

**RANCANG BANGUN TANGKI PEMBILASAN INSINERATOR SAMPAH
RAMAH LINGKUNGAN TERHADAP EFEKTIFITAS KADAR
PARTIKULAT GAS BUANG**



Julian Dharma Purba

5315080303

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2015

**RANCANG BANGUN TANGKI PEMBILASAN INSINERATOR SAMPAH
RAMAH LINGKUNGAN TERHADAP EFEKTIFITAS KADAR
PARTIKULAT GAS BUANG**



Julian Dharma Purba

5315080303


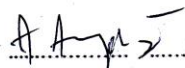
SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan




**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2015

LEMBARAN PENGESAHAN

Nama	TandaTangan	Tanggal
Dr.Darwin Rio Budi Syaka, S.T., M.T. (Pembimbing I)	
Aam Amanigsih Jumahur, S.T., M.T. (Pembimbing II)	

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Prof.Dr.Basuki Wibawa (Ketua Penguji)	
Ragil Sukarno, S.T., M.T. (Sekretaris)	
Himawan Hadi Sutrisno, S.T., M.T. (Dosen Ahli)	

Tanggal lulus : 02 Februari 2015

Mengetahui,

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Prodi Pendidikan
Teknik Mesin - UNJ

Dr. Eng Agug Premono, M.T.
NIP. 197705012001121002

Ahmad Kholil, S.T., M.T.
NIP. 197908312005011001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Julian Darma Purba

No. Reg. : 5315 08 0303

Taanda Tangan :

Tanggal : 27 Januari 2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak banyaknya kepada:

1. Dr.Darwin Rio Budi Syaka, ST.MT. selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Aam Amaningsih Jumhur, ST.MT. selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dr.Eng. Agung Premono, MT. selaku kepala jurusan Teknik Mesin;
4. Ahmad Kholil, ST.MT. selaku kepala program studi pendidikan teknik mesin dan kordinator skripsi/komprehensif jurusan teknik mesin yang telah memberikan kesempatan dan ide yang bermanfaat penulisan skripsi ini;
5. Orang tua tercinta dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
6. Imelda Julia panggabean, A.md. yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam penulisan skripsi ini;

7. Abang Fahmi harris, S.pd. yang telah memberikan bantuan dukungan dan ide bermanfaat dalam penulisan skripsi ini; dan
8. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2008 serta seperjuangan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Kasih Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, Januari 2015

Julian Dharma Purba

ABSTRAK

Purba, Julian Dharma. “Rancang bangun tangki pembilasan insinerator sampah ramah lingkungan terhadap efektifitas kadar partikulat gas buang”. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun tangki pembilasan dengan sistem *water scrubber* pada insinerator Universitas Negeri Jakarta terhadap penurunan kadar opasitas, CO₂ dan suhu gas buang pembakaran sampah anorganik.

Peneliti melakukan pengujian pada gas buang insinerator tanpa tangki pembilasan, gas buang insinerator menggunakan rancang bangun tangki pembilasan dengan *droplet size scrubber* besar, dan gas buang insinerator menggunakan rancang bangun tangki pembilasan dengan *droplet size scrubber* kecil terhadap kadar opasitas, CO₂, suhu dan warna gas buang. Kadar opasitas tertinggi dan terendah pada pengujian gas buang tanpa tangki, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* besar, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* kecil adalah 67.7% dan 56.5%, 43.5% dan 24.7%, 36.4% dan 22.1%. Kadar CO₂ tertinggi dan terendah pada pengujian gas buang tanpa tangki, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* besar, menggunakan tangki pembilasan *droplet size scrubber* kecil adalah 2.1% dan 0.9%, 0.9% dan 0.3%, 0.3% (konstan). Suhu gas buang tanpa tangki 50⁰C, untuk suhu gas buang menggunakan tangki baik pembilasan dengan *droplet size scrubber* besar dan *droplet size scrubber* kecil adalah 32⁰C.

Pembilasan system *water scrubber* dilengkapi dengan 4 buah *misting nozzle* bertipe *hollow cone* dengan sudut penyerapan 90°. Penurunan kadar opasitas yang efektif adalah sebesar 34,56%, sedang penurunan kadar CO₂ yang efektif adalah 1.3%. Pembilasan system *water scrubber* menggunakan *droplet size* kecil lebih efektif dikarenakan jumlah butiran yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan *droplet size* besar.

Kata kunci : Sampah, Insinerator, *Water scrubber*, *Droplet Size*.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORASINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latarbelakang masalah.....	1
1.2. Idetifikasi masalah	3
1.3. Pembatasan masalah.....	3
1.4. Perumusan masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat penelitian.....	5
1.7. Sistematika penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Klasifikasi insinerator	7
2.2. Prinsip proses insinerator	7
2.3. Bagian pada insinerator	8
2.3.1. Ruang bakar dan ruang abu	8
2.3.2. Unit pengendali gas buang.....	9
2.3.3. Bagian cerobong	10
2.4. Karakteristik sampah.....	11
2.4.1. Komposisi kimia.....	11
2.4.2. Kandungan energi	13
2.5. Persamaan-persamaan kesetimbangan	14
2.6. Prinsip dasar <i>wet scrubber</i>	14
2.6.1. Sistem <i>wet scrubber</i>	16
2.6.2. Prinsip operasi <i>wet scrubber</i>	17

2.6.3. Parameter desain <i>wet scrubber</i>	18
2.6.4. <i>Water gas flow rate, temperature, and humidity</i>	19
2.6.5. Kecepatan gas dan <i>pressure drop</i>	19
2.6.6. <i>Liquid to gas ratio (L/G)</i>	19
2.6.7. <i>Droplet size</i>	20
2.7. Metode penyerapan partikel	20
2.8. Dinamika fluida.....	21
2.8.1. Persamaan kontinuitas	22
2.8.2. Persamaan BERNOULLI	22
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Tujuan penelitian.....	24
3.2. Alat dan bahan.....	24
3.2.1. Alat	24
3.2.2. Bahan	25
3.3. Rancang bangun	25
3.3.1. Rancangan pembuatan tangki pembilasan.....	25
3.3.2. Parameter desain	34
3.4. Perakitan.....	35
3.4.1. pemasangan bagian-bagian pada tangki	35
3.4.2. Penempatan system <i>water scrubber</i>	36
3.5. Cara kerja sistem	37
3.5.1. Proses pembilasan.....	37
3.5.2. Sistem <i>water scrubber</i>	38
3.6. Analisis dan hasil	39
3.7. Skema penelitian	41
3.7.1. Skema eksperimen	43
3.7.2. Karakteria ppengujian alat.....	45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil penelitian.....	49
4.2. Analisis data.....	50
4.2.1. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap opasitas gas buang.....	50
4.2.2. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap kadar CO ₂ gas buang	56

4.2.3. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap suhu	61	
4.2.4. Pengaruh <i>droplet size</i> terhadap warna gas buang	62	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1. Kesimpulan	64	
5.2. Saran.....	65	
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Insinerator Universitas Negeri Jakarta	2
Gambar 3.1. Skema proses pada insinerator	26
Gambar 3.2. Tungku insinerator	27
Gambar 3.3. Saluran asap tungku ke tangki (2 dimensi)	28
Gambar.3.4. Saluran asap tungku ke tangki (3 dimensi)	28
Gambar.3.5. Rancang tangki tampak depan dan samping (2 dimensi)	29
Gambar.3.6. Rancang tangki (3 dimensi).....	29
Gambar.3.7. Spesifikasi pompa air	30
Gambar.3.8. Rancang <i>water scrubber</i> (2 dimensi)	30
Gambar.3.9. Rancang <i>water scrubber</i> (3dimensi)	31
Gambar.3.10. Letak <i>water scrubber</i> pada tangki (2 dimensi)	31
Gambar.3.11. <i>Assembly misting nozzle</i> (2 dimensi).....	32
Gambar.3.12. Bagian pertama pada <i>assembly misting nozzle</i>	32
Gambar.3.13. Bagian kedua pada <i>assembly misting nozzle</i>	32
Gambar.3.14. Bagian ketiga pada <i>assembly misting nozzle</i>	32
Gambar.3.15. <i>Misting nozzle</i>	33
Gambar.3.16. Cerobong tampak samping dan bawah (2 dmensi)	33
Gambar.3.17. Cerobong (3 dimensi).....	34
Gambar.3.18. Bagian-bagian tangki pembilasan	36
Gambar.3.19. Pemasangan <i>water scrubber</i>	37
Gambar.3.20. Proses pembilasan <i>water scrubber</i>	38
Gambar.3.21. <i>Impaction</i> butiran air terhadap partikulat	39
Gambar.3.22. Diagram skema penelitian	41
Gambar.3.23. Skema eksperimen	43
Gambar.4.1. Diagram kadar opasitas gas buang	49
Gambar.4.2. Hasil <i>impaction</i> air terhadap partikel abu	51
Gambar.4.3. Diagram kadar CO ₂ gas buang	56

DAFTAR TABEL

Tabel.2.1. Klasifikasi insinerator	7
Tabel 2.2 <i>Manicipal solid waste</i>	12
Tabel 2.3 Unsur sampah kering	12
Tabel 2.4 Kandungan energi sampah	13
Tabel 3.1. Pengukuran opasitas gas buang.....	46
Tabel 3.2. Pengukuran kadar CO ₂	47
Tabel 3.3. Pengukuran Suhu	47
Tabel 3.4. Pengamatan warna asap	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latarbelakang masalah

Sampah merupakan masalah umum yang biasa kita temui di kehidupan sehari-hari. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.18 tahun 1999 menyatakan bahwa setiap orang yang melakukan usaha dan/atau kegiatan yang menggunakan bahan berbahaya dan beracun (B3) dan/atau menghasilkan limbah B3 wajib mengelola limbahnya mulai dari sumber penghasil hingga pemusnahannya. Limbah B3 didefinisikan sebagai limbah padat atau kombinasi dari limbah padat yang karena jumlah, konsentrasinya, sifat fisik, kimia maupun yang bersifat infeksi yang dapat menyebabkan kematian dan penyakit yang tidak dapat pulih, yang substansinya dapat membahayakan bagi kesehatan manusia atau lingkungan.

Penanganan sampah domestik dengan cara membakar secara terbuka akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Dampak negatif itu dikarenakan hasil pembakaran yang tidak sempurna, dimana menghasilkan kadar CO dan partikulat abu (opasitas) yang langsung ke udara bebas. Hal ini mengakibatkan polusi lingkungan menjadi tinggi, bilamana banyak pembakaran sampah yang dilakukan secara terbuka. Penanganan sampah anorganik yang terdiri dari plastik dan karet dapat dilakukan dua cara yaitu dengan daur ulang dan juga dibakar dengan alat dengan menggunakan insinerator.



Gambar 1.1 Insinerator Universitas Negeri Jakarta

Alat pembakaran sampah ramah lingkungan atau yang dikenal juga insinerator sampah ramah lingkungan, mampu membakar sampah organik, anorganik dan mengurangi terbentuknya gas beracun selama operasi berlangsung. Pemusnahan limbah domestik biasanya dilakukan dengan pembakaran di insinerator, tetapi yang sering jadi masalah ialah emisi udara dari insinerator tersebut yang dapat mencemari udara apabila tidak memiliki pengendalian udara yang baik. Insinerasi merupakan proses pembakaran yang terorganisir untuk mengurangi limbah padat sehingga berbentuk abu dan dilakukan netralisasi dan solidifikasi abu hasil bakaran dan dikuburkan didalam tanah. Insinerator dapat mereduksi massa limbah sebesar 70% dan mereduksi volume sampai 90%.

Alat pembakar sampah ramah lingkungan yang terdapat dibengkel otomotif universitas negeri jakarta masih belum efektif. Hal ini dikarenakan tingkat CO_2 dan kadar abu partikulat pada gas buang akhir masih tinggi, sehingga belum memenuhi karakteristik ramah lingkungan. Bagian yang berfungsi sebagai absorban atau penyerapan abu dan temperatur lebih rendah pada saat keluar dari cerobong pembuangan gas adalah tangki pembilasan yang dilengkapi dengan *water scrubber*. Pada tangki pembilasan insinerator tersebut juga belum terdapat

sistem *recycle fluida*. Berdasarkan masalah tersebut, saya bertujuan akan melakukan ‘*RANCANG BANGUN TANGKI PEMBILASAN INSINERATOR SAMPAH RAMAH LINGKUNGAN TERHADAP EFEKTIFITAS KADAR PARTIKULAT GAS BUANG*’.

1.2 Identifikasi masalah

- Bagaimanakah proses pembilasan pada tangki pembilasan insinerator yang efektif untuk mengurangi kadar partikulat pada gas buang pembakaran sampah?
- Apakah yang mempengaruhi penurunan kadar partikulat gas buang dengan sistem pembilasan *water scrubber*?
- Bagaimanakah kadar opasitas dan CO₂ gas buang setelah mengalami pembilasan?
- Apakah sistem pembilasan *water scrubber* mampu menurunkan kadar CO₂ pada gas buang ?
- Bagaimanakah siklus *recycle fluida* yang diterapkan pada tangki pembuangan insinerator?

1.3 Pembatasan masalah

- Penelitian ini hanya membahas bagian tangki pembilasan pada alat pembakaran sampah ramah lingkungan tersebut (insinerator).
- Peneliti menganalisa proses pembilasan *water scrubber* yang terjadi pada tangki pembilasan insinerator.

- Peneliti membahas nilai kadar opasitas dan CO₂ gas buang pada tangki pembilasan insinerator sampah ramah lingkungan.

1.4 Perumusan masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan batasan masalah, maka peneliti merumuskan masalah yaitu;

“Bagaimanakah rancang bangun tangki pembilasan yang efektif terhadap penurunan kadar opasitas dan CO₂ gas buang pada alat insinerator sampah Universitas Negeri Jakarta agar ramah terhadap lingkungan”.

