



BUKU AJAR
DISTILASI UAP DAN BAHAN BAKAR
PELET ARANG SAMPAH ORGANIK

Ir. Lalu Mustiadi, MT
Dra. Siswi Astuti, M.Pd
Aladin Eko Purkuncoro, ST., MT

CV. IRDH

BUKU AJAR
DISTILASI UAP DAN BAHAN BAKAR PELET ARANG
SAMPAH ORGANIK

Oleh : Ir. Lalu Mustiadi, MT
Dra. Siswi Astuti, M.Pd
Aladin Eko Purkuncoro, ST., MT

Perancang sampul : Jois Rudiah Putiandini

Penata Letak : Dito Aditia, S.Pi

Penyunting : Mohammad Archi Maulida. S.Pd, M.Pd

Pracetak dan Produksi : Yohannes Handrianus Laka, S.E., MAP
Yulita, S.E., MAP

Hak Cipta © 2020, pada penulis

Hak publikasi pada CV IRDH

Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau seluruh isi dari buku ini dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan Pertama Oktober, 2020

Penerbit CV IRDH

Anggota IKAPI No. 159-JTE-2017

Office: Jl. Sokajaya No. 59, Purwokerto

New Villa Bukit Sengkaling C9 No. 1 Malang

HP 081 333 252 968, WA 089 621 424 412

www.irdhcenter.com

Email: buku.irdh@gmail.com

ISBN: 978-623-7718-35-2

i-vi +80 hlm, 25 cm x 17,6 cm

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan Buku Ajar “*Distilasi Uap Dan Bahan Bakar Pelet Arang Sampah Organik*”, sehingga harapan penulis untuk ikut serta menambah khasanah pustaka pemahaman ilmu produksi dan destiasi dapat terwujud.

Buku ini ditulis berdasarkan pengalaman dalam melakukan kegiatan penelitian yang dijalankan oleh penulis, sehingga diharapkan dapat melengkapi pustaka mata kuliah bidang *Konversi energi, Proses produksi, Perpindahan panas dan massa*, disajikan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Setiap sub-bab diawali dengan penjelasan singkat dan gambar,
- Dilengkapi dengan unit sistem, cara kerja dan kinerja operasional sistem,
- Dihahiri dengan panduan operasional sistem.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada: Kementerian RISTEKDIKTI, ITN Malang, LP2M ITN Malang, yang telah memberikan bantuan dana dan kesempatan mengikuti penelitian Hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, sehingga kami dapat menyelesaikan Buku Ajar sesuai dengan batas waktu yang telah ditetapkan; kepada CV Raja Jasa Kota Batu Malang sebagai Mitra Penelitian, yang telah bersedia memberikan inspirasi dalam pelaksanaan penelitian; dan kepada Penerbit CV. IRDH, yang bersedia menerbitkan Buku Ajar ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa meridoi usaha kita bersama, yang muaranya menuju peningkatan mutu pendidikan di negeri tercinta ini. Amin

Malang, Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Ringkasan Materi.....	1
1.2. Metode Ilmiah.....	2
1.3. Keamanan dan Keselamatan Kerja (K3) di Laboratorium.....	2
BAB 2 SISTEM DISTILASI.....	4
2.1 Ketel Uap.....	9
A. Prinsip Kerja Ketel Uap.....	12
B. Kinerja Ketel Uap.....	21
C. Panduan Operasional Ketel Uap.....	23
2.2 Bejana Distilasi.....	24
A. Prinsip Kerja Bejana Distilasi.....	26
B. Kinerja Bejana Distilasi.....	27
C. Panduan Operasional Bejana Destilasi.....	29
2.3 Kondensor.....	30
A. Prinsip Kerja Kondensor.....	32
B. Kinerja Kondensor.....	34
C. Panduan Operasional Kondensor.....	35

BAB 3 BAHAN BAKAR PELET ARANG SAMPAH ORGANIK.....	37
3.1 Sampah Organik.....	37
3.2 Mencacah Sampah Organik.....	39
3.3 Kinerja Pencacahan Sampah Organik.....	41
3.4 Panduan Operasional Mencacah Sampah Organik.....	42
3.5 Membuat Arang Sampah Organik.....	43
3.6 Pengarangan Sampah Organik.....	48
A. Kinerja Pengarangan Sampah Organik.....	49
B. Panduan Operasional Pengarangan Sampah Organik.....	51
3.7 Membuat Pelet Arang Sampah Organik.....	52
3.8 Mencetak Pelet Arang Sampah Organik.....	53
A. Kinerja Pencetakan Pelet Arang Sampah Organik.....	55
B. Panduan Operasional Mencetak Bahan Bakar Pelet.....	56
BAB 4 TUNGKU PEMBAKARAN BAHAN BAKAR PELET.....	58
4.1 Pembakaran Bahan Bakar Pelet.....	60
A. Tungku Pembakar.....	62
B. Kinerja Tungku Pembakaran Bahan Bakar Pelet.....	63
C. Panduan Operasional Tungku Bahan Bakar Pelet.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
GLOSARIUM.....	69
INDEKS.....	72
TENTANG PENULIS.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perlengkapan K-3.....	2
Gambar 2. Simbol Tanda Bahaya	3
Gambar 3. Skema distilasi	4
Gambar 4. Unit Distilasi	8
Gambar 5. Ketel Uap	9
Gambar 6. Skema Kerja Ketel Uap.....	12
Gambar 7. Skema Aliran Fluida Ketel Pipa Air	16
Gambar 8. Ketel Uap Stasioner	17
Gambar 9. Ketel Dengan Ruang Bakar Dalam dan Luar.....	17
Gambar 10. Ketel Dengan Lorong Api Tunggal dan Multi.....	18
Gambar 11. Ketel vertikal dan horizontal.....	19
Gambar 12. Ketel Dengan Pipa Lurus dan Pipa Miring	19
Gambar 13. Ketel Dengan Sirkulasi Alami dan Sirkulasi Paksa	20
Gambar 14. Bejana Destilasi.....	25
Gambar 15. Kondensor	30
Gambar 16. Skema Kerja Kondensor	31
Gambar 17. Kondensor Spiral Tipe Vertikal	31
Gambar 18. Sampah Organik.....	37
Gambar 19. Mencacah Sampah Organik	39
Gambar 20. Komponen Mesin Pencacah Sampah Organik.....	40
Gambar 21. Unit Mesin Pengarangan Rotary	48
Gambar 22. Bahan Bakar Pelet Arang.....	53
Gambar 23. Mesin Cetak Bahan Bakar Pelet.....	54
Gambar 24. Komponen Utama Unit Pembakar Pelet	58

Gambar 25. Segitiga Api Pembakaran..... 61
Gambar 26. Tungku Pembakar Pelet 62

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Ringkasan Materi

Hakikat Distilasi Uap dan Bahan Bakar Pelet Arang Sampah Organik dan Peranannya dalam Kehidupan antara lain sebagai berikut :

1. Sistem Distilasi uap adalah alat pemisah cairan yang dilengkapi dengan komponen sistem yang terdiri dari Unit Ketel Uap, Unit Masakan, dan Unit Kondensor.
2. Distilasi uap dipakai untuk memisahkan cairan yang terdapat secara alami dalam buah-buahan, sehingga menghasilkan Minuman Rasa Buah yang sangat populer dikonsumsi manusia sebagai minuman.
3. Sampah Organik, merupakan barang yang dianggap sudah tidak terpakai dan dibuang oleh pemilik/pemakai sebelumnya, tetapi masih bisa dipakai kalau dikelola dengan prosedur yang benar, dan merupakan salah satu bahan untuk membuat pelet arang.
4. Bahan Bakar Pelet partikel arang sampah organik dilakukan pada tempat terbuka menggunakan: mesin penghancur sampah, mesin pengarangan, mesin destilasi minyak plastik, mesin pencampur, dan mesin cetak pelet,
5. Manfaat mempelajari sistem distilasi uap dan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik adalah memiliki pemahaman yang lebih baik tentang proses produksi minuman rasa buah, sistem destilasi uap, serta bahan bakar pelet arang sampah organik.
6. Manfaat lainnya adalah dapat mengubah sampah organik menjadi energi yang dipergunakan dalam proses produk yang lebih bermanfaat bagi kehidupan.

1.2. Metode Ilmiah

1. Metode ilmiah adalah metode yang tersusun dari langkah-langkah sistematis yang digunakan untuk memecahkan permasalahan.
2. Langkah-langkah dalam metode ilmiah adalah sebagai berikut:
 - a. Melakukan pengamatan dan merumuskan masalah dari hasil pengamatan.
 - b. Mengumpulkan data-data berkaitan dengan masalah yang dipecahkan.
 - c. Membuat hipotesa terhadap permasalahan tersebut.
 - d. Melakukan eksperimen atau percobaan untuk menguji hipotesa.
 - e. Melakukan analisis hasil eksperimen dan membuat kesimpulan.

1.3. Keamanan dan Keselamatan Kerja (K3) di Laboratorium.

Beberapa hal yang harus diperhatikan saat melakukan proses destilasi minuman sari buah di laboratorium energi baru dan terbarukan, ditunjukkan pada gambar 1.1 sebagai berikut:



Gambar 1. Perlengkapan K-3

- a. Mengenakan jas laboratorium dan alat-alat keselamatan kerja lainnya, seperti masker dan sarung tangan, serta kaca mata kerja,
- b. Mempersiapkan perlengkapan pemadam kebakaran,
- c. Tidak melakukan sesuatu yang tidak dipahami, seperti menjalankan mesin diluar prosedur pembuatan dan pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik,
- d. Tidak makan atau minum dan bergurau di dalam laboratorium,

- e. Melaporkan setiap kecelakaan yang terjadi, misalnya anggota badan mengalami terbakar terkena arang panas atau api.

Setiap zat kimia memiliki karakteristik yang tertera pada label di botol atau wadah zat.



Gambar 2. Simbol Tanda Bahaya

BAB 2

SISTEM DISTILASI

Distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

Distilasi atau penyulingan merupakan proses pemurnian suatu campuran yang biasanya berupa cairan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Distilasi merupakan proses pemisahan fisik yang tidak memerlukan reaksi kimia. Secara komersial, distilasi memiliki sejumlah aplikasi, misalnya untuk memisahkan minyak mentah menjadi fraksi-fraksi yang lebih ringan yang digunakan sebagai bahan bakar dalam transportasi, pembangkit listrik, maupun dalam proses pemanasan sehari-hari. Air disuling untuk untuk menghilangkan kotoran, seperti kandungan garam-garam laut. Udara disuling untuk memisahkan komponen-komponen penyusunnya, terutama oksigen, nitrogen, dan argon untuk keperluan industri maupun laboratorium.



Gambar 3. Skema distilasi

Distilasi larutan terfermentasi telah digunakan sejak zaman kuno untuk menghasilkan minuman berkadar alkohol tinggi dan juga distilasi minyak atsiri. Metode ini termasuk sebagai unit operasi kimia jenis perpindahan massa. Penerapan proses ini didasarkan pada teori bahwa pada suatu larutan, masing-masing komponen akan menguap pada titik didihnya. Model ideal distilasi didasarkan pada Hukum Raoult dan Hukum Dalton. Ada 4 jenis distilasi yang akan dibahas disini, yaitu distilasi sederhana, distilasi fraksionasi, distilasi uap, dan distilasi vakum. Selain itu ada pula distilasi ekstraktif dan distilasi azeotropik homogen, distilasi dengan menggunakan garam berion, distilasi pressure-swing, serta distilasi reaktif.

Pada distilasi sederhana, dasar pemisahannya adalah perbedaan titik didih yang jauh atau dengan salah satu komponen bersifat volatil. Jika campuran dipanaskan maka komponen yang titik didihnya lebih rendah akan menguap lebih dulu. Selain perbedaan titik didih, juga perbedaan kevolatilan, yaitu kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas. Distilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer. Aplikasi distilasi sederhana digunakan untuk memisahkan campuran air dan alkohol.

Distilasi fraksionasi, Fungsi distilasi fraksionasi adalah memisahkan komponen-komponen cair, dua atau lebih, dari suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Distilasi ini juga dapat digunakan untuk campuran dengan perbedaan titik didih kurang dari 20 °C dan bekerja pada tekanan atmosfer atau dengan tekanan rendah. Aplikasi dari distilasi jenis ini digunakan pada industri minyak mentah, untuk memisahkan komponen-komponen dalam minyak mentah.

Perbedaan distilasi fraksionasi dan distilasi sederhana adalah adanya kolom fraksionasi. Di kolom ini terjadi pemanasan secara bertahap dengan suhu yang berbeda-beda pada setiap platnya. Pemanasan yang berbeda-beda

ini bertujuan untuk pemurnian distilat yang lebih dari plat-plat di bawahnya. Semakin ke atas, semakin tidak volatil cairannya.

Distilasi uap digunakan pada campuran senyawa-senyawa yang memiliki titik didih mencapai 200 °C atau lebih. Distilasi uap dapat menguapkan senyawa-senyawa ini dengan suhu mendekati 100 °C dalam tekanan atmosfer dengan menggunakan uap atau air mendidih. Sifat yang fundamental dari distilasi uap adalah dapat mendistilasi campuran senyawa dibawah titik didih dari masing-masing senyawa campurannya. Selain itu distilasi uap dapat digunakan untuk campuran yang tidak larut dalam air di semua temperatur, tetapi dapat didistilasi dengan air. Aplikasi dari distilasi uap adalah untuk mengekstrak beberapa produk alam seperti minyak eukaliptus dari eukaliptus, minyak sitrus dari lemon atau jeruk, dan untuk ekstraksi minyak parfum dari tumbuhan. Campuran dipanaskan melalui uap air yang dialirkan ke dalam campuran dan mungkin ditambah juga dengan pemanasan. Uap dari campuran akan naik ke atas menuju ke kondensor dan akhirnya masuk ke labu distilat.

Distilasi vakum biasanya digunakan jika senyawa yang ingin didistilasi tidak stabil, dengan pengertian dapat terdekomposisi sebelum atau mendekati titik didihnya atau campuran yang memiliki titik didih di atas 150 °C. Metode distilasi ini tidak dapat digunakan pada pelarut dengan titik didih yang rendah jika kondensornya menggunakan air dingin, karena komponen yang menguap tidak dapat dikondensasi oleh air. Untuk mengurangi tekanan digunakan pompa vakum atau aspirator. Aspirator berfungsi sebagai penurun tekanan pada sistem distilasi ini.

Prinsip Kerja Distilasi; Destilasi merupakan suatu perubahan fase cairan menjadi uap dan uap tersebut didinginkan kembali menjadi cairan. Destilasi juga dapat diartikan sebagai suatu proses pemurnian untuk senyawa padat yaitu suatu proses yang didahului dengan penguapan senyawa cair dengan

memanaskannya, kemudian mengembungkan uap yang terbentuk yang akan ditampung dalam wadah yang terpisah untuk mendapat destilat atau senyawa cair yang murni. Dasar pemisahan pada destilasi adalah perbedaan titik didih cairan pada tekanan tertentu. Pemisahan dengan destilasi melibatkan penguapan differensial dari suatu campuran cairan diikuti dengan penampungan material yang menguap dengan cara pendinginan dan pengembunan.

Unit operasi destilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponennya yang terdapat dalam salah satu larutan atau campuran dan bergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa air. Syarat utama dalam operasi pemisahan komponen-komponen dengan cara destilasi adalah komposisi uap harus berbeda dengan komposisi cairan dengan terjadi keseimbangan larutan-larutan, dengan komponen-komponennya cukup dapat menguap.

