

Modifikasi Reaktor Pendingin Dari Proses Torefaksi Sampah Organik Perkotaan

**Adriyan Warokka¹, Winda S. Slat², Meidy P.Y. Kawulur³,
Vennel A. Palempung⁴**

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado, 0431-811568, 95252, Indonesia

Email: ¹ adriyan.warokka@polimdo.ac.id

No. Hp: ¹ 085299946128

Abstrak

Tujuan dari Proses pendinginan sangat penting dalam tahap torefaksi karena sampah yang telah melewati proses ini tidak boleh didinginkan secara ekstrem. Hal ini disebabkan karena sampah yang telah ditorefaksi dapat menjadi lembab jika didinginkan secara tiba-tiba. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih gradual atau bertahap dalam proses pendinginan. Pada tahap ini, biomassa atau sampah organik perlahan-lahan didinginkan dalam reaktor pendingin hingga mencapai suhu tertentu dan dipertahankan pada suhu tersebut selama periode waktu yang ditentukan. Hasil modifikasi reaktor pendingin yang dilakukan dengan Penambahan Besi as Stainless sebagai poros penghubung ke system transmisi membuat reaktor pendingin sudah dapat berputar secara otomatis sehingga hasilnya lebih efisien dibanding dilakukan secara manual. Hasil dari tiga(3) kali pengujian massa sampah dengan massa awal masing-masing 1000g menghasilkan penurunan massa dimana masing-masing pengujian sampah yang dilakukan memiliki penurunan yaitu 435g untuk pengujian pertama, 295g untuk pengujian kedua, dan 321g untuk pengujian ketiga.

Kata Kunci – Reaktor, Pendingin, Torefaksi, Sampah, Organik, Besi

ReDesign of Cooling Reactor Results of Urban Organic Waste Torefaction Process

Abstract

The cooling process is very important in the torefaction stage because the waste that has gone through this process should not be cooled to the extreme. This is because the waste that has been torefacted can become moist if cooled suddenly. Therefore, a more gradual approach is needed in the cooling process. At this stage, the biomass or organik waste is slowly cooled in a cooling reactor until it reaches a certain temperature and maintained at that temperature for a specified period of time. The results of the cooling reactor modification carried out with the addition of Stainless Iron as a connecting shaft to the transmission system make the cooling reactor can rotate automatically so that the results are more efficient than done manually. The results of three (3) waste mass tests with an initial mass of 1000g each resulted in a decrease in mass where each waste test carried out had a decrease of 435g for the first test, 295g for the second test, and 321g for the third test.

Keywords – Reactor, Cooling, Torefaction, Organik, Waste, Iron

PENDAHULUAN

Sampah masih menjadi permasalahan yang kompleks di masyarakat, terutama di wilayah perkotaan yang merupakan pusat pemerintahan, pendidikan, dan pembangunan ekonomi. Perkembangan industri di wilayah ini juga pesat, yang menyebabkan perpindahan penduduk secara besar-besaran dari pedesaan, yang berdampak pada kebiasaan konsumsi masyarakat dan meningkatkan urbanisasi serta produksi sampah.

Namun permasalahan sampah perkotaan semakin hari semakin meningkat, khususnya sampah organik yang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan walaupun harus melalui tahapan pengolahan yang sulit karena kandungan air yang tinggi. Kandungan kalori rendah, struktur serat kokoh dan rendah kalori. Isi. Komposisi bahan tidak seragam.

Proses torifikasi merupakan salah satu teknologi yang terus dikembangkan untuk mengubah sampah kota menjadi bahan bakar padat. Di dalam reaktor torifikasi, biomassa atau sampah organik dipanaskan secara bertahap hingga mencapai rentang suhu tertentu dan dibiarkan di sana selama waktu tertentu. Torifikasi adalah proses termokimia yang berlangsung dalam kondisi inert atau lingkungan dengan oksigen terbatas.

Dalam proses torefaksi juga diperlukan yang namanya proses pendinginan karena sampah yang sudah melewati tahap torefaksi tidak boleh didinginkan secara ekstrim, karena sampah yang sudah ditorefaksi akan menjadi lembab jika pendinginannya ekstrim, jadi diperlukan yang namanya pendinginan secara Gradual atau pendinginan secara bertahap. Dalam reaktor pendingin, biomassa atau limbah organik didinginkan secara bertahap hingga kisaran suhu yang telah ditentukan dan disimpan di sana selama jangka waktu yang telah ditentukan.

Yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil modifikasi reaktor pendingin hasil dari proses torefraksi sampah organik perkotaan dan bagaimana hasil pengujian massa pada sampah setelah melalui proses torefraksi. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui hasil modifikasi pada reaktor pendingin hasil dari proses torefraksi sampah organik perkotaan juga untuk mengetahui hasil pengujian massa pada sampah setelah melalui proses torefraksi.

METODOLOGI PENELITIAN

Sampah dan Permasalahannya

Sampah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Sementara didalam UU No 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, disebutkan sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai yang dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang kelingkungan

Sampah dan limbah tidak hanya berdampak pada kesehatan dan kualitas lingkungan secara lokal tetapi juga secara global. Secara umum sampah mempunyai

dampak negatif bagi masyarakat, ada 3 dampak sampah terhadap manusia dan lingkungan:

- Dampak sampah terhadap kesehatan
- Dampak sampah terhadap lingkungan
- Dampak sampah terhadap sosial dan ekonomi yang mengakibatkan peningkatan biaya Kesehatan karena timbulnya penyakit serta kondisi lingkungan tidak bersih akibat penanganan sampah yang tidak baik.

Pertumbuhan penduduk merupakan salah satu parameter yang berkaitan dengan permasalahan perkotaan, selain perkembangan ekonomi, kesejahteraan, pola konsumsi, pola keamanan dan perilaku penduduk, aktivitas fungsional kawasan perkotaan, kepadatan penduduk dan bangunan serta kompleksitas permasalahan lalu lintas. Terbatasnya kapasitas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang ada dan penetapan beberapa wilayah sebagai zona pengolahan sampah darurat merupakan beberapa faktor utama yang mendorong pertumbuhan sampah di Indonesia. Semua parameter di atas saling berhubungan dan menyebabkan pencemaran lingkungan yang signifikan sehingga meningkatkan efek rumah kaca global.



Gambar 1. Sampah Organik Perkotaan

Jenis-jenis Sampah

✓ Jenis sampah berdasarkan bentuknya

- Sampah Padat
Bentuk padat dari kegiatan domestik atau industri dikenal sebagai limbah padat. Contoh limbah padat meliputi:
Kertas, plastic, serbuk besi, pulp kayu, kain, dll.
- Sampah Cair
Melansir dari laman Enviroment Indonesia sampah cair adalah sisa hasil buangan proses produksi atau aktivitas domestic yang berupa cairan. Limbah cair dapat berupa air beserta bahan-bahan buangan lain yang tercampur maupun terlarut dalam air.

✓ Jenis Sampah Berdasarkan Sifatnya

- Sampah Organik

Sampah organik adalah sampah yang mudah busuk seperti sisa makanan, sayur mayur, daun-daun kering, dll. Misalnya saja daun-daunan, kayu-kayu, kulit telur, bangkai hewan, bangkai tumbuhan, kotoran manusia, sisa makanan, dan mayat, sisa-sisa manusia, karton, kertas dan lain-lain.

- **Sampah Anorganik**
Sampah anorganik adalah sampah yang tidak mudah membusuk, seperti plastic wadah pembungkus makanan, kertas, plastic minuman, botol dan gelas minuman, kaleng, kayu, dan sebagainya.

Sampah Organik

Sisa-sisa makhluk hidup (alam), termasuk manusia, hewan, tumbuhan, dan benda-benda lain yang dapat membusuk atau hancur, merupakan sumber limbah organik.

- **Jenis sampah organik**
Sampah organik dibagi menjadi dua, yaitu sampah organik basah dan sampah organik kering.
 - **Sampah organik basah**
Sampah organik dengan kadar air yang relatif tinggi disebut sampah organik basah. Contohnya antara lain kulit buah, sisa sayuran, kulit sayur, dan biji buah.
 - **Sampah organik kering**
Di sisi lain, bahan organik yang mengandung sedikit air dikenal sebagai sampah organik kering. Kayu atau ranting pohon, daun kering, sisik ikan, kerang, cangkang telur, dan tempurung kelapa adalah beberapa contoh sampah organik kering.
- **Dampak sampah organik**
Dampak negatif sampah organik terbagi menjadi dua, yaitu bagi Kesehatan dan lingkungan.
 - **Dampak sampah organik bagi Kesehatan**
 - Tempat bersarangnya hewan penyebar penyakit
 - Menyebabkan penyakit pada hewan ternak
 - Penyebaran penyakit yang diakibatkan oleh jamur
 - **Dampak sampah organik bagi lingkungan**
 - Tercemarnya sumber air
 - Binatang terancam mati
 - Rawan tanah longsor
 - Munculnya lingkungan kumuh
 - Polusi udara

Waste to Energy (WtE) dan Torefraksi

Sampah dengan segala permasalahannya mengandung energi potensial yang dapat dimanfaatkan. Sampah organik dapat diubah menjadi energi melalui proses biokimia dan perlakuan termokimia. Metode proses termokimia meliputi tiga proses: pembakaran langsung (pembakaran), gasifikasi dan pirolisis. Insinerasi

merupakan proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperatur lebih dari 8000C untuk mereduksi sampah mudah terbakar (combustible) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik.