1.5 Tujuan penelitian

Tujuan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengatasi masalah pencemaran udara dari gas buang pembakaran sampah anorganik pada insinerator.
- Menurunkan kadar opasitas dan CO₂ gas buang pada Insinerator Universitas Negeri Jakarta.
- Merancang tangki pembilasan dan *water scrubber* agar menghasilkan kadar partikulat dan CO₂ yang ramah terhadap lingkungan.
- Sebagai syarat kelulusan gelar Sarjana pendidikan teknik mesin Universitas Negeri Jakarta.

1.6 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi masyarakat umum tentang cara membakar sampah yang efektif ramah terhadap lingkungan.

1.7 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan ini berdasarkan atas :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang dilakukan rancang bangun tangki pembilasan alat bakar sampah ramah lingkungan, tujuan perancangan, pembatasan masalah yang akan dibahas, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini membahas mengenai prinsip teknologi insinerasi hingga perkembangannya saat ini, juga membahas mengenai karakteristik sampah yang harus diukur, pembahasan unit-unit insinerator, dan proses pembilasan *water scrubber*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang langkah-langkah dan metode penelitian yang dilakukan serta hasil yang akan diteliti.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang perancangan tangki pembuangan serta perbandingan kadar kepekatan partikulat (opasitas) dan CO₂ gas buang yang dikeluarkan pada alat pembakar sampah insinerator Universitas Negeri Jakarta.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari rancang bangun tangki pembilasan dan saran dalam penyempurnaan insinerator ini.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Insinerator

Insinerator dapat diklasifikasikan berdasarkan kapasitas, laju bakar, dan proses pembakarannya.

Tabel.2.1 Klasifikasi insinerator¹

Klasifikasi Insinerator Berdasarkan Kapasitas, Laju Bakar, dan Proses pembakaran				
Tipe Insinerator	Tipe sampah yang cocok untuk di Insinerasi	Kapasitas (m ³)	Laju Bakar (Kg/Jam)	Proses pembakaran
I	2	< 0,14	11,33	Curah
I - A	0,1&2	0,14 - 0,42	11,33 - 45,3	Curah
II	2	< 0,56	11,33- 45,3	Curah
II - A	1&2	< 0,196	> 45,3	Curah
III	0,1&2	0,196 - 0,28	> 45,3	Curah
IV	3	0,28 - 0,336	> 45,3	Curah
V	3	0,336 - 0,56	> 45,3	Sinambung
VI	4	0,56 - 0,98	> 45,3	Curah
VII	0	> 0,98	> 45,3	Curah /Sinambung

2.2 Prinsip proses insinerator

Prinsip proses insinerator merupakan suatu proses kimia yang akan menghasilkan panas dan cahaya, serta berbagai oksida senyawa kimia karena persenyawaan dengan oksigen. Proses ini merupakan proses pembakaran material padatan, cairan, ataupun gas untuk menjadi gas lain serta menghasilkan residu yang mengandung lebih sedikit material yang mudah terbakar. Reduksi volume biasanya mencapai 80 - 95%, sedangkan reduksi massa bisa mencapai 70 – 80%,

¹ Bruner, C.R. *handbook of incineration system.* (Newyork: McGraw-Hill, Inc. 1993). H.143.

yang juga tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi². Insinerasi merupakan suatu proses pembakaran. Dimana residu tersebut ialah:

- Residu Gas, merupakan gas hasil pembakaran yang dilepaskan lewat cerobong insinerator yang berupa pertikulat, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida, asam klorida, furan dan PAH (*Polynuclear Aromatic Hydrocarbon*)
- Residu cair, merupakan pengendalian pencemaran udara yang memanfaatkan efek aerosol dengan menggunakan Fluida cair, misalnya penggunaan air pada water scrubber.
- Residu padat, pada umumnya berupa logam, gelas, dan abu. Logam besi unsurnya tersisa sebanyak 10 – 25%, sedangkan logam yang lain seperti tembaga, seng, krom, tersisa sebanyak 1%.

2.3 Bagian pada insinerator

2.3.1 Ruang bakar dan ruang abu

Pada ruang bakar temperatur yang diharapkan adalah 800°C. Bentuk ruang bakar adalah ruang bakar persegi (*rectangular*), vertical sirkular, dan ruang bakar berputar (*rotary kiln*)³. Ukuran ruang bakar yang terlalu besar akan meningkatkan kebutuhan bunter akses air, sedang jika terlalu kecil akan menyebabkan terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna. Dasar perhitungan ruang bakar ialah dari besarnya volume sampah yang akan diinsinerasi pada proses tersebut. Ruang abu diletakkan dibawah ruang bakar yang merupakan lokasi untuk menampung abu

² Tchobanoglous, george. *Intergrated solid waste management:engineering principles and management issue*.(Michigan:McGraw-Hill,Inc.1993).H.110.

³ Tchobanoglous, george. Op.Cit.H.630.

sisia pembakaran dari ruang bakar. Sistem pengambilan abu umumnya menggunakan ban berjalan yang dioperasikan secara sinambung apabila insinerator berkerja secara sinambung, sedangkan untuk insinerator yang berkerja secara curah umumnya menggunakan pengumpul abu yang diletakan dibawah untuk nantinya diambil secara manual setelah insinerator selesai berkerja.

2.3.2 Unit pengendali gas buang

Pengendali gas buang ini memiliki fungsi lain yaitu sebagai penyaring zat - zat berbahaya yang terbawa oleh gas buang. Dengan menggunakan water scrubber diharapkan zat – zat itu tersaring dan tidak terbang secara sembarangan ke lingkungan. Pengendalian gas buang terdiri atas dua tahap, yaitu⁴ :

- Penurunan temperatur gas buang

Peralatan yang digunakan adalah mesin pengubah panas (*heat exchanger*).

- Pengendalian emisi gas buang

Pada umumnya, insinerator sampah menghasilkan gas buang berupa CO, CO₂, NO₂, SO₂ serta partikulat. Pengendalian partikulat umumnya dilakukan menggunakan teknologi Cyclone dan scrubber. Pengendalian SO₂ umumnya dengan menggunakan Ca(OH)₂ ataupun menggunakan *electrostatic precipitator*. Sedangkan pengendalian NO₂ umumnya menggunakan water scrubber dengan menggunakan Ca(OH)₂ ataupun *electrostatic precipitator*, pembakaran dengan udara berlebih atau dalam jumlah minimum, memerlukan modifikasi burner (*Low NO₂ burner*).⁵

⁴ Nevers, DE. *air pollution control engineering*. (singapore: McGraw-Hill, Inc. 1995). H.94.

⁵ Ibid. H.645.

Partikulat : gravity settling chamber, cyclone, water scrubber dan bag house filter.

CO dan CO₂ : modifikasi jumlah udara pembakaran

NO₂ : electrostatic precipitator, water scrubber dan Low NO₂ burner.

SO₂ : electrostatic precipitator dan water scrubber.

2.3.3 Bagian cerobong

Semakin tinggi temperatur suatu gas, maka akan semakin kecil massa jenisnya. Berdasarkan hal itulah maka dapat dipastikan gas buang akan selalu bergerak keatas. Sedotan alam meruapakan salah satu parameter yang memungkinkan gas buang akan keluar dari cerobong. Hal ini diakibatkan fungsi dari tinggi, diameter cerobong, serta kecepatan gas buang memasuki cerobong. Sedangkan untuk meningkatkan sedotan alam, seringkali dipasang Fan penarik. Jika cerobong cukup tinggi maka cukup mengandalkan sedotan alam, sedangkan jika terlalu rendah harus digunakan sedotan berupa fan penarik karena terjadinya pengenceran dengan udara dalam jumlah yang besar dan temperatur udara pengencer yang lebih tinggi⁶.

⁶ Tonggok, Robinson. *Perancangan Insinerator berkapasitas 1m³/jam.*(Depok: Departemen Teknik Mesin Falkutas Teknik Universitas Indonesia.2005).H.45.

2.4 Karakteristik sampah

2.4.1 Komposisi Kimia

Sampah tidak dapat diklasifikasikan dalam satu ataupun banyak jenis yang dikenal dengan struktur kimia. Sering kali sifat kimia dari suatu sampah tidak diketahui. Sejumlah perhitungan dilibatkan pada pembakaran suatu material sampah, karena itu, dalam banyak kasus, perhitungan-perhitungan harus didasarkan pada sejumlah asumsi. Berikut ini asumsi – asumsi yang ada yaitu⁷ :

- Semua hidrogen yang ada berubah menjadi uap air, H_2O , jika tidak dengan cara lain dicatat dibawah ini.
- Semua klorida (atau florida) berubah menjadi Hidrogen Klorida, HCL (atau Hidrogen Florida, HF)
- Semua karbon berubah menjadi karbondioksida. CO_2
- Semua sulfur/belerang berubah menjadi Sulfurdioksida, SO_2
- Logam-logam alkali berubah menjadi Hidroksida-hidroksida. Natrium menjadi Natrium Hidroksida, $NAOH$
- Logam-logam nonalkali berubah menjadi Oksida-oksida : tembaga menjadi tembaga oksida, Fe_2O_3

Semua Nitrogen dari sampah , bahan bakar, atau udara akan membentuk suatu molekul daitomic, misalnya Nitrogen menjadi N_2 .

⁷ Tchobanoglous, george. Op.Cit.H.293.

Tabel 2.2 *Manicipal solid waste*⁸

Analisis Unsur Komponen Sampah Rumah Tangga (manicipal solid waste)

Percent by mass (dry mass)

Component	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Food wastes	45,5	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Paper	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Cardborad	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Plastics	60	7,2	22,8	-	-	10
Textiles	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Rubber	78	10	-	2	-	10
Leather	60	8	11,6	10	0,4	10
Garden Trimming	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Wood	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Misc. Organic	48,5	6,5	37,5	2,2	0,3	3
Dirt, asher, brick, etc	26,5	3	2	0,5	0,2	68

Tabel 2.3 Unsur sampah kering⁹

Komposisi Unsur Sampah Kering

Unsur	Kmol	Perbandingan
Karbon	8,06	374,26
Hidrogen	46,21	2146,96
Oksigen	272,04	12639,48
Nitrogen	0,31	14,62
Sulfur	0,02	1

⁸ Peavy, S.H. *environmental engineering*. (Newyork: McCraw-Hill, Inc. 1985). H. 141.

⁹ Tonggok, Robinson. Op.Cit. H. 55.

2.4.2 Kandungan Energi

Data kandungan energi dan residu dari sampah rumah tangga terdapat pada tabel berikut.

Tabel 2.4 Kandungan energi sampah¹⁰

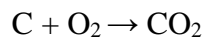
Kandungan Energi dari *Municipal Solid waste*

Component	Inert Residue Percent		Energy, KJ/Kg	
	Range	Typical	Range	Typical
Food Wastes	2 - 8	5	3500 - 7000	4650
Paper	4 - 8	6	11600 - 18600	16750
Cardboard	3 - 6	5	13950 - 17450	16300
Plastics	6 - 20	10	20900 - 27900	32600
Textiles	2 - 4	2,5	15100 - 19800	17450
Rubber	8 - 20	10	20900 - 27900	23250
Leather	8 - 20	10	15100 - 19800	17450
Garden trimming	2 - 6	4,5	2300 - 18600	6500
Wood	0,6 - 2	1,5	17450 - 19800	18000
Misc. Organics	2 - 8	6	11000 - 26000	150
Glass	96 - 99	98	100 - 250	700
Tin Cans	96 - 99	98	250 - 1200	
Nonferrous metals	90 - 99	96		700
ferrous metals	94 - 99	98	250 - 1200	7000
Dirt, ashes, brick, etc	60 - 80	70	2303 - 11650	10500
Municipal solid wastes				9300 - 12800

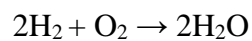
¹⁰ Peavy, S.H. Op.Cit.H.152.

2.5 Persamaan – persamaan Kesetimbangan

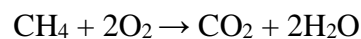
Persamaan kesetimbangan kimia terbentuk untuk menunjukkan kandungan unsur. Contoh : berat molekul disebelah kiri persamaan sebanding dengan berat molekul disebelah kanan, untuk karbon sebagai contoh :



Dari tabel sistem periodik unsur-unsur, berat atom dari karbon adalah 12,01 dan dari Oksigen 16,00. Untuk contoh sederhana ini sehingga berat CO₂ disebelah kiri adalah $12,01 + 2 \times 16,00 = 44,01$, dimana sebanding dengan berat CO₂ disebelah persamaan kanan. Pada sampah-sampah dan bahan bakar yang sering dijumpai, kandungan utama berisi karbon dan hidrogen. Untuk hidrogen:



Perhatikan bahwa Oksigen dan Hidrogen terdiri dari molekul Diatomic (O₂ dan H₂), seperti halnya N₂ persamaan kesetimbangan untuk metana, CH₄ adalah



Jumlah total molekul pada setiap unsur disebelah kiri sebanding dengan jumlah total molekul setiap unsur disebelah kanan.

2.6 Prinsip dasar *Wet Scrubber*

Sistem *scrubber* adalah kumpulan berbagai macam alat kendali polusi udara yang dapat digunakan untuk membuang partikel atau gas dari arus gas keluaran industri. Dahulu, *scrubber* berkaitan dengan peralatan kontrol polusi yang menggunakan *liquid* untuk ‘mencuci’ polutan yang tidak diinginkan dari arus gas. Saat ini, istilah *scrubber* juga digunakan untuk menggambarkan sistem yang menyuntikan atau memasukan bahan aktif kering atau *liquid* kedalam gas kotor

untuk mencuci gas asam. *Scrubber* adalah salah satu peralatan pokok yang mengontrol emisi gas. *Wet scrubber* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan variasi alat yang menggunakan *liquid* untuk membuang polutan. Pada *wet scrubber*, arus gas kotor dibawa menuju kontak dengan *liquid* pencuci dengan cara menyemprotkan, mengalirkan atau dengan metode kontak lainnya, tergantung pada kondisi proses industri dan sifat alami polutan udara yang bersangkutan. *Scrubber* dapat didesain untuk mengumpulkan polutan partikel atau gas. *Wet scrubber* membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*, sedangkan untuk polutan gas proses *wet scrubber* adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan kedalam *liquid*. Adapun *liquid* yang masih terdapat dalam arus gas pasca pencucian, selanjutnya harus dipisahkan dari gas bersih dengan alat yang lain disebut *mist eliminator* atau *entrainment separator*.