Tahapan Distilasi, ada beberapa tahapan proses destilasi adalah sebagai berikut :

1. Evaporasi atau memindahkan pelarut sebagai uap dari cairan
2. Pemisahan uap-cairan di dalam kolom dan untuk memisahkan komponen dengan titik didih lebih rendah yang lebih mudah menguap komponen lain yang kurang volatil.

Kondensasi dari uap, serta untuk mendapatkan fraksi pelarut yang lebih volatil. Pembagian Destilasi antara lain sebagai berikut :

1. Distilasi berdasarkan prosesnya terbagi menjadi dua, yaitu : a. Distilasi kontinyu, b. Distilasi batch
2. Berdasarkan basis tekanan operasinya terbagi menjadi tiga, yaitu : a. Distilasi atmosferis, b. Distilasi vakum, c. Distilasi tekanan
3. Berdasarkan komponen penyusunnya terbagi menjadi dua, yaitu : a. Destilasi system biner, b. Destilasi system multi komponen

4. Berdasarkan system operasinya terbagi menjadi dua, yaitu : a. *Single-stage Distillation.*

Komponen Alat Destilasi

- Tabung reaktor; Tabung reaktor berfungsi sebagai wadah atau tempat pemanasan bahan baku (oli bekas). Tabung reaktor berbentuk silinder yang mempunyai tutup yang direkatkan dengan menggunakan baut sehingga dapat dibuka dan ditutup.
- Kondensor (Pendingin); Kondensor berfungsi untuk mengubah seluruh gas menjadi fase cair. Air disirkulasikan kedalam tabung condensor sebagai media pendingin.
- Pipa penyalur; Pipa penyalur yang dibuat berbentuk spiral ini berfungsi untuk menghubungkan dan menyalurkan gas dari tabung reaktor ke *condenser*.
- Burner; Burner ini berfungsi sebagai media pemanasan untuk mengasapkan bahan baku di dalam tangki pemanas yang bisa berupa kompor gas atau kompor minyak ataupun juga tungku menggunakan batu bara, tetapi untuk lebih efisien dan mudah mendapatkan bahan bakar maka digunakan kompor gas yang menggunakan bahan bakar LPG



Gambar 4. Unit Distilasi

Keuntungan dan Kekurangan Destilasi

- Keuntungannya adalah: Dapat memisahkan zat dengan perbedaan titik didih yang tinggi, dan Produk yang dihasilkan benar-benar murni.
- Kekurangannya adalah; Berlaku hanya untuk zat dengan fase cair dan gas, Hanya dapat memisahkan zat yang memiliki perbedaan titik didih yang besar, Biaya penggunaan alat ini relatif mahal.

2.1 Ketel Uap

Ketel uap adalah pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia dari bahan bakar pelet sampah organik menjadi energi gas panas (uap), berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk menghasilkan uap air untuk sumber tenaga atau untuk proses pemanasan. Ketel uap adalah bejana tertutup yang menyediakan sarana untuk panas pembakaran yang akan ditransfer ke dalam air menjadi uap atau air yang dipanaskan. Proses penguapan air, panas ditransfer dari bahan bakar ke air melalui cara radiasi, konveksi, dan konduksi. Ketel uap terdiri dari 2 komponen utama, yaitu: a) Ruang bakar sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas, dan b) Evaporator yang mengubah energi panas pembakaran menjadi energi potensial uap (energi panas).



Gambar 5. Ketel Uap

Ketel Uap (*boiler*) bekerja dengan memanaskan air untuk menghasilkan uap air, yang akan digunakan untuk pemanasan atau tenaga gerak. Bahan bakar pendidih bermacam-macam dari yang populer batubara dan minyak bakar, sampai listrik, gas, biomasa, nuklir dan lain-lain. Pendidih merupakan bagian terpenting dari penemuan mesin uap yang merupakan pemicu lahirnya revolusi industri.

Ketel dibuat untuk menghasilkan uap dengan jalan memanasi air yang ada di dalamnya oleh gas panas hasil pembakaran bahan bakar. Ketel harus bekerja seefisien mungkin; artinya harus dapat menghasilkan uap sebanyak-banyaknya dengan pemakaian bahan bakar yang seminimal mungkin. Oleh karena itu konstruksi ketel harus sedemikian sehingga panas dari bahan bakar harus sebanyak-banyaknya dapat diserap oleh air ketel guna menghasilkan uap. Untuk mencapai hal tersebut maka konstruksi ketel dibuat dari susunan pipa-pipa yang memisahkan antara air dan gas-gas panas yang memanaskan air tersebut.

Sebuah ketel uap harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- Dalam waktu tertentu harus dapat menghasilkan uap dengan berat tertentu dan tekanan lebih besar dari 1 atmosfer.
- Uap yang dihasilkan harus dengan kadar air yang sedikit mungkin
- Kalau dipakai alat pemanas lanjut, maka pada pemakaian uap yang tidak teratur, suhu uap tidak boleh berubah banyak dan harus dapat diatur dengan mudah.
- Pada waktu olah gerak dimana pemakaian uap berubah-ubah maka takanan uap tidak boleh berubah banyak
- Uap harus dapat dibentuk dengan jumlah bahan bakar yang serendah mungkin.

- Susunan pengopakan bahan bakar harus sedemikian rupa sehingga bahan bakar dapat dibakar dengan tidak memerlukan ongkos dan tenaga yang terlalu besar.

Bejana pada suatu ketel uap biasanya terbuat dari baja (*steel /alloy steel*), atau awalnya dari besi tempa. Baja stainless sebenarnya tidak disarankan (oleh ASME *Boiler Code*) untuk digunakan pada bagian-bagian yang basah dari ketel uap modern, tetapi sering kali digunakan pada bagian *super heater* yang tidak akan terpapar ke cairan ketel uap. Tembaga atau kuningan sering digunakan karena lebih muddah di-pabrikasi untuk ketel uap ukuran kecil. Sejarahnya, tembaga sering digunakan untuk peti api (*firebox*) (terutama untuk lokomotif uap air, karena kemudahannya dibentuk dan pengantar panas yang tinggi; namun, saat ini, harga tembaga yang tinggi menjadi pilihan yang tidak ekonomis dan lebih murah menggunakan material pengganti (seperti baja)

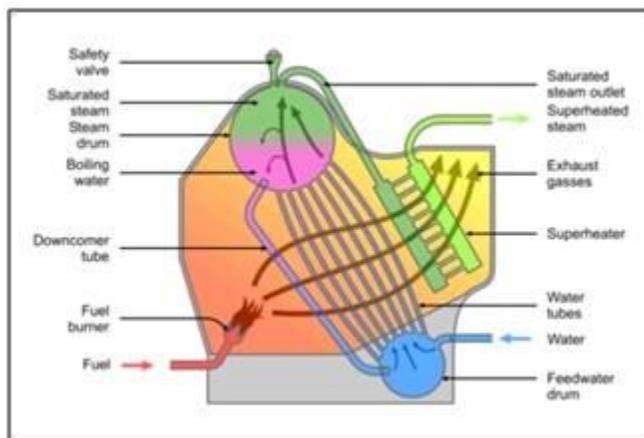
Untuk kebanyakan ketel uap Victorian, hanya menggunakan besi tempa kualitas paling tinggi, yang dirakit menggunakan keling (*rivet*). Kualitas yang tinggi dari lembaran dan kecocokan untuk kehandalan yang tinggi digunakan pada aplikasi yang kritis, seperti ketel uap tekanan tinggi. Pada abad 20, untuk praktisnya disain bergerak kearah penggunaan baja, di mana lebih kuat dan lebih murah, dengan konstruksi las, yang lebih cepat dan sedikit pekerja.

Besi tuang (*cast iron*) digunakan untuk bejana pemanas untuk pemanas air. Walaupun suatu pemanas biasanya disebut "pendidih" (*boiler*), karena tujuannya adalah untuk membuat air panas, bukan uap air, karena dioperasikan pada tekanan rendah dan menghindari pendidihan sebenarnya. Kerapuhan dari besi tuang menjadikannya tidak cocok untuk ketel uap tekanan tinggi.

A. Prinsip Kerja Ketel Uap

Boiler atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar.

Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler*.



Gambar 6. Skema Kerja Ketel Uap

Siklus air merupakan suatu mata rantai rangkaian siklus fluida kerja. Boiler mendapat pasokan fluida kerja air dan menghasilkan uap untuk dialirkan ke turbin. Air sebagai fluida kerja diisikan ke boiler menggunakan pompa air pengisi dengan melalui *economiser* dan ditampung didalam *steam drum*.

Economiser adalah alat yang merupakan pemanas air terakhir sebelum masuk ke drum. Di dalam *economiser* air menyerap panas gas buang yang keluar dari *super heater* sebelum dibuang ke atmosfer melalui cerobong.

Peralatan yang dilalui dalam siklus air adalah *drum boiler*, *down comer*, *header bawah (bottom header)*, dan *riser*. Siklus air di *steam drum* adalah, air dari *drum* turun melalui pipa-pipa *down comer* ke header bawah (*bottom header*). Dari header bawah air didistribusikan ke pipa-pipa pemanas (*riser*) yang tersusun membentuk dinding ruang bakar boiler. Didalam *riser* air mengalami pemanasan dan naik ke *drum* kembali akibat perbedaan temperatur.

Perpindahan panas dari api (*flue gas*) ke air di dalam pipa-pipa boiler terjadi secara radiasi, konveksi dan konduksi. Akibat pemanasan selain temperatur naik hingga mendidih juga terjadi sirkulasi air secara alami, yakni dari *drum* turun melalui *down comer* ke header bawah dan naik kembali ke *drum* melalui pipa-pipa *riser*. Adanya sirkulasi ini sangat diperlukan agar terjadi pendinginan terhadap pipa-pipa pemanas dan mempercepat proses perpindahan panas. Kecepatan sirkulasi akan berpengaruh terhadap produksi uap dan kenaikan tekanan serta temperaturnya.

Selain sirkulasi alami, juga dikenal sirkulasi paksa (*forced circulation*). Untuk sirkulasi jenis ini digunakan sebuah pompa sirkulasi (*circulation pump*). Umumnya pompa sirkulasi mempunyai laju sirkulasi sekitar 1,7, artinya jumlah air yang disirkulasikan 1,7 kali kapasitas penguapan. Beberapa keuntungan dari sistem sirkulasi paksa antara lain :

- Waktu *start* (pemanasan) lebih cepat,
- Mempunyai respon yang lebih baik dalam mempertahankan aliran air ke pipa-pipa pemanas pada saat start maupun beban penuh,
- Mencegah kemungkinan terjadinya stagnasi pada sisi penguapan.

Ketel Uap banyak sekali macamnya, dan perkembangannya dapat

mengikuti kemajuan teknologi masa kini. Dari sekian banyak macam ketel perlu dikelompokkan menjadi beberapa bagian. sesuai kegunaannya, konstruksinya dan lain-lain. Di bawah ini akan diuraikan pengelompokan tersebut secara garis besar:

Berdasarkan tekanannya, Ketel Uap terbagi menjadi:

- Ketel Uap tekanan rendah (Tekanan Kerja $\leq 0.5 \text{ kg/cm}^2$ melebihi tekanan udara luar),
- Ketel Uap (Tekanan Kerja $> 0.5 \text{ kg/cm}^2$ melebihi tekanan udara luar).

Berdasarkan tempat pemakaiannya, Ketel Uap terbagi menjadi:

- Ketel Uap darat (uji berkala tiap 2 tahun),
- Ketel Uap kapal (uji berkala tiap 1 tahun),
- Ketel Uap lokomotif (uji berkala tiap 3 tahun).

Berdasarkan Undang-Undang Uap; karena tempat penggunaannya berbeda-beda, maka berdasarkan Undang-Undang Uap pasal 9, Ketel Uap dibagi menjadi tiga yaitu :

- Ketel Tetap atau Ketel Darat, yaitu ketel-ketel yang dipakai di darat seperti paberik-paberik, PLTU dan lain-lain yang mempunyai pondasi yang tetap,
- Ketel Kapal, yaitu ketel-ketel yang dipakai di kapal. Di sini perlengkapan alat-alat keselamatan ketel biasanya mempunyai konstruksi yang sedikit berbeda dengan ketel-ketel lainnya, mengingat keadaan kapal-kapal yang selalu oleng selama berlayar,
- Ketel-Ketel yang dapat bergerak. yaitu ketel-ketel yang tidak termasuk dalam kedua golongan ketel tersebut di atas, seperti ketel kereta api, ketel tiang pancang dan lain-lain.

Berdasarkan Konstruksinya, dari kedudukan pipa ketel dibagi menjadi :

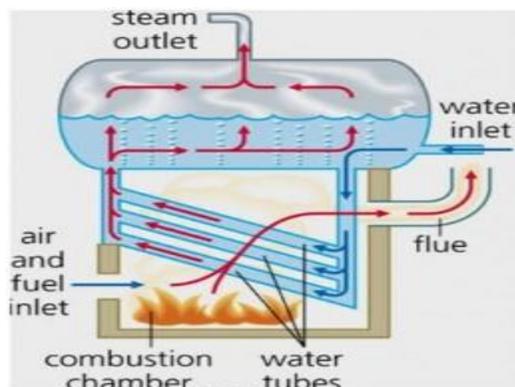
- Horizontal contoh : B & W Seksi
- Vertikal contoh : Foster Wheeler
- Miring contoh : B & W Integral

Berdasarkan zat yang mengalir di dalam pipanya, ketel dibagi menjadi tiga golongan yaitu :

- Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*). Pada ketel ini gas-gas panas mengalir di dalam pipa, sedangkan air yang dipanasi berada di luar pipa. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan 18 kg/cm². Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai “paket” boiler (dirakit pabrik) untuk semua bahan bakar.
- Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*). Pada ketel ini yang mengalir di dalam pipa adalah air ketel, sedangkan gas-gas pemanasnya berada di luar pipa. Pada masa kini ketel-ketel pipa air ini lebih pesat perkembangannya. Pada ketel pipa air, air diumpankan boiler melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Ketel yang modern dirancang dengan kapasitas steam antar 4.500 – 12.000 ton/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak ketel pipa air yang dikonstruksikan secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum

dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut:

- *Fored, induced* dan *balanced draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.
- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.
- Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi



Gambar 7. Skema Aliran Fluida Ketel Pipa Air

- **Ketel Gabungan Pipa Api dan Pipa Air.** Pada ketel ini terdapat dua macam jenis pipa, yaitu pipa api dan pipa air. Konstruksinya pada umumnya seperti Ketel Schots. Dan nampaknya dibuatnya ketel ini adalah untuk memperbaiki kekurangan yang terdapat pada Ketel Schots, seperti kurang baiknya sirkulasi air di dalam ketel.

Berdasarkan pemakaiannya, ketel dibagi menjadi :

- **Ketel stasioner (*stationary boiler*) atau ketel tetap.** Yang termasuk stasioner adalah ketel-ketel yang didudukkan pada suatu pondasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkitan tenaga, untuk industri dll.