Insinerasi memiliki manfaat berikut: dapat mengurangi atau meminimalkan sebagian besar volume limbah; dapat membersihkan atau mengurangi jumlah bakteri yang mencemari lingkungan; ideal untuk pemrosesan limbah yang perlu diselesaikan dengan cepat; dan panas dari pembakaran dapat langsung digunakan untuk menghasilkan uap atau listrik.

Berikut ini adalah kerugian dari insinerasi: gas buang dari proses pembakaran mengandung bahan beracun seperti zat dioksin, yang dapat mencemari lingkungan; merupakan pembawa sebagian besar CO₂ yang menyebabkan pemanasan global; abu sisa pembakaran menempati 20% dari sampah yang terbakar; dan unsur merkuri akan terlepas ke udara sebagai uap yang terbawa dalam gas buang, yang dapat mencemari lingkungan jika tidak dipasang pengolahan gas buang.

Teknologi pengolahan sampah secara termal selanjutnya adalah proses gasifikasi. Gasifikasi adalah proses pembakaran bahan bakar padat dalam gasifier dengan menggunakan oksigen dalam jumlah terbatas untuk menghasilkan bahan bakar gas (syngas). Jumlah oksigen yang digunakan dalam proses gasifikasi adalah sekitar 25% dari kebutuhan oksigen untuk pembakaran sempurna. Jika jumlah oksigen melebihi 25% maka efisiensi gasifikasi akan menurun. Keuntungan penggunaan gas adalah lebih mudahnya mengontrol kecepatan atau suhu, sehingga penggunaannya lebih aman dan nyaman sebagai energi panas atau untuk pembangkit listrik (diesel, turbin) (Siagian, 2016). Teknologi ini terbukti efektif untuk limbah padat homogen seperti limbah pertanian.

Teknologi ini menghasilkan syngas sebagai bahan bakar, beroperasi pada suhu 2200C hingga 4000C (Damanhuri, 2016). Teknologi pengolahan limbah termal lainnya adalah pirolisis, yaitu dekomposisi termokimia biomassa menjadi berbagai produk yang berguna, baik tanpa adanya oksidator atau dengan persediaan terbatas yang tidak memungkinkan terjadinya gasifikasi sampai batas tertentu. Ini juga membentuk beberapa tahap reaksi pertama dari proses gasifikasi. Selama pirolisis, molekul biomassa hidrokarbon kompleks yang besar dipecah menjadi molekul gas, cairan, dan karbon yang relatif lebih kecil dan sederhana. Pirolisis biomassa biasanya dilakukan pada suhu berkisar antara 3000C hingga 6500C, dibandingkan dengan 8000C hingga 10,000C untuk gasifikasi dan 2000C hingga 3000C untuk proses reaksi termal.

Torefaksi adalah proses pirolisis ringan (mild pyrolysis) untuk bahan biomassa yang dapat membantu mengatasi beberapa kekurangan bahan seperti kadar air yang tinggi, kadar oksigen yang tinggi, densitas energi yang rendah dengan mengubah biomassa menjadi bahan bakar padat yang ditingkatkan dengan kadar air dan oksigen yang lebih rendah serta kepadatan energi yang lebih tinggi. Metode pretreatment ini terdiri dari perlakuan termal bahan biomassa dalam atmosfer inert (misalnya nitrogen) pada kisaran suhu 200-300 ° C sehingga biaya investasi dan pengoperasian relatif rendah. Selama torefaksi, profil suhu dapat

berupa isothermal atau non-isothermal. Namun, proses non-isothermal menawarkan torefaksi yang lebih parah daripada proses isothermal.

Proses Torefaksi

Torefaksi (khususnya, torefaksi kering) merupakan perlakuan termal terhadap biomassa, di mana biomassa dipanaskan dalam atmosfer non-pengoksidasi untuk meningkatkan kepadatan energi biomassa melalui peningkatan *Heating Value* (HV) dan. Mempertimbangkan pendekatan yang lebih kimiawi, prinsip proses ini bertumpu pada penghilangan oksigen (O) dan hidrogen (H), sehingga mendapatkan produk padat akhir dengan oksigen-karbon (O/C) dan hidrogen-karbon yang lebih rendah. (H/C).

