

Rancang Bangun Cerobong Pembakaran Bahan Bakar Plastik pada Pabrik Tahu Menggunakan Adsorben

Fahri Nailur Rohamat, Khairunnisa Afifah Awwaliyyah Qothrunnada dan Afan Hamzah
Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: afan@its.ac.id

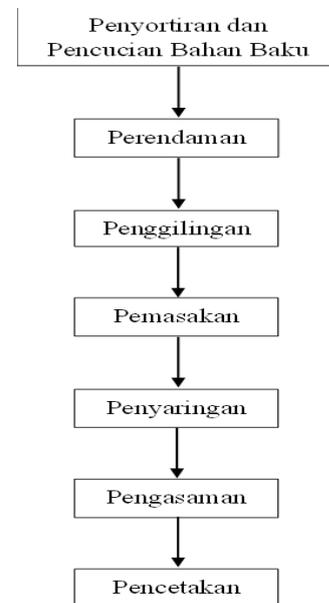
Abstrak—Proses produksi tahu di Desa Tropodo menggunakan plastik sebagai bahan baku pembakaran pada proses oemasakan tahu. Penggunaan plastik ini memberikan dampak buruk bagi masyarakat dan lingkungan karena proses pembakaran plastik yang tidak sempurna dapat menghasilkan senyawa-senyawa berbahaya seperti CO, CO₂, dan lain-lain. Senyawa-senyawa tersebut apabila terhirup oleh manusia akan mengganggu kesehatan dan menyebabkan masalah pernapasan, dapat menyebabkan iritasi pada mata, dan meracuni tubuh secara tidak langsung karena asap yang dihasilkan dapat tersebar dan tidak terlihat sehingga dapat terbawa masuk kedalam tubuh. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan modifikasi dengan rancang bangun cerobong pembakaran pada pabrik tahu menggunakan adsorben. Penambahan adsorben pada cerobong asap berfungsi untuk menyerap zat-zat berbahaya yang terdapat dalam asap pembakaran. Pada rancang bangun ini akan digunakan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif adalah bahan yang memiliki struktur pori yang kompleks dan sangat heterogen. Karbon aktif memiliki beberapa keunggulan dibandingkan adsorben lainnya yaitu memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena luas permukaan yang tinggi, mempunyai struktur mikropori, dan reaktivitas yang sangat tinggi. Dilakukan pula penambahan exhaust fan diujung cerobong asap tungku pembakaran yang berfungsi menghisap udara yang mengandung zat terkontaminasi dan membantu mengalirkannya agar melewati tray beradsorben. Dilakukan perhitungan jumlah adsorben yang dibutuhkan untuk mengadsorpsi senyawa-senyawa yang keluar selama proses pembakaran pada pemasakan tahu yaitu CO, CO₂, C₂H₄, CH₄, C₂H₂, dan HCl sebesar 35,69 kg yang diletakkan pada tiga tray dengan luas 800 cm².

Kata Kunci—Adsorben, Cerobong, Plastik, Pembakaran.

I. PENDAHULUAN

TAHU merupakan makanan tradisional yang digemari oleh masyarakat karena lezat, bergizi tinggi, dan harganya murah. Proses pembuatan tahu sendiri tergolong mudah dimana masih menggunakan teknologi yang sangat sederhana dan masih menggunakan tenaga manusia sehingga industri tahu umumnya beroperasi dalam skala rumah tangga. Tingginya minat masyarakat dalam mengkonsumsi tahu membuat jumlah industri tahu di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Desa Tropodo di Sidoarjo, Jawa Timur merupakan salah satu desa yang menjadikan industri tahu sebagai salah satu industri unggulan mereka. Pada tahun 2015 jumlah industri tahu di desa tersebut sebanyak 38 unit dan pada tahun 2020 meningkat menjadi 62 unit yang masih beroperasi [1].