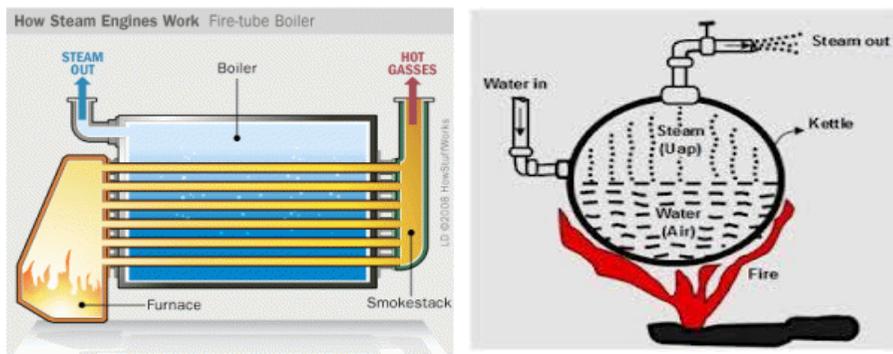
- **Ketel non stasioner (non stationary boiler) atau ketel mobil.** Yang termasuk non stasioner adalah ketel-ketel yang dalam penggunaannya pada tempat yang berpindah-pindah, seperti ketel untuk kereta api, kapal laut, dan lain-lain.



Gambar 8. Ketel Uap Stasioner

Dilihat dari Letak Dapur (*Furnace Position*), ketel dibagi menjadi :

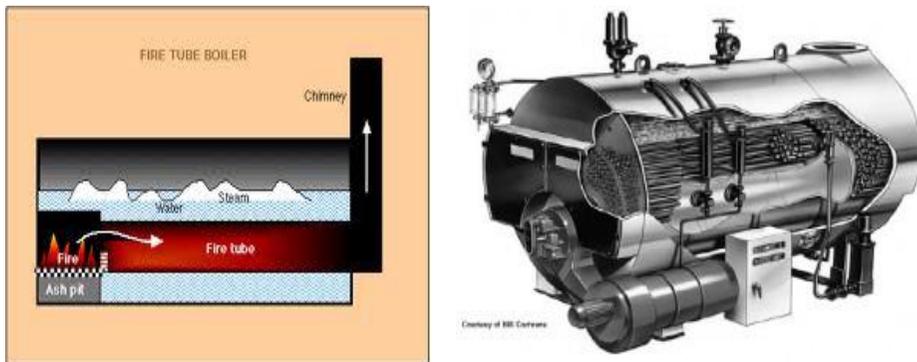
- Ketel dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*). Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel. kebanyakan ketel pipa api memakai system ini.
- Ketel dengan pembakaran di luar (*externally fired steam boiler*). Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel. kebanyakan ketel pipa air memakai system ini.



Gambar 9. Ketel Dengan Ruang Bakar Dalam dan Luar

Dilihat dari Jumlah Lorong (*Boiller Tube*), ketel dibagi menjadi :

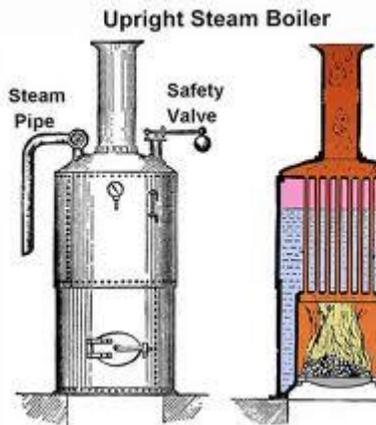
- *Ketel dengan lorong tunggal (single tube steam boiler)*. Pada single tube steam boiler, hanya terdapat 1 lorong saja, lorong api maupun lorong air. Cornish boiler adalah single fire tube boiler dan simple vertikal boiler adalah single water tube boiler.
- *Ketel dengan lorong ganda (multi tube steam boiler)*. Multi fire tube boiler misalnya ketel scotch dan multi water tube boiler misalnya ketel B dan W dll



Gambar 10. Ketel Dengan Lorong Api Tunggal dan Multi

Dilihat dari Porosnya Tutup Drum (*Shell*), ketel dibagi menjadi :

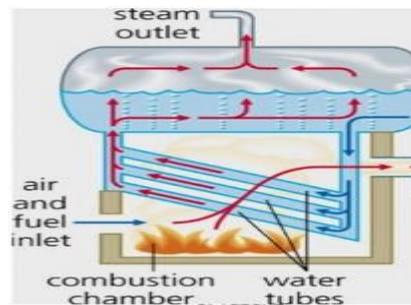
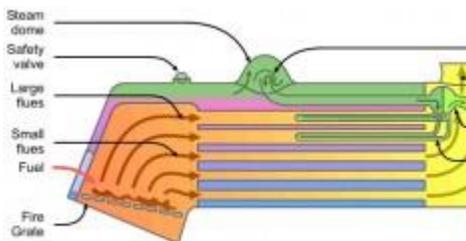
- *Ketel tegak (vertikal steam boiler)*, seperti ketel *cocharn*, ketel *clarkson* dan lain-lain.
- *Ketel mendatar (horizontal steam boiler)*, seperti ketel *cornish*, *lancashire*, *scotch* dan lain-lain.



Gambar 11. Ketel vertikal dan horizontal

Dilihat dari Bentuk dan Letak Pipa, ketel dibagi menjadi :

- Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekuk-lekuk (*stright, bent and sinous tubeler heating surface*)
- Ketel dengan pipa miring datar dan miring tegak (*horizontal, inclined or vertical tubeler heating surface*)



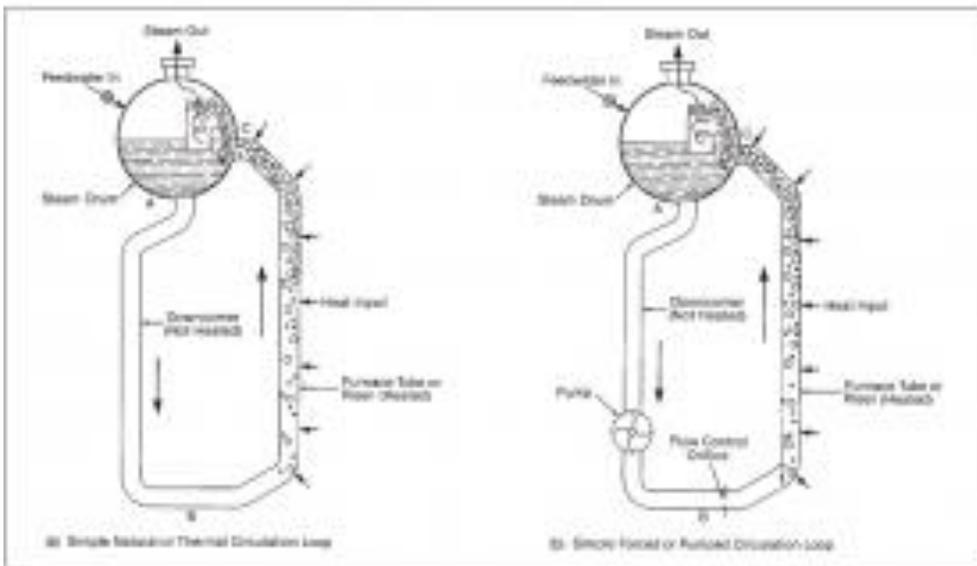
Gambar 12. Ketel Dengan Pipa Lurus dan Pipa Miring

Dilihat dari Peredaran Air Ketel (*water circulation*), ketel dibagi menjadi :

- **Ketel dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*)**. Pada *natural circulation boiler*, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami yaitu air yang ringan naik, sedangkan

terjadilah aliran aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel *lancashire, babcock & wilcox*.

- **Ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*).** Pada ketel dengan aliran paksa, aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa *centrifugal* yang digerakkan dengan elektrik motor misalnya *la-mont boiler, benson boiler, loeffer boiler* dan *velcan boiler*.



Gambar 13. Ketel Dengan Sirkulasi Alami dan Sirkulasi Paksa

Dilihat dari tekanan kerjanya, ketel dibagi menjadi :

- tekanan kerja rendah : ≤ 5 atm
- tekanan kerja sedang : 5-40 atm
- tekanan kerja tinggi : 40-80 atm
- tekanan kerja sangat tinggi : > 80 atm.

Dilihat dari kapasitasnya, ketel dibagi menjadi :

- kapasitas rendah : ≤ 2500 kg/jam
- kapasitas sedang : 2500-50000 kg/jam
- kapasitas tinggi : > 50000 kg/jam

Dilihat dari pada sumber panasnya (heat source), ketel dibagi menjadi :

- ketel uap dengan bahan bakar alami
- ketel uap dengan bahan bakar buatan
- ketel uap dengan dapur listrik
- ketel uap dengan energi nuklir.

B. Kinerja Ketel Uap

Evaluasi kinerja ketel uap, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang seiring waktu karena pembakaran yang buruk, pengotoran permukaan perpindahan panas dan operasi serta pemeliharaan yang buruk. Kualitas bahan bakar dan kualitas air pengisi ketel dapat mengakibatkan kinerja ketel uap yang buruk. Keseimbangan panas membantu kita mengidentifikasi kehilangan panas yang tak terhindarkan. Tes efisiensi ketel uap membantu kita mengetahui penyimpangan efisiensi ketel uap dari efisiensi terbaik.

Efisiensi ketel uap, Efisiensi termal ketel uap didefinisikan sebagai persentase input energi (panas) yang secara efektif berguna dalam uap yang dihasilkan. Efisiensi *thermal boiler* didefinisikan sebagai persentase input energi (panas) yang secara efektif berguna dalam uap yang dihasilkan. Efisiensi ketel uap adalah ukuran kemampuan ketel uap untuk mentransfer pelepasan panas oleh bahan bakar dalam uap ke uap yang keluar dari ketel uap.

Metode untuk menilai efisiensi ketel uap: Ada dua metode untuk menilai efisiensi ketel uap: Metode Langsung: perolehan energi fluida kerja (air dan uap) dibandingkan dengan kandungan energi bahan bakar ketel uap. Metode Tidak Langsung: efisiensi adalah perbedaan panas pembakaran yang akan ditransfer ke dalam air sampai antara kerugian dan input energi.

Kinerja ketel uap menggunakan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dinyatakan oleh: Laju massa produksi uap, Energi penguapan, dan efektivitas penguapan. Laju massa produksi uap (kg/h), dinyatakan dalam besarnya massa uap (kg) yang dihasilkan selama waktu (jam) proses penguapan. Energi penguapan (kJ), dinyatakan oleh besarnya laju massa pembakaran bahan bakar (kg/h) panas jenis bahan bakar (kJ/kg °C) dan temperatur pembakaran (°C). Efektivitas penguapan, dinyatakan oleh laju massa produksi uap (kg/h) dan energi penguapan (kJ).

Laju massa produksi uap, dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{m}_s = \frac{m_s}{t} \dots \dots \dots (kg/h)$$

Energi pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \dot{m}_s \cdot c \cdot T \dots \dots \dots (kJ/h)$$

Efektivitas penguapan, dinyatakan dengan persamaan:

$$\partial = \frac{\dot{m}_s}{E} \dots \dots \dots (kg/kj)$$

Efisiensi ketel uap dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi ketel uap } (\eta) &= \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{laju massa uap} \times (\text{enthalpy uap} - \text{enthalpy air pengisi})}{\text{laju massa bahan bakar} \times \text{k calor bahan bakar}} \times 100\% \end{aligned}$$

Pengambilan data dilakukan 10 sampel untuk setiap variabel bebas, kemudian melakukan validasi rata-rata data. Dengan menggunakan metode eksperimen, pengukuran massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik (kg), Pengukuran massa bahan bakar yang dibakar menggunakan Neraca Massa, Waktu pembakaran (jam) didapatkan melalui perekaman waktu awal mulai pembakaran sampai akhir pembakaran menggunakan stopwatch.

Dengan menetapkan massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, untuk variasi kecepatan udara bakar semakin besar, menghasilkan waktu pembakaran yang semakin cepat dengan laju massa pencetakan yang meningkat. Pada massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dengan dimensi briket yang semakin besar, akan membentuk densitas briket yang semakin kecil, menjadikan laju energi pembakaran semakin meningkat dengan waktu pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik menjadi semakin cepat. Pada volume bahan bakar dengan dimensi partikel yang semakin besar, menjadikan pelet partikel arang sampah organik semakin *porous*, sehingga membutuhkan energi pembakaran yang semakin kecil, untuk menghasilkan laju pembentukan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik yang semakin meningkat.

C. Panduan Operasional Ketel Uap

- Mempersiapkan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, menetapkan massanya (kg),
- Mempersiapkan unit tungku pembakaran bahan bakar pelet dalam kondisi ready, dengan memperhatikan kondisi bahan bakar, Blower, dan Elemen pemanas,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur Neraca massa, Termometer dan alat ukur waktu kerja pembakar (Stopwatch),
- Memasukkan air pengisi ketel dengan menghidupkan pompa air pengisi ketel, sampai batas ketinggian air dalam gelas penduga.
- Memasukkan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik yang sudah terukur massanya ke dalam tungku pembakar,
- Menghidupkan tungku pembakar dengan menetapkan saklar elemen pemanas pada posisi (ON), kemudian mengatur putaran

blower agar konstan dengan menetapkan *trotle* pada posisi tertentu,

- Mencatat temperatur dan massa air pengisi ketel,
- Mencatat temperatur dan tekanan uap, serta massa uap yang dihasilkan,
- Mencatat temperatur pembakaran dan massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik,
- Melakukan lima sampel pengamatan data kinerja ketel uap, pada tiap variasi variabel bebasnya,
- Setelah selesai, matikan tungku pembakar dengan menetapkan (*blower* dan elemen pemanas) pada posisi (OF),
- Matikan pompa air pengisi ketel dan mengeluarkan air dalam ketel,
- Membersihkan tungku pembakar serta peralatan ketel uap lainnya dari kotoran dan debu, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah ditentukan,
- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Dari hasil pengamatan data, kemudian dilakukan analisis karakteristik kinerja ketel uap menggunakan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik.

2.2 Bejana Distilasi

Bejana distilasi adalah suatu bejana yang di dalamnya ditempatkan bahan yang akan di uapkan berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Dalam penyulingan, bahan dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan.



Gambar 14. Bejana Destilasi

Suatu bejana destilasi putar mampu mendistilasi pelarut lebih cepat pada suhu rendah melalui penggunaan vakum. Penyulingan dilakukan dalam waktu 5 jam tiap penyulingannya. Setiap jam kondensat ditampung dan diukur volumenya. Gambar 14 menunjukkan volume kondensat yang fluktuatif setiap jamnya. Masalah yang dihadapi pada suatu proses penyulingan adalah berkurangnya volume air karena penguapan. Keadaan ini akan membuat suhu di dalam ketel tidak dapat terjaga konstan. Berkurangnya volume air akan mengakibatkan volume ruang kosong bertambah serta berakibat menurunnya tekanan di dalam ruang ketel serta penurunan titik uap air maupun minyak yang sedang disuling.

Sesuai dengan pernyataan Rusli (1972), dasar dari suatu proses penyulingan minyak atsiri adalah pengambilan minyak dengan uap air dari dalam sel-sel tanaman. Uap air yang masuk pada tanaman cengkeh dalam ketel suling akan melewati pori-pori dalam daun cengkeh. Beberapa hal lain yang mempengaruhinya yaitu faktor *human error*. Kerapatan saat merangkai alat menjadi faktor penting yang harus diperhatikan karena jika alat tidak rapat maka akan mengakibatkan kebocoran dan uap yang tidak keluar melalui

lubang output melainkan di sela-sela tangki yang tidak terangkai rapat.

Laju aliran kondensat atau laju penyulingan merupakan jumlah campuran air dan minyak cengkeh (kondensat) yang dihasilkan tiap satuan waktu. Gambar 5 di bawah ini menunjukkan perbedaan laju aliran kondensat antara penyulingan daun yang dicacah, daun cacahan kasar, dan daun cacahan halus dengan satu kali penyulingan.