Kemampuan *wet scrubber* untuk mengumpulkan partikulat berukuran kecil seringkali berhubungan langsung atau proposional dengan input power scrubber. Alat *low energy* seperti *spray tower* digunakan untuk mengumpulkan partikel lebih besar dari 5 micrometer. Untuk menghasilkan efisiensi tinggi dari pembuangan partikel 1 micrometer (atau kurang) umumnya membutuhkan alat *high energy* seperti venturi atau alat besar seperti *condensation scrubber*. *Wet scrubber* yang membuang polutan gas disebut absorber¹¹. Kontak gas dengan *liquid* yang baik sangat penting untuk menghasilkan efisiensi pembuangan yang tinggi pada absorber. Sejumlah desain *wet scrubber* digunakan untuk membuang

¹¹ Nevers, De.Op.Cit.H.212.

polutan gas dengan *packed tower* dan *plate tower* menjadi yang umum digunakan.

Berikut adalah beberapa keunggulan *wet scrubber*, yaitu¹² :

- *Wet scrubber* memiliki kemampuan untuk mengatasi temperatur dan kelembaban tinggi.
- Pada *wet scrubber*, *flue gas* didinginkan, menghasilkan kebutuhan ukuran peralatan yang lebih kecil secara keseluruhan.
- *Wet scrubber* dapat membuang baik polutan gas maupun partikel padat.
- *Wet scrubber* dapat menetralkan gas yang korosif.

2.6.1 Sistem *wet scrubber*

Wet scrubber system secara umum terdiri dari komponent-komponent berikut ini:

- *Ductwork* dan sistem *fan*
- *Saturation chamber*
- *Scrubbing vassel*
- *Mist eliminator*
- *Pumping* dan *system recyle*
- *Exhaust stack*

Wet scrubber sangat bervariasi baik dalam kompleksitas dan metode operasi, mengkategorikannya dalam kelompok yang benar-benar sesuai sangatlah sulit. *Scrubber* untuk pengumpulan partikel biasanya dikategorikan dengan gas *side pressure drop* dari sistem. Gas *side pressure drop* diartikan sebagai perbedaan tekanan, atau *pressure drop* yang terjadi akibat dari gas yang ditekan atau ditarik

¹² Nevers, De. *Loc. Cit.*

disepanjang *scrubber*, dengan mengabaikan tekanan yang digunakan untuk memompa atau menyemprot *liquid* kedalam *scrubber*. Klasifikasi *scrubber* berdasarkan *pressure drop* atau perbedaan tekanan adalah sebagai berikut¹³;

- *Low energy scrubber*

Dimana memiliki *pressure drop* kurang dari 12,7 cm (5 inc) kolom air.

- *Medium energy scrubber*

Dimana memiliki *pressure drop* antara 12,7 dan 38,1 cm (5 inc dan 15 inc) kolom air.

- *High energy scrubber*

Dimana memiliki *pressure drop* lebih besar dari 38,1 cm (15 inc) kolom air.

2.6.2 Prinsip operasi *wet scrubber*

Wet scrubber membuang polutan partikel dari arus gas dengan menangkap partikel tersebut dalam tetesan/ butiran *liquid* atau lapisan *scrubbing liquid* lalu memisahkan tetesan air tersebut dari arus gas¹⁴. Beberapa variabel proses mempengaruhi penangkapan partikel; variabel tersebut adalah ukuran partikel, ukuran droplet, dan kecepatan relatif partikel dengan droplet *liquid*. Dengan ukuran polutan menjadi parameter. Secara umum, partikel yang lebih besar lebih mudah untuk ditangkap daripada yang lebih kecil. Kunci dari penangkapan partikel yang efektif pada *wet scrubber* adalah dengan menciptakan kabut atau droplet kecil yang bertindak sebagai target pengumpul. Biasanya, makin kecil droplet dan makin banyak droplet yang tercipta untuk menangkap partikel berukuran kecil. Penangkapan partikel secara umum meningkat seiring dengan

¹³ *Ibid*, H.214

¹⁴ *Ibid*, H.248.

tingginya energi sistem yang digunakan, karena energi dibutuhkan untuk memproduksi kabut droplet air. Kecepatan relatif yang tinggi antara partikel dan droplet *liquid* (partikel bergerak cepat terhadap droplet *liquid*) juga mendukung pengumpulan partikel. Untuk pengumpulan atau pembuangan polutan gas, polutan tersebut harus mudah terlarut dalam *liquid* yang dipilih. Pertimbangan lain yang cukup penting untuk kedua jenis polutan adalah jumlah *liquid* yang digunakan atau diinjeksikan kedalam *scrubber* per volume gas yang dihasilkan (disebut juga sebagai *liquid to gas ratio*) dan pembuangan tetesan air yang terbawa dalam gas *liquid to gas ratio* sangat penting untuk menjamin jumlah *liquid* agar cukup untuk pembuangan polutan yang efektif.

2.7 Parameter desain *wet scrubber*

Performa suatu jenis *scrubber* tertentu sangat tergantung pada distribusi ukuran partikel pengotor dalam arus gas produser. Distribusi ukuran menentukan mekanisme penangkapan yang mendominasi seperti; *impaction*, *interception*, atau *diffusion*¹⁵. Kebanyakan desain *wet scrubber* mengandalkan hampir secara keseluruhan pada inertial *impaction* untuk mengumpulkan partikel-partikel berukuran lebih kecil dari 0,1 μm paling banyak tertangkap melalui mekanisme difusi. Parameter yang mempengaruhi performa *wet scrubber* secara keseluruhan adalah:

- *Waste gas flow rate, temperature and humidity*
- Kecepatan gas dan *pressure drop*
- *Liquid to gas (L/G) ratio*
- *Residence time*
- *Droplet size*, dan persamaan *pressure drop*

¹⁵ Munson, Bruce R. *Mekanika fluida edisi keempat jilid II.*(Jakarta:Erlangga.2003).H.98.

2.7.1 *Water gas flow rate, temperature, and humidity*

Laju aliran arus gas produser adalah parameter untuk pengukuran dimensi yang paling tinggi pada *wet scrubber*. Makin tinggi laju aliran gas, makin besar sistem venturi dan volume *scrubbing liquid* yang dibutuhkan untuk mencuci gas. *Wet scrubber* beroperasi pada laju alir gas lebih kecil daripada *baghouse* atau EPSP karena injeksi *liquid*. Temperatur gas produser dan humalitas juga berpengaruh pada desain venturi. Ketika udara melewati *wet scrubber*, air menguap dan humaditas juga meningkat dan mendinginkan arus gas. Jumlah penguapan ditentukan oleh *inlet* dan humaditas. Laju penguapan yang tinggi akan meningkatkan konsumsi air yang dibutuhkan atau *liquid to gas ratio*. *Inlek* aplikasi pembuangan partikel *wet scrubber* secara umum terbatas pada *range* 50°F – 100°F karena penguapan.

2.7.2 *Kecepatan gas dan pressure drop*

Meningkatkan kecepatan relatif antara gas dan *droplet liquid* meningkatkan momentum partikel. Menyebabkan partikel lebih kecil untuk terkumpul oleh mekanisme *impaction*. Kecepatan relatif dapat ditingkatkan dengan cara mempersempit *throat*, menginjeksikan *liquid* ke *throat*. Namun meningkatkan kecepatan relatif biasanya meningkatkan *pressure drop*, kebutuhan energi, dan biaya operasi *scrubber*.

2.7.3 *Liquid to Gas ratio (L/G)*

Liquid to Gas ratio (L/G) adalah volume *liquid* yang diinjeksikan per volume *efficiency*, karena density *droplet* disepanjang area permukaan tertentu pada *scrubber* lebih tinggi. Laju aliran *liquid* antara 7 sampai 10 gal/1000 f³

memberikan performa maksimal. L/G *ratio* akan meningkatkan *collection efficiency* sampai batas waktu tertentu¹⁶. Hal ini akan meningkatkan biaya operasi karena penggunaan *scrubbing liquid* yang besar dan penggunaan pompa.

2.7.4 Droplet Size

Terdapat ukuran optimum untuk memaksimalkan pengumpulan partikel. *Droplet* lebih kecil memiliki permukaan lebih besar terhadap rasio volume, maka akan menangkap partikel lebih banyak per volume yang diinjeksikan. Bagaimanapun juga jika ukuran *droplet* terlalu kecil, momentum dari arus gas dapat berpindah *droplet* yang akan menurunkan kecepatan relatif rendah sehingga menghasilkan *collection efficiency* yang rendah juga.

2.8 Metode penyerapan partikel

Wet scrubber menangkap partikel debu yang kecil terhadap butiran liquid yang besar dikebanyakan *wet scrubber*, droplet yang dihasilkan besarnya adalah lebih dari 50 micrometer (dalam *range* 150-500 micrometer). Sebagai tolak ukur, ukuran diameter rambut manusia berkisar antara 50 – 100 micrometer. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung sumber. Contohnya, partikel yang dihasilkan dari padatan mekanik (*crush* atau *grind*) cenderung besar (diatas 10 micrometer), sedangkan partikel yang berasal dari *combustion* (reaksi kimia) akan menghasilkan partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submicrometer. Ukuran partikel yang paling kecil

¹⁶ Nevers, DE. Op.Cit.H.198.

adalah antara 0.1 sampai 0.5 micrometer, karena partikel dengan ukuran tersebut adalah yang paling sulit dikumpulkan atau dibuang oleh *wet scrubber*¹⁷.

2.9 Dinamika Fluida

Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi-bagi fluida tersebut menjadi elemen-elemen volume yang sangat kecil, yang dapat dinamakan partikel – partikel fluida. Berikut karakteristik umum dari aliran fluida¹⁸.

- Aliran tunak dan tak tunak

Bila kecepatan fluida disetiap titik yang diberikan adalah konstan didalam waktu, maka gerak fluida tersebut dikatakan aliran tunak. Sedangkan kecepatan fluida yang melalui setiap titik berbeda tetapi berperilaku persis sama pada setiap titik yang dilalui, maka gerak fluida tersebut dikatakan aliran tak tunak.

- Aliran berolak dan tak berolak

Jika elemen-elemen fluida disetiap titik tidak mempunyai kecepatan sudutan maka gerak aliran fluida tersebut dikatakan aliran tak berolak. Tetapi jika elemen – elemen fluida mempunyai kecepatan sudutan pada setiap titik yang dilalui maka gerak fluida tersebut dikatakan aliran fluida berolak.

- Aliran termampatkan dan tak termampatkan

Cairan yang tidak memiliki kekentalan (*viscous*) akan bergerak dengan aliran tak termampatkan. Sedangkan fluida yang melalui setiap titik dan

¹⁷ Khairumizan, Panji. *Studi eksperimental implementasi venturi scrubber pada sistem gasifikasi batu bara*. (Depok: Departemen Kementerian Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2008). H.17.

¹⁸ Wiley, John. *PHYSICS 3rd Edition*. (Jakarta: Erlangga. 1998). H.597

berpengaruh terhadap gaya gesek, waktu dan mengalami dapat mengalami perubahan massa jenis, maka gerak fluida tersebut disebut aliran fluida termampatkan.

2.9.1 Persamaan kontinuitas

Aliran fluida yang bermula memiliki kecepatan (v) pada suatu titik dengan luas penampang (A) maka akan memiliki besar masa fluida yang sama pada titik lain yang memiliki luas penampang berbeda (A'). Maka dapat di tentukan persamaan¹⁹ :

$$\text{Fluks massa} = \rho \cdot v \cdot A = \text{konstan} \quad \dots (2.3)$$

Pada aliran fluida tak termampatkan maka akan berlaku persamaan²⁰ :

$$\text{Massa fluida} = A \cdot v = \text{konstan} \quad \dots (2.4)$$

Artinya besar massa fluida (debit) pada setiap titik yang dilalui akan selalu sama atau konstan walapun memiliki luas penampang yang berbeda, hal ini juga dapat berpengaruh pada kecepatan aliran fluida. Dimana tekanan akan berbanding lurus dengan luas penampangnya tetapi berbanding terbalik dengan kecepatan aliran fluida.

2.9.2 Persamaan BERNOULLI

Persamaan Bernoulli adalah sebuah hubungan fundamental didalam mekanika fluida, karena persamaan Bernoulli tersebut pada pokoknya adalah sebuah pernyataan teorema kerja – tenaga untuk aliran fluida. Teorema usaha – tenaga

¹⁹ *Ibid.* H.582

²⁰ *Ibid.*H.583

menyatakan kerja yang dilakukan gaya resultan yang beraksi dalam pada sebuah sistem adalah sama dengan perubahan energi kinetik²¹.

$$\mathbf{W = P.V + \rho.g.h} \quad \dots (2.5)$$

Dimana $W = \Delta EK$, sedangkan $EK = \frac{1}{2} \rho.v^2$. Maka dapat disederhanakan persamaan tersebut menjadi²² :

$$\mathbf{P + \rho.g.h + \frac{1}{2} \rho.v^2 = \text{Konstan}} \quad \dots (2.6)$$

Dimana ;

W : usaha kerja

P : tekanan

V : volume

ρ : massa jenis

h : ketinggian

v : kecepatan

²¹ *Ibid.* H.586

²² *Ibid.*H.587

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tujuan penelitian

Adapun tujuan penelitian ini ialah mengetahui pengaruh sistem pembilasan *water scrubber* yang efektif terhadap kadar abu partikulat, CO₂, suhu dan warna gas buang pembakaran sampah yang sesuai dengan karakteristik ramah lingkungan.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini penulis menggunakan alat dan bahan untuk dapat diterapkan dalam penelitian ini.