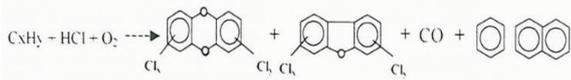
Proses produksi tahu di Desa Tropodo sendiri menggunakan plastik sebagai bahan baku pembakaran pada proses pemasakan tahu. Hal ini tentu memberikan dampak buruk bagi masyarakat dan lingkungan. Dalam pembakaran plastik dapat menghasilkan zat-zat seperti CO₂, H₂O, N₂, SO₂,



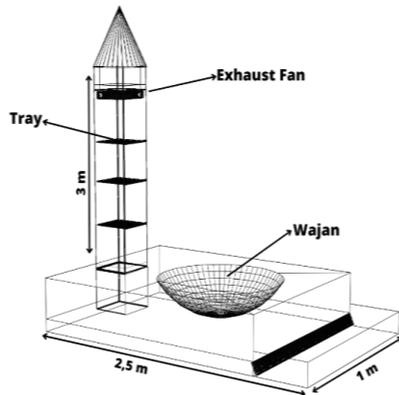
Gambar 1. Proses Pembuatan Tahu.

dan hydrogen halida. Namun pada pembakaran plastik secara tidak sempurna dimana suhu atau oksigen yang didapatkan tidak mencukupi dapat menghasilkan zat-zat yang lebih kompleks dan berbahaya seperti hydrogen sianida dan karbon monoksida. Beberapa jenis plastik juga dapat menghasilkan HCl dan P₂O₅ [2]. Pada plastik yang mengandung HCl dapat menghasilkan dioksin yaitu *polychlorinated paradibenzo dioxin* (PCDDs) dan *polychlorinated paradibenzo furan* (PCDFs) [3]. Zat-zat berbahaya tersebut apabila terhirup oleh masyarakat dapat mengganggu kesehatan masyarakat seperti terjadi gangguan pernapasan, menyebabkan iritasi pada mata, dan dapat memicu kanker. Selain itu, zat-zat tersebut juga dapat mencemari lingkungan dan mengurangi kadar oksigen di udara [4]. Untuk itu perlu dilakukan sebuah pengolahan terhadap gas buang beracun yang dihasilkan dari proses pembakaran plastik tersebut.

Berdasarkan permasalahan tersebut salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan modifikasi pada cerobong asap yang terdapat di tungku pembakaran. Modifikasi ini dilakukan dengan merancang cerobong asap yang dilengkapi tray beradsorben sebagai media filter. Penambahan adsorben pada cerobong asap berfungsi untuk menyerap zat-zat berbahaya yang terdapat dalam asap pembakaran sehingga dapat membantu menjaga kualitas udara sekitar lokasi industri tahu dan dapat mengurangi resiko masalah kesehatan yang diakibatkan udara terkontaminasi [5]. Dilakukan pula penambahan *exhaust fan* diujung cerobong asap tungku pembakaran yang berfungsi menghisap udara yang mengandung zat terkontaminasi dan membantu mengalirkannya agar melewati tray beradsorben. Selain itu



Gambar 2. Reaksi Pembentukan Dioksin.



Gambar 3. Tungku Pembakaran Plastik untuk Pemasakan Tahu.

penambahan exhaust fan juga dapat membantu meningkatkan sirkulasi udara di dalam ruangan dengan menarik udara kotor dan mengeluarkannya dari dalam ruangan sehingga dapat membantu menjaga kualitas udara di dalam ruangan [6].

Pemilihan adsorben yang tepat merupakan salah satu kunci keberhasilan proses adsorpsi pada rancang bangun ini. Adsorben yang baik adalah adsorben yang memiliki luas permukaan aktif dan volume mikropori yang tinggi serta memiliki jaringan pori yang cukup besar sehingga memudahkan proses difusi kedalam adsorben. Selain itu adsorben harus terjangkau dan dapat diregenerasi dengan mudah [5]. Adsorben yang digunakan juga harus memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap zat-zat berbahaya yang dihasilkan pada proses pembakaran plastik seperti CO, CO₂, dan senyawa-senyawa berbahaya lainnya.