A. Prinsip Kerja Bejana Distilasi

Pemisahan komponen-komponen dari campuran liquid melalui destilasi bergantung pada perbedaan titik didih masing-masing komponen. Juga bergantung pada konsentrasi komponen yang ada. Campuran liquid akan memiliki karakteristik titik didih yang berbeda.

Oleh karena itu, proses destilasi bergantung pada tekanan uap campuran liquid. Tekanan uap suatu liquid pada temperatur tertentu adalah tekanan keseimbangan yang dikeluarkan oleh molekul-molekul yang keluar dan masuk pada permukaan *liquid*.

Berikut adalah hal-hal penting berkaitan dengan tekanan uap:

- Input energi menaikkan tekanan uap
- Tekanan uap berkaitan dengan proses mendidih
- Liquid dikatakan mendidih ketika tekanan uapnya sama dengan tekanan udara sekitar.
- Mudah atau tidaknya liquid untuk mendidih bergantung pada volatilitasnya.
- *Liquid* dengan tekanan uap tinggi (mudah menguap) akan mendidih pada temperatur yang lebih rendah.
- Tekanan uap dan titik didih campuran liquid bergantung pada jumlah relatif komponen-komponen dalam campuran.

- Destilasi terjadi karena perbedaan volatilitas komponen-komponen dalam campuran liquid

Proses pemisahan secara distilasi dengan mudah dapat dilakukan terhadap campuran, dimana antara komponen satu dengan komponen yang lain terdapat dalam campuran :

- Dalam keadaan standar berupa cairan, saling melarutkan menjadi campuran homogen.
- Mempunyai sifat penguapan relatif (α) cukup besar.
- Tidak membentuk cairan azeotrop.

Pada proses pemisahan secara distilasi, fase uap akan segera terbentuk setelah sejumlah cairan dipanaskan. Uap dipertahankan kontak dengan sisa cairannya (dalam waktu relatif cukup) dengan harapan pada suhu dan tekanan tertentu, antara uap dan sisa cairan akan berada dalam keseimbangan, sebelum campuran dipisahkan menjadi distilat dan residu.

Fase uap yang mengandung lebih banyak komponen yang lebih mudah menguap relatif terhadap fase cair, berarti menunjukkan adanya suatu pemisahan. Sehingga kalau uap yang terbentuk selanjutnya diembunkan dan dipanaskan secara berulang-ulang, maka akhirnya akan diperoleh komponen-komponen dalam keadaan yang relatif murni.

B. Kinerja Bejana Distilasi

Evaluasi kinerja bejana distilasi, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang seiring waktu karena pembakaran yang buruk, pengotoran permukaan perpindahan panas dan operasi serta pemeliharaan yang buruk. Kualitas bahan bakar dan kualitas air pengisi ketel dapat mengakibatkan kinerja ketel uap yang buruk. Keseimbangan panas membantu kita mengidentifikasi kehilangan panas yang tak terhindarkan. Tes efisiensi ketel uap membantu kita mengetahui penyimpangan efisiensi ketel uap dari

efisiensi terbaik.

Efisiensi termal bejana distilasi, didefinisikan sebagai persentase input energi (uap panas) yang secara efektif berguna dalam penguapan distilasi yang dihasilkan. Efisiensi bejana distilasi adalah ukuran kemampuan bejana distilasi untuk mentransfer pelepasan panas oleh energi dalam uap ke uap yang keluar dari bejana distilasi.

Untuk menilai efisiensi kinerja bejana distilasi yaitu melalui perolehan energi fluida kerja (uap destilasi) dibandingkan dengan kandungan energi uap baru masuk destilator.

Kinerja bejana distilasi menggunakan uap yang dihasilkan oleh ketel uap, dinyatakan oleh: Laju massa produksi uap distilasi, Energi penguapan distilasi, dan efektivitas penguapan distilasi. Laju massa produksi uap distilasi (kg/h), dinyatakan dalam besarnya massa uap distilasi (kg) yang dihasilkan selama waktu (jam) proses penguapan. Energi penguapan (kJ), dinyatakan oleh besarnya laju massa penguapan (kg/h) panas jenis bahan bakar (kJ/kg °C) dan temperatur penguapan (°C). Efektivitas penguapan, dinyatakan oleh laju massa produksi uap (kg/h) dan energi penguapan (kJ).

Laju massa produksi uap distilasi, dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{m}_s = \frac{m_s}{t} \dots \dots \dots (kg/h)$$

Energi penguapan proses distilasi, dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \dot{m}_s \cdot c \cdot (T_{in} - T_{out}) \dots \dots \dots (kJ/h)$$

Efektivitas kerja distilasi, dinyatakan dengan persamaan:

$$\partial = \frac{\dot{m}_s}{E} \dots \dots \dots (kg/kj)$$

Efisiensi kinerja distilasi dihitung sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi kinerja distilasi } (\eta) = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{laju massa uap distilasi} \times \text{enthalpy uap distilasi}}{\text{laju massa uap input} \times \text{enthalpy uap input}} \times 100\%$$

C. Panduan Operasional Bejana Destilasi

- Mempersiapkan bahan destilasi organik, menetapkan massanya (kg), memasukkan bahan organik yang sudah terukur massanya ke dalam bejana masakan,
- Mempersiapkan unit bejana masakan dalam kondisi ready, dengan memperhatikan kondisi saluran uap masuk dan keluar bejana masakan, Blower, dan Elemen pemanas,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur Neraca massa, Termometer, manometer dan alat ukur waktu masakan (Stopwatch),
- Menghidupkan bejana distilasi dengan menetapkan pengaturan throttle uap masuk dan keluar pada posisi bukaan maksimal,
- Melakukan lima sampel pengamatan data proses destilasi, terdiri dari massa uap, tekanan dan temperatur uap dan waktu penguapan,
- Proses destilasi dilakukan pada variasi perubahan variabel bebas,
- Setelah selesai, matikan bejana distilasi dengan menetapkan throttle uap pada posisi tertutup (OF), kemudian keluarkan bahan destilasi organik dari bejana destilasi
- Membersihkan bejana distilasi serta peralatan lainnya, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah ditentukan,
- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Hasil pengamatan data proses destilasi, kemudian dilakukan

analisis karakteristik kinerja bejana distilasi.

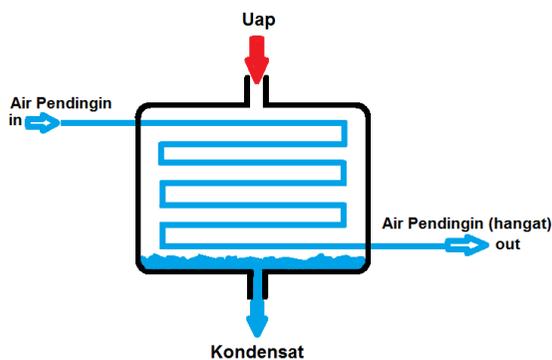
2.3 Kondensor

Dalam dunia industri, terdapat berbagai macam peralatan dengan fungsinya masing-masing, tidak terkecuali industri migas, entah itu peralatan utama maupun peralatan pendukung. Peralatan tersebut digunakan sesuai fungsinya masing-masing dengan tujuan tertentu, Kali ini kita akan sedikit membahas tentang suatu alat yang disebut dengan kondensor, alat ini sering ditemui pada suatu industri yang bergerak dibidang energi maupun kimia, misalnya saja unit pengolahan migas, pembangkit listrik, industri petrokimia dan sebagainya.



Gambar 15. Kondensor

Kondensor adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensor diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoperasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.



Gambar 16. Skema Kerja Kondensor

Kondensor dengan aliran silang atau sering disebut *cross flow* yaitu penukar kalor dimana biasanya di dalam penukar kalor tersebut terjadi perpindahan panas antara dua fluida yang saling tegak lurus satu sama lain. Contoh yang sering ditemui adalah pada radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.



Gambar 17. Kondensor Spiral Tipe Vertikal

A. Prinsip Kerja Kondensor

Prinsip kerja kondensor tergantung dari jenis kondensor tersebut, secara umum terdapat dua jenis kondensor yaitu surface condenser dan direct contact condenser. Berikut cara kerja kedua klasifikasi jenis kondensor tersebut:

Untuk *Surface Condenser*; Cara kerja dari jenis alat ini ialah proses perubahan dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam ruangan yang berisi susunan pipa dan uap tersebut akan memenuhi permukaan luar pipa sedangkan air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (tube side), maka akan terjadi kontak antara keduanya dimana uap yang memiliki temperatur panas akan bersinggungan dengan air pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari uap tersebut, sehingga temperatur steam (uap) akan turun dan terkondensasi. Surface condenser terdiri dari dua jenis yang dibedakan oleh cara masuknya uap dan air pendingin, berikut jenis-jenisnya :

- Tipe *Horizontal Condenser*, Pada tipe kondensor ini, air pendingin masuk melalui bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa (tube) dan akan keluar pada bagian atas, sedangkan uap akan masuk pada bagian tengah kondensor dan akan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah.
- Tipe *Vertical condenser*, Pada jenis kondensor ini, tempat masuknya air pendingin melalui bagian bawah dan akan mengalir di dalam pipa selanjutnya akan keluar pada bagian atas kondensor, sedangkan steam akan masuk pada bagian atas dan air kondensat akan keluar pada bagian bawah.

Sedangkan untuk *Direct Contact Condenser*; Cara kerja dari kondensor jenis ini yaitu proses kondensasi dilakukan dengan cara mencampurkan air pendingin dan uap secara langsung. Jenis dari kondensor ini disebut *spray condenser*, pada alat ini proses pencampuran dilakukan dengan menyemprotkan air pendingin ke arah uap. Sehingga steam akan menempel

pada butiran-butiran air pendingin tersebut dan akan mengalami kontak temperatur, selanjutnya uap akan terkondensasi dan tercampur dengan air pendingin yang mendekati fase *saturated* (basah).

Perlu kita ketahui, bahwa setiap industri terkadang memiliki cara kerja pertukaran panas yang berbeda-beda, misalnya saja pada industri migas, fraksi yang panas akan mengalir melalui pipa sedangkan minyak mentah (dingin) akan mengalir diluar pipa. Hal ini dikarenakan fraksi yang mengalir di dalam pipa merupakan hasil yang telah diolah pada menara destilasi sehingga memiliki temperatur yang panas, panas dari fraksi inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan minyak mentah yang akan dimasukkan kedalam kolom destilasi.

Air pendingin dalam kondensor sangat memiliki peranan penting dalam proses kondensasi uap menjadi condensat water. Bahan baku air pendingin biasanya didapatkan dari danau dan air laut (*sea water*, dalam proses pengambilannya biasanya digunakan alat sejenis jaring yang berfungsi untuk menjaring kotoran serta benda-benda padat lainnya agar tidak terikut kedalam hisapan pompa yang tentunya dapat mengganggu kinerja kondensor bahkan kerusakan pada peralatan.

Kondensor sangat rentan terhadap gangguan-gangguan yang dapat menghambat kinerjanya, berikut masalah-masalah yang sering terjadi pada kondensor:

- *Non Condensable Gases* (gas yang tidak dapat terkondensasi); Gas ini dapat menyebabkan kenaikan *pressure* terhadap kondensor dan menyelimuti permukaan tube-tube yang dapat menghambat transfer panas antara uap dengan cooling water, sehingga gas-gas ini harus dikeluarkan atau dibuang dari dalam kondensor. Cara untuk mengeluarkan udara tersebut biasanya dilakukan dengan bantuan venting pump dan primming pump yang merupakan pompa vakum.

- Terjadi *Fouling* Terhadap Kondensor; Fouling atau endapan sangat mungkin terjadi pada kondensor, endapan yang mengotori *tube-tube* kondensor ini berasal dari sumber pengambilan bahan baku air pendingin. Seperti yang kita ketahui tempat pengambilan air pendingin berasal dari laut dan kemungkinan besar air tersebut mengandung endapan-endapan kotoran yang ikut masuk dan mengendap pada tube-tube kondensor, hal ini dapat menyebabkan menurunnya laju perpindahan panas pada kondensor, sehingga kualitas air pendingin sangat diperlukan agar mengurangi penyebab fouling pada kondensor.

Untuk mengeluarkan kotoran tersebut biasanya dilakukan dengan cara:

- *Backwash condensor*, yaitu dengan membalikkan arah aliran air pendingin dengan tujuan membuang kotoran yang masuk ke dalam waterbox inlet yang menghalangi proses perpindahan panas pada kondensor, proses ini dilakukan dengan cara membalikkan arah aliran inlet dan outlet.
- *Ball Cleaning*, proses pembersihan dengan cara ini dapat dilakukan dengan bola sebagai alat untuk membersihkan tube kondensor. Cara kerjanya yaitu bola akan dimasukkan pada inlet mengikuti aliran kondensor dan keluar pada waterbox outlet.

B. Kinerja Kondensor

Kinerja kondensor dinyatakan oleh: Laju massa kondensasi, Energi dalam proses kondensasi, dan efektivitas kondensasi. Laju massa kondensasi (kg/h), dinyatakan dalam besarnya massa uap (kg) yang mengalir selama waktu (jam) proses kondensasi. Energi dalam proses kondensasi (kJ/h), dinyatakan oleh besarnya laju massa kondensasi (kg/h) dan temperatur kondensasi ($^{\circ}\text{C}$). Efektivitas kondensasi, dinyatakan oleh laju massa pembakaran (kg/h) dan energi proses kondensasi (kJ/h).

Efisiensi termal kondensor, didefinisikan sebagai persentase input energi (uap panas) yang secara efektif berguna dalam pengembunan yang dihasilkan. Efisiensi kondensasi adalah ukuran kemampuan kondensor untuk mentransfer pelepasan panas oleh energi dalam uap ke air yang keluar dari kondensor. Untuk menilai efisiensi kinerja kondensor yaitu melalui perolehan energi fluida kerja (air kondensasi) dibandingkan dengan kandungan energi uap baru masuk kondensor.

Laju massa kondensasi, dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{m}_s = \frac{m_s}{t} \dots \dots \dots (kg/h)$$

Energi dalam proses kondensasi, dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \dot{m}_s \cdot c \cdot (T_{in} - T_{out}) \dots \dots \dots (kJ/h)$$

Efektivitas kondensasi, dinyatakan dengan persamaan:

$$\partial = \frac{\dot{m}_s}{E} \dots \dots \dots (kg/kj)$$

Efisiensi kinerja kondensor dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi kinerja kondensor } (\eta) &= \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat input}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{laju massa air kondensasi} \times \text{enthalpy air kondensasi}}{\text{laju massa uap} \times \text{enthalpy uap}} \times 100\% \end{aligned}$$

C. Panduan Operasional Kondensor

- Mempersiapkan air pendingin dalam tandon dan menetapkan massanya (kg),
- Mempersiapkan unit mesin pompa dalam kondisi ready, dengan memperhatikan kondisi katup terbuka,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur termometer, flow meter dan alat ukur

waktu (Stopwatch)

- Menghidupkan mesin pompa air pendingin dengan menetapkan saklar pada posisi (ON), mengatur bukaan katup agar konstan pada posisi tertentu, kemudian melakukan pencatatan temperatur air pendingin masuk kondensor, dan melakukan pencatatan massa dan temperatur air pendingin keluar kondensor.
- Mengalirkan uap ke dalam mesin kondensor, melakukan pencatatan temperatur dan tekanan uap pada kondisi sesuai yang diinginkan, dan melakukan pencatatan massa, temperatur dan tekanan air kondensasi pada kondisi sesuai yang diinginkan.
- Melakukan lima sampel pengamatan data proses kondensasi, pada variasi bukaan katup pompa air pendingin,
- Setelah selesai, matikan mesin kondensor dengan menetapkan katup pompa pada posisi putaran terendah, kemudian menetapkan saklar motor pompa pada posisi (OF),
- Membersihkan mesin kondensor serta peralatan lainnya dari kotoran dan debu, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah ditentukan,
- Hasil kondensasi berupa air kondensat organik, ditempatkan pada wadah tertutup,
- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Hasil pengamatan data proses kondensasi, kemudian ditabelkan untuk selanjutnya dilakukan analisis karakteristik kinerja proses kondensasi.

