

**STUDI RETROFIT PRODUKSI KAPUR TOHOR SKALA
MENENGAH UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
PENGUNAAN BAHAN BAKAR DAN MENGURANGI
PENCEMARAN UDARA (STUDI KASUS: INDUSTRI KAPUR
TOHOR PADALARANG)**

**RETROFIT STUDY OF MEDIUM SCALE QUICKLIME
PRODUCTION FOR INCREASING FUEL USAGE EFFICIENCY
AND REDUCING AIR POLLUTION (CASE STUDY:
PADALARANG QUICKLIME INDUSTRY)**

¹Muhammad Muhsin dan ²Haryo Satrio Tomo

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

*¹muhammad_muhsin@students.itb.ac.id.com dan ²haryo@tl.itb.ac.id

Abstrak: Proses produksi pada pabrik-pabrik industri kapur tohor di Padalarang mayoritas masih menggunakan teknologi tradisional. Teknologi tradisional ini menggunakan metode pembakaran open burning tanpa dilengkapi dengan alat pengendali pencemaran udara yang memadai. Pabrik X merupakan salah satu industri kapur tohor di Padalarang. Proses produksi kapur tohor di Pabrik X menggunakan teknologi tradisional berupa tungku tegak dengan metode pembakaran open burning serta bahan bakar berupa limbah industri tekstil dan sepatu—RDF. Studi menunjukkan bahwa pembakaran seperti ini menyebabkan tingginya angka kebutuhan bahan bakar, lamanya proses produksi dan menghasilkan emisi gas buang yang sangat besar jumlahnya dalam satu siklus proses produksi. Guna mengatasi dampak negatif tersebut diperlukan upaya untuk membuat proses pembakaran yang terjadi merupakan pembakaran sempurna. Upaya tersebut dapat berupa modifikasi proses produksi. Opsi modifikasi proses produksi agar tidak terjadi pembakaran tidak sempurna ada dua. Pertama, penambahan fan dan recuperator. Kedua, penggunaan boiler dalam sistem proses produksi. Dengan penerapan salah satu dari kedua modifikasi proses ini energi yang digunakan menjadi lebih efisien, bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit serta penurunan kualitas dan kuantitas emisi gas buang yang dihasilkan dari proses produksi. Kekurangan dari opsi 1 adalah sulitnya mengontrol proses pembakaran dan peningkatan biaya operasional produksi—penggunaan listrik. Sedangkan kekurangan dari opsi 2 adalah kebutuhan sumber daya manusia yang terampil dan disiplin dalam operasional produksi, tingginya biaya investasi konstruksi serta adanya biaya operasional tambahan—berupa penggunaan listrik, pembelian air boiler setiap jangka waktu tertentu, dan pembelian bahan bakar tambahan berupa gas atau cair.

Kata kunci: Kapur tohor, Padalarang, polusi udara, Refuse Derived Fuel (RDF), tungku tegak.

Abstract : Mostly, quicklime production process in industrial plants at Padalarang still use traditional technology. They use open burning method without adequate air pollution control device installation. Plant X is one of them. It uses a vertical kiln with open burning fire method and fuel from the waste of textile and shoes industry—RDF. This study show that this method cause high rates of fuel needs, long duration of process, and huge exhaust emission. So, it is necessary to change the combustion process happened to be the complete combustion process. The way to change it can be a modification of production process. There are two ways of modification process proposed. First is the addition of fan and recuperator. Second is the use of steam in the production process systems. Application of one of these ways will make the complete combustion in procees production so that the process production will more efficient in the usage of energy, fewer in the need of fuel and lower in the exhaust emission. Otherwise, there are two disadvantages of the first way. They are the difficulty of controlling the combustion process

happened in kiln and the increasing of operational cost—the use of electricity. While in the second way, it will need for skilled and disciplined human resources for operational, the high cost investment for construction.

Key words: *air pollution, Padalarang, quicklime, Refuse Derived Fuel (RDF), vertical kiln. air pollution, Padalarang, quicklime, Refuse Derived Fuel (RDF), vertical kiln.*

PENDAHULUAN

Dewasa ini, Padalarang terkenal sebagai salah satu daerah penghasil batu kapur terbesar di Indonesia. Tak heran ada banyak pertambangan batu kapur serta industri pengolahannya di daerah ini. Mulai dari industri batu marmer, industri kapur tohor (CaO) hingga industri kapur padam (Ca(OH)₂).