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa setelah proses torefaksi, sifat biomassa telah dimodifikasi dan ditingkatkan secara ekstensif. Jenis perlakuan termal ini tidak hanya menghancurkan sifat berserat dari biomassa yang adalah keuletannya, tetapi juga meningkatkan HV. Torefaksi juga meningkatkan hidrofobisitas biomassa, yang berarti biomassa menjadi lebih tahan terhadap adsorpsi air, menghasilkan peningkatan dalam pengendalian kondisi penyimpanan karena fakta bahwa torrefied 10 biomassa lebih tahan terhadap serangan bakteri dan jamur, dengan demikian, lebih tahan terhadap pembusukan.

Selama torefaksi, biomassa mengalami kehilangan massa, bagaimanapun, mempertahankan hasil energinya. Sifat-sifat lain, seperti O/C dan *grindability*, sejalan dengan fakta bahwa karakteristik *torrefied* biomassa lebih beragam, membuat biomassa lebih menarik bila dibandingkan dengan biomassa *non-torrefied*.

Proses torefaksi (torefaksi kering) dapat dibagi menjadi beberapa fase berbeda yaitu pemanasan, pengeringan, torefaksi, dan pendinginan. Menurut Bergam et al. proses pengeringan dibagi lagi menjadi dua fase, menjadikan torrefaction sebagai proses yang terdiri dari lima fase berbeda yaitu: 1) Pemanasan, 2) Pra-pengeringan, 3) Pasca-pengeringan, 4) Torefaksi. 5)



Gambar 2. Gambar Alat Reactor Torefraksi

Reaktor Torefaksi

Reaktor Torefaksi merupakan jenis reaktor berbentuk tabung dengan dua dinding tetap dan material di dalam reaktor bergerak. Reaktor Torefaksi biasanya dipanaskan dengan sistem pemanas eksternal, dan dalam beberapa penelitian, bahan mentah di dalam bahan mentah dipindahkan dengan sistem konveyor ulir. Keunggulan reaktor ini antara lain: reaktor beroperasi terus menerus, reaktor tidak bocor, luas permukaan perpindahan panas lebih besar, dan syngas mudah direformasi. Reaktor jenis ini mudah dirancang jika diketahui koefisien perpindahan panasnya karena sederhana dan aman. Reaktor kontinyu berbentuk tabung dengan dua dinding tetap dan memindahkan material di dalam reaktor menggunakan sistem konveyor ulir. Untuk desain ini, kecepatan sekrup dapat divariasikan dari 0,5 hingga 25 rpm, sehingga memvariasikan waktu tinggal reaktor. Reaktor adalah suatu alat proses tempat terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika.

- **Reaktor kimia**

Reaktor kimia adalah tempat berlangsungnya reaksi kimia. Perancangan reaktor ini bergantung pada banyak variabel yang dapat dipelajari dalam teknik kimia. Rancang produk yang diproduksi berdasarkan input kritis dengan biaya minimal, baik modal maupun biaya operasional. Tentu saja faktor keamanan tidak bisa diabaikan. Biaya operasional biasanya mencakup jumlah energi yang dipasok atau dikonsumsi, harga bahan mentah, gaji operator, dll. Perubahan energi dalam reaktor kimia dapat disebabkan oleh pemanasan atau pendinginan, kenaikan atau penurunan tekanan, gesekan (pengaduk dan cairan), dll.

- **Reaktor Nuklir**

Reaktor nuklir adalah suatu tempat atau alat yang digunakan untuk menciptakan, mengatur, dan memelihara kelangsungan reaksi berantai nuklir pada laju yang konstan. Hal ini berbeda dengan bom nuklir, yang reaksi berantainya terjadi dalam hitungan sepersekian detik dan tidak dapat dikendalikan.

Reaktor nuklir digunakan untuk berbagai tujuan. Saat ini, reaktor nuklir paling banyak digunakan untuk menghasilkan listrik. Reaktor penelitian digunakan untuk menghasilkan isotop radioaktif (radioactive isotopes) dan untuk penelitian. Awalnya, reaktor nuklir pertama digunakan untuk memproduksi plutonium sebagai bahan nuklir.

Saat ini, semua reaktor nuklir komersial didasarkan pada fisi nuklir, dan risiko keselamatan sering kali diperhitungkan. Di sisi lain, beberapa kelompok percaya bahwa pembangkit listrik tenaga nuklir adalah metode produksi listrik yang aman dan tidak menimbulkan polusi. Tenaga fusi adalah teknologi eksperimental yang didasarkan pada fusi nuklir.

