	88,5121	88,4153	88,1190	87,9397	87,7448	87,7876
Ethane	3,3597	3,3404	3,3824	3,6966	4,0076	3,9670	4,0487	4,1569	4,2292	4,0367
Propane	1,0194	1,0320	1,0341	1,1149	1,1815	1,2240	1,2197	1,2112	1,2321	1,1360
I - Butane	0,2377	0,2432	0,2396	0,2602	0,2802	0,2912	0,2868	0,2761	0,2718	0,2418
N - Butane	0,2610	0,2665	0,2646	0,2891	0,3077	0,3204	0,3206	0,3154	0,3154	0,2920
I - Pentana	0,1104	0,1134	0,1113	0,1241	0,1333	0,1375	0,1382	0,1339	0,1311	0,1192
N - Pentana	0,0706	0,0724	0,0712	0,0800	0,0857	0,0883	0,0892	0,0872	0,0860	0,0791
N - Hexane	0,0685	0,0729	0,0688	0,0827	0,0902	0,0912	0,0932	0,0924	0,0903	0,0822
N - Heptane	0,0481	0,0512	0,0483	0,0581	0,0634	0,0641	0,0655	0,0649	0,0634	0,0577
N - Octane	0,0172	0,0183	0,0173	0,0208	0,0227	0,0229	0,0234	0,0232	0,0227	0,0207
N - Nonane	0,0080	0,0085	0,0080	0,0096	0,0105	0,0106	0,0109	0,0108	0,0105	0,0096
Neo - Pentana	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
N2	0,3859	0,3702	0,3891	0,3951	0,3702	0,3479	0,3919	0,4560	0,4859	0,5751
CO2	4,6045	4,7233	4,8047	4,9955	4,9155	4,9993	5,1721	5,2110	5,2941	5,5379
H2O	0,0197	0,0184	0,0182	0,0182	0,0191	0,0198	0,0203	0,0209	0,0222	0,0240
H2S	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
TOTAL	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000
SG	0,6422	0,6438	0,6445	0,6506	0,6532	0,6547	0,6570	0,6577	0,6589	0,6581
GHV	1027,6107	1027,4172	1026,1621	1030,7530	1037,2128	1037,7585	1036,2569	1035,2770	1034,5817	1025,7376

Lampiran 4 Tabel Hasil Analisis Statistik Multi Regresi Linier Load 4,5 t/h

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,999732007							
R Square	0,999464087							
Adjusted R Square	0,997856347							
Standard Error	0,027508356							
Observations	5							
ANOVA								
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*			
Regression	3	1,41124329	0,470414	621,6578	0,029472611			
Residual	1	0,00075671	0,000757					
Total	4	1,412						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95,0%*	*Upper 95,0%*
Intercept	17,20996019	0,403732652	42,62712	0,014932	12,08005045	22,3398699	12,0800505	22,33986993
ʎ	-7,696030911	0,452537285	-17,0064	0,037391	-13,44606231	-1,94599951	-13,4460623	-1,94599951
waste oil	0,001960495	0,000839588	2,335068	0,257591	-0,008707483	0,01262847	-0,00870748	0,012628473
natural gas	0,00108891	0,000837055	1,300882	0,41722	-0,009546879	0,0117247	-0,00954688	0,011724699

Lampiran 5 Tabel Hasil Analisis Statistik Multi Regresi Linier Load 5 t/h

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,996035269							
R Square	0,992086258							
Adjusted R Square	0,989448344							
Standard Error	0,092777781							
Observations	13							
ANOVA								
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*			
Regression	3	9,71176132	3,237254	376,0874	8,99679E-10			
Residual	9	0,07746945	0,008608					
Total	12	9,789230769						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95,0%*	*Upper 95,0%*
Intercept	17,6790002	0,729680276	24,22842	1,66E-09	16,02834874	19,3296517	16,02834874	19,32965167
λ	-6,362005962	0,212469979	-29,9431	2,53E-10	-6,842646448	-5,8813655	-6,84264645	-5,881365477
waste oil	-2,83064E-05	0,000547779	-0,05167	0,959917	-0,001267469	0,00121086	-0,00126747	0,001210857
natural gas	-0,001711614	0,001374512	-1,24525	0,244484	-0,004820977	0,00139775	-0,00482098	0,001397749