3.2.1 Alat

- 1) *Thermokopel* digunakan suhu pada cerobong tungku dan cerobong tangki.
- 2) *Smokemeter* yang digunakan untuk mengukur opasitas gas buang pada cerobong tungku dan cerobong tangki.
- 3) *Exhaust analyzer* untuk mengetahui kadar CO, CO₂, O₂, dan HC (*hidrocarbon*) pada gas buang pembakaran.
- 4) Timbangan untuk mengukur massa sampah yang akan dibakar.
- 5) *Stopwatch* untuk mengukur waktu yang dibutuhkan.
- 6) Jangka sorong untuk mengukur dimensi *misting nozzle* pada *water scrubber*.

3.2.2 Bahan

- 1) 2 drum polimer yang digunakan sebagai tangki pembilasan dan tangki *reclye fluida*.
- 2) Besi hollow 3x3 yang digunakan sebagai rangka dudukan tangki.
- 3) 4 buah *misting nozzle* yang digunakan sebagai pembilas pada sistem *water scrubber*.
- 4) Blower yang digunakan sebagai pemberi udara pada tungku insinerator agar pembakaran yang terjadi sempurna
- 5) Pompa air yang digunakan sebagai sumber air dalam proses pembilasan gas buang.
- 6) Tungku insinerator berkapasitas 1m^3 yang diigunakan sebagai tempat pembakaran sampah.
- 7) Air sebagai fluida pembilasan asap
- 8) Sampah plastik (kantong plastik, botol plastik)
- 9) Pipa Pvc (pelaron) sebagai saluran gas buang dari tungku.
- 10) Solar sebagai bahan bakar dan pematik api.

3.3 Rancang bangun

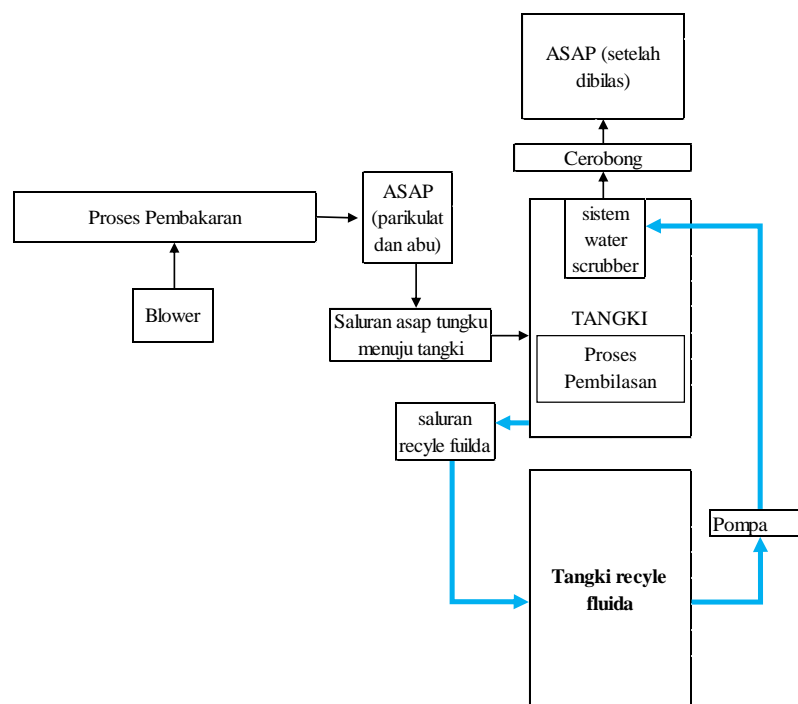
3.3.1 Rancangan Pembuatan Tangki Pembilasan

- a) Tempat penelitian
Penelitian dilakukan di Gedung M Bengkel Otomotif Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
- b) Waktu penelitian waktu Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2014 – desember 2014

c) Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium. Penulis melakukan pengujian rancang bangun tangki pembuangan insinerator dengan penurunan kadar abu dan partikulat yang efektif pada gas buang pembakaran insinerator di bengkel otomotif. Studi literatur dari jurnal – jurnal yang telah ada. Kemudian menentukan rancangan dan piranti yang akan diterapkan pada tangki pembuangan insinerator. Pada dasarnya, peneliti akan meneliti proses pembilasan yang tepat terhadap penurunan kadar abu dan partikular emisi gas buang dari insinerator.

d) Skema Proses pada insinerator.

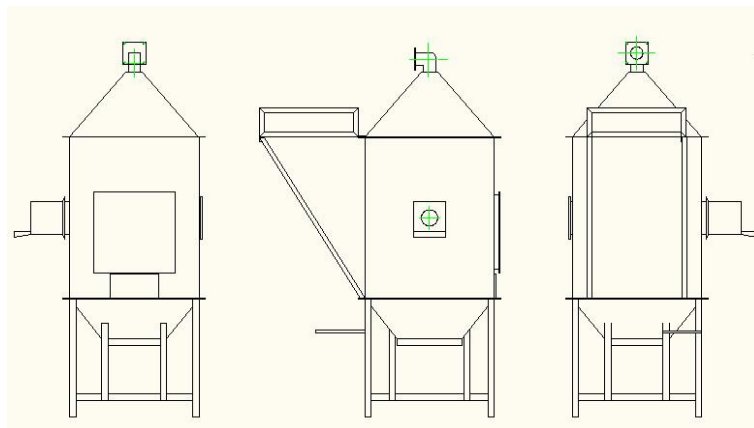


Gambar 3.1 Skema proses pada insinerator

Pada gambar 3.1 di atas adalah siklus yang terjadi pada proses pembakaran sampah di insinerator. Adapun piranti yang diterapkan pada proses tersebut terdiri dari ;

I. Tungku insinerator

Tungku yang berbentuk persegi dengan volume 1m^3 merupakan tempat terjadinya proses pembakaran sampah. Pada tungku ini juga dilengkapi penampung abu yang terletak dibagian bawah tungku untuk menampung abu sisa pembakaran yang tidak ikut terbakar.



Gambar 3.2 Tungku insinerator

II. Blower

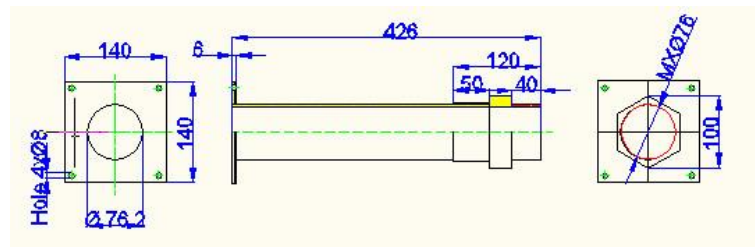
Blower ditempatkan di samping sebelah kanan tungku, dimana agar pada proses pembakaran didalam tungku memiliki udara yang cukup untuk melakukan pembakaran yang sempurna dan juga memberikan turbolen agar asap bergerak keatas menuju cerobong tungku.



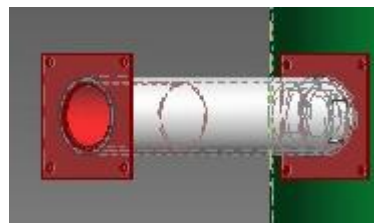
Gambar 3.3 Blower

III. Saluran asap tungku ke tangki

Saluran ini terbuat dari pipa yang dibentuk plat tipis, kemudian diteruskan dengan pipa pvc (pipa peralon) menuju tangki. Pada saluran ini juga dilengkapi gasket dan alkliric yang bertujuan mereduksi panas dari cerobong tungku.



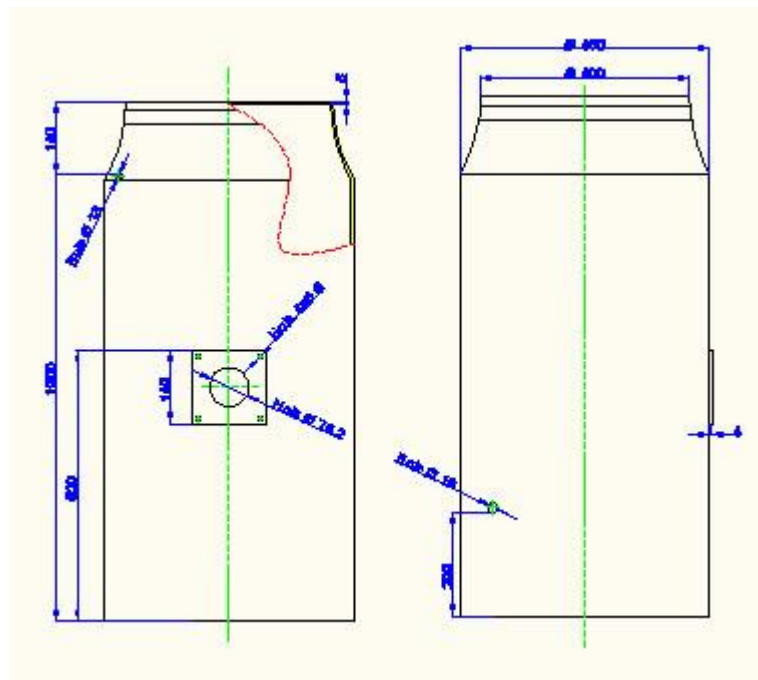
Gambar 3.4 Saluran asap tungku ke tangki (2 dimensi)



Gambar 3.5 Saluran asap tungku ke tangki (3 dimensi)

IV. Tangki pembilasan

Tangki pembilasan yang digunakan adalah tangki berbahan polimer, tangki berdiameter 400mm dan tinggi 1000mm. Asap akan masuk kedalam tangki melalui saluran gas pada gambar 3... kemudian dibilas oleh *water scrubber* yang dipasang pada bagian atas dalam tangki.



Gambar 3.5 Rancang tangki tampak depan dan samping (2 dimensi)

V. Pompa air

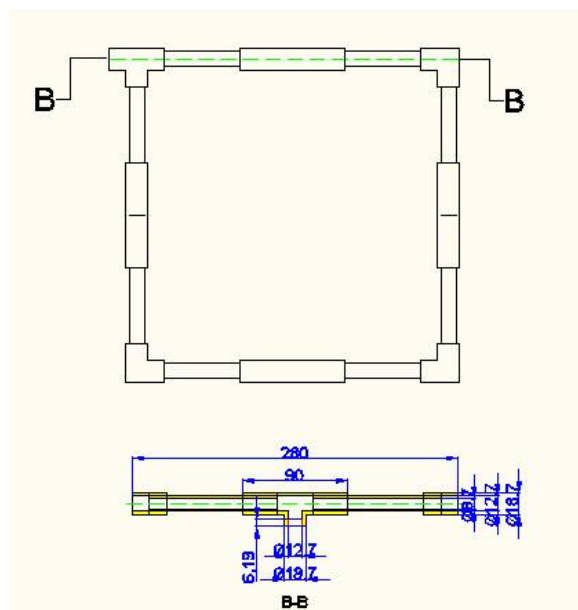
Dalam proses pembilasan *water scrubber* menggunakan misting nozzle yang memerlukan tekanan yang cukup dan mengalirkan air dari tangki *recycle fluida* menuju sistem *water scrubber*.

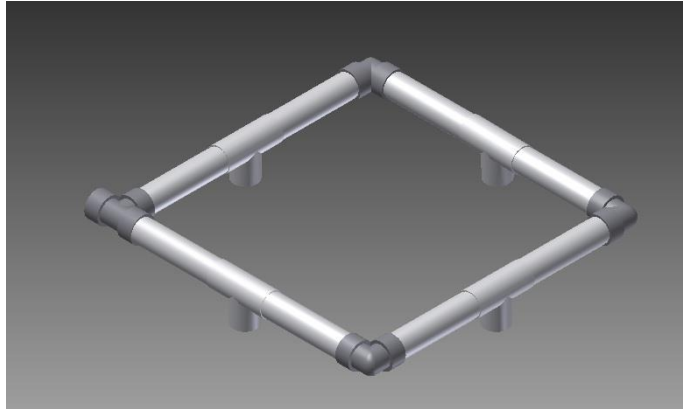
$U = 220 \text{ V (50 Hz)}$	$H = 20\text{-}10 \text{ M}$
$8\mu\text{F} = 1.3 \text{ A}$	$Q = 10\text{-}18 \text{ Lt/min}$
$n = 2900 \text{ min}^{-1} (\text{Lp} \times 4)$	pipa hisap = 25 mm (1")
	Pipa dorong = 25mm (1")

Gambar 3.7 Spesifikasi pompa air

VI. Water Scrubber

Water scrubber membuang partikel dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran *liquid*, sedangkan untuk polutan gas proses *water scrubber* adalah dengan melarutkan atau menyerap polutan kedalam *liquid*. Secara umum, partikel yang lebih besar lebih mudah untuk ditangkap daripada yang lebih kecil. Kunci dari penangkapan partikel yang efektif pada *water scrubber* adalah dengan menciptakan kabut atau droplet kecil yang bertindak sebagai target pengumpul.