BAB 3

BAHAN BAKAR PELET ARANG SAMPAH ORGANIK

3.1 Sampah Organik

Sampah Organik adalah barang sampah yang bisa mengalami pelapukan (dekomposisi) dan terurai menjadi bahan yang lebih kecil dan tidak berbau (sering disebut dengan kompos). Bahan-bahan organik seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, sampah, rumput, seperti bonggol jagung, sabut kelapa, jerami, cangkang buah kopi dan lain-lain. Sisa material tersebut bisa berupa sesuatu yang dihasilkan dari hewan, manusia, ataupun tumbuhan yang sudah tidak digunakan lagi. Biasanya sisa material tersebut akan dilepaskan ke alam dan sudah berbentuk cair, padat atau gas dan bahan lain yang sejenis yang proses pelapukannya dipercepat oleh bantuan manusia. Sampah pasar khusus seperti pasar sayur mayur, pasar buah, atau pasar ikan, jenisnya relatif seragam, sebagian besar (95%) berupa sampah organik sehingga lebih mudah ditangani. Sampah yang berasal dari pemukiman umumnya sangat beragam, tetapi secara umum minimal 75% terdiri dari sampah organik dan sisanya anorganik.



Gambar 18. Sampah Organik

Hal yang terpenting dari biomassa ini ialah bahan bakarnya dapat dibaharui atau dalam istilah populernya yaitu terbarukan (*renewable*). Beribu-ribu tahun lalu energi biomassa sudah banyak dimanfaatkan terutama untuk rumah tangga seperti masak-memasak bahkan dengan perkembangan teknologi energi ini digunakan pada mesin uap yang menggerakkan kereta api. Setelah itu energi biomassa diganti dengan energi fosil yaitu bensin, solar, minyak tanah, gas, dan lainlain. Energi yang berasal dari fosil dewasa ini candangannya makin menipis sehingga penggunaan energi biomassa kembali mendapat perhatian karena energi ini bersifat terbarukan.

Sampah organik atau *degradable* adalah jenis sampah yang dapat membusuk, dan terurai kembali, sampah ini dapat dijadikan bahan bakar dengan terlebih dahulu dikeringkan dan dijadikan arang, pupuk kompos yang berguna dalam menyuburkan tanaman. Contohnya sisa makanan dari sayur-sayuran, daun kering atau makanan. Sampah organik sendiri dibagi menjadi: Sampah organik basah, dimaksudkan sampah mempunyai kandungan air yang cukup tinggi. Contohnya kulit buah dan sisa sayuran. Sampah organik kering, adalah bahan organik lain yang kandungan airnya kecil, seperti kertas, kayu atau ranting pohon, dan dedaunan kering.

Sampah Organik dapat dibentuk menjadi bahan yang lebih kecil dalam bentuk partikel, bahan-bahan organik seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, sampah, rumput, dan bahan lainnya yang sejenis, proses pencacahannya dipercepat dengan menggunakan mesin pencacah.



Gambar 19. Mencacah Sampah Organik

3.2 Mencacah Sampah Organik

Pada mesin pencacah, terdapat pisau pencacah yang diputar oleh motor penggerak dengan perantara sistem transmisi. Dengan pemberian putaran pada pisau pencacah, dimaksudkan agar pisau pencacah yang berada di dalam drum akan bergerak berputar melakukan tumbukan pada sampah akibat adanya pembentukan gaya tangensial. Besarnya gaya tangensial pada pisau pencacah yang berputar sangat ditentukan oleh besarnya daya yang ditransmisikan, semakin besar sudut perletakan akan membentuk gaya tangensial yang meningkat dan menurunkan gaya tangensial. Gaya tangensial adalah berbanding lurus dengan massa partikel sampah organik dan percepatan arah tangensial pisau pencacah. Sehingga dengan pisau pencacah yang berputar, dan saringan yang mengatur besarnya partikel, akan terbentuk hasil pencacahan sampah organik dengan dimensi partikel yang homogen.

Secara umum, mesin pencacah sampah organik terdiri dari 5 (lima) komponen utama, yang terdiri dari: *Main Engines (Motor Bakar Bensin)*; *Sistem Transmisi Daya (Sabuk dan Pulley)*; *Drum Pencacah (Dilengkapi Pisau Pencacah)*; *Saringan (Dengan variasi lubang)*; *Corong pemasukan sampah (Di bagian atas)* dan *saluran pengeluaran hasil pencacahan sampah (Di bagian bawah)*.



Gambar 20. Komponen Mesin Pencacah Sampah Organik

Prinsip kerja dari sistem mesin pencacah sampah organik adalah sebagai berikut; *Main Engines* sebagai sumber daya utama memberikan *DAYA OUTPUT*-nya ke *Drum Pencacah* melalui *Sistem Transmisi Daya*. Besarnya *DAYA* yang *Ditransmisi* ke *Drum Pencacah* tergantung pada besarnya beban *Pencacahan* dan efisiensi *system transmisi daya* tersebut. *Daya* yang *di transmisikan* inilah yang selanjutnya digunakan untuk memutar *Pisau Pencacah*. Salah satu jenis *Transmisi (Alat Penghantar Daya)* yang digunakan untuk *mentransmisikan Daya* penggerak sampai ke *Drum Pencacah* saat ini adalah *Pulley dengan sabuk Type Vee dan Gearbox*. Sampah organik yang dimasukkan melalui *corong pemasukan sampah*, di dalam *drum pencacah* akan mengalami *pencacahan* oleh *pisau pencacah* yang berputar dan tersaring sampai menjadi *partikel*, selanjutnya *partikel sampah organik* keluar melalui *corong keluar*, dan ditampung pada *wadah partikel sampah organik*.

Pengambilan data dilakukan 10 sampel untuk setiap variabel bebas, kemudian melakukan validasi rata-rata data. Dengan menggunakan metode eksperimen, pengukuran massa partikel sampah organik (kg), Pengukuran putaran poros mesin pencacah (rpm) menggunakan Tachometer, Waktu pencacahan (jam) didapatkan melalui perekaman waktu awal mulai pencacahan sampai akhir pencacahan menggunakan stopwatch. Dengan menetapkan massa sampah organik, putaran mesin pencacah, untuk variasi dimensi lubang saringan semakin besar, menghasilkan waktu pencacahan yang semakin cepat dengan laju massa pencacahan yang meningkat. Pada massa partikel sampah organik, dengan dimensi saringan mesin pencacah yang semakin besar, akan membentuk jumlah butir partikel yang semakin sedikit, menjadikan laju energi pencacahan semakin cepat, sehingga waktu pembentukan partikel sampah organik menjadi semakin cepat. Dengan dimensi lubang saringan semakin besar, menjadikan waktu pembentukan partikel sampah semakin pendek, membutuhkan energi pencacahan yang semakin kecil, untuk menghasilkan laju pembentukan partikel sampah organik yang semakin meningkat.

3.4 Panduan Operasional Mencacah Sampah Organik

- Mempersiapkan sampah organik kering dan menetapkan massanya (kg),
- Mempersiapkan unit mesin pencacah dalam kondisi *ready*, dengan memperhatikan kondisi bahan bakar dan sabuk transmisi,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur Neraca massa, putaran poros mesin (*Tachometer*) dan alat ukur waktu kerja mesin (*Stopwatch*)
- Menghidupkan mesin pencacah dengan menetapkan saklar motor penggerak pada posisi (ON), kemudian mengatur putaran mesin agar konstan dengan menetapkan trole pada posisi tertentu,

- Memasukkan sampah organik kering ke dalam mesin pencacah, melakukan pencacahan sampai kondisi butir partikel sesuai yang diinginkan,
- Melakukan lima sampel pengamatan data proses pencacahan, terdiri dari putaran mesin dan waktu pencacahan,
- Proses pencacahan sampah organik dilakukan pada variasi putaran mesin,
- Setelah selesai, matikan mesin pencacah dengan menetapkan throttle pada posisi putaran terendah, kemudian menetapkan saklar motor penggerak pada posisi (OF),
- Membersihkan mesin pencacah serta peralatan lainnya dari kotoran dan debu, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah ditentukan,
- Hasil pencacahan berupa partikel sampah organik, ditempatkan pada wadah tertutup,
- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Hasil pengamatan data proses pencacahan sampah organik, kemudian ditabelkan untuk selanjutnya dilakukan analisa karakteristik kinerja pencacahan sampah organik.

3.5 Membuat Arang Sampah Organik

Arang merupakan salah satu bahan untuk membuat bahan bakar pelet, telah melalui proses pembakaran tidak sempurna sehingga tidak sampai menjadi abu. Arang berwarna hitam, ringan, mudah hancur, dan menyerupai batu bara terdiri dari 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu dan unsur kimia lainnya.

Tipe arang ada dua yaitu batangan (*lump*) dan halus atau pecahan. Arang batangan digunakan untuk bahan baku memasak, keperluan metalurgi dan sebagai bahan baku untuk pembuatan zat kimia tertentu yang bahan baku utamanya dari jenis kayu daun lebar misalnya bakau, asam dan kesambi. Arang halus digunakan untuk pembuatan briket dan arang aktif yang bahan bakunya dari serbuk, kulit dan serpih kayu dari sisa penggergajian.

Karbonisasi adalah proses pengarangan, merupakan proses pembentukan arang dari senyawa organik dalam bahan yang dominan yang mengandung selulosa, dimana proses pengarangan terjadi melalui pemutusan ikatan karbon dengan hidrogen, serta karbon tersebut tidak mengalami proses oksidasi.

Membuat partikel arang sampah organik sudah sangat praktis dan sederhana, bisa lakukan sendiri di rumah. Langkah terakhir adalah memisahkan arang mentah dan arang matang. Arang matang memiliki warna hitam mengkilap dan bersinar. Penggunaan arang bisa anda gunakan sebagai media tanam tanaman hias anggrek. Jika anda hendak menjual, ayak dahulu arang sebelum dimasukkan ke dalam karung untuk menghilangkan abu yang tersisa.

Parameter utama yang sangat menentukan terhadap homogenitas pengarangan dan laju pengarangan tersebut, ditentukan oleh kondisi pada:

- a. Kondisi pada dimensi sampah organik, dengan membentuk partikel yang dilakukan dengan cara penggilingan sampah organik kering, kemudian penyeragaman dimensi butir dengan proses ayakan.
- b. Kondisi pada proses pengarangan, berperan dalam membentuk hasil yang homogen, dengan cara membentuk rancangan Sistem Blade Pengaduk dan Pengarah dalam Drum *Pengarang Rotary* dan Pemberian Putaran Drum serta Temperatur Pengarangan.
- c. Kondisi pada hasil pembentukan arang, dengan melakukan proses uji

SEM-EDAX, untuk mendapatkan karakteristik dimensi partikel dan unsur kimia dari partikel arang sampah organik.

Pembuatan arang dengan cara *kiln* drum berputar, umumnya digunakan untuk tujuan komersil. Dengan metode drum, karbonisasi dapat diamati dan diawasi melalui pengatur udara masuk dan tidak tergantung dari cuaca pada saat itu. Cara *kiln* drum ini cocok dikembangkan bagi penduduk yang berada di sekitar hutan guna untuk mengurangi limbah tebangan dari areal hutan produksi. *Kiln* ini terbuat dari besi yang terdiri atas dua buah silinder dipasang secara bersambung. Cara kerjanya adalah panas berasal dari bahan baku kayu itu sendiri yang dibantu oleh udara dari luar yang diatur menurut kapasitas *kiln* tersebut. *Portable kiln* memerlukan waktu pengarangan ± 4 (empat) hari untuk kapasitas 9 – 10 m³ kayu dengan hasil arang ± 1800 kg.

Teknologi pembuatan arang dengan *kiln* drum berputar adalah suatu metode pembuatan arang yang murah dan sederhana tetapi dapat menghasilkan rendemen dan kualitas arang yang cukup tinggi. Teknologi ini dapat diterapkan pada industri rumah tangga di pedesaan karena bahan konstruksi drum bekas mudah diperoleh dengan harga yang relatif murah. Selain itu, konstruksi tungku dan operasi pengolahannya mudah dilakukan oleh siapa saja yang berminat dan tidak memerlukan pendidikan khusus.

Sebelum melaksanakan pembakaran terlebih dahulu alat dibersihkan dari sisa abu yang tertinggal di dasar drum. Selanjutnya pada dasar drum diberi beberapa kayu atau kertas dan dibakar, kemudian dibiarkan sampai bahan tersebut menyala, kemudian ditambahkan setengah dari drum ke dalam tungku pembakaran, pada tahap ini harus dijaga agar bahan yang dibakar tidak menyala. Untuk tahap penambahan selanjutnya dilakukan apabila bahan yang sedang dibakar menyala dan tidak mau padam walaupun telah ditutup penutup drumnya. Banyaknya penambahan sama dengan penambahan pertamanya. Pekerjaan ini dilakukan sampai drum pembakaran penuh, setelah itu bahan

yang ditambahkan terkarbonisasi drum ditutup tapi lubang kecil tetap dibiarkan terbuka. Setelah ada tanda-tanda asap putih kebiruan yang halus keluar dari lubang kecil penutup drum maka lubang tersebut ditutup rapat dan akhirnya drum dibiarkan sampai bahan terkarbonisasi penuh dikeluarkan dari drum pembakaran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonisasi (proses pengarangan) adalah kecepatan pemanasan dan tekanan udara dalam tanur. Semakin cepat pemanasan, maka semakin sulit pengamatan tahap-tahap karbonisasi dan rendemen yang dicapai rendah. Adapun faktor yang mempengaruhi hasil karbonisasi adalah kadar air bahan baku, kekerasan kayu, jumlah udara, suhu maupun lamanya pengarangan. Produk yang paling penting dalam proses karbonisasi adalah arang.

Beberapa cara proses pembuatan arang, jika ditinjau berdasarkan proses pemanasan, yaitu :

a. Dengan pemanasan tidak langsung.

Pada prinsipnya pembuatan arang dengan pemanasan tidak langsung adalah dengan disangrai, dengan cara bahan baku diletakkan di dalam drum yang telah ditempatkan di atas tungku, sedangkan api pemanasan berada di luar drum.

b. Dengan pemanasan langsung.

Caranya, masukkan bahan baku ke dalam drum sampai setengah tinggi drum, buatlah sumber api dengan gas asap dari pembakaran langsung dimasukkan ke dalam drum. Biarkan asap mengepul sampai bahan baku terbentuk menjadi arang semua. Pada proses karbonisasi, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil karbonisasi antara lain:

- Suhu akhir, lama proses, kadar air, ukuran dan jenis bahan baku,
- Berat jenis bahan baku, dimana berat jenis yang lebih tinggi akan menghasilkan arang yang lebih berat,

- Kandungan lignin bahan baku, semakin tinggi kandungan ligninnya maka semakin tinggi pula mutu arang yang dihasilkan.