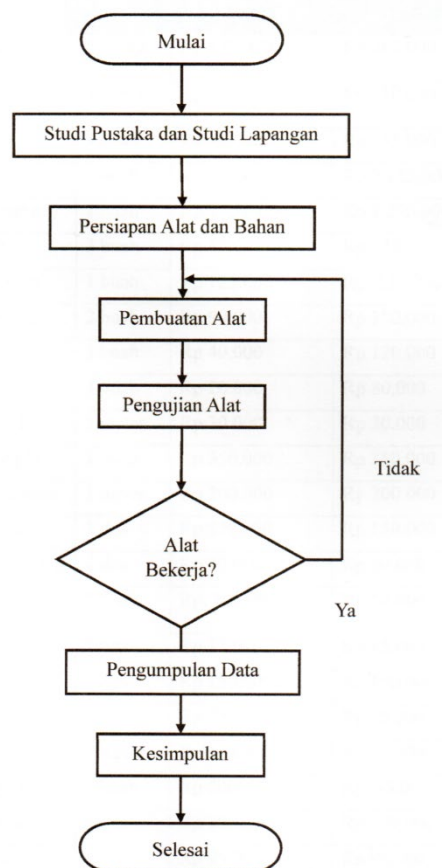
Ada beberapa peranti lain untuk mengendalikan reaksi nuklir, termasuk di dalamnya pembangkit termoelektrik radioisotop dan baterai atom, yang membangkitkan panas dan daya dengan cara memanfaatkan peluruhan radioaktif pasif, seperti halnya Farnsworth-Hirsch fusor, di mana reaksi fusi nuklir terkendali digunakan untuk menghasilkan radiasi neutron.

Reaktor pendingin

Dalam proses torefaksi juga diperlukan yang namanya proses pendinginan karena sampah yang sudah melewati tahap torefaksi tidak boleh didinginkan secara ekstrim, jadi diperlukan yang namanya pendinginan secara gradual atau pendinginan secara bertahap. Dimana biomassa/sampah organik secara perlahan didinginkan dalam reaktor pendingin hingga dalam kisaran suhu tertentu dan dipertahankan untuk waktu yang ditentukan.

Reaktor pendingin dibuat mirip dengan torefaksi yaitu berbentuk tabung dengan dua dinding tetap. reaktor pendingin menggunakan air sebagai media pendingin dimana air bersirkulasi melewati antara dua dinding tabung. Untuk proses sirkulasi menggunakan pompa air mini yang dialirkan masuk lewat pipa kecil pada bagian atas tabung sebagai jalur masuk air dan memanfaatkan gaya gravitasi untuk air keluar melewati pipa kecil di bagian bawah tabung kemudian Kembali ke wadah tempat air ditampung dan pompa beroperasi.

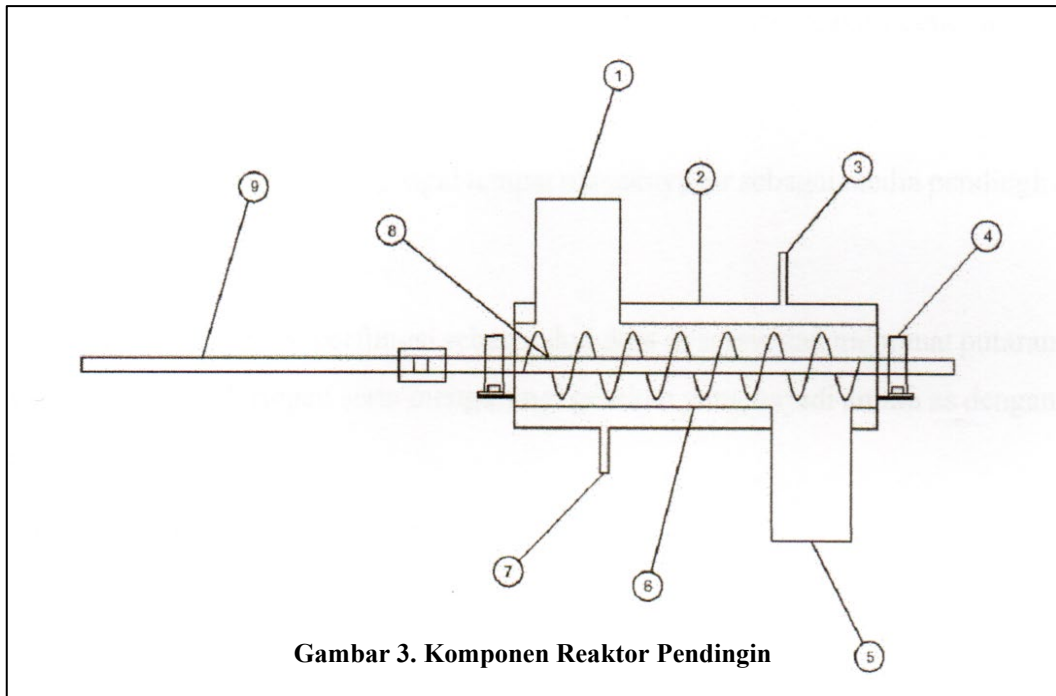
Diagram Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil dan Pembahasan