Gambar 3.8 Rancang *water scrubber* (2 dimensi)



Gambar 3.9 Rancang *water scrubber* (3 dimensi)

VII. Misting Nozzle

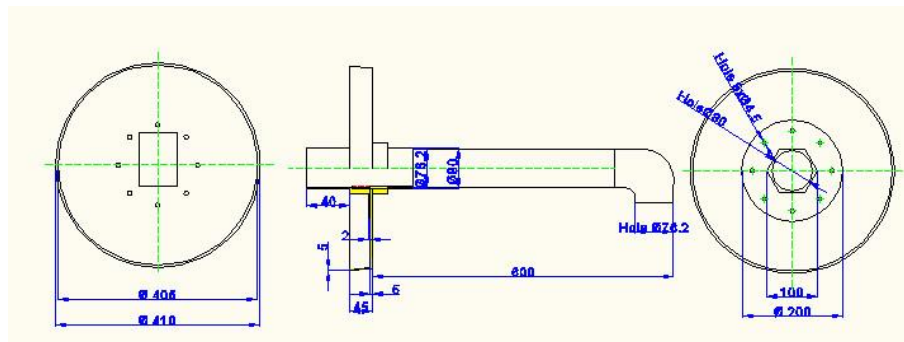
Sprayer berjenis misting nozzle digunakan untuk mengaplikasikan dalam pengumpulan partikel abu dengan butiran air dalam sistem *water scrubber*. Fungsi utama sprayer adalah untuk memecahkan cairan yang disemprotkan menjadi tetesan kecil (*droplet*) dan mendistribusikan secara merata pada objek (*partikulat abu*). Berdasarkan jenisnya, nozzle yang digunakan adalah *Hallow cone nozzle*. Pada nozzle jenis ini Fluida mengalami Pemampatan sehingga penyebaran butiran cairan akan berbentuk lingkaran. Besar kecil ukuran *droplet size* (butiran air) ditentukan oleh tekanan pemampatan yang diberikan. Makin luas ruang pemampatan, makin besar ukuran *droplet size* (butiran air) tetapi lebih kecil diameter penyebaran butiran air. Keuntungan penggunaan nozzle jenis ini karena dapat diperoleh penyebaran butiran air yang seragam.



Gambar 3.15 Gambar *misting nozzle*

VIII. Cerobong asap

Bagian cerobong asap merupakan bagian asap hasil pembilasan keluar menuju udara bebas. Semakin tinggi temperatur suatu gas, maka akan semakin kecil massa jenisnya. Berdasarkan hal itulah maka dapat dipastikan gas buang akan selalu bergerak keatas. Bagian cerobong ini juga berfungsi sebagai tutup pada tangki.



Gambar 3.16 Gambar cerobong (2 dimensi)



Gambar 3.17 Gambar cerobong (3 dimensi)

IX. Tangki *Recycle fluida*

Tangki *recycle fluida* merupakan wadah sirkulasi fluida yang digunakan pada *water scrubber*. Fluida akan di sedot oleh pompa dan di dorong menuju *water scrubber*, kemudian fluida kembali ke dalam *recycle fluida* melalui saluran buang yang berada pada tangki.

3.3.2 Parameter Desain

Dalam penelitian ini, ada beberapa hal yang dijadikan acuan sebagai parameter desain agar terciptanya sistem *water scrubber* pada tangki.

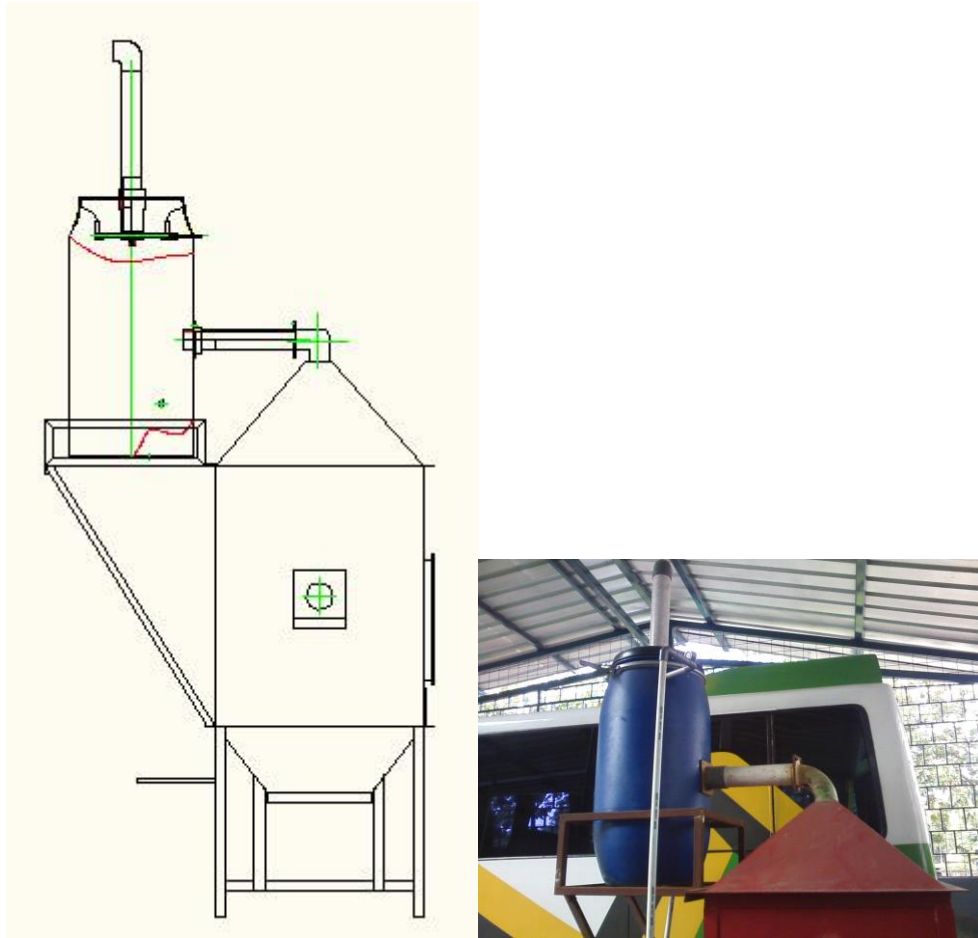
- a. Temperatur
- b. *Liquid to gas ratio*
- c. *Droplet size*

3.4 Perakitan

3.4.1 Pemasangan bagian-bagian pada tangki pembilasan

Dalam meningkatkan efektifitas penurunan kadar abu dan CO₂ gas buang, penyaluran gas buang dari tungku menuju tangki pembilasan dan proses pembilasan yang terjadi juga harus efektif. Bagian-bagian yang dipasang pada tangki pembilasan terdiri dari:

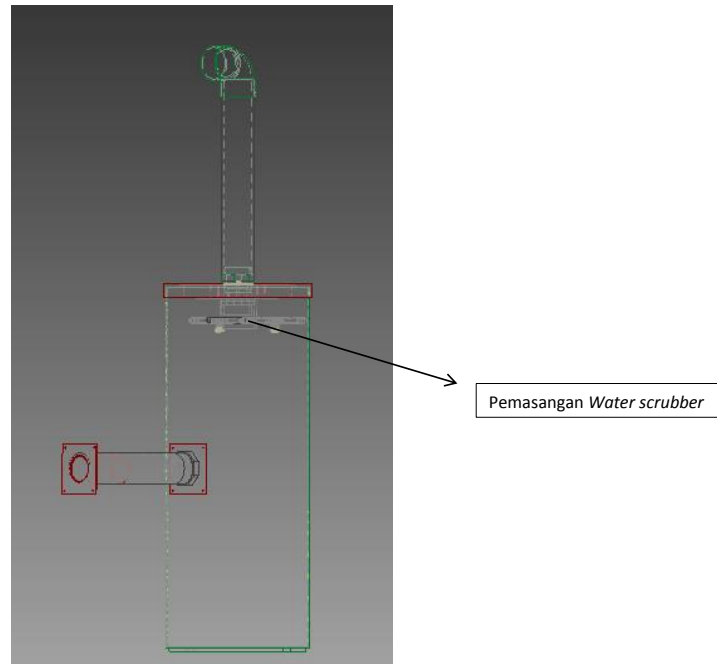
- Saluran asap dari tungku menuju tangki
- Saluran buang *recycle* fluida pada tangki pembilasan
- Saluran masuk fluida *water scrubber* pada tangki
- Cerobong asap pada tangki
- Saluran buang akhir pada tangki
- Dudukan tangki pada insinerator



Gambar 3.18. Perakitan tangki pada insinerator

3.4.2 Penempatan sistem water scrubber

Penempatan sistem *water scrubber* dipasang pada bagian dalam atas tangki agar dapat membilas gas buang sebelum keluar melalui cerobong tangki. Sistem *water scrubber* dilengkapi dengan 4 buah *misting nozzle*. *Misting nozzle* yang digunakan berjenis *hollow cone*. Penggunaan *hollow cone* dikarenakan memiliki *droplet size* air yang merata dan cakupan penyebaran butiran air juga luas, sehingga mampu membilas asap dalam volume yang besar saat berada didalam tangki.



Gambar 3.19. Pemasangan *water scrubber*

3.5 Cara Kerja sistem

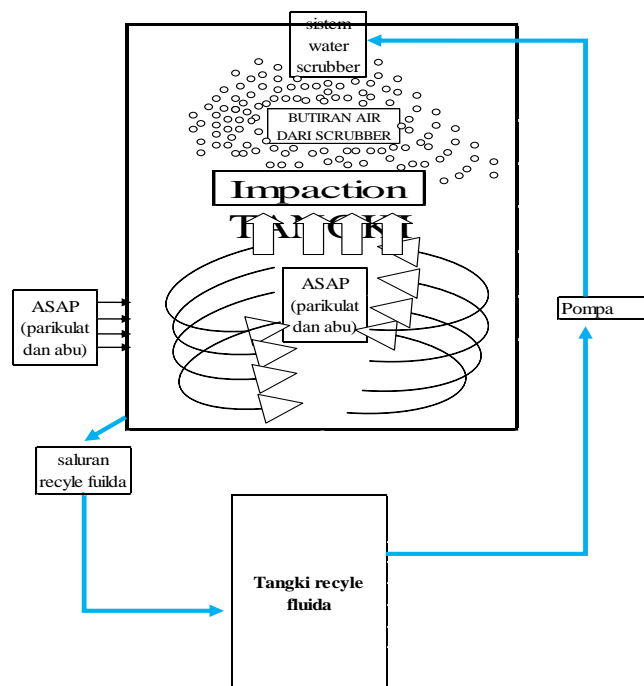
3.5.1 Proses pembilasan

Proses pembilasan terjadi bila sistem *water scrubber* telah aktif. Jika sistem *water scrubber* tidak aktif, maka asap akan masuk kedalam tangki dan keluar melalui cerobong tanpa mengalami pembilasan.

Sampah plastik dengan massa 4Kg dibakar didalam tungku insinerator. Pada tungku dilengkapi blower yang berfungsi memberikan udara yang cukup agar proses pembakaran sempurna dan mendorong gas buang agar bergerak keatas menuju cerobong tungku. Gas buang masuk kedalam saluran asap tungku menuju tangki. Pada saat gas buang masuk dalam tangki, butiran air yang keluar dari *water scrubber* menyerap partikulat, CO₂ dan suhu pada gas buang. Gas buang yang telah terbilas bergerak keatas dan keluar melalui cerobong tangki.

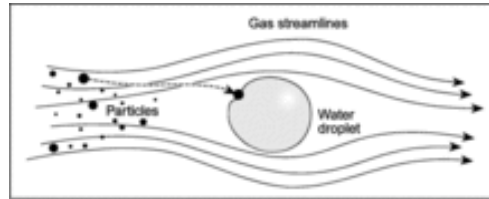
3.5.2 Sistem scrubber

Water scrubber menangkap partikel debu yang kecil relatif terhadap butiran liquid yang besar. Distribusi ukuran partikel yang akan dibuang dalam sistem tergantung dari sumber. Partikel yang berasal dari pembakaran atau reaksi kimia akan memiliki partikel yang kecil (kurang dari 5 micrometer) atau berukuran submikrometer.



Gambar 3.20. Proses pembilasan *water scrubber*

Pada gambar diatas, bahwa gas buang memenuhi volume dalam tangki kemudian dibilas oleh butiran air yang keluar dari *mizting nozzle*. Pada pembilasan terjadi *impaction* antara abu dan partikel gas dengan *droplet* air. Ukuran butiran air yang lebih besar dari ukuran partikulat gas buang, sehingga partikulat terserap dan ikut bersama air.



Gambar 3.21. *impaction* butiran air terhadap partikulat

Fluida yang digunakan adalah air. Karena beberapa jenis sampah mudah terbakar, menggunakan air dapat menghindari kemungkinan dari ledakan.

Penggunaan sistem *water scrubber* dikarenakan :

- Tidak memerlukan tempat yang luas
- Mengurangi temperatur dan volume gas kotor
- Tidak ada sumber pengotor kedua, partikel terkumpul dan tidak dapat keluar selama proses berjalan
- Mampu mengumpulkan pengotor gas maupun partikel padat.