Proses pengarangan dihindari terdapatnya oksigen, sehingga energi yang diberikan terhadap senyawa karbon tersebut berperan dalam memutuskan ikatan atom karbon dengan atom lainnya dalam struktur heksagonal. Terdapatnya oksigen dari luar merupakan suatu faktor yang mempengaruhi hasil arang yang diperoleh karena karbon yang terbentuk dengan adanya oksigen akan mengalami reaksi lanjutan yaitu oksidasi, sehingga hasil akhirnya berupa abu. Produk yang paling penting dalam proses karbonasi adalah arang. Tahapan karbonasi secara singkat adalah sebagai berikut:

- Pada awal pemanasan, air dalam bahan baku dilepaskan bersamaan CO dan CO₂ dalam jumlah kecil.
- Pada suhu 200 – 400 °C sebagian besar selulosa murni terurai secara intensif disamping pembentukan gas juga dijumpai sejumlah senyawa kecil senyawa karbon.
- Pada suhu 400 – 500 °C lignin terurai dan dihasilkan lebih banyak ter sedangkan gas menurun dan meningkatkan suhu, maka gas CO₂ semakin berkurang sedangkan gas CO, CH₄ dan CH₂ semakin meningkat.
- Pada suhu 500 – 700 °C pembentukan ter dan gas hidrogen semakin bertambah, terbentuknya karbon mencapai 90 %.
- Diatas suhu 700 °C diperoleh gas yang dapat diembunkan terutama terdiri atas gas hidrogen.

Arang partikel sampah organik didapatkan melalui proses pembakaran tidak sempurna sehingga tidak sampai menjadi abu, merupakan salah satu bahan untuk membuat bahan bakar pelet. Pada prinsipnya pembuatan arang partikel sampah organik dengan pemanasan tidak langsung adalah dengan disangrai, dengan cara partikel sampah organik diletakkan di dalam drum yang

telah ditempatkan di atas tungku, sedangkan api pemanas berada di luar drum. Caranya, masukkan partikel sampah organik ke dalam drum sampai setengah tinggi drum, Buatlah sumber api dan asap dari pembakaran langsung dimasukkan ke dalam drum. Biarkan asap mengepul sampai sampah organik terbentuk menjadi arang semua. Indikator keberhasilan dalam pembuatan arang adalah tercapainya hasil pengarangan yang homogen dengan laju pengarangan sesuai dengan yang direncanakan.

3.6 Pengarangan Sampah Organik

Secara umum, mesin pengarangan partikel sampah organik terdiri dari 4 (empat) komponen utama, yaitu : (a) Main Engines (*Motor Induksi*); (b) Transmission Systems (*Sistem Transmisi Daya*); (c) Drum Pengarang (Dilengkapi *Blade Pengaduk dan Blade Pengarah*); (d) Tungku Pengarangan (Dilengkapi Barner Pembakar Bahan Bakar).



Gambar 21. Unit Mesin Pengarangan Rotary

Prinsip kerja dari Sistem Pengarangan Partikel sampah organik Rotary adalah sebagai berikut; *Main Engines* sebagai sumber daya utama memberikan DAYA OUTPUT-nya ke *Drum Pengarang* melalui *Sistem Transmisi Daya*. Besarnya DAYA yang Ditransmisi ke *Drum Pengarang* tergantung pada besarnya beban pengarangan dan efisiensi system transmisi daya tersebut. Daya yang di transmisikan inilah yang selanjutnya digunakan untuk memutar

drum pengarang. Salah satu jenis *Transmisi* yang digunakan untuk mentransmisikan Daya penggerak sampai ke drum pengarangan saat ini adalah *Sproket dengan Rantai*. Tungku pembakar dengan burner pembakar bahan bakar sebagai sumber pembentukan energi pembakaran yang memberikan energi panas ke drum pengarangan, sehingga udara dalam ruang drum pengarang temperaturnya meningkat untuk memanaskan partikel sampah organik dalam drum.

Dengan pemberian putaran pada drum, partikel akan bergerak berputar, udara panas di dalam drum akan menyentuh seluruh permukaan partikel sampah organik dengan merata. Efek pembuatan arang menggunakan drum yang berputar, dapat menghasilkan waktu pengarangan lebih pendek dan hemat energi dengan hasil pengarangan partikel yang homogen.

Blade dibuat menyatu pada bagian dalam drum, dimaksudkan agar massa partikel sampah organik yang berada di dalam drum akan bergerak berputar menuju ke bagian tengah drum akibat adanya pembentukan gaya tangensial dan gaya sentripetal. Dengan terbentuknya gaya tangensial dan gaya sentripetal pada massa partikel sampah organik yang berputar akibat perletakan blade pengaduk yang bersudut, sehingga akan terbentuk hasil pengarangan menjadi homogen.

A. Kinerja Pengarangan Sampah Organik

Kinerja pengarangan sampah organik dinyatakan oleh: Laju massa pengarangan, Energi pengarangan, dan efektivitas pengarangan. Laju massa pengarangan (kg/h), dinyatakan dalam besarnya massa (kg) partikel sampah organik yang diarangkan selama waktu (jam) proses pengarangan. Energi pengarangan (kJ), dinyatakan oleh besarnya massa (kg) partikel sampah organik yang diarangkan dan temperatur nyala api pengarangan ($^{\circ}\text{C}$). Efektivitas pengarangan, dinyatakan oleh laju massa pengarangan (kg/h) dan

arang semakin pendek, sehingga dengan massa partikel sampah organik yang konstan, menghasilkan laju pembentukan arang yang semakin meningkat.

B. Panduan Operasional Pengarangan Sampah Organik

- Mempersiapkan patikel sampah organik dan menetapkan massanya (kg),
- Mempersiapkan unit mesin pengarangan dalam kondisi ready, dengan memperhatikan kondisi burner, bahan bakar, motor penggerak, dan sabuk transmisi,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur Neraca massa, putaran poros mesin (Tachometer), alat ukur temperatur (Termometer data logger), dan alat ukur waktu kerja mesin (Stopwatch),
- Menghidupkan mesin pengarangan dengan menetapkan saklar motor penggerak pada posisi (ON), kemudian mengatur putaran mesin agar konstan dengan menetapkan trottle pada posisi tertentu,
- Memasukkan partikel sampah organik ke dalam mesin pengarangan, melakukan pengarangan sampai kondisi butir partikel menjadi hitam mengkilat,
- Melakukan lima sampel pengamatan data proses pengarangan, terdiri dari putaran mesin dan waktu pengarangan,
- Proses pengarangan sampah organik dilakukan pada variasi temperatur,
- Setelah selesai, matikan mesin pengarangan dengan menetapkan throttle pada posisi putaran terrendah, kemudian menetapkan saklar motor penggerak pada posisi (OF),
- Membersihkan mesin pengarangan serta peralatan lainnya dari kotoran dan debu, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah

ditentukan,

- Hasil pengarangan berupa partikel arang sampah organik, ditempatkan pada wadah tertutup,
- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Hasil pengamatan data proses pengarangan partikel sampah organik, kemudian ditabelkan untuk selanjutnya dilakukan analisa karakteristik kinerja pengarangan partikel sampah organik.

3.7 Membuat Pelet Arang Sampah Organik

Pelet merupakan salah satu contoh penggunaan sumberdaya hayati sebagai bioenergi, lebih tepatnya sebagai bahan bakar pelet juga dapat dibuat dari limbah pemanenan kayu seperti bagian batang, ranting, dan kulit kayu. Selain itu bahan baku pelet kayu juga bisa berasal dari limbah pertanian dan perkebunan seperti bonggol jagung, sabut kelapa, jerami, cangkang buah kopi, daun dan lain-lain.

Pelet adalah bahan bakar yang dipadatkan dan dibentuk dalam cetakan. Pelet dapat berbentuk silinder dengan ukuran diameter yang beragam. Pelet biasanya terbuat dari sampah-sampah atau limbah yang tidak digunakan lagi. Bahan baku yang paling disarankan adalah sampah organik dari sisa pertanian yang sudah tidak digunakan lagi. Bahan bakar pelet sangat cocok digunakan untuk industri kecil dan masyarakat umum karena murah dan pembakarannya cukup bersih.

Bahan bakar Pelet arang sampah organik untuk bahan bakar, merupakan salah satu bahan bakar yang berbentuk Pelet dengan ukuran lebih besar dari Pelet biasa, yaitu berdiameter 5-15 mm dan panjang kurang dari 30 mm. Pelet ini dibuat dengan cara menghancurkan bahan baku sampah organik, kemudian dijadikan arang, dan dengan bantuan perekat biasanya tapioka, kemudian

dilakukan pencetakan dengan *Pelet mill*. Dalam dunia sains lebih dikenal dengan nama bioPelet. Pelet tersebut dapat menggantikan kayu bakar dan minyak tanah yang sekarang ini sangat langka di pedesaan dan pinggiran kota. Selain itu dapat juga digunakan sebagai bahan bakar industri.



Gambar 22. Bahan Bakar Pelet Arang

Energi yang dihasilkan dari bahan bakar pelet dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan rumah tangga maupun industri rumah tangga, mulai dari memasak sampai kebutuhan untuk pembangkit tenaga listrik.

3.8 Mencetak Pelet Arang Sampah Organik

Mesin Pencetak bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, secara umum terdiri dari 5 (lima) komponen utama, yang terdiri dari: Main Engines (Motor Diesel); Sistem Transmisi Daya (*sabuk, pulley, gearbox*); Drum Pencetak pelet (Dilengkapi cetakan dan roda penekan); Corong pemasukan bahan baku; Corong pengarah keluar hasil cetak pelet.



Gambar 23. Mesin Cetak Bahan Bakar Pelet

Prinsip kerja dari mesin pencetak bahan bakar pelet partikel arang sampah organik adalah sebagai berikut; *Main Engines* sebagai sumber daya utama memberikan *DAYA OUTPUT*-nya ke *Drum Pencetak* melalui *Sistem Transmisi Daya*. Besarnya *DAYA* yang Ditransmisi ke *Drum Pencetak* tergantung pada besarnya beban Pencetakan dan efisiensi system transmisi daya tersebut. Daya yang di transmisikan inilah yang selanjutnya digunakan untuk memutar *Plat Pencetak Rotasi*. Salah satu jenis *Transmisi* (Alat Penghantar Daya) yang digunakan untuk mentransmisikan Daya penggerak sampai ke *Plat Pencetak Rotasi* saat ini adalah *Gearbox*. Partikel arang organik yang telah dicampur, dimasukkan melalui corong pemasukan bagian atas, di dalam drum pencacah akan mengalami pencetakan oleh plat pencetak yang berputar dan roller, selanjutnya bakar bakar pelet partikel arang sampah organik keluar melalui corong keluar, dan ditampung pada wadah pelet partikel arang sampah organik.

Dengan pemberian putaran pada plat pencetak, dimaksudkan agar plat pencetak yang berada di dalam drum akan bergerak berputar dan roller akan melakukan tumbukan pada partikel arang sampah organik, akibat adanya pembentukan gaya rotasi. Besarnya gaya rotasi pada roller pencetak yang

berputar sangat ditentukan oleh besarnya daya yang ditransmisikan, Gaya tangensial adalah berbanding lurus dengan massa partikel sampah organik dan percepatan arah tangensial roller pencetak. Sehingga dengan terbentuknya gaya tangensial pada roller pencetak sampah organik yang berputar, akan terbentuk proses pencetakan yang merata sehingga hasil roller pencetak menjadi homogen. Kemudian massa partikel akan bergerak keluar drum pencetak.

A. Kinerja Pencetakan Pelet Arang Sampah Organik

Kinerja pencetakan bahan bakar pelet arang sampah organik dinyatakan oleh: Laju massa pencetakan, Energi pencetakan, dan efektivitas pencetakan. Laju massa pencetakan (kg/h), dinyatakan dalam besarnya massa (kg) partikel arang sampah organik yang dicetak selama waktu (jam) proses pencetakan. Energi pencetakan (kJ), dinyatakan oleh besarnya massa (kg) partikel arang sampah organik yang dicetak, kecepatan pencetakan (m/s) dan waktu pencetakan (h). Efektivitas pencetakan, dinyatakan oleh laju massa pencetakan (kg/h) dan energi pencetakan (kJ).

Laju massa pencetakan pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan:

$$m' = \frac{m}{t} \dots \dots \dots \text{(kg/h)}$$

Energi pencetakan pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan :

$$E = m \times C^2 \quad \text{(kJ)}$$

Efektivitas pencetakan pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{\dot{m}}{E} \dots \dots \dots \text{(kg / kJ. h)}$$

Pengambilan data dilakukan 10 sampel untuk setiap variabel bebas, kemudian melakukan validasi rata-rata data. Dengan menggunakan metode eksperimen, pengukuran massa partikel arang sampah organik (kg), Pengukuran putaran poros mesin pencetak (rpm) menggunakan Tachometer, Waktu pencetakan (jam) didapatkan melalui perekaman waktu awal mulai pencetakan sampai akhir pencetakan menggunakan stopwatch.

Dengan menetapkan massa partikel arang sampah organik, putaran mesin pencetak, untuk variasi dimensi lubang cetakan semakin besar, menghasilkan waktu pencetakan yang semakin cepat dengan laju massa pencetakan yang meningkat. Pada massa partikel arang sampah organik, dengan dimensi lubang cetakan mesin pencetak yang semakin besar, akan membentuk jumlah butir partikel yang semakin sedikit, menjadikan laju energi pencetakan semakin cepat, sehingga waktu pembentukan bahan bakar pelet arang partikel sampah organik menjadi semakin cepat. Dengan dimensi lubang cetakan semakin besar, menjadikan waktu pembentukan pelet partikel arang sampah semakin pendek, membutuhkan organik pencetakan yang semakin kecil, untuk menghasilkan laju pembentukan bahan bakar organik partikel arang sampah organik yang semakin meningkat.

B. Panduan Operasional Mencetak Bahan Bakar Pelet

- Mempersiapkan partikel arang sampah organik yang sudah tercampur minyak sampah plastik dan perekat kanji, menetapkan massanya (kg),
- Mempersiapkan unit mesin pencetak pelet dalam kondisi ready, dengan memperhatikan kondisi bahan bakar, Gearbox, dan sabuk transmisi,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur Neraca massa, putaran poros mesin (Tachometer) dan alat ukur waktu kerja mesin (Stopwatch),

- Menghidupkan mesin pencetak dengan menetapkan saklar motor penggerak pada posisi (ON), kemudian mengatur putaran mesin agar konstan dengan menetapkan trottle pada posisi tertentu,
- Memasukkan partikel arang sampah organik yang sudah tercampur minyak sampah plastik dan perekat kanji ke dalam mesin pencetak, melakukan pencetakan sampai kondisi seluruh bahan habis tercetak,
- Melakukan lima sampel pengamatan data proses pencetakan, terdiri dari putaran mesin dan waktu pencacahan,
- Proses pencetakan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dilakukan pada variasi putaran mesin,
- Setelah selesai, matikan mesin pencetak dengan menetapkan throttle pada posisi putaran terendah, kemudian menetapkan saklar motor penggerak pada posisi (OF),
- Membersihkan mesin pencetak serta peralatan lainnya dari kotoran dan debu, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah ditentukan,
- Hasil pencetakan berupa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, ditempatkan pada wadah tertutup,
- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Hasil pengamatan data proses pencetakan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, kemudian ditabelkan untuk selanjutnya dilakukan analisa karakteristik kinerja pencetakan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik.