Komponen pada Reaktor Pendingin serta Fungsinya



Tabel 1. Komponen Reaktor Pendingin

No.	Bagian
1	Input
2	Tabung reaktor luar
3	Sirkulasi in
4	Bearing UCP 204
5	Output
6	Tabung reactor dalam
7	Sirkulasi Out
8	Screw Conveyor
9	As Penghubung

Fungsi komponen-komponen pada reactor pendingin

1. Input
Input berfungsi sebagai tempat masuknya sampah setelah proses torefaksi.
2. Tabung Reaktor Luar
Tabung Reaktor Luar berfungsi sebagai body utama dari reactor pendingin.
3. Sirkulasi In
Sirkulasi In berfungsi sebagai media pendingin.

4. Bearing UCP 204
Bearing UCP 204 berfungsi sebagaiudukan as screw dan membuat putaran screw menjadi lebih ringan serta mengurangi gesekan yang terjadi anatara as dengan elemen mesin.
5. Output
Output sebagai tempat keluarnya sampah.
6. Tabung Reaktor dalam
Tabung Reaktor dalam berfungsi sebagai pemisah dan pembatas dari air sebagai media pendingin dengan screw yang membawa sampah hasil dari torefaksi agar tidak tercampur.
7. Sirkulasi Out
Sirkulasi Out berfungsi sebagai tempat keluarnya air sebagai media pendingin.
8. Screw Conveyor
Screw Conveyor adalah salah satu elemen penting yang berfungsi untuk memindahkan sampah dari input menuju output.

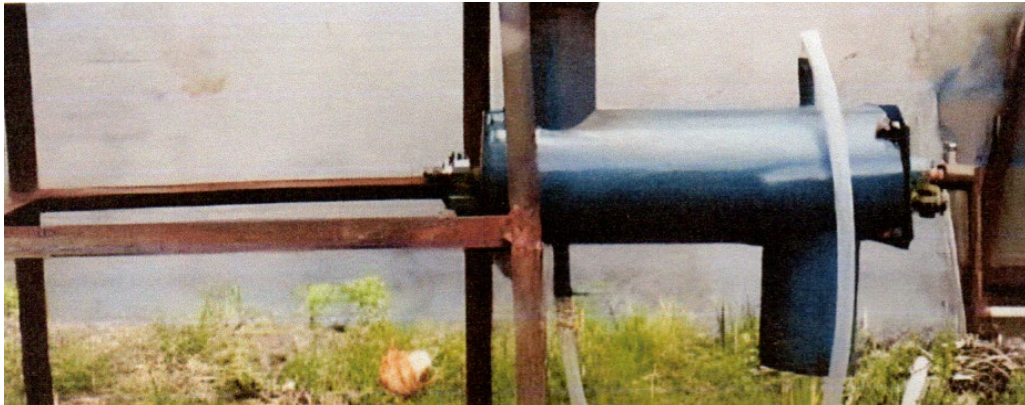
Dimensi Reaktor Pendingin

Tabel 2. Dimensi Bagian-Bagian Reaktor

Komponen	Dimensi
Diameter tabung dalam	110 mm
Diameter tabung luar	165 mm
Panjang tabung reaktor	500 mm
Jarak <i>pitch screw</i>	65 mm
Diameter screw	90 mm
Diameter as screw	20 mm
Panjang as penghubung	100 mm
Diameter as penghubung	20 mm
Diameter tabung input	115 mm
Tinggi tabung input	140 mm
Diamter tabung output	110 mm
Tinggi tabung output	150 mm