Lampiran 6 Tabel Hasil Analisis Statistik Multi Regresi Linier Load 5,5 t/h

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,989198415							
R Square	0,978513505							
Adjusted R Square	0,969305007							
Standard Error	0,235162106							
Observations	11							
ANOVA								
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*			
Regression	3	17,62925512	5,876418	106,262	3,35692E-06			
Residual	7	0,387108513	0,055301					
Total	10	18,01636364						
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95,0%*	*Upper 95,0%*
Intercept	17,53469303	1,079489117	16,24351	8,16E-07	14,98210688	20,08727917	14,98210688	20,08727917
ʎ	-5,804925141	0,376323552	-15,4254	1,16E-06	-6,694788937	-4,915061344	-6,69478894	-4,915061344
waste oil	-0,000608199	0,000784809	-0,77496	0,46373	-0,002463979	0,00124758	-0,00246398	0,00124758
natural gas	-0,001073227	0,00165614	-0,64803	0,537634	-0,004989376	0,002842922	-0,00498938	0,002842922

Lampiran 7 Neraca Komponen Insinerator

```
STREAM PROPERTIES
Stream No.                          3              14
8            16
Name
- - Overall - -
Temp C                        30.0649        25.4176
985.0000      161.2930
Pres bar                       7.0000         3.0000
1.2500        1.2000
Enth kcal/h               -1.2263E+006   -4.1237E+006
7.9450E+005  -1.1583E+007
Vapor mole fraction           0.7965         0.4878
1.000         1.000
Molar flow kmol/h            65.9472       109.5597
319.5295      249.4993
Mass flow   kg/h            2489.0000      2958.8828
9126.0000     5481.1172
Std liq   m3/h                 2.6081         2.9830
10.6502        5.6847
Std vap 0 C m3/h           1478.1180      2455.6323
7161.8213     5592.1885

Flow rates in kg/h
Methane                        0.0000         0.0000
0.0000        0.0000
1-Octene                       0.0000         0.0000
0.0000        0.0000
Styrene                        0.0000         0.0000
0.0000        0.0000
1,2-Dimethylbenz               0.0000         0.0000
0.0000        0.0000
Acetic Acid                    0.0000         2.0104
0.0000      395.4579
Acetaldehyde                   0.0000         0.0021
0.0000       34.2799
Acrylic Acid                 795.1758       344.1635
0.0000      179.1917
Formic acid, met               0.0000         0.0001
0.0000       20.0948
NaOH.H2O                       0.0000       115.6645
0.0000        0.0000
```

Nitrogen	1150.6278	1150.6279	6905.9004	1104.6029
Oxygen	349.3722	349.3722	1612.8759	335.3973
Carbon Monoxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Dioxide	0.0000	0.0000	329.4115	0.0000
Cu+	19.8794	74.1232	0.0000	0.0000
Mn++	19.8794	32.0392	0.0000	0.0000
Water	14.9095	872.9267	270.3728	3412.0928
Sodium Sulfate	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sodium Hydroxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Methanol	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Iron	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000
Sodium	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sulfur	0.0000	17.9491	0.0000	0.0000
Maleic Anhydride	139.1557	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen Dioxide	0.0000	0.0000	0.0556	0.0000
Sulfur Dioxide	0.0000	0.0000	7.3772	0.0000
Hydrogen Sulfide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Stream No.	6
Name	
- - Overall - -	
Temp C	985.0000
Pres bar	1.2000
Enth kcal/h	-1.9596E+007
Vapor mole fraction	1.000
Molar flow kmol/h	772.0157
Mass flow kg/h	20054.9707
Std liq m3/h	23.0578
Std vap 0 C m3/h	17303.6895
Flow rates in kg/h	
Methane	0.0000
1-Octene	0.0000
Styrene	0.0000
1,2-Dimethylbenz	0.0000
Acetic Acid	0.0000
Acetaldehyde	0.0000
Acrylic Acid	0.0000
Formic acid, met	0.0000
NaOH.H2O	0.0000
Nitrogen	10311.7744
Oxygen	218.4332
Carbon Monoxide	0.0015
Carbon Dioxide	3675.4624
Cu+	94.0026
Mn++	51.9186
Water	5581.7388
Sodium Sulfate	95.8807
Sodium Hydroxide	25.7480
Methanol	0.0000
Iron	0.0040
Sodium	0.0002
Sulfur	0.0000
Maleic Anhydride	0.0001
Nitrogen Dioxide	0.0058
Sulfur Dioxide	0.0001
Hydrogen Sulfide	0.0000