Seiring pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan serta penambahan penduduk dewasa ini, kebutuhan akan batu kapur juga semakin meningkat. Batu kapur dengan beragam produk olahannya menjadi salah satu hal penting dalam proses pembangunan dan berbagai proses industri, seperti proses pembuatan sabun, odol, kosmetik, pupuk, penjernihan air di PDAM, dan sebagainya. Peningkatan kebutuhan akan batu kapur ini menjadikan Padalarang sebagai daerah yang sibuk. Sibuk menambang dan mengolah batu kapur menjadi beragam produk.

Salah satu produk dari pengolahan batu kapur adalah kapur tohor (CaO). Kapur tohor—quicklime—merupakan hasil proses kalsinasi batu kapur. Proses kalsinasi ini membutuhkan panas yang besar. Pada kebanyakan industri kapur tohor di daerah Padalarang kebutuhan akan panas ini disuplai melalui kegiatan pembakaran (combustion). Kegiatan ini merupakan kegiatan utama pada industri kapur tohor.

Kegiatan pembakaran pada pabrik-pabrik industri kapur tohor di Padalarang mayoritas masih menggunakan teknologi tradisional. Teknologi tradisional ini menggunakan metode pembakaran open burning tanpa dilengkapi dengan alat pengendali pencemaran udara. Salah satu pabrik tersebut adalah pabrik industri kapur tohor milik PT X—selanjutnya akan disebut Pabrik X. Pabrik kapur tohor X adalah salah satu pabrik kapur tohor yang berada di wilayah Cipatat Padalarang. Lokasi pabrik berdekatan dengan wilayah Cagar Alam Geologi Gua Pawon dan pemukiman penduduk, yaitu Dusun Girimulya dan Desa Gunung Masigit.

Seperti kebanyakan pabrik di daerah ini, pabrik X menggunakan tungku tegak dengan proses pembakaran secara open burning tanpa dilengkapi alat pengendalian pencemaran udara. Bahan bakar yang dipakai oleh pabrik X adalah barang-barang limbah industri tekstil dan sepatu. Bahan bakar ini tergolong dalam jenis Refuse Derived Fuel (RDF).

Paper ini merupakan studi kasus proses produksi kapur tohor yang dilakukan oleh pabrik X. Tujuan dari paper ini adalah untuk menganalisa kebutuhan dan kehilangan panas yang terjadi pada proses produksi kapur tohor saat ini dan mengusulkan sistem proses produksi baru yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dan mengurangi pencemaran udara. Studi dalam paper ini sebatas paparan mengenai landasan teori proses produksi kapur tohor, proses produksi kapur tohor yang dilakukan oleh pabrik X, analisa neraca massa dan potensial waste, kebutuhan dan kehilangan panas pada proses produksi saat ini, serta usulan proses produksi kapur tohor yang dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi pencemaran udara. Usulan modifikasi proses yang ditampilkan dalam paper ini dihitung berdasarkan kuantitas dan kualitas dari bahan baku yang masuk dan produk yang dihasilkan saat ini. Adapun bahan bakar yang digunakan dalam usulan proses modifikasi disesuaikan dengan jenis bahan bakar yang digunakan saat ini. Jadi, usulan modifikasi hanya sebatas pada proses produksi saja, baik berupa penambahan alat maupun perubahan sistem kalsinasi batu kapur.

METODOLOGI

Data yang dikumpulkan dalam studi ini antara lain neraca massa dari proses produksi, kebutuhan panas, serta potensial panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Data-data

tersebut didapat melalui pengamatan di lapangan, wawancara, studi literatur serta uji laboratorium terhadap bahan bakar yang digunakan.

Neraca massa diperoleh melalui wawancara. Data yang dikumpulkan dalam wawancara ini meliputi kapasitas produksi, kebutuhan bahan baku dan bahan bakar, kualitas produk, berat abu hasil pembakaran, serta lama waktu pembakaran. Dari data-data tersebut dapat diketahui seberapa besar emisi udara yang timbul dari proses produksi terutama dari proses pembakaran.