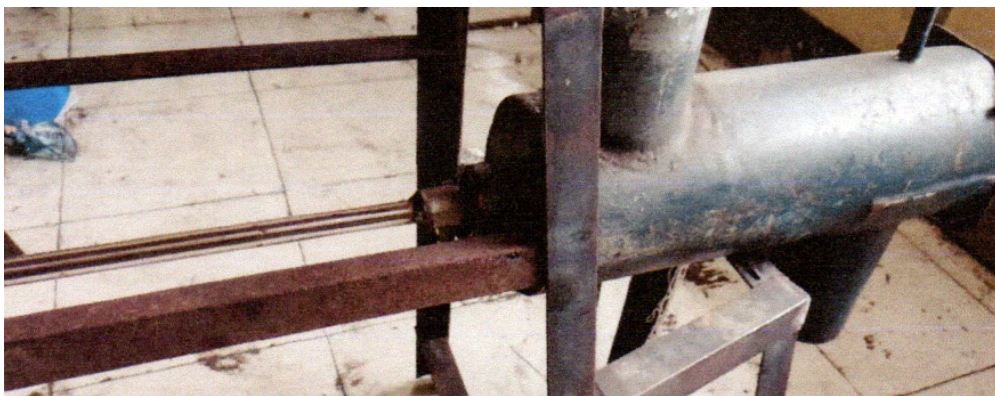
Modifikasi pada Reaktor Pendingin

Pada reaktor pendingin hal yang dimodifikasi adalah penambahan komponen yaitu besi as stainless dengan panjang 1m dan diameter 20 mm. Besi as stainless berfungsi sebagai penghubung dari as screw menuju ke ujung rangka agar proses transimisi berjalan.



Gambar 4. Reaktor Pendingin Sebelum di Modifikasi

Pada Gambar 4 menunjukkan reaktor pendingin sebelum di modifikasi dimana pada bagian kanan reaktor masih terdapat handle untuk memutar screw secara manual dan pada bagian reaktor sebelah kiri belum ada sambungan besi as karena reaktor masih diputar secara manual



Gambar 5. Reaktor Pendingin Setelah di Modifikasi

Pada Gambar 5 menunjukkan reaktor pendingin setelah di modifikasi dimana sudah ada penambahan besi as stainless pada bagian kiri reaktor yang berguna sebagai poros penghubung antara as screw ke system transmisi.

Hasil Pengujian Massa Sampah

Pengujian dilakukan dengan melakukan 3 (tiga) kali percobaan dimana masing masing sampah memiliki massa awal 1000g dan waktu tempuh sampah dalam proses torefaksi dan pendinginan adalah 30 menit.

Untuk proses penimbangan, massa dari wadah yang menampung sampah sudah diabaikan dengan mensetting timbangan sehingga angka pada timbangan yang muncul adalah massa sampah itu sendiri.



Gambar 6. Sampah Percobaan Pertama



Gambar 7. Hasil Massa Sampah Percobaan Pertama

Pada gambar 6 dan gambar 7 terlihat penurunan massa sampah dimana sampah awal dengan massa 1000g menjadi 565g. massa yang berkurang pada percobaan pertama yaitu 435g.



Gambar 8. Sampah Percobaan Kedua



Gambar 9. Hasil Massa Sampah Percobaan Kedua

Pada gambar 8 dan gambar 9 terlihat penurunan massa pada sampah dimana sampah awal dengan massa 1000g menjadi 705g. massa yang berkurang pada percobaan kedua yaitu 295g.



Gambar 10. Sampah Percobaan ketiga



Gambar 11. Hasil Massa Sampah Percobaan Ketiga

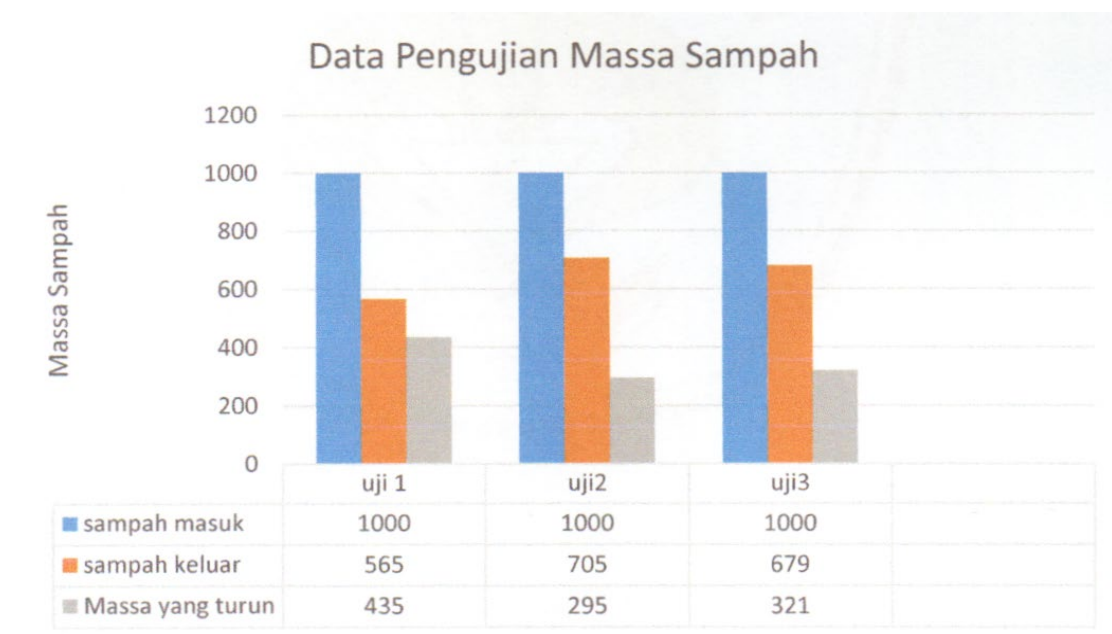
Pada gambar 10 dan gambar 11 terlihat penurunan massa pada sampah dimana sampah awal dengan massa 1000g menjadi 679g. massa yang berkurang pada percobaan ketiga yaitu 321g.