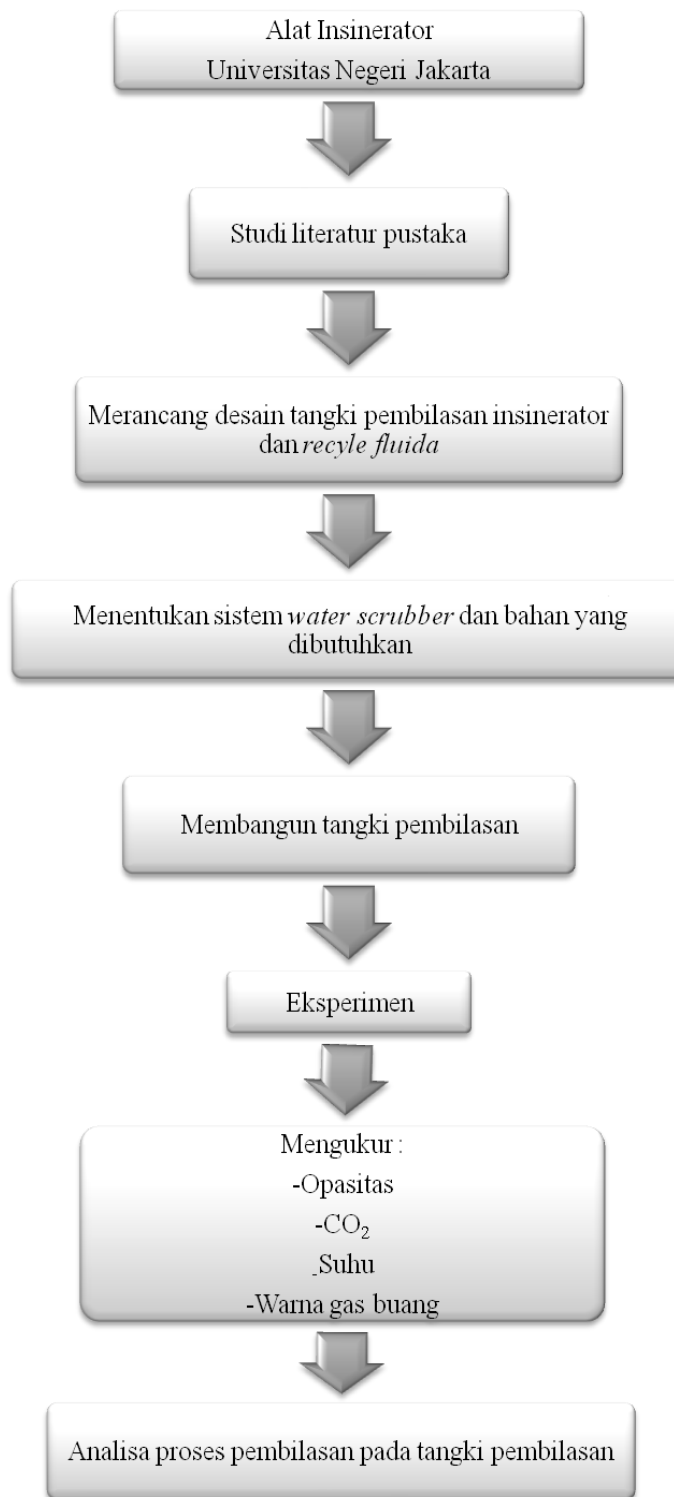
3.6 Analisis dan hasil

Setelah mengetahui logika kebutuhan pada parameter desain sistem *water scrubber*, maka penulis dapat menganalisis sistem *water scrubber* efektif dalam pembilasan gas buang apabila :

- a. Suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki lebih rendah dibandingkan suhu gas buang yang masuk menuju tangki. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi penguapan cairan pada proses pembilasan oleh *water scrubber*.

- b. Efisiensi pengumpulan partikel yang dihasilkan besar. Kadar partikulat abu yang keluar dari cerobong tangki setelah mengalami pembilasan relatif kecil dan tidak berwarna hitam pekat.
- c. *Droplet size* atau diameter butiran air yang dihasilkan pada *misting nozzle* lebih besar dibandingkan diameter partikulat abu. Jangkuan penyebaran butiran air luas dan merata, sehingga volume abu yang diserap air lebih besar.

3.7 Skema penelitian



Gambar 3.22. Gambar diagram flowchart penelitian

A. Langkah persiapan

- Pengumpulan data dan studi literatur terkait tentang insinerator, polusi udara, kandungan unsur sampah, prinsip – prinsip konversi energi dan mekanika fluida.
- Perencanaan desain dan perangkat *water scrubber* pada tangki pembuangan pada alat pembakaran sampah.

B. Langkah penelitian

Membangun rancangan tangki pembuangan dilengkapi sistem *water scrubber* dan *Recycle fluida* pada alat bakar sampah.

C. Langkah eksperimen

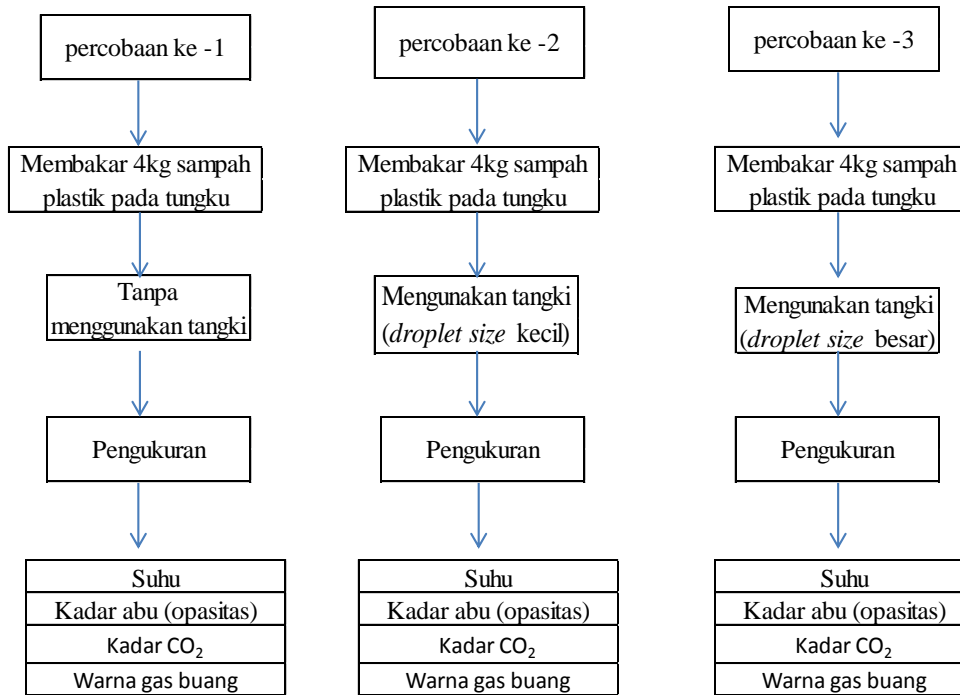
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah tanpa menggunakan tangki pembuangan.
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan droplet size kecil.
- Eksperimen pada alat pembakaran sampah dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan droplet size besar.

D. Hasil penelitian

Menentukan efektifitas kadar partikulat gas buang sebelum dan setelah mengalami pembilasan pada tangki pembuangan yang dilengkapi dengan sistem *water scrubber droplet size* kecil serta *droplet size* besar.. Menganalisis proses pembilasan yang terjadi dalam tangki

pembuangan serta faktor-faktor yang berpengaruh terhadap efektifitas kadar partikulat gas buang.

3.7.1 Skema eksperimen



Gambar 3.23 Skema eksperimen

a) Percobaan ke-1

- Mengumpulkan sampah dan menyortirkan sampah anorganik sebagai material yang akan dibakar pada ruang bakar insinerator.
- Melakukan pembakaran sampah menggunakan bahan bakar solar pada ruang bakar insinerator tanpa menggunakan tangki pembuangan.
- Melakukan pengukuran terhadap temperatur gas buang, kadar CO₂ gas buang yang keluar dari bagian penghantar gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

b) Percobaan ke-2

- Mengumpulkan sampah dan menyotirkan sampah anorganik sebagai material yang akan dibakar pada ruang bakar insinerator (eksperimen kedua).
- Mempersiapkan dan memasang bangun tangki pembuangan yg dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* kecil, serta sistem *recycle fluida* pada insinerator.
- Melakukan pembakaran sampah menggunakan bahan bakar solar pada ruang bakar insinerator dengan menggunakan tangki pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* kecil dan *recycle fluida*.
- Melakukan pengukuran terhadap temperatur gas buang, kadar CO₂ gas buang yang keluar dari bagian penghantar gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

c) Percobaan ke-3

- Mengumpulkan sampah dan menyotirkan sampah anorganik sebagai material yang akan dibakar pada ruang bakar insinerator (eksperimen ketiga).
- Mempersiapkan dan memasang bangun tangki pembuangan yg dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* besar, serta sistem *recycle fluida* pada insinerator.
- Melakukan pembakaran sampah menggunakan bahan bakar solar pada ruang bakar insinerator dengan menggunakan tangki

pembuangan yang dilengkapi sistem *water scrubber* dengan *droplet size* besar dan *recycle fluida*.

- Melakukan pengukuran terhadap temperatur gas buang, kadar CO₂ gas buang yang keluar dari bagian penghantar gas buang dan kadar partikulat serta warna gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

3.7.2 Karakteria pengujian alat

Pada pengujian alat terdiri dari pengujian opasitas gas buang, pengujian suhu gas buang, pengujian kadar CO₂ gas buang, dan warna gas buang terhadap sistem *water scrubber* dengan *droplet size kecil* serta sistem *water scrubber* dengan *droplet size besar*.

A. Kadar abu (opasitas) gas buang



Gambar.3.6 *smoke meter*

Pada pengujian opasitas. Langkah pertama yang dilakukan pengukuran massa sampah yang akan dibakar dalam tungku insinerator, selanjutnya dilakukan pengukuran kadar abu terhadap gas buang insinerator tanpa menggunakan tangki yang dilengkapi dengan *water scrubber*, menggunakan tangki dengan ketentuan *droplet size* air kecil

dan tangki dengan ketentuan *droplet size* air besar. Alat ukur yang digunakan adalah *smoke meter*.

Tabel 3.1. Pengukuran opasitas gas buang

Waktu	Kadar Opasitas		
	Tanpa Tangki	Tangki (<i>Droplet size besar</i>)	Tangki (<i>Droplet size kecil</i>)
Menit ke-5			
Menit ke-15			
Menit ke-25			
Menit ke-35			
Menit ke-45			

B. Kadar CO₂



Gambar.3.7 *exhaust analyzer*

Pada pengujian kadar CO₂, Langkah pertama yang dilakukan pengukuran massa sampah yang akan dibakar dalam tungku insinerator, selanjutnya dilakukan pengukuran kadar CO₂ terhadap gas buang insinerator tanpa menggunakan tangki yang dilengkapi dengan *water scrubber*, menggunakan tangki dengan ketentuan *droplet size* air kecil dan tangki dengan ketentuan *droplet size* air besar. Alat ukur yang digunakan adalah *exhaust analyzer*.

Tabel 3.2. Pengukuran kadar CO₂

Waktu	Kadar CO ₂		
	Tanpa Tangki	Tangki (<i>Droplet size besar</i>)	Tangki (<i>Droplet size kecil</i>)
Menit ke-5			
Menit ke-15			
Menit ke-25			
Menit ke-35			
Menit ke-45			

C. Suhu

Pada pengujian suhu, agar mengetahui efektifitas suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki pembilasan, seiring kelajuan bakar yang terjadi dalam tungku insinerator. Alat ukur yang digunakan adalah *thermokopel*.

Tabel 3.3. Pengukuran Suhu

Waktu	Tanpa Tangki	Tangi (<i>Droplet size besar</i>)		Tangki (<i>Droplet size kecil</i>)	
		in	out	in	out
Menit ke-5					
Menit ke-15					
Menit ke-25					
Menit ke-35					
Menit ke-45					

D. Warna Gas buang

Pada pengujian ini, penulis mengamati warna asap yang keluar dari cerobong.

Tabel 3.4. Pengamatan warna asap

Perlakuan	Keterangan
Tanpa Pembilasan	
pembilasan droplet size kecil	
pembilasan droplet size besar	

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

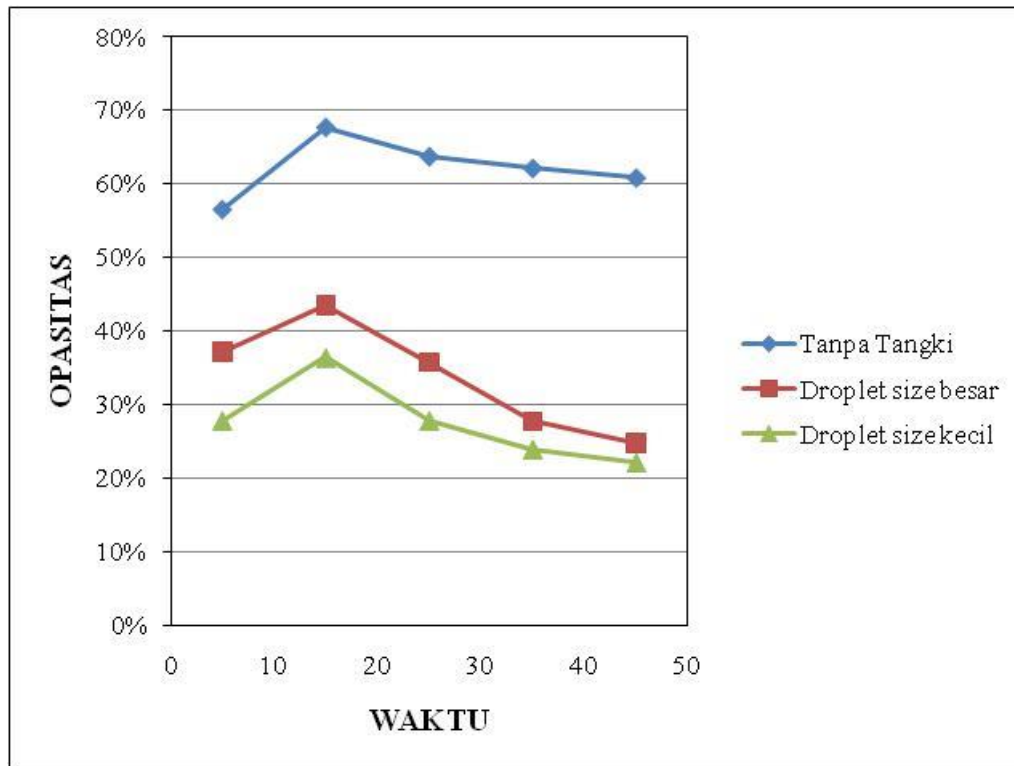
4.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh rancang bangun tangki pembilasan pada insinerator dengan menggunakan sistem *water scrubber* yang diharapkan mampu menurunkan kadar abu, CO₂ dan suhu pada gas buang pembakaran sampah menggunakan insinerator. Sistem *water scrubber* menggunakan empat buah *misting nozzle* yang dipasang pada bagian dalam atas tangki pembilasan serta sistem *recycle fluida* untuk proses pembilasan secara terus menerus.