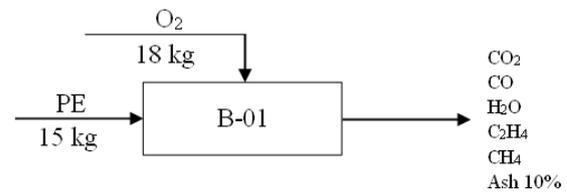
Terdapat berbagai jenis adsorben yang biasa digunakan oleh industri serta tersedia secara komersial seperti alumina, silika gel, karbon aktif, dan zeolite. Pada rancang bangun ini akan digunakan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif adalah bahan yang memiliki struktur pori yang kompleks dan sangat heterogen. Karbon aktif memiliki beberapa keunggulan dibandingkan adsorben lainnya yaitu memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena luas permukaan yang tinggi, mempunyai struktur mikropori, dan reaktivitas yang sangat tinggi. Karena keunggulan tersebut karbon aktif banyak digunakan untuk pemurnian berbagai macam produk kimia dan pemisahan senyawa-senyawa dari gas maupun larutan [5]. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya karbon aktif dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas CO yang dihasilkan dari asap kebakaran [7].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain cerobong asap pembakaran proses pembuatan tahu yang menghasilkan gas yang ramah lingkungan.

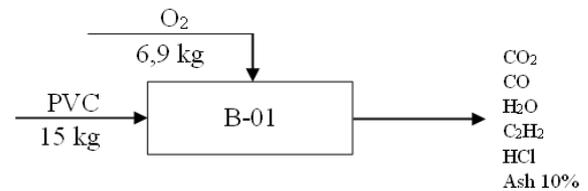
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Pembuatan Tahu

Tahu adalah makanan yang terbuat dari kedelai dan merupakan makanan sumber protein dengan harga yang relative murah. Proses pembuatan tahu sendiri relatif



Gambar 4. Reaksi Pembakaran PE Saat Melewati Adsorben.



Gambar 5. Reaksi Pembakaran PVC Saat Melewati Adsorben.

Tabel 1.

Spesifikasi Cerobong Asap

No.	Spesifikasi Alat	Ukuran	Satuan
1	Tinggi cerobong asap	3	m
2	Luas tray	800	cm ²
3	Volume cerobong	0,24	m ³

sederhana dan tidak memerlukan tempat produksi yang luas [8]. Pembuatan tahu sendiri membutuhkan proses yang berkelanjutan dimana setidaknya terdapat tujuh tahapan yang harus dilalui untuk menghasilkan tahu yang berkualitas. Tahapan tersebut meliputi penyortiran dan pencucian bahan baku, perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, pengasaman, dan pencetakan [9]. Proses pembuatan tahu dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahap pertama yaitu penyortiran dan pencucian bahan baku tahu berupa kedelai. Pada tahap ini para pekerja harus memilih tahu yang layak untuk diproduksi dengan meletakkan biji-biji kedelai pada sebuah tempat yang disebut tampah untuk mendapatkan biji kedelai yang baik, bersih, dan bebas dari kotoran. Biji yang terpilih kemudian dicuci menggunakan air mengalir sehingga dapat membersihkan segala kotoran dari kedelai. Tahap selanjutnya adalah perendaman, dimana setelah biji kedelai dicuci kemudian direndam kurang lebih 6-12 jam. Kegiatan ini dilakukan agar biji-biji kedelai tersebut dapat menyerap air dan menjadi lebih lunak sehingga kulitnya mudah untuk dikupas.

Tahap ketiga adalah penggilingan dimana setelah biji kedelai dikuliti dan nampak bersih, biji kedelai direndam dengan menggunakan air panas untuk menghilangkan enzim lipoksigenasi yang dapat menyebabkan bau. Selanjutnya dimasukkan kedalam alat penggilingan yang dapat mengubah biji kedelai menjadi halus seperti bubur. Tahap selanjutnya yaitu pemasakan dimana bubur yang dihasilkan pada tahap penggilingan dimasak didalam wajan pemasakan. Proses ini memerlukan waktu 10-20 menit. Selanjutnya proses penyaringan terhadap bubur kedelai yang telah dimasak. Bubur kedelai dituangkan ke dalam bak penampung yang sudah terpasang kain mori kasar di atasnya dan dilakukan pengepresan terhadap bubur kedelai tersebut dengan menggunakan papan penjepit yang diberikan beban berat, sehingga air yang ada di bubur kedelai dapat terperas.