Untuk menghitung persentase menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{(awal - akhir)}{awal} \times 100$$

Tabel 3. Data Massa Sampah

Pengujian	Waktu Tempuh	Massa awal sampah	Massa akhir sampah	Massa sampah yang berkurang
I	30 menit	1000g	565g	43,5%
II			705g	29,5%
III			679g	32,1%



Gambar 12. Grafik hasil pengujian massa sampah

Pada Grafik hasil pengujian massa sampah pada gambar 12 terlihat bahwa hasil ke tiga pengujian yang dilakukan dengan berat sampah masing-masing 1000g menghasilkan penurunan massa pada sampah dimana pada uji 1 massa sampah yang turun yaitu 43,5%, uji 2 massa sampah yang turun yaitu 29,5%, dan uji 3 massa sampah yang turun yaitu 32,1%.

KESIMPULAN

1. Hasil modifikasi reaktor pendingin yang dilakukan dengan Penambahan Besi as Stainless sebagai poros penghubung ke system transmisi membuat reaktor

pendingin sudah dapat berputar secara otomatis sehingga hasilnya lebih efisien dibanding dilakukan secara manual.

2. Hasil dari tiga(3) kali pengujian massa sampah dengan massa awal masing-masing 1000g menghasilkan penurunan massa dimana masing-masing pengujian sampah yang dilakukan memiliki penurunan yaitu 435g untuk pengujian pertama, 295g untuk pengujian kedua, dan 321g untuk pengujian ketiga.

SARAN

Pengembangan terhadap modifikasi reaktor pendingin dari proses torefaksi sampah organik perkotaan bisa dilakukan sampai pada nilai efisiensi yang optimal.

REFERENSI

- [1] Baitula. (2013, maret 09). Reaktor Kimia. Retrieved from scribd: <https://www.scribd.com/doc/129459999/Reaktor-Kimia> diakses pada 10 juli 2023, jam 19.21.
- [2] Ilham, A. (2019, february 25). Materi Fisika Reaktor Nuklir. Retrieved from soalkimia: <https://soalkimia.com/materi-fisika-reaktor-nuklir> diakses pada 17 juli 2023, jam 13.00.
- [3] Mashudi, A. (2021, Agustus 31). Jenis-Jenis Sampah Berdasarkan Bentuk, Sumber, dan Sifatnya. Retrieved from diadona: <https://www.diadona.id/d-stories/jenis-jenis-sampah-berdasarkan-bentuk-sumber-dan-sifatnya-210831x.html> diakses pada 2 agustus 2023, jam 14.09.
- [4] Rachman, A. (2023, maret 13). Sampah Organik: Pengertian, Jenis, Contoh, dan Dampaknya. Retrieved from kompas: <https://www.kompas.com/skola/read/2023/03/13/200000069/sampah-organik--pengertian-jenis-contoh-dan-dampaknya?page=1> diakses pada 22 agustus 2023, jam 12.22.
- [5] Riadi, M. (2015, february 07). Pengertian, Jenis dan Dampak Sampah. Retrieved from kajian pustaka: <https://www.kajianpustaka.com/2015/02/pengertian-Jenis-dan-dampak-sampah.html> diakses pada 27 agustus 2023, jam 20.21.
- [6] Warokka, A., Tumeembow, M. N., & Siwi, H. (2021). Pemanfaatan Sampah Perkotaan Manado Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sumompo Menjadi Bahan Bakar Padat Dengan Proses Torefaksi. *Penciptaan dan Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan*, 4-10. diakses pada 12 juni 11.14.
- [7] Zulfa, T. (2023, september 18). Menghitung Rumus Volume Tabung, Contoh Soal, dan Penjelasannya. Retrieved from mojok: <https://mojok.co/kilas/pendidikan/rumus-volume-tabung/> diakses pada 21 agustus 2023, jam 13.12.