Penelitian dilakukan dengan membakar 4kg sampah anorganik rumah tangga berupa botol plastik, plastik kresek, plastik deterjen. Proses pembakaran dilakukan selama 45 menit dan dilakukan pengukuran pada menit ke-5, menit ke-15, menit ke-25, menit ke-35, dan menit ke-45. Terdapat 3 percobaan yang dilakukan peneliti, dimana percobaan pertama melakukan proses pembakaran pada insinerator tanpa menggunakan tangki pembilasan. Percobaan kedua melakukan proses pembakaran dilengkapi tangki pembilasan dengan *droplet size* butiran air *water scrubber* berukuran besar (Pembilasan 1). Percobaan ketiga melakukan proses pembakaran dilengkapi tangki pembilasan dengan *droplet size* butiran air *water scrubber* berukuran kecil (Pembilasan 2).

4.2 Analisis Data

4.2.1 Pengaruh *Droplet size* Terhadap Opasitas Gas Buang



Gambar 4.1. Diagram kadar opasitas gas buang

Pada gambar 4.1 menunjukkan kadar kepekatan asap (opasitas) yang dihasilkan oleh pembakaran sampah pada insinerator dalam satuan persen. Pada percobaan pertama, pembakaran sampah pada insinerator tanpa tangki pembilasan. Percobaan kedua menggunakan tangki pembilasan dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* air besar. Percobaan ketiga menggunakan tangki pembilasan dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* air kecil.

Nilai opasitas pada percobaan tanpa tangki menunjukkan bahwa gas buang yang keluar dari tungku pembakaran insinerator memiliki kadar kepekatan asap (opasitas) yang tinggi. Kadar kepekatan asap (opasitas) gas buang menggunakan

tangki pembilasan yang dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* menunjukkan bahwa semakin kecil *droplet size* air, semakin kecil juga kadar kepekatan (opasitas) yang dihasilkan. Hal ini karena jumlah butiran pada *droplet size* air kecil lebih banyak dibandingkan jumlah butiran pada *droplet size* air besar, sehingga jumlah partikulat pada proses *impaction* antara partikulat dengan *droplet size* air kecil lebih banyak. Pada keseluruhan variasi kadar kepekatan asap (opasitas) tertinggi terdapat pada menit ke-15 karena terjadi peningkatan laju pembakaran. Pada menit ke-5 sampah yang terbakar 20%, sedangkan pada saat menit ke-15 sampah yang terbakar menjadi 50%.



Gambar 4.2 Hasil *impaction* air terhadap partikel abu

Misting nozzle yang digunakan bertipe *hollow cone*. Pada *misting nozzle* bertipe *hollow cone* terdapat ruang pemampatan air yang berpengaruh terhadap besar dan kecil *droplet size* butiran air yang dihasilkan. Sudut penyebaran butiran

air pada tipe ini adalah 90^0 . *Droplet size* berukuran kecil bila ruang pemampatan air dalam *nozzle* diperkecil, sedangkan *droplet size* besar bila ruang pemampatan air besar. Ruang pemampatan dapat di tentukan menggunakan *adjuster* yang terdapat pada *nozzle*. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *adjuster min* dan *adjuster max*.

Berdasarkan hasil uji variansi, terdapat pengaruh *droplet size* pada pembilasan terhadap kadar partikulat gas buang. Adapun analisis pada pengujian sebagai berikut :

Analisis *Output* :

1. *Output Descriptives*

Tabel 4.2 *Descriptives* opasitas terhadap percobaan

Descriptives									
opasitas									
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
tanpa tangki	5	62.16%	4.0912	1.8296	57.080	67.240	56.5%	67.7%	
pembilasan ke-1	5	33.76%	7.5709	3.3858	24.360	43.160	24.7%	43.5%	
pembilasan ke-2	5	27.60%	5.5104	2.4643	20.758	34.442	22.1%	36.4%	
Total	15	41.17%	16.5094	4.2627	32.031	50.316	22.1%	67.7%	

Output Descriptives memuat hasil-hasil data statistic deskriptif seperti mean , standar deviasi, angka terendah dan tertinggi serta standar error. Pada bagian ini terlihat ringkasan statistik dari ketiga sampel.

2. *Output Test of Homogeneity of Variances*

Tabel 4.3 *Test of homogeneity variances* opasitas

Test of Homogeneity of Variances

opasitas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.313	2	12	.305

Tes ini bertujuan untuk menguji berlaku tidaknya asumsi untuk Anova, yaitu apakah kelima sampel mempunyai varians yang sama. Untuk mengetahui apakah asumsi bahwa ketiga kelompok sampel yang ada mempunyai varian yang sama (homogen) dapat diterima. Untuk itu sebelumnya perlu dipersiapkan hipotesis tentang hal tersebut. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

- H_0 = Ketiga variansi populasi adalah sama
- H_1 = Ketiga variansi populasi adalah tidak sama

Dengan pengambilan Keputusan:

- Jika signifikan > 0.05 maka H_0 diterima
- Jika signifikan $< 0,05$ maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada *test of homogeneity of variances*, dimana dihasilkan bahwa probabilitas atau signifikannya adalah 0,305 yang berarti lebih besar dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol (H_0) diterima, yang berarti asumsi bahwa ketiga varian populasi adalah sama (homogeny) dapat diterima.

3. Output Anova

Tabel 4.4 Anova (*one way variance*) opasitas

ANOVA

opasitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3398.165	2	1699.083	48.814	.000
Within Groups	417.684	12	34.807		
Total	3815.849	14			

Setelah kelima varians terbukti sama, baru dilakukan uji *Anova* untuk menguji apakah kelima sampel mempunyai rata-rata yang sama. *Output Anova* adalah akhir dari perhitungan yang digunakan sebagai penentuan analisis terhadap hipotesis yang akan diterima atau ditolak. Dalam hal ini hipotesis yang akan diuji adalah :

- H_0 = Tidak ada perbedaan rata-rata kadar opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Sama)
- H_1 = Ada perbedaan rata-rata kadar opasitas dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Tidak Sama)

Untuk menentukan H_0 atau H_a yang diterima maka ketentuan yang harus diikuti adalah sebagai berikut :

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak
- Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada uji *Anova*, dimana dilihat bahwa $F_{hitung} = 48,814 > F_{tabel} = 2,12$, yang berarti H_0 ditolak dan menerima H_a . Sedangkan untuk nilai probabilitas dapat dilihat bahwa nilai probabilitas adalah $0,000 < 0,05$. Dengan demikian hipotesis nol (H_0) ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan rata-rata opasitas

dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. Perlakuan tanpa tangki, pembilasan 1 dan pembilasan 2 mempunyai pengaruh terhadap hasil opasitas.

4. Output Test Post Hoc

Tabel 4.5 *Post Hoc test* opasitas

Multiple Comparisons

Dependent Variable: opasitas

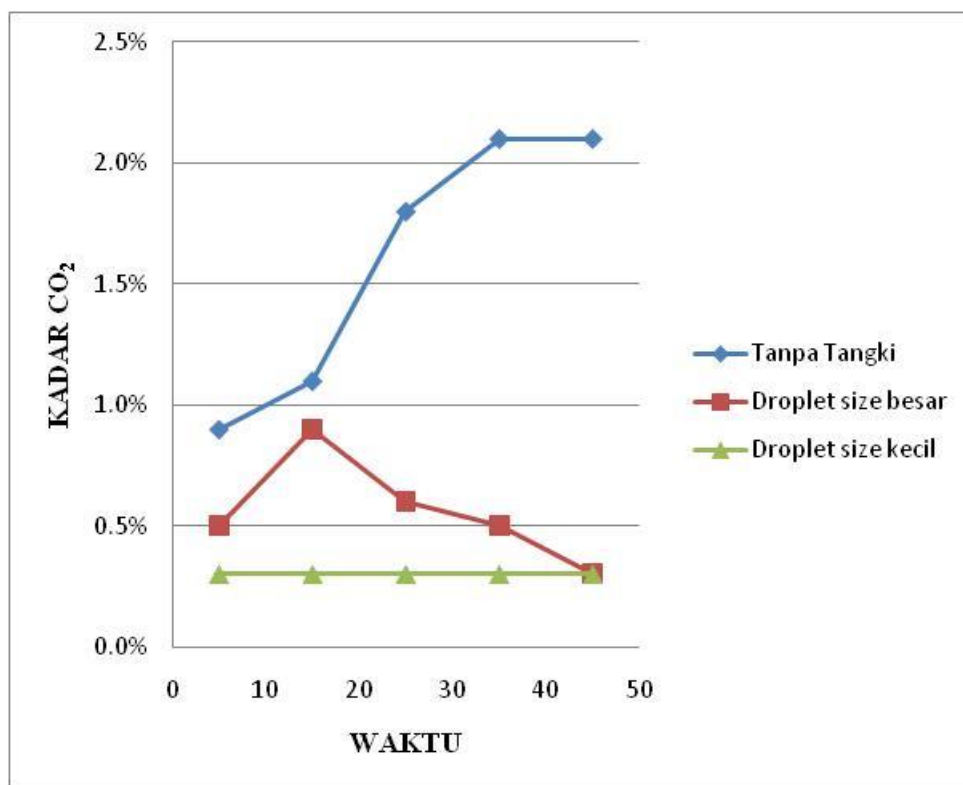
	(I) percobaan	(J) percobaan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	tanpa tangki	pembilasan ke-1	28.40%*	3.7313	.000	18.445	38.355
		pembilasan ke-2	34.56%*	3.7313	.000	24.605	44.515
	pembilasan ke-1	tanpa tangki	-28.40%*	3.7313	.000	-38.355	-18.445
		pembilasan ke-2	6.16%	3.7313	.263	-3.795	16.115
	pembilasan ke-2	tanpa tangki	-34.56%*	3.7313	.000	-44.515	-24.605
		pembilasan ke-1	-6.16%	3.7313	.263	-16.115	3.795
Bonferroni	tanpa tangki	pembilasan ke-1	28.40%*	3.7313	.000	18.029	38.771
		pembilasan ke-2	34.56%*	3.7313	.000	24.189	44.931
	pembilasan ke-1	tanpa tangki	-28.40%*	3.7313	.000	-38.771	-18.029
		pembilasan ke-2	6.16%	3.7313	.374	-4.211	16.531
	pembilasan ke-2	tanpa tangki	-34.56%*	3.7313	.000	-44.931	-24.189
		pembilasan ke-1	-6.16%	3.7313	.374	-16.531	4.211

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Post Hoc dilakukan untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda dan yang tidak berbeda. Hal ini dapat dilakukan bila F hitungnya menunjukkan ada perbedaan. Kalau F hitung menunjukkan tidak ada perbedaan, analisis sesudah *anova* tidak perlu dilakukan. Dari tabel 4.8 diatas dapat dilihat bahwa perbedaan mean opasitas tanpa tangki dan Pembilasan 1 adalah 28,40% (opasitas tanpa tangki lebih besar sebanyak 28,40% dibanding pembilasan 1). Angka tersebut berasal dari mean opasitas tanpa tangki adalah 62,16% dan pembilasan 1 adalah 33,76% sehingga didapatkan 28,40% (lihat *output descriptive statistics*). Perbedaan opasitas tanpa tangki dan pembilasan 2 adalah 34,56% (opasitas tanpa tangki lebih besar 34,56% dari pembilasan 2). Angka tersebut berasal dari mean opasitas tanpa tangki adalah 62,16% dan pembilasan 2 adalah 27,60% sehingga

didapatkan 34,56%. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 *Post Hoc test* diatas untuk perbandingan opasitas seterusnya.

4.2.2 Pengaruh *Droplet Size* Terhadap Kadar CO₂ Gas Buang



Gambar 4.3 Diagram Kadar CO₂ Gas Buang

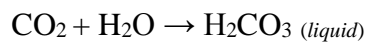
Pada tabel 4.6, konsentrasi CO₂ adalah perbandingan volume karbon dioksida (CO₂) yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%). Pada percobaan pertama, pembakaran sampah pada insinerator tanpa tangki pembilasan. Percobaan kedua menggunakan tangki pembilasan dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* air besar. Percobaan ketiga menggunakan tangki pembilasan dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* dengan *droplet size* air kecil.

Reaksi pembakaran sampah pada insinerator :



Nilai CO₂ pada percobaan tanpa tangki menunjukkan bahwa gas buang yang keluar dari tungku pembakaran insinerator memiliki konsentrasi CO₂ yang tinggi. Nilai konsentrasi CO₂ gas buang menggunakan tangki pembilasan yang dilengkapi sistem pembilasan *water scrubber* menunjukkan bahwa semakin kecil droplet size air, semakin kecil juga kadar CO₂ yang dihasilkan. Hal ini karena jumlah butiran pada *droplet size* air kecil lebih banyak dibandingkan jumlah butiran pada *droplet size* air besar, sehingga jumlah CO₂ yang terlarut pada proses *impaction* antara CO₂ dengan *droplet size* air kecil lebih banyak.

Reaksi pelarutan air terhadap CO₂



Pada proses pembilasan, CO₂ yang terlarut pada air membentuk larutan senyawa asam karbonat bersifat asam lemah. Pada tangki *recycle fluida* terdapat larutan asam karbonat yang berbentuk *liquid*.

Berdasarkan hasil uji variansi, terdapat pengaruh *droplet size* pada pembilasan terhadap kadar CO₂ gas buang. Adapun analisis pada pengujian sebagai berikut :

Analisis Output :

1. *Output Descriptives*

Tabel 4.7 *Descriptives* kadar CO₂ terhadap percobaan

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					tanpa tangki	5		
pembilasan ke-1	5	0.56%	.2191	.0980	.288	.832	.3%	.9%
pembilasan ke-2	5	0.30%	.0000	.0000	.300	.300	.3%	.3%
Total	15	0.82%	.6657	.1719	.451	1.189	.3%	2.1%

Output Descriptives memuat hasil-hasil data statistic deskriptif seperti mean , standar deviasi, angka terendah dan tertinggi serta standar error. Pada bagian ini terlihat ringkasan statistik dari ketiga sampel.