Setelah melewati proses penyaringan, bubur kedelai memasuki tahap pengasaman. Proses pengasaman biasanya menggunakan bahan asam atau cuka. Tahap terakhir yaitu

Tabel 2.
Neraca Massa Reaksi Pembakaran PE

Input		Output	
Komponen	Flowrate (kg/jam)	Komponen	Flowrate (kg/jam)
(C ₂ H ₄) ₅	15	(C ₂ H ₄) ₅	1,5
O ₂	18	O ₂	0
CO ₂	0	CO ₂	14,14285714
H ₂ O	0	H ₂ O	5,785714286
CO	0	CO	4,5
C ₂ H ₄	0	C ₂ H ₄	4,5
CH ₄	0	CH ₄	2,571428571
Konsumsi	33	Generasi	31,5
Total	33	Total	33

Tabel 3.
Neraca Massa Reaksi Pembakaran PVC

Input		Output	
Komponen	Flowrate (kg/jam)	Komponen	Flowrate (kg/jam)
(C ₂ H ₃ Cl) ₁₀	15	(C ₂ H ₃ Cl) ₁₀	1,5
O ₂	6,912	O ₂	0
CO ₂	0	CO ₂	4,752
H ₂ O	0	H ₂ O	1,944
CO	0	CO	3,024
C ₂ H ₂	0	C ₂ H ₂	2,808
HCl	0	HCl	7,884
Konsumsi	21,912	Generasi	20,412
Total	21,912	Total	21,912

pencetakan. Tahap ini dilakukan dengan pemisahan air asam yang ada di endapan sari kedelai yang dilakukan menggunakan tampah yang diletakkan diatas endapan sari kedelai dan ditekan hingga air asam dapat berada diatas tampah dan dapat diambil dengan menggunakan gayung. Hasil dari gumpalan sari kedelai dapat dimasukkan kedalam cetakan yang atasnya sudah diberi kain mori dan cetakan yang terisi penuh menghasilkan produk tahu yang siap untuk dipotong [9].

B. Dampak Pembakaran Plastik

Plastik merupakan bahan yang banyak digunakan baik sebagai kemasan atau peralatan rumah tangga yang berdampak pada penumpukan sampah plastik. Plastik memiliki berbagai macam jenis seperti HDPE atau high density polyethylene yang biasa digunakan sebagai kantong plastik, botol susu, dan tas belanja. Selain itu terdapat jenis LDPE atau low density polyethylene yang biasa digunakan sebagai pembungkus makanan dan tas, lalu PVC atau polyvinyl chloride yang biasa digunakan sebagai botol kemasan dan container. PETE atau polyethylene terephthalate biasa digunakan sebagai botol minuman dan container sejenis, PS atau polystyrene digunakan sebagai tempat untuk daging dan telur atau cangkir dan box tahan panas, dan PP atau polypropylene yang biasa digunakan sebagai tempat yogurt, sedotan, dan film pembungkus [10].

Pengelolaan sampah dengan cara dibakar dapat menghasilkan berbagai zat yang memiliki efek pada sistem pernapasan [2]. Dalam pembakaran plastik dapat menghasilkan zat-zat seperti CO₂, H₂O, N₂, SO₂, dan hydrogen halida. Namun pada pembakaran plastik secara tidak sempurna dimana suhu atau oksigen yang didapatkan tidak mencukupi dapat menghasilkan zat-zat yang lebih kompleks dan berbahaya seperti hydrogen sianida dan karbon monoksida. Beberapa jenis plastik juga dapat menghasilkan HCl dan P₂O₅ [2]. Pembakaran PE, PP, dan PS yang tidak sempurna dapat menghasilkan karbon monoksida dengan konsentrasi yang tinggi dan emisi berbahaya. Sedangkan PVC dapat menghasilkan dioksin, karbon hitam dan aromatik

seperti pyrene dan chrysene. Emisi berbahaya yang dihasilkan dapat mencakup bromida dan pigmen warna yang mengandung logam berat seperti kromium, tembaga, kobalt, dan timbal [11]. Reaksi pembentukan dioksin dapat dilihat pada Gambar 2.

Senyawa-senyawa tersebut apabila terhirup oleh manusia akan mengganggu kesehatan dan menyebabkan masalah pernapasan, dapat menyebabkan iritasi pada mata, dan meracuni tubuh secara tidak langsung karena asap yang dihasilkan dapat tersebar dan tidak terlihat sehingga dapat terbawa masuk kedalam tubuh. Pembakaran plastik juga dapat memberikan pengaruh buruk pada lingkungan seperti menyebabkan ozon tertutup sehingga memicupemanasan global, mengganggu pemandangan, menurunkan jumlah oksigen di udara, dan menyebabkan pencemaran pada lingkungan [4].

C. Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif

Adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antara molekul padatan dengan material terjerap atau interaksi kimia [12]. Adsorpsi terjadi akibat adanya kompetisi antara dinding berpori adsorben yang reaktif dengan larutan untuk mengikat adsorbat. Apabila adsorpsi bersifat *irreversible*, maka kompetisi berlangsung hingga pori-pori dinding adsorben lainnya telah terisi semua. Namun apabila adsorpsi bersifat *reversible*, maka adsorbat yang menempel pada pori-pori akan lepas digantikan dengan adsorbat lainnya. Adsorbat yang terlepas akan mencari por-pori lainnya yang kosong hingga terjadi kesetimbangan [13]. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben [14]. Adsorpsi banyak digunakan di industri karena lebih ekonomis dan mampu menghilangkan bahan-bahan organik tanpa menimbulkan efek beracun atau negatif [13].

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi sebuah adsorben seperti karakteristik fisik dan kimia adsorben berupa luas permukaan, ukuran pori, dan adsorpsi kimia. Karakteristik kimia adsorbat seperti ukuran molekul

Tabel 4.
Massa Adsorben yang Dibutuhkan Tiap Komponen

Komponen	Co (mg/L)	Ci (mg/L)	m (mg)
CO ₂	78.728	787,2	49.2260
CO	32.207	25	203.255.6391
CH ₄	31.350	313,5	196.020
C ₂ H ₄	30.450	304,5	190.392
C ₂ H ₂	43.564	435,6	272.391
HCl	22.255	2.225,5	1.391.523
		Total	2.745.843

Tabel 5.
Biaya Produksi Tahu Perbulan

No.	Keterangan	Kebutuhan per hari	Jumlah
1.	Kedelai	200 kg	Rp48.000.000
	Biaya tenaga kerja		
	a. Bagian giling	1 orang	Rp540.000
	b. Bagian masak	2 orang	Rp1.350.000
2.	c. Bagian saring	2 orang	Rp1.080.000
	d. Bagian cetak dan potong	2 orang	Rp1.200.000
	e. Bagian pembungkusan	3 orang	Rp450.000
3.	Gaji kepala produksi	1 orang	Rp600.000
4.	Biaya bahan bakar solar	8 L	Rp640.000
5.	Biaya listrik	9 kV	Rp150.000
6.	Biaya plastik	134,5 kwh	Rp3.750.000
	Total Biaya		Rp57.760.000

Tabel 6.
Biaya Alat yang Dibutuhkan

No.	Uraian	Jumlah	Harga per satuan	Jumlah
1	Exhaust Fan	1	Rp565.780	Rp565.780
2	Tray	7	Rp8.000	Rp32.000
3	Karbon aktif	3	Rp 900.000	Rp 2.700.000
Total				Rp3.297.780

dan polaritas molekul, dan komposisi kimia serta konsentrasi adsorbat, karakteristik zat yang diadsorpsi, dan lama waktu adsorpsi juga mempengaruhi daya adsorpsi sebuah adsorben [14]. Adsorben memiliki peran penting dalam proses adsorpsi. Adsorben harus memiliki kinerja yang baik pada saat berdifusi dalam pori maupun pada saat kesetimbangan adsorpsi. Suatu adsorben yang mempunyai kemampuan penyerapan yang sangat bagus tetapi memerlukan waktu yang lama pada saat berdifusi, bukan pilihan yang tepat karena akan membutuhkan waktu tinggal yang lama di dalam kolom penyerap. Semakin besar waktu tinggal, semakin banyak jumlah adsorben yang dibutuhkan [5]. Terdapat berbagai jenis adsorben yang biasa digunakan oleh industri serta tersedia secara komersial seperti alumina, silika gel, karbon aktif, dan zeolite. Salah satu jenis adsorben yang banyak digunakan adalah karbon aktif.