Kebutuhan panas diketahui dengan melalui studi literatur ditambah data hasil wawancara dan pengamatan di lapangan. Kebutuhan panas dalam satu siklus proses produksi didapat dengan menggunakan persamaan (1) berikut ini.

$$Q = \Delta H_{\text{dekomposisi CaCO}_3} \times \text{massa}_{\text{CaCO}_3} \quad (1)$$

Entalpi dekomposisi batu kapur di dapat dari studi literatur dan massa batu kapur yang mengalami dekomposisi didapat dari neraca massa. Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar diketahui dari uji laboratorium. Sampel yang beragam dicampur menjadi satu jenis sampel kemudian diuji dengan alat bom kalorimeter untuk mengetahui harga kalor jenis dari campuran bahan bakar tersebut. Potensial panas yang dapat dihasilkan bahan bakar dihitung melalui **persamaan (2)** berikut ini.

$$Q = \text{massa}_{\text{bahan bakar}} \times C_{p\text{bahan bakar}} \quad (2)$$

Selanjutnya, bahan bakar yang dibutuhkan, berapa besar panas yang hilang, emisi udara yang dihasilkan, dan seberapa lama waktu yang dihabiskan untuk satu siklus proses produksi dihitung menggunakan data-data di atas. Parameter-parameter tersebut dijadikan dasar dalam menyimpulkan bagaimana kinerja dari proses produksi. Hal ini juga menjadi dasar perhitungan modifikasi proses produksi yang diusulkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Produksi Kapur Tohor

Proses pembuatan kapur tohor (CaO) dari batu kapur (CaCO₃) merupakan proses yang simpel dan sederhana, namun perlu mengerti dan memahami dasar-dasar proses kimia terutama dalam proses kalsinasi batu kapur menjadi kapur tohor yang meliputi neraca bahan maupun neraca panas (Herianto, 2003). Persamaan (3) menunjukkan reaksi kimia yang terjadi dalam proses kalsinasi batu kapur menjadi kapur tohor adalah sebagai berikut (Lin, 2011).



Persamaan (3) merupakan reaksi endotermik yang membutuhkan panas agar reaksi berlangsung.

Proses produksi kapur tohor membutuhkan panas yang cukup. Tujuannya adalah agar terjadi pemanasan batu kapur hingga suhu dimana ia terdekomposisi menjadi kapur tohor. Hasil penelitian Andrej Senegačnik et al. (2007) menunjukkan bahwa proses kalsinasi tersebut berlangsung pada suhu 820°C dan 830°C. Moropoulou et al. (2001) juga menyebutkan bahwa agar menghasilkan kapur tohor dengan reaktivitas yang baik dibutuhkan temperatur optimum kalsinasi sebesar 900°C. Oates (1998) juga menyebutkan bahwa kebutuhan panas minimum dalam proses produksi kapur tohor adalah 1175 kcal/kg CaO.

Kebutuhan panas tersebut dipenuhi melalui mekanisme pembakaran. Pembakaran batu kapur biasa dilakukan dalam tungku. Jenis tungku produksi kapur tohor ada beberapa jenis, yakni tungku putar, tungku tegak dan tungku bentuk lain-lain (Beach, 2000). Dalam kasus ini, pabrik X menggunakan tungku tegak. Penggunaan tungku tegak memungkinkan untuk mendapatkan kapur tohor dengan beragam kualitas, seperti reaktivitas produk (Senegačnik, 2007).

Pada proses pembakaran terjadi produksi panas yang disebabkan oleh adanya reaksi oksidasi pada bahan bakar. Proses pembakaran tak sempurna menghasilkan panas yang lebih rendah dibanding pembakaran sempurna. Hal ini disebabkan pada pembakaran tidak sempurna rantai hidrokarbon dari bahan bakar tidak terdegradasi secara sempurna menjadi CO₂. Sebagian masih ada yang berbentuk rantai panjang dan terbang bersama emisi dalam bentuk partikulat atau jelaga. Akibatnya, potensial panas yang terkandung dalam bahan bakar tidak dapat dihasilkan seluruhnya sehingga panas yang dihasilkan menjadi lebih kecil.