2. *Output Test of Homogeneity of Variances*

Tabel 4.8 *Test of homogeneity variances* kadar CO₂

Test of Homogeneity of Variances

CO₂

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
17.659	2	12	.000

Tes ini bertujuan untuk menguji berlaku tidaknya asumsi untuk *Anova*, yaitu apakah kelima sampel mempunyai varians yang sama. Untuk mengetahui apakah asumsi bahwa ketiga kelompok sampel yang ada mempunyai varian yang sama (homogen) dapat diterima. Untuk itu sebelumnya perlu dipersiapkan hipotesis tentang hal tersebut. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

- H₀ = Ketiga variansi populasi adalah sama
- H₁ = Ketiga variansi populasi adalah tidak sama

Dengan pengambilan Keputusan:

- Jika signifikan > 0.05 maka H₀ diterima
- Jika signifikan < 0,05 maka H₀ ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada *test of homogeneity of variances*, dimana dihasilkan bahwa probabilitas atau signifikannya adalah 0,00 yang berarti lebih kecil dari 0.05 maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak, yang berarti asumsi bahwa ketiga varian populasi adalah sama (homogeny) dapat ditolak.

3. Output Anova

Tabel 4.9 Anova kadar CO₂

ANOVA					
CO2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.732	2	2.366	19.288	.000
Within Groups	1.472	12	.123		
Total	6.204	14			

Output Anova adalah akhir dari perhitungan yang digunakan sebagai penentuan analisis terhadap hipotesis yang akan diterima atau ditolak.

Dalam hal ini hipotesis yang akan diuji adalah :

- H_0 = Tidak ada perbedaan rata-rata kadar CO₂ dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Sama)
- H_1 = Ada perbedaan rata-rata hasil kadar CO₂ dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. (Tidak Sama)

Untuk menentukan H_0 atau H_a yang diterima maka ketentuan yang harus diikuti adalah sebagai berikut :

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak
- Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima
- Jika signifikan atau probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada uji *Anova*, dimana dilihat bahwa $F_{hitung} = 19,288 > F_{tabel} = 2,12$, yang berarti H_0 ditolak dan menerima H_a . Sedangkan untuk nilai probabilitas dapat dilihat bahwa nilai probabilitas adalah $0,000 < 0,05$. Dengan demikian hipotesis nol (H_0) ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan rata-rata kadar CO_2 dengan menggunakan jenis perlakuan yang berbeda. Perlakuan tanpa tangki, pembilasan 1 dan pembilasan 2 mempunyai pengaruh terhadap kadar CO_2 .

4. Output Tes Pos Hoc

Tabel 4.10 *Post of Hoc* kadar CO_2

Multiple Comparisons							
Dependent Variable: CO2							
	(I) percobaan	(J) percobaan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	tanpa tangki	pembilasan ke-1	1.04%*	.2215	.001	.449	1.631
		pembilasan ke-2	1.30%*	.2215	.000	.709	1.891
	pembilasan ke-1	tanpa tangki	-1.04%*	.2215	.001	-1.631	-.449
		pembilasan ke-2	.26%	.2215	.490	-.331	.851
	pembilasan ke-2	tanpa tangki	-1.30%*	.2215	.000	-1.891	-.709
		pembilasan ke-1	-.26%	.2215	.490	-.851	.331
Bonferroni	tanpa tangki	pembilasan ke-1	1.04%*	.2215	.002	.424	1.656
		pembilasan ke-2	1.30%*	.2215	.000	.684	1.916
	pembilasan ke-1	tanpa tangki	-1.04%*	.2215	.002	-1.656	-.424
		pembilasan ke-2	.26%	.2215	.790	-.356	.876
	pembilasan ke-2	tanpa tangki	-1.30%*	.2215	.000	-1.916	-.684
		pembilasan ke-1	-.26%	.2215	.790	-.876	.356

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Post Hoc dilakukan untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda dan yang tidak berbeda. Hal ini dapat dilakukan bila F_{hitung} nya menunjukkan ada perbedaan. Kalau F_{hitung} menunjukkan tidak ada perbedaan, analisis sesudah *anova* tidak perlu dilakukan. Dari tabel *post hoc* kadar CO_2 diatas dapat dilihat bahwa perbedaan mean kadar CO_2 tanpa tangki dan Pembilasan 1 adalah 1,04% (kadar CO_2 tanpa tangki lebih besar sebanyak 1,04% dibanding pembilasan 1). Angka tersebut berasal dari mean kadar

CO₂ tanpa tangki adalah 1,60% dan pembilasan 1 adalah 0,56% sehingga didapatkan 1,04% (lihat *output descriptive statistics*). Perbedaan kadar CO₂ tanpa tangki dan pembilasan 2 adalah 1,30% (kadar CO₂ tanpa tangki lebih besar 1,30% dari pembilasan 2). Angka tersebut berasal dari mean opasitas tanpa tangki adalah 1,60% dan pembilasan 2 adalah 0,30% sehingga didapatkan 0,30%. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 *Post Hoc test* diatas untuk perbandingan kadar CO₂ seterusnya.

4.2.3 Pengaruh *Droplet Size Terhadap Suhu*

Tabel 4.11 Pengukuran Suhu Gas Buang

Waktu	Tanpa Tangki	Tangi (<i>Droplet size besar</i>)		Tangi (<i>Droplet size kecil</i>)	
		in	out	in	out
Menit ke-5	50°C	50°C	32°C	50°C	32°C
Menit ke-15	50°C	50°C	32°C	50°C	32°C
Menit ke-25	50°C	50°C	32°C	50°C	32°C
Menit ke-35	50°C	50°C	32°C	50°C	32°C
Menit ke-45	50°C	50°C	30°C	50°C	30°C

Pada tabel diatas, suhu yang gas buang saat keluar dari cerobong tungku pembakaran adalah 50°C, sedangkan suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki 32°C. *Water scrubber* mampu menurunkan suhu dan *droplet size* tidak mempengaruhi terhadap penurunan suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki. Pada pembilasan menggunakan *droplet size* besar dan *droplet size* kecil, suhu gas buang yang keluar dari cerobong tangki memiliki nilai yang sama.

4.2.4 Pengaruh *Droplet Size* Terhadap Warna Gas Buang

Tabel 4.12 Pengamatan Warna Asap

Perlakuan	Keterangan
Tanpa Pembilasan	 <p>Gas buang berwarna hitam pekat dan berbau sengat</p>
Pembilasan <i>Droplet size</i> Kecil	 <p>Gas buang berwarna putih, samar terlihat dan tidak berbau sengat</p>
Pembilasan <i>Droplet size</i> besar	 <p>Gas buang berwarna tidak hitam, samar terlihat dan tidak berbau sengat</p>

Pada tabel 4.12 diatas, bahwa gas buang hasil pembakaran tanpa tangki memiliki warna gas buang hitam pekat menunjukkan kadar opasitas tinggi. Bau sengat pada gas buang menunjukkan kadar CO₂ tinggi. Pada pembilasan menggunakan *droplet size* besar, warna gas buang hasil pembakaran tidak hitam pekat dan samar terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar opasitas gas buang yang keluar dari cerobong tangki. Tidak berbau sengat pada gas buang pembilasan *droplet size* besar menunjukkan bahwa terdapat penurunan kadar CO₂ pada gas buang. Pada pembilasan menggunakan *droplet size* kecil, dihasilkan warna gas buang yang putih, samar terlihat dan tidak berbau sengat. Hal ini menunjukkan bahwa gas buang pembilasan menggunakan *droplet size*

kecil memiliki kadar opasitas dan kadar CO₂ lebih sedikit daripada gas buang pembilasan menggunakan *droplet size* besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode pembilasan menggunakan sistem *water scrubber* pada tangki pembilasan mampu menurunkan kadar opasitas, CO₂, suhu dan warna pada gas buang pembakaran pada insinerator. Pembilasan system *water scrubber* dilengkapi dengan 4 buah *misting nozzle* bertipe *hollow cone* dengan sudut penyerapan 90°.
2. Penurunan kadar opasitas yang efektif adalah menggunakan pembilasan 2 (*droplet size* kecil). Pada percobaan tanpa tangki mean opasitas 62,16%, sedangkan pembilasan 2 mean opasitas 27,60%. Maka penurunan kadar opasitas yang terjadi 34,56%.
3. Penurunan kadar CO₂ yang efektif adalah menggunakan pembilasan 2 (*droplet size* kecil). Pada percobaan tanpa tangki mean kadar CO₂ 1,60%, sedangkan pembilasan 2 mean kadar CO₂ 0,30%. Maka penurunan kadar CO₂ yang terjadi 1,30%.
4. Pembilasan system *water scrubber* menggunakan *droplet size* kecil lebih efektif dikarenakan jumlah butiran yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan *droplet size* besar. Proses pembilasan selama 45 menit menggunakan fluida air 200 liter.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, desain tungku pembakaran *incinerator* masih perlu diperbaiki karena masih ada asap yang keluar dari dalam tungku selama proses pembakaran berlangsung.
2. Kadar kepekatan opasitas bisa diturunkan <10% dengan menggunakan jenis *nozzle* yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruner, C.R. *handbook of incineration system*. (Newyork: McGraw-Hill, Inc. 1993).
- Khairumizan, Panji. *Studi eksperimental implementasi venturi scrubber pada system gasifikasi batu bara*. (Depok: Departemen Kementerian Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2008).
- Munson, Bruce R. *Mekanika fluida edisi keempat jilid II*. (Jakarta: Erlangga. 2003).
- Nevers, DE. *air pollution control engineering*. (singapore: McGraw-Hill, Inc. 1995).
- Peavy, S.H. *environmental engineering*. (Newyork: McCraw-Hill, Inc. 1985).
- Tchobanoglous, George. *Intergrated solid waste management: engineering principles and management issue*. (Michigan: McGraw-Hill, Inc: 1993).
- Tonggok, Robinson. *Perancangan Insinerator berkapasitas 1m³/jam*. (Depok: Departemen Teknik Mesin Falkutas Teknik Universitas Indonesia. 2005).
- Wiley, John. *PHYSICS 3rd Edition*. (jakarta: Erlangga. 1998).

LAMPIRAN

Hasil Pengukuran *Opacity Smoke Meter*

Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2014-11-24	13:34:05	2014-12-02	13:10:21	2014-12-02	14:25:05
K Peak	: 1.65	K Peak	: 0.67	K Peak	: 0.62
Opacity Peak	: 56.5%	Opacity Peak	: 37.2%	Opacity Peak	: 27.8%
RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0
Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2014-11-24	13:44:12	2014-12-02	13:20:10	2014-12-02	14:35:12
K Peak	: 1.74	K Peak	: 0.73	K Peak	: 0.68
Opacity Peak	: 67.7%	Opacity Peak	: 43.5%	Opacity Peak	: 36.4%
RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0
Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2014-11-24	13:54:22	2014-12-02	13:30:14	2014-12-02	14:45:03
K Peak	: 1.71	K Peak	: 0.68	K Peak	: 0.62
Opacity Peak	: 63.7%	Opacity Peak	: 35.7%	Opacity Peak	: 27.8%
RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0
Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2014-11-24	14:04:12	2014-12-02	13:40:08	2014-12-02	14:55:03
K Peak	: 1.70	K Peak	: 0.62	K Peak	: 0.60
Opacity Peak	: 62.1%	Opacity Peak	: 27.7%	Opacity Peak	: 23.9%
RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0
Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0
Dust Meter		Dust Meter		Dust Meter	
2014-11-24	14:14:32	2014-12-02	13:50:11	2014-12-02	15:05:09
K Peak	: 1.68	K Peak	: 0.59	K Peak	: 0.58
Opacity Peak	: 60.8%	Opacity Peak	: 24.7%	Opacity Peak	: 22.1%
RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0	RPM Peak	: 0
Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0	Oil Temp Peak	: 0

LAMPIRAN 2

Insinerator Universitas Negeri Jakarta



LAMPIRAN 3

Tabel Pengukuran Opasitas Gas Buang

Waktu (menit)	Tanpa Tangki	<i>Droplet size</i> besar	<i>Droplet size</i> kecil
5	56.5%	37.2%	27.8%
15	67.7%	43.5%	36.4%
25	63.7%	35.7%	27.8%
35	62.1%	27.7%	23.9%
45	60.8%	24.7%	22.1%

LAMPIRAN 4Tabel Pengukuran Kadar CO₂ Gas Buang

Waktu (menit)	Tanpa Tangki	<i>Droplet size</i> <i>besar</i>	<i>Droplet size</i> kecil
5	0.9%	0.5%	0.3%
15	1.1%	0.9%	0.3%
25	1.8%	0.6%	0.3%
35	2.1%	0.5%	0.3%
45	2.1%	0.3%	0.3%

Daftar Riwayat Hidup



Penulis bernama Julian Dharma Purba, putra dari bapak Dharmadi Purba dan ibu Rohana Munthe, anak pertama dari empat bersaudara. Lahir Jakarta, 17 Juli 1990 dan beralamat Jl. Muara Rt 001/003 No.127 Kel. Tanjung Barat, Kec. Jagakarsa, Jak-Sel. Menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 03 Pagi Tanjung Barat pada tahun 2002, menyelesaikan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 98 Lenteng Agung pada tahun 2005, menyelesaikan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 109 Gardu pada tahun 2008, dan memulai pendidikan S1 pada Prodi Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Negeri Jakarta tahun 2008.

Riwayat pekerjaan pernah menjadi guru privat, guru bimbil, guru honorer dan pekerja bengkel. Motto hidup Penulis *'Kunci kesuksesan itu tiada yang pasti, tetapi tidak berani mencoba adalah kunci pasti kegagalan'*.