Karbon aktif adalah bahan padat yang berpori tinggi dimana permukaannya dapat menyebabkan adsorbat terakumulasi. Adsorben karbon aktif dapat diproduksi dari bahan-bahan organik seperti kayu, kokas, petroleum, gambut, batu bara, cangkang kelapa sawit, antrasit, inti plum, sekam padi, lignin, serbuk gergaji, benih sekam, tulang, dan lain-lain. Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang paling terkenal dan banyak digunakan terutama pada proses pengolahan limbah [12]. Karbon aktif diproduksi secara komersial dari berbagai macam bahan baku, di mana sifat permukaan yang dihasilkan (komposisi kimia, luas permukaan dan ukuran pori) bergantung pada bahan mentah yang dipilih sebagai bahan baku, serta prosedur pembuatan (metode aktivasi, suhu, dll.) [15]. Kemampuan adsorpsi mereka yang tinggi karena luas permukaannya yang tinggi, mempunyai struktur mikropori, dan reaktivitas permukaan

yang sangat tinggi. Oleh karena itu, bahan ini secara luas digunakan untuk pemurnian berbagai macam produk kimia, menghilangkan warna, menghilangkan bau, menghilangkan klorin, pemisahan senyawa-senyawa berbahaya dari gas dan larutan, dan lain-lain [5]. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif [14].

III. METODOLOGI

A. Rancang Bangun Tungku Pembakaran dengan Penambahan Adsorben

Tahap pertama dari penelitian ini adalah mendesain dan merancang tungku pembakaran plastik sebagai bahan bakar pemasakan tahu dengan penambahan adsorben. Prinsip kerja dari rancangan ini adalah asap hasil pembakaran sampah yang digunakan sebagai bahan bakar proses pemasakan tahu akan melewati tray-tray adsorben yang dipasang pada cerobong asap.

Asap yang dihasilkan dari proses pembakaran tidak tersalurkan dengan baik dikarenakan cerobong asap hanya mengalirkan sebagian dan sisa asap yang tidak keluar dari cerobong masih terakumulasi di ruangan dalam waktu yang cukup lama. Sehingga diperlukan sebuah solusi untuk menangkap asap tersebut agar asap dapat sepenuhnya melewati cerobong asap dengan penambahan kipas mekanis atau exhaust fan yang digunakan untuk menyedot dan juga mengalirkan asap agar melewati cerobong asap sehingga diharapkan tidak terdapat asap yang keluar dari pembakaran.

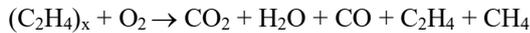
B. Penentuan Zat yang Teradsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa menempelnya atom atau molekul suatu zat pada permukaan zat lain karena

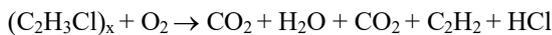
ketidakseimbangan gaya pada permukaan. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben [14]. Pemilihan adsorben tergantung pada kandungan yang akan di adsorpsi. Pada pembakaran plastik yang tidak sempurna didapatkan persamaan sebagai berikut:



Pada reaksi pembakaran plastik dengan tidak sempurna di atas menghasilkan CO_2 dan CO . Hasil samping pembakaran plastik sendiri berbeda-beda tergantung jenis plastik yang dibakar. Pada proses pembakaran ini digunakan 30 kg sampah plastik dengan komposisi 15 kg PVC dan 15 kg PE. Dimana pembakaran plastik jenis PE menghasilkan reaksi pembakaran sebagai berikut:



Pada reaksi pembakaran PE yang tidak sempurna menghasilkan hasil samping lain berupa C_2H_4 dan CH_4 sementara pada pembakaran PVC menghasilkan hasil samping lain berupa C_2H_2 dan HCl dengan reaksi pembakaran sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi pembakaran di atas maka zat yang akan diadsorpsi adalah CO , CO_2 , C_2H_4 , CH_4 , C_2H_2 , dan HCl .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Cerobong Asap

Cerobong asap yang ada pada Gambar 3 didesain dengan mempertimbangkan aspek pengendalian pencemaran udara yang didasarkan pada lokasi dan tinggi cerobong. Pertimbangan kondisi meteorologis merupakan salah satu pertimbangan untuk mendapatkan lokasi dan tinggi cerobong yang tepat, dimana dengan perhitungan pencemaran udara akan dapat menentukan dispersi udara, dari cerobong terhadap kondisi udara sekitarnya. Tinggi cerobong asap ditentukan berdasarkan tinggi cerobong dari pabrik tahu Desa Tropodo yakni 3 m.