halaman ini sengaja dikosongkan

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Anita Fitriana

NRP : 03211640000106

Judul : Studi Kinerja Insinerator Pengolah Limbah Cair B3 di Industri Kimia

No.	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	19 Februari 2020	Range variabel divariasikan berdasarkan *daily operation* di pabrik.	
2.	09 Maret 2020	Data yang kurang dapat digantikan dengan data sekunder atau literatur.	
3.	09 April 2020	Perbaikan untuk lebih menjelaskan hubungan dari analisis data dengan tujuan penelitian dan menjelaskan tujuan, prinsip dan hasil dari simulasi *computer based*.	
4.	07 Mei 2020	Asistensi laporan untuk sidang progress.	
5.	14 Mei 2020	Perbaikan grafik emisi CO dengan keadaan *lambda* yang sama.	
6.	14 Juli 2020	Asistensi PPT untuk sidang akhir.	

7.	05 Agustus 2020	Perbaikan format penulisan dan konten Jurnal POMITS.	
8.	06 Agustus 2020	Perbaikan format penulisan dan konten buku TA.	

Surabaya, 07 Agustus 2020

Dosen Pembimbing

Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T.

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

Lisan Udara

Lab Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxxx) *

3211640000106

Anita Fitriana (3211640000106)

Dosen Pembimbing: Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Saran:

Hubungan beban dan efisiensi dijelaskan

Hubungan beban dan emisi CO dijelaskan

Saran penguji direspon dan ditambahkan pada naskah

LULUS

Dosen Penguji 1: Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, PhD

Saran:

Abstrak direvisi lebih sesuai kaidah (3 alinea), kesimpulan kuantatif, Gambar 4.1 harus perbaiki antara CO vs Lambda, Metodologi harus menjelaskan scr real proses yang diakukan termasuk kuantitatif data dan periode pengambilan.

LULUS

Dosen Penguji 2: Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT

Saran:

- Cek Penulisan
- Cek Kesimpulan
- Jelaskan dan Uraikan bagaimana merubah nilai Lambda
- Pahami Proses Incinerator dan Scrubber

LULUS

Dosen Penguji 3: Dr. Ir. Ellina Pandebesie, MT

Saran:

Sesuai catatan dalam buku laporan TA

LULUS

Ok

SEARCH

BIOGRAFI PENULIS

Penulis lahir di kota Jakarta pada tanggal 22 Mei 1997. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN PUSPIPTEK (2003 – 2009), SMPN 8 Tangerang Selatan (2009 – 20212) dan SMAN 2 Tangerang Selatan (2012 – 2015). Pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan terdaftar dengan NRP 03211640000106. Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai anggota Komunitas Pemerhati dan Pecinta Lingkungan (2016 – 2019). Selain itu, penulis juga pernah menjadi bergabung dengan Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia Regional IV pada tahun 2017 dengan menjadi staff Departemen Pendidikan dan Keprofesian. Pada Tahun 2019, penulis mengikuti kerja praktik mengenai "Evaluasi Pembuangan Air Limbah *Water Treatment Plant*" di Pertamina Hulu Mahakam. Apabila ingin mengetahui lebih dalam mengenai penelitian ini, dapat menghubungi penulis via e-mail anita.ftrna@gmail.com.