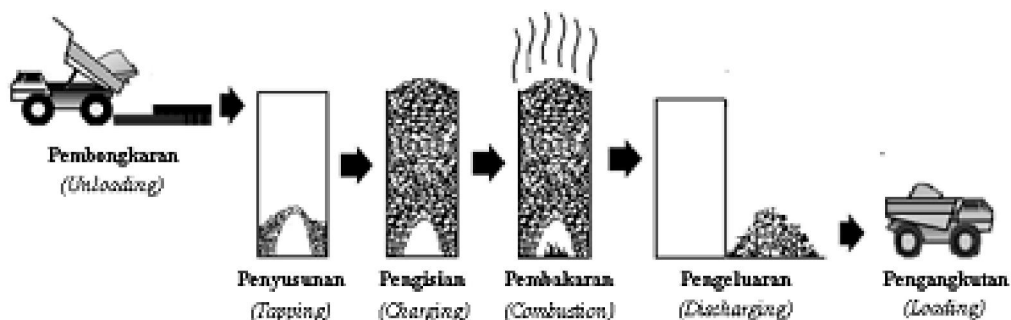
Di samping itu, proses pembakaran tidak sempurna—seperti pembakaran secara open burning—menimbulkan emisi yang lebih banyak dibanding emisi yang ditimbulkan dari pembakaran sempurna—seperti pembakaran dalam ruang bakar multiple chamber. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan faktor emisi pembakaran secara open burning dan pembakaran dalam multiple chamber yang tertera dalam tabel 1. Dari tabel terlihat bahwa pada parameter CO terdapat perbedaan yang sangat signifikan. Hal ini diakibatkan oleh proses pembakaran tidak sempurna yang terjadi pada pembakaran secara *open burning*.

Tabel 1 Perbandingan faktor emisi dari kedua metode pembakaran. (REA, 1978)

Parameter	Faktor Emisi (lb/ton)	
	<i>Open burning</i>	<i>Multiple Chamber</i>
Aldehid	0,1	0,3
CO	85	1
C _x H _y	5	0,3
NO _x	11	2
Asam organik	15	0,6
Partikulat	16	17

Deskripsi Proses

Bahan baku yang digunakan dalam proses produksi kapur tohor adalah batu kapur yang berasal dari Gunung Bancana, Cipatat Padalarang. Bahan baku berupa bongkahan dengan diameter sekitar 150 mm. Bahan baku kemudian melalui beberapa tahap produksi di pabrik X. Tahap-tahap produksi yang dimaksud di atas antara lain: tahap unloading, tapping, charging, combustion, discharging dan loading. Ilustrasi dari tahap-tahap ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi alur proses produksi kapur tohor.

Tahap unloading merupakan tahap dimana batu kapur yang berada di dalam truk pengangkut diletakkan ke dekat tungku pembakaran. Setelah diletakkan, beberapa batu kapur disusun di dasar tungku menjadi pondasi bagi tumpukan batu kapur lainnya dan membentuk sebuah ruangan seperempat lingkaran yang nantinya akan digunakan sebagai tempat bahan bakar. Tahap ini disebut tahap tapping. Selanjutnya adalah tahap charging

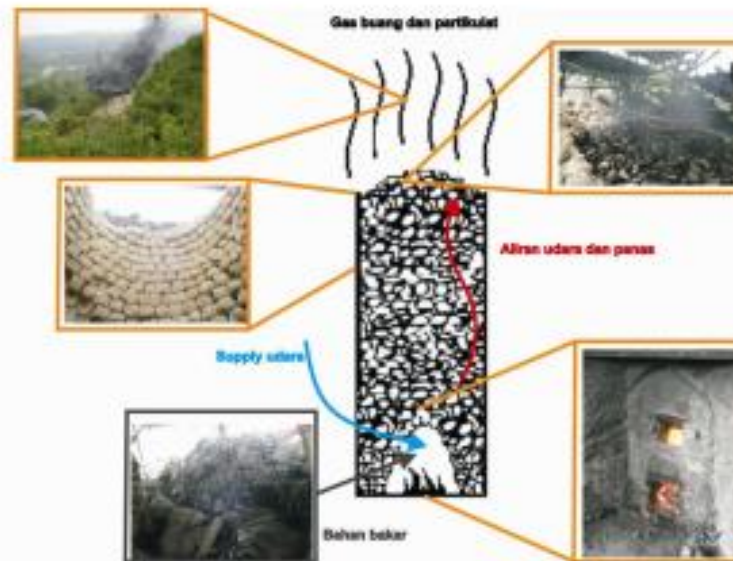
dimana batu kapur diisikan ke dalam tungku pembakaran hingga penuh. Pada saat ini pula bahan bakar ditumpukkan di bagian dasar tungku.