Bahan yang digunakan dari cerobong ini menggunakan baja tahan karat yang dapat menahan suhu tinggi yang dihasilkan oleh proses pembakaran dalam pabrik. Begitu juga memiliki kekuatan mekanis yang baik, sehingga dapat menahan beban dan tekanan yang terjadi.

Spesifikasi cerobong yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Jumlah tray pada cerobong ditentukan dengan membagi volume cerobong dengan luas tray yang digunakan. Dari perhitungan tersebut didapatkan jumlah tray yang diperlukan sebanyak 3 tray. Jumlah tray dalam sistem adsorpsi dapat berpengaruh pada efisiensi proses adsorpsi. Dimana semakin banyak tray yang digunakan, maka semakin besar luas permukaan spesifik yang tersedia untuk adsorpsi. Hal ini dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi suatu adsorben [12]. Jumlah tray dalam sistem adsorpsi dapat mempengaruhi laju aliran udara yang melewati media adsorben. Semakin banyak tray yang digunakan, maka semakin lambat laju aliran udara yang melewati media adsorben. Hal ini dapat meningkatkan waktu kontak antara udara dan media adsorben, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses adsorpsi. Bahan tray yang digunakan ini berupa logam,

terutama baja tahan karat, karena sering digunakan dalam lingkungan yang memerlukan ketahanan terhadap korosi, dan kekuatan mekanik.[13]

B. Zat yang Teradsorpsi dan Massa Adsorben

Asap yang melewati adsorben merupakan hasil pembakaran sampah plastik yang tidak sempurna seperti pada reaksi pembakaran plastik jenis PE dan pembakaran PVC yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pembakaran yang tidak sempurna ini diakibatkan dari suhu pembakaran plastik yang tidak sesuai dimana suhu eksisting sebesar $537,7^\circ\text{C}$ dan suhu yang diperlukan agar pembakaran plastik menghasilkan reaksi yang sempurna sebesar 600°C . Berdasarkan reaksi tersebut didapatkan hasil perhitungan zat yang keluar dari pembakaran menggunakan neraca massa seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Sehingga total zat yang harus diadsorpsi adalah Berdasarkan hasil Tabel 2 dan Tabel 3, ditentukan massa adsorben yang digunakan. Untuk menentukan massa adsorben menggunakan rumus sebagai berikut:

$$m = \frac{(C_o - C_i)}{q} \times V$$

Keterangan:

m = massa adsorben (g)

C_o = konsentrasi awal (mg/L)

C_i = konsentrasi akhir (mg/L)

V = volume gas (L)

q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

Didapatkan massa adsorben perkomponen yang dapat dilihat pada Tabel 4

Kapasitas adsorpsi karbon aktif adalah 38 mg/g [16]. Sehingga didapatkan total massa adsorben yang diperlukan adalah 2.745,84 g/jam. Waktu produksi tahu dalam satu hari dilakukan dari jam 0 hingga jam 13.00 sehingga jumlah adsorben yang dibutuhkan dalam satu hari pengolahan adalah 35,69 kg dimana tiap tray membutuhkan 11,89 kg.

C. Analisa Keuangan

Produksi tahu yang dikeluarkan oleh pabrik tahu desa Tropodo dalam sebulan sebulan dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan biaya produksi tahu di Desa Tropodo dalam 1 bulan produksi sebesar 57.760.000. Analisa keuangan juga dihitung berdasarkan jumlah massa karbon aktif yang dibutuhkan. Dalam satu hari pengolahan, karbon aktif yang dibutuhkan sebanyak 35,2 kg. Masa pakai karbon aktif berkisar di 6 sampai 12 bulan. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk modifikasi corong pembakaran dalam setahun dapat dilihat pada Tabel 6.