BAB 4

TUNGKU PEMBAKARAN BAHAN BAKAR PELET

Pembakaran adalah metode utama untuk mengubah bahan bakar padat menjadi energi. karakteristik pembakaran diamati dengan melihat perubahan massa pelet saat dibakar. Tahapan proses pembakaran bahan bakar padat menyatakan bahwa dibagi menjadi tiga tahapan secara berurutan yaitu *pengeringan*, *devolatilisasi* dan *pembakaran arang*. Pembakaran adalah suatu reaksi kimia eksotermal dengan kalor yang dibangkitkan sangat besar dan menghasilkan nyala, reaksi ini berlangsung spontan dan berkelanjutan karena adanya suplai kalor dari kalor yang dibangkitkan oleh reaksi kimia itu sendiri.

Unit pembakar bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, secara umum terdiri dari 3 (lima) komponen utama, yang terdiri dari: Burner (Tungku bakar); *Sistem Udara Bakar (Blower dan saluran udara dengan katup)*; Sistem pemanas (Elemen pemanas dilengkapi saklar dengan potensio).



Gambar 24. Komponen Utama Unit Pembakar Pelet

Prinsip kerja dari Unit pembakar bahan bakar pelet partikel arang sampah organik adalah sebagai berikut; Sistem pemanas sebagai sumber energi utama memberikan energy panas-nya ke bahan bakar yang terisi di dalam *Drum Pembakar*. Besarnya Energi panas yang Ditransmisi ke *Drum Pembakar* tergantung pada besarnya beban pembakaran dan efisiensi system pembakar tersebut. Bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, dimasukkan melalui pintu pemasukan bagian atas di dalam drum pembakar,

dan diletakkan di bagian atas saringan pembakar. Blower memberikan aliran udara bakar ke bahan bakar yang sedang terbakar, melalui bagian bawah burner. Besarnya aliran udara bakar disesuaikan dengan jumlah massa bahan bakar, dengan mengatur bukaan katup saluran udara.

Dengan pemberian aliran listrik pada elemen pemanas, dimaksudkan agar elemen pemanas yang berada di dalam drum pembakar akan membara dan memberikan energy panas kepada pelet partikel arang sampah organik, sehingga terjadi adanya pembakaran pelet. Blower mengalirkan udara bakar melalui bagian bawah burner ke bahan bakar yang sedang membara diatas saringan dalam burner. Dengan menetapkan bukaan katup saluran udara bakar, dimaksudkan agar besarnya aliran udara bakar disesuaikan dengan jumlah massa bahan bakar, sehingga terbentuknya proses pembakaran yang sempurna dan merata dengan kalor hasil pembakaran yang tinggi.

Nilai kalor bahan bakar pelet partikel arang tinja ayam terdiri dari Nilai Kalor Tinggi (*High Heating Value*) dan Nilai Kalor Rendah (*Low Heating Value*). Nilai Kalor Tinggi (HHV) adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik. Nilai Kalor Rendah (LHV) adalah kalor yang besarnya sama dengan nilai kalor tinggi dikurangi kalor yang diperlukan air yang terkandung dalam bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dan air yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar pelet adalah :

1. Ukuran partikel, Partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.
2. Jenis bahan bakar, Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar antara lain kadar air, kadar zat menguap, dan kadar karbon.

3. Temperatur udara pembakaran, kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran pelet partikel arang sampah organik .

Metode untuk mengetahui karakteristik pembakaran dari bahan bakar pelet, yaitu:

- Metode *Thermogravimetri Analysis* (TGA), merupakan suatu teknik untuk menganalisa perhitungan stabilitas termal suatu bahan dan fraksi komponen zat volatilnya dengan merekam perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas.
- Metode *Heat Flux Constant* (HFC), merupakan suatu teknik untuk menganalisa perhitungan stabilitas termal suatu bahan dan fraksi komponen zat volatilnya dengan memonitor perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas secara konstan.

Heat Flux Constant juga disebut sebagai densitas fluks panas atau intensitas laju aliran panas, merupakan aliran energi per unit luas per unit waktu. Dalam satuan SI, satuan untuk *Heat Flux Constant* adalah Watt per meter persegi ($J/m^2 \cdot s = W/m^2$).

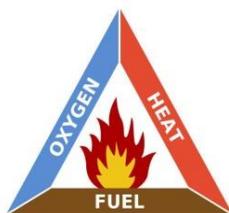
Karakteristik pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik meliputi: *Initiation Temperature of Volatile Matter* (ITVM), *Initiation Temperature of Fixed Carbon* (ITFC), *Peak of weight loss rate Temperature* (PT), *Burning out Temperature* (BT) dan lama waktu pembakaran dengan menggunakan metode *Heat Flux Constant*.

4.1 Pembakaran Bahan Bakar Pelet

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia eksotermal dengan kalor yang dibangkitkan sangat besar dan menghasilkan nyala, reaksi ini berlangsung spontan dan berkelanjutan karena adanya suplai kalor dari kalor yang dibangkitkan oleh reaksi itu sendiri, dengan mekanisme pembakaran bahan bakar padat terdiri dari tiga tahap yaitu pengeringan, devolatilisasi, dan

pembakaran arang.

Dalam proses pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, pada saat dipanaskan akan mengalami reaksi kimia antara carbon (C) dengan oksidator oksigen (O_2) (oksigen dalam udara), terbentuk dengan pengoksidasian cepat (proses reaksi kimia), yang diikuti oleh peristiwa terbentuknya pembakaran yang dihasilkan berupa suatu masa/zat gas yang bersifat *exotermis* dan menghasilkan panas, nyala, cahaya dan asap.



Gambar 25. Segitiga Api Pembakaran

Pengujian pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dilakukan untuk mengetahui nilai termal masing masing jenis pelet menggunakan pengujian pembakaran dengan mencatat perubahan suhu setiap waktu selama pengujian dengan memberikan aliran udara. Pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dimaksudkan untuk mengetahui peningkatan suhu tiap satuan waktu dan juga untuk mengetahui tinggi maksimal suhu pada tiap komposisi campuran pelet partikel arang sampah organik.

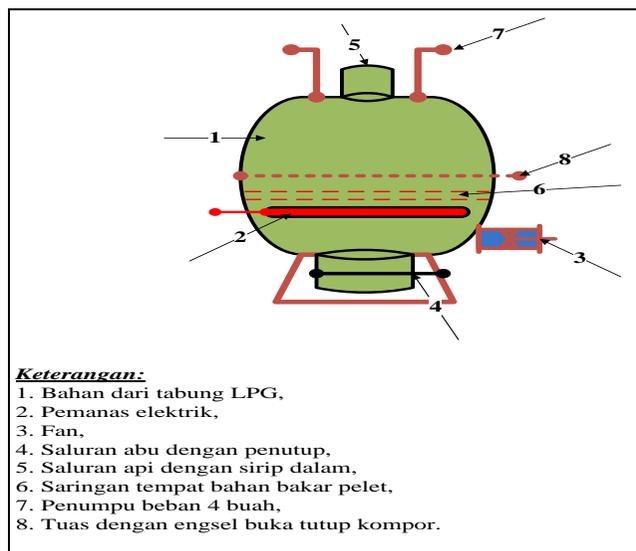
Beberapa hal dapat mempengaruhi hasil pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik: Ukuran partikel yang lebih kecil akan lebih cepat terbakar; Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar antara lain kadar air, kadar zat menguap, dan kadar karbon; Temperatur udara pembakaran Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

Karakteristik pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik yang meliputi: *Initiation Temperature of Volatile Matter* (ITVM),

Initiation Temperature of Fixed Carbon (ITFC), Peak of weight loss rate Temperature (PT), Burning out Temperature (BT) dan lama waktu pembakaran.

A. Tungku Pembakar

Unit Tungku pembakar bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, secara umum terdiri dari 3 (lima) komponen utama, yang terdiri dari: *Burner* (Tungku bakar); *Sistem Udara Bakar* (Fan dan saluran udara dengan katup); Sistem pemanas (Elemen pemanas dilengkapi saklar dengan potensio).



Gambar 26. Tungku Pembakar Pelet

Prinsip kerja dari Unit tungku pembakar bahan bakar pelet partikel arang sampah organik adalah sebagai berikut; Sistem pemanas sebagai sumber energy utama memberikan energy panas-nya ke bahan bakar yang terisi di dalam Tungku Pembakar. Besarnya Energi panas yang dihasilkan Tungku Pembakar tergantung pada besarnya beban pembakaran dan efisiensi system pembakar tersebut. Bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, dimasukkan melalui pintu pemasukan bagian atas di dalam drum pembakar, dan diletakkan di bagian atas saringan pembakar. Fan memberikan aliran

udara bakar ke bahan bakar yang sedang terbakar, melalui bagian bawah *burner*. Besarnya aliran udara bakar disesuaikan dengan jumlah massa bahan bakar, dengan mengatur bukaan katup saluran udara.

Dengan pemberian aliran listrik pada elemen pemanas, dimaksudkan agar elemen pemanas yang berada di dalam drum pembakar akan membara dan memberikan energy panas kepada briket partikel arang tinja ayam, sehingga terjadi adanya pembakaran briket. Blower mengalirkan udara bakar melalui bagian bawah burner ke bahan bakar yang sedang membara diatas saringan dalam burner. Dengan menetapkan bukaan katup saluran udara bakar, dimaksudkan agar besarnya aliran udara bakar disesuaikan dengan jumlah massa bahan bakar, sehingga terbentuknya proses pembakaran yang sempurna dan merata dengan kalor hasil pembakaran yang tinggi.

B. Kinerja Tungku Pembakaran Bahan Bakar Pelet

Kinerja tungku pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dinyatakan oleh: Laju massa pembakaran, Energi hasil pembakaran, dan efektivitas pembakaran. Laju massa pembakaran (kg/h), dinyatakan dalam besarnya massa (kg) pelet partikel arang sampah organik yang dibakar selama waktu (jam) proses pembakaran. Energi pembakaran (kJ), dinyatakan oleh besarnya massa (kg) pelet partikel arang sampah organik yang dibakar, kecepatan pembakaran (m/s) dan waktu pembakaran (h). Efektivitas pembakaran, dinyatakan oleh laju massa pembakaran (kg/h) dan energi pembakaran (kJ).

Laju massa pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \dots\dots\dots (\text{kg / h})$$

Energi pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan:

$$E = m \times C^2 \dots\dots(kJ)$$

Efektivitas pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{m}{E} \dots\dots(kg / kJ.h)$$

Pengambilan data dilakukan 10 sampel untuk setiap variabel bebas, kemudian melakukan validasi rataan data. Dengan menggunakan metode eksperimen, pengukuran massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik (kg), Pengukuran massa bahan bakar yang dibakar menggunakan Neraca Massa, Waktu pembakaran (jam) didapatkan melalui perekaman waktu awal mulai pembakaran sampai akhir pembakaran menggunakan stopwatch.

Dengan menetapkan massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, untuk variasi kecepatan udara bakar semakin besar, menghasilkan waktu pembakaran yang semakin cepat dengan laju massa pencetakan yang meningkat. Pada massa bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dengan dimensi briket yang semakin besar, akan membentuk densitas briket yang semakin kecil, menjadikan laju energi pembakaran semakin meningkat dengan waktu pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik menjadi semakin cepat. Pada volume bahan bakar dengan dimensi partikel yang semakin besar, menjadikan pelet partikel arang sampah organik semakin porous, sehingga membutuhkan energi pembakaran yang semakin kecil, untuk menghasilkan laju pembentukan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik yang semakin meningkat.

C. Panduan Operasional Tungku Bahan Bakar Pelet

- Mempersiapkan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, menetapkan massanya (kg),
- Mempersiapkan unit tungku pembakaran bahan bakar pelet dalam kondisi ready, dengan memperhatikan kondisi bahan bakar, Blower, dan Elemen pemanas,
- Mempersiapkan dan menggunakan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker),
- Mempersiapkan alat ukur Neraca massa, Termometer dan alat ukur waktu kerja pembakar (Stopwatch),
- Memasukkan bahan bakar pelet partikel arang sampah organik yang sudah terukur massanya ke dalam tungku pembakar,
- Menghidupkan tungku pembakar dengan menetapkan saklar elemen pemanas pada posisi (ON), kemudian mengatur putaran blower agar konstan dengan menetapkan trottle pada posisi tertentu,
- Melakukan lima sampel pengamatan data proses pembakaran, terdiri dari massa pelet, putaran blower, temperatur dan waktu pembakaran,
- Proses pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dilakukan pada variasi putaran blower,
- Setelah selesai, matikan tungku pembakar dengan menetapkan throttle pada posisi putaran blower terendah, kemudian menetapkan saklar elemen pemanas pada posisi (OF),
- Membersihkan tungku pembakar serta peralatan lainnya dari kotoran dan debu, kemudian mengembalikan pada tempat yang telah ditentukan,

- Melepaskan dan mengembalikan peralatan keselamatan kerja, (sarung tangan, jas lab, alat pemadam kebakaran, masker) pada tempat yang telah disediakan,
- Hasil pengamatan data proses pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik, kemudian dilakukan analisa karakteristik kinerja tungku pembakaran bahan bakar pelet partikel arang sampah organik.

DAFTAR PUSTAKA

- S. Baumert, A. Catarina, J. Fisher, F. Vollmer, C. M. Ryan, G. Patenaude, P. Zorrilla-miras, L. Artur, I. Nhantumbo, and D. Macqueen, “*Energy for Sustainable Development Charcoal supply chains from Mabalane to Maputo : Who bene fits ?*,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 33, pp. 129–138, 2016.
- P. Jittabut; *Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses*, vol. 79, no. x. Elsevier B.V., 2015.
- M. Njenga, N. Karanja, H. Karlsson, R. Jamnadass, M. Iiyama, and J. Kithinji, “*Additional cooking fuel supply and reduced global warming potential from recycling charcoal dust into charcoal briquette in Kenya*,” *J. Clean. Prod.*, vol. 81, pp. 81–88, 2014.
- J. Prasityousil and A. Muenjina, “*The 3 rd International Conference on Sustainable Future for Human Security Properties of solid fuel briquettes produced from rejected material of municipal waste composting*,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 603–610, 2013.
- Akowuah, J. O., Kemausuor, F., & Mitchual, S. J. (2012). Physico-chemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquette. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1), 20.
- Novi Caroko, Wahyudi, Aditya Kurniawan; *Analisa Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Industri Kelapa Sawit Dengan Variasi Perekat Dan Temperatur Dinding Tungku 3000 C Menggunakan Mrtode Heat Flux Constant (HFC)*; Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT) 3 2015; ISSN: 2339-028X.

- Hidro Andriyono, Prantasi Harmi Tjahjanti; *Analisa Nilai Kalor Briket Dari Campuran Ampas Tebu Dan Biji Buah Kepuh*; Senaspro, 2016.
- M. Afif Almu, Syahrul, Yesung Allo Padang; *Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket Campuran Biji Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Dan Abu Sekam Padi*; *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 4 No. 2 Juli 2014 ISSN: 2088-088X.
- Ahmad Zaenul Amin¹, Pramono², Sunyoto; *Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa*; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Email: zain234ahmad@gmail.com.
- Eddy Kurniawan*), Nasrun; *Karakterisasi Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Jenis High Density Polyethelene (HDPE) Dan Low Density Polyethelene (LDPE)*; *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 3 : 2 (November 2014) 41-52.