Diperoleh biaya untuk alat yang dibutuhkan untuk mengoptimasi gas buang sebesar Rp 3.297.780. Dari biaya tersebut dengan biaya produksi tahu sebesar 57.760.000 dengan adanya penambahan adsorben karbon aktif sebesar 2.700.000 biaya produksi tahu Desa Tropodo selama sebulan sebesar Rp. 60.460.000.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh melalui neraca massa jumlah gas buang yang dihasilkan dalam 1 jam proses produksi menggunakan 50 kg plastik adalah 105 kg/jam yang mengandung senyawa berbahaya seperti CO , CO_2 , C_2H_4 dan

CH₄. Untuk mengadsorpsi senyawa tersebut jumlah beban adsorben atau massa adsorben yang dibutuhkan adalah 2.745,63 g/jam karbon aktif dari jam 0 hingga jam 13.00 sehingga kebutuhan adsorben yang diperlukan dalam satu hari pengolahan adalah 35,69 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Virdausya, M. Balaffif, and N. Imamah, "Dampak eksternalitas industri tahu terhadap pendapatan desa tropodo kecamatan krian kabupaten sidoarjo," *Bharanomics*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] I. N. Sasputra, S. M. J. Koamesah, and S. D. T. Rante, "Pengaruh paparan asap bakaran sampah plastik terhadap gambaran sel-sel inflamasi dan gambaran histopatologi paru mencit," *Cendana Med. J.*, vol. 20, no. 2, 2020.
- [3] S. Putro and S. Sumarwan, "Pengembangan teknologi tungku pembakaran menggunakan air heater bersirip," *Media Mesin*, vol. 14, no. 2, 2013.
- [4] S. Napid, R. S. Budi, and E. Susanto, "Pembakaran sampah anorganik menimbulkan dampak positif dengan perolehan asap cair bagi masyarakat lingkungan IX Kecamatan Amplas," *J. Pengabd. Mitra Masy.*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [5] Ismadji *et al.*, *Adsorpsi Pada Fase Cair: Kestimbangan, Kinetika Dan Termodinamika*. Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala, 2021, ISBN: 978-623-94007-6-7.
- [6] Aldrin, K. Juniansyah, and M. Anggara, "Analisa penggunaan exhaust fan pada cerobong asap dalam meningkatkan efisiensi mesin penyangrai biji kopi," *J. Flywheel*, vol. 14, no. 1, 2023.
- [7] D. Agusta, *Uji Adsorpsi Gas CO pada Asap Kebakaran dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂*. Depok: Departemen Teknik Kimia. Universitas Indonesia, 2012.
- [8] F. N. Widjayanti, "Analisis keuntungan dan kelayakan usaha produksi tahu di desa tamanan kecamatan tamanan kabupaten bondowoso," *J. Ilmu Pertan. dan Peternak.*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [9] R. C. Abdian and E. S. Hermawan, "Perkembangan industri tahu di desa tropodo kecamatan krian kabupaten sidoarjo tahun 1970-2000," *Avatara*, vol. 10, no. 3, 2021.
- [10] B. R. T. Simoneit, P. M. Medeiros, and B. M. Didyk, "Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere," *Env. Sci Technol.*, vol. 39, no. 18, 2005.
- [11] R. Verma, K. S. Vinoda, M. Papireddy, and A. N. S. Gowda, "Toxic pollutants from plastic waste," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 35, 2016.
- [12] W. Astuti and B. Kurniawan, "Adsorpsi Pb²⁺ dalam limbah cair artifisial menggunakan sistem adsorpsi kolom dengan bahan isian abu layang batubara serbuk dan granular," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [13] C. A. Maghfirana, *Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong Terhadap Logam Timbal (Pb) Menggunakan Sistem Kontinyu*. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan Universitas. Islam Negeri Sunan Ampel, 2019.
- [14] U. M. Anggriani, A. Hasan, and I. Purnamasari, "Kinetika adsorpsi karbon aktif dalam penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb)," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 2, 2021.
- [15] G. K. P. Lopes, H. G. Zanella, L. Spessato, A. Ronix, and P. Viero, "Steam-activated carbon from malt bagasse: optimization of preparation conditions and adsorption studies of sunset yellow food dye," *Arab. J. Chem.*, vol. 14, no. 3, 2021.
- [16] H. Susanto, W. Wijaya, and I. N. Widiyasa, "Modifikasi karbon aktif sebagai adsorben untuk pemurnian biogas," *Teknik*, vol. 1, 34AD.