GLOSARIUM

Sampah adalah sesuatu yang dibuang dan dihasilkan dari proses produksi, baik yang berasal dari kegiatan industri maupun dari kegiatan rumah tangga, dan lingkungan kampus seperti daun pepohonan, limbah pemanenan berasal dari limbah pertanian dan perkebunan.

Bahan bakar pelet partikel arang sampah organik dibuat dari hasil proses pengarangan sampah organik, merupakan salah satu contoh penggunaan sumberdaya hayati sebagai bioenergi sebagai bahan bakar, memiliki potensi yang baik sebagai substitusi bahan bakar fosil.

Sampah organik adalah barang yang dianggap sudah tidak terpakai dan dibuang oleh pemilik/pemakai sebelumnya, tetapi masih bisa dipakai kalau dikelola dengan prosedur yang benar, dan merupakan salah satu bahan untuk membuat pelet arang.

Sampah Organik adalah barang sampah yang bisa mengalami pelapukan (dekomposisi) dan terurai menjadi bahan yang lebih kecil dan tidak berbau (sering disebut dengan kompos).

Sampah organik atau degradable adalah jenis sampah yang dapat membusuk, dan terurai kembali, sampah ini dapat dijadikan bahan bakar dengan terlebih dahulu dikeringkan dan dijadikan arang, pupuk kompos yang berguna dalam menyuburkan tanaman.

Metode ilmiah adalah metode yang tersusun dari langkah-langkah sistematis yang digunakan untuk memecahkan permasalahan.

Sampah anorganik ialah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non hayati baik berupa produk sinterik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang atau sumber daya alam dan tidak dapat diuraikan oleh alam.

Arang merupakan salah satu bahan untuk membuat bahan bakar pelet, telah melalui proses pembakaran tidak sempurna sehingga tidak sampai menjadi abu.

Plastik adalah senyawa polimer yang terbentuk dari polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) hidrokarbon.

Karbonisasi adalah proses pengarangan, merupakan proses pembentukan arang dari senyawa organik dalam bahan yang dominan yang mengandung selulosa, dimana proses pengarangan terjadi melalui pemutusan ikatan karbon dengan hidrogen, serta karbon tersebut tidak mengalami proses oksidasi.

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen kimia lainnya dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas.

Distilasi adalah pemisahan campuran dalam suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didih.

Pelet adalah bahan bakar yang dipadatkan dan dibentuk dalam cetakan.

Gaya tangensial adalah berbanding lurus dengan massa partikel sampah organik dan percepatan arah tangensial roller pencetak.

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia eksotermal dengan kalor yang dibangkitkan sangat besar dan menghasilkan nyala, reaksi ini berlangsung spontan dan berkelanjutan karena adanya suplai kalor dari kalor yang dibangkitkan oleh reaksi kimia itu sendiri.

INDEKS

A

azeotropik · 9

B

Blade · 49, 53, 55

D

degradable · 42, 77

destilator · 32

Distilasi · 1, 5, 8, 9, 10, 11, 28, 30, 31, 78

E

Efisiensi · 25, 26, 32, 39

Evaporator · 13

F

fraksi · 8, 11, 37, 67

fraksionasi · 9

G

gaya tangensial · 43, 45, 55, 61

K

Karbonisasi · 49, 78

ketel uap · 14, 15, 16, 25, 26, 28, 31, 32

Kondensor · 5, 12, 34, 35, 36, 37, 38, 39

O

Organik · 1, 5, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 53,
55, 57, 58, 59, 61, 77, 82, 86

P

pengarangan · 5, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55,
56, 57, 58, 77, 78

T

throtle · 33, 47, 57, 64, 73

V

volatil · 9, 10, 11

volatilitas · 8, 28, 31

TENTANG PENULIS



Ir. Lalu Mustiadi, MT. Penulis lahir pada tanggal 23 Oktober 1957 di Mataram, Nusa Tenggara Barat. Penulis merupakan anak ke 2 dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Lalu Abdurachman (alm) dan Ibu Baiq Mustiasih (almh). Menyelesaikan Pendidikan Dasar di SDN 5 Mataram (1970), Sekolah Teknik Negeri di Mataram (1973), Sekolah Teknik Menengah Negeri di Mataram (1976). Penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi pada Diploma D-3 Teknik Mesin Akademi Teknik Nasional Malang, Pendidikan Strata S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Nasional Malang (1983), dan Pendidikan Strata S-2 Program Studi Magister Teknik di Universitas Indonesia Jakarta (1996).

Karir penulis diawali dengan menjadi Tenaga Pengajar di Jurusan Teknologi Mesin kemudian diangkat menjadi staf Dosen pada Tahun 1985. Dan saat ini statusnya menjadi Dosen di ITN Malang pada Program Studi Teknik Mesin (1985- sekarang). Riwayat Karir di Kampus Institut Teknologi Nasional Malang antara lain sebagai Kepala Laboratorium Otomotif Teknik Mesin D-3 ITN Malang, Tahun 2005. Sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Diploma Tiga Tahun 2008.

Karya yang telah dipublikasikan pada Jurnal, diantaranya: The Effect of Stretching And Age Toward Mental Workload Of City Car Transportation Driver, IJABER ISSN 0972-7302, Volume 14, Tahun 2016. Penelitian Perbandingan Model Cacat Coran Pada Bahan Besi Cor dan Alumunium Temperatur Tuang Pada Sistem Cetakan Pasir Dengan Variasi, Jurnal Flywhell ISSN: 1979-5858, Volume: 11, Tahun: 2015. Municipal Solid Waste Densification as an Alternative Energy, Journal of Energy Technologies and Policy, ISSN: 2224-3232 (Paper) 2225-0573 (online), Volume: 2, Tahun: 2012.

Karya yang pernah dipublikasikan dalam bentuk Buku Ajar antara lain Pembuatan Arang Tinja Ayam, Penerbit CV IRDH, ISBN: 978-602-0726-31-1, Cetakan pertama Oktober 2018. Pembuatan Bahan Bakar Briket Arang Dari Partikel Tinja Ayam, Penerbit CV IRDH, ISBN: 978-602-0726-9-4; Cetakan pertama Mei 2019. Mengubah Sampah Organik Dan Anorganik Menjadi Bahan Bakar Pelet Partikel Arang, Penerbit CV IRDH, ISBN: 978-602-0726-99-1; Cetakan pertama Mei 2019.



Dra. Siswi Astuti, M.Pd. Penulis lahir di Malang pada tanggal 15 Januari 1961. Penulis merupakan anak pertama dari 5 orang bersaudara dari pasangan Bapak Siswo Atmowidjojo dan Ibu Soekartiwi. Menikah dengan Darsono Sigit dan memiliki 4 orang putra-putri. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 Pendidikan Kimia FMIPA Universitas

Negeri Malang pada tahun 1984 dan Program Strata Dua (S2) Manajemen Pendidikan di Universitas Negeri Malang tahun 1993.

Kariernya diawali dengan menjadi tenaga pengajar di jurusan Teknik Kimia kemudian diangkat menjadi staf dosen pada tahun 1985 hingga saat ini (2018). Riwayat karir di kampus ITN Malang sebagai Wakil Dekan II FTI ITN Malang tahun 1993-2000, menjadi Wakil Rektor II Tahun 2003-2011 dan saat ini menjadi wakil bidang Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM ITN Malang (2018).

Adapun Karya ilmiah yang pernah dipublikasikan oleh penulis antara lain :

1. Advances In Composite Materials Analysis Of Natural And Man-Made Materials, Chapter 11 Mechanical Improvement of Ramie Woven Reinforced- Strach Based Biocomposite Using Biosizing Method (Part 3 Manufacturing), In Tech Janeza Trdine9, 51000 Rijeka, Croatia, 2011, ISBN:
2. Pembuatan Kecap Manis Dari Limbah Ikan Tongkol, Jurnal Industri Inovatif, Vol 2 No. 2, 2012, ISSN: 2087 – 8869.
3. Optimalisasi Protein Pada Kecap Manis Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Ostreatus*) Melalui Variasi Kadar Enzim Papain dan

- Waktu Hidrolisis, Seminar Nasional Soebardjo Brotoharjono IX, Juni 2012, UPN Surabaya.
4. Kelompok Nelayan Usaha Kecap dari Lombah Ikan Laut dengan Teknologi Hidrolisis Enzimatis di Desa Watukarung Pacitan, Seminar Nasional Teknologi (SENATEK) 2015, ISSN: 2407-7534, Vol 1, No A, hal 770-774, Februari 2015. <http://ejournal.itn.ac.id/index.php/senatek/article/view/1276>.
 5. Peningkatan Nilai Gizi Umbi Talas Melalui Proses Fermentasi Menggunakan Starter BIMO CF dan Pegagan (*Centella Asiatica* LN), SENIATI 2016, ISSN: 2085-4218, Book 1, Februari 2016. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/95>.
 6. Sintesis MOCAF bersalut Triterpenoid untuk Terapi Biomedis Bagi Penderita Autis, SNAST 2016, November 2016 Yogyakarta
 7. Inovasi Jamu Celup Dalam Upaya Peningkatan Ekonomi Pedagang Jamu Gendong, SENIATI 2017, ISSN: 2085-4218, Vol. 3 No. 2, C25.1-4.
 8. The Effect Of Chicken Eggs Additional On *Centella Asiatica* Extract As Supplement For Autistic Person, *Avicenna Journal Of Medical Biotechnology*, Vol No , 2017.
 9. Pembuatan Lilin Aromaterapi Berbasis Bahan Alami, *Jurnal Industri Inovatif*, ISSN: 2087-8869, Volume 7, No. 1, Maret 2017, 29–34.
 10. Karakterisasi Material Komposit Polimer Polystyrene dan Serat Tebu, *Jurnal Industri Inovatif*, ISSN: 2087-8869, Volume 7, No. 1, Maret 2017, hal.1-6.
 11. Pengembangan Potensi Kreatif Sumberdaya Manusia Dalam Pembuatan Layang Layang dan Tas Wanita Kualitas Ekspor di RW

02 Bakalan Krajan, Jurnal DIFUSI IPTEK, Vol. 3 No. 1 Mei 2018, hal 11 - 15 (ISSN: 2541 - 3996), <https://flipmaslegowo.id/index.php/difusi-iptek/issue/view/4>.

Adapun Hak Kekayaan Intelektual yang pernah diperoleh oleh penulis antara lain :

1. Tepung Cassava Termodifikasi Ekstrak Pegagan dan Proses Produksinya.
2. Lukisan Relief Merak Berbahan Dasar Daur Ulang Limbah Koran dan Bulu Ayam, No. Registrasi: 000119485, 19 September 2018, No permohonan: EC00201847849.

Adapun buku ajar yang pernah dipublikasikan antara lain Biokomposit Bubur Koran Sebagai Alternatif Bahan Baku Aksesoris Kerajinan Pengganti Keramik, ISBN 978-602-5518-58-4, Penerbit Dream Litera Buana, Malang 2019. Mengubah Sampah Organik Dan Anorganik Menjadi Bahan Bakar Pelet Partikel Arang, Penerbit CV IRDH, ISBN: 978-602-0726-99-1; Cetakan pertama Mei 2019.



Aladin Eko Purkuncoro, ST., MT. Penulis lahir pada tanggal 10 Mei 1978 di Pacitan Jawa Timur. Penulis merupakan anak ke 2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Pardiman Susanto (alm) dan Ibu Sri Irianti. Menyelesaikan Pendidikan Dasar di SDN Arjowinangun, SMPN 1 Pacitan, SMA Negeri

1 Pacitan. Penulis melanjutkan Pendidikan Diploma Tiga di ITN Malang, Pendidikan Strata S-1 Jurusan Teknik Mesin di Universitas Brawijaya (2002), dan Pendidikan Strata S-2 Program Studi Magister Teknik Mesin di Universitas Brawijaya (2011).

Karirnya diawali dengan menjadi Dosen pada Tahun 1999. Saat ini, penulis menyandang status sebagai dosen di ITN Malang pada Program Studi Teknik Mesin. Riwayat karir penulis di Kampus Institut Teknologi Nasional Malang antara lain sebagai Kepala Laboratorium Otomotif dan Manufaktur Teknik Mesin D-3 ITN Malang, Tahun (2000-2015). Sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Diploma Tiga Tahun (2016-sekarang). Ketua UKM Pesan (2016-sekarang).

Karya ilmiah yang telah dipublikasikan pada Jurnal, diantaranya: Pemanfaatan Komposit *Hybrid* sebagai Produk Panel Pintu Rumah Serat Bulu Ayam (*Chicken Feather*) dan Serat Ijuk (*Arenga Pinata*) terhadap Sifat Mekanik dan Sifat *Thermal* Matrik *Polyester*, Jurnal RAPI XIII ISSN: 1412-9612, Tahun: 2014. Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik pada Hasil Pengelasan Besi Tuang Kelabu FC- 15, Jurnal TRANSMISI ISSN: 0216-3233, Volume: ii, Tahun: 2015.

Analisis Perbandingan Model Cacat Coran pada Bahan Besi Cor dan Alumunium dengan Variasi Temperatur Tuang Sitem Cetakan Pasir, Jurnal Teknik Industri Inovatif ISSN: 2087-8869, Volume: 6, Tahun: 2016. Pengaruh Ayam Serat Ijuk (*Arenga Pinata*) sebagai Filter dan Bermatrik Tepung Garut (*Marantha Erundacea*) dengan Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Impak, Jurnal Cendekia Eksakta ISSN: 2528- 5912, Volume:1, Tahun 2016. Penggunaan Elektrode E 7016 pada Baja Alsi 1050 terhadap Sifat Mekanik dengan Variasi Posisi Pengelasan Smaw, Jurnal FLYWHEEL ISSN: 1979-5858, Volume: 08, Tahun: 2017. Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Serat Ijuk (*Arenga Pinata*) terhadap Kekuatan Tarik, Jurnal Teknik Mesin TRANSMISI ISSN: 0216-3233, Volume: 13, Tahun: 2017. Pengaruh Variasi Temperatur pada Gas Nitriding terhadap Surface Hardness Bahan Baja Alsi 4140, Jurnal Cendekia Eksakta ISSN: 2528-5912, Volume: 2, Tahun 2017. Penggunaan Fraksi Volume Komposit Serat Batang Pisang Matrik *Polyester* terhadap Sifat Mekanik, Jurnal SENIATI ISSN: 2085-4218, Volume: 04, Tahun: 2018.

Beberapa karya penulis yang mendapatkan HAKI, diantaranya: Buku Panduan Praktek Pengecoran Logam No Haki : 03739 No Permohonan EC00201703719 Tahun 2017. Buku Panduan Praktek Pengantar Teknik Manufaktur No Haki : 03740 No Permohonan EC00201703720 Tahun 2017. Buku panduan Praktek Menggambar Teknik No Haki : 03741 No Permohonan EC00201703721 Tahun 2017. Buku Panduan Praktek Desain dan Simulasi No Haki : 03742 No Permohonan EC00201703724 Tahun 2017.

Karya penulis yang telah dipublikasikan pada Pengajuan Paten, diantaranya: Mesin Crumble Portable Pencetak Paten Ikan No: P00201709453. Mesin Drilling Resapan Air Portable dengan Sensor No: SID201807800. Mesin Pemipil Jagung Portable No: P00201809069. Mesin Pencacah Limbah Plastik Portable No: SID201810724. Mesin Pasteurisasi Susu Portable No: P00201810735.