Tahap berikutnya adalah tahap pembakaran (combustion). Pembakaran yang dilakukan di Pabrik X ini merupakan pembakaran secara open burning. Pada tahap ini batu kapur dibakar selama 3 hari sampai 4 hari tanpa henti. Selama beberapa hari tersebut, bahan bakar secara terus menerus disuplai ke dalam tungku pembakaran untuk menjaga api pembakaran tetap menyala.

Bahan bakar yang digunakan adalah limbah industri tekstil dan sepatu dari Tangerang. Hasil dari kegiatan pembakaran ini adalah kapur tohor dengan kadar 70% hingga 80%, emisi udara dan abu pembakaran pada bagian dasar tungku. Abu hasil pembakaran ini selama tahap pembakaran secara periodik dikeluarkan dan dibuang.

Di tungku pembakaran terjadi proses pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran ini terjadi karena adanya suplai bahan bakar dan udara secara terus menerus dari jendela yang ada pada pintu di bagian dasar tungku. Selain untuk suplai bahan bakar dan udara, jendela ini juga berfungsi untuk mengeluarkan abu hasil pembakaran bahan bakar. Aliran udara dan panas akibat proses pembakaran mengalir melalui sela-sela batu kapur dan memanaskannya sehingga terjadi reaksi dekomposisi batu kapur. Aliran gas buang tersebut selanjutnya membumbung ke langit sebagai polutan yang mencemari udara sekitar. Ilustrasi yang menunjukkan proses yang terjadi di tungku pembakaran terlihat pada gambar 2.

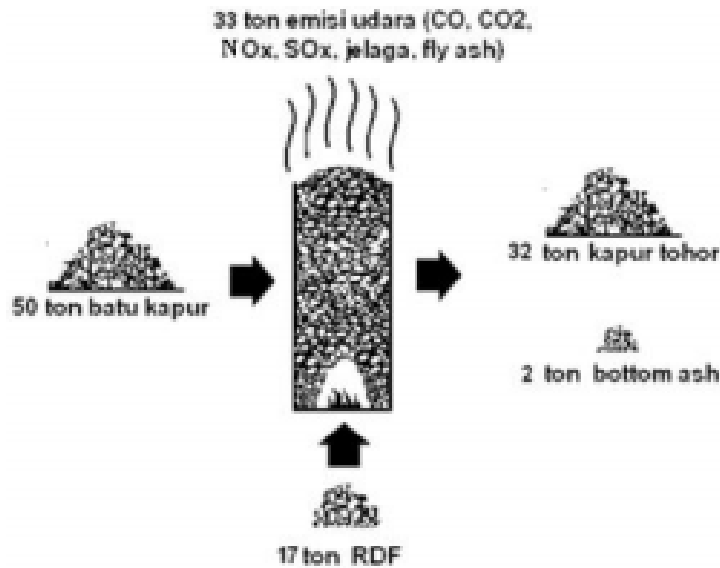
Satu hari setelah tahap pembakaran selesai, kapur tohor hasil pembakaran dikeluarkan dari dasar tungku pembakaran. Tahap ini disebut tahap discharging. Selanjutnya adalah tahap loading, tahap dimana kapur tohor yang telah dikeluarkan tersebut dinaikkan ke dalam truk untuk selanjutnya dikirimkan kepada konsumen.



Gambar 2 Ilustrasi fenomena yang terjadi saat proses pembakaran di Pabrik X

Neraca Massa, Potensial waste dan Kebutuhan Energi

Neraca massa dari proses produksi saat ini terdapat pada gambar 3. Neraca massa ini merupakan neraca massa selama 1 siklus proses produksi kapur tohor selama 3 hari-4 hari. Dari data ini dapat dilihat bahwa emisi udara yang dihasilkan dalam rentang waktu tersebut sangat besar. Data potensial waste yang dihasilkan dari proses produksi terlampir dalam tabel 2.



Gambar 3 Neraca massa proses produksi kapur tohor di Pabrik X saat ini

Tabel 2 Potensial waste dari tiap tahapan produksi.

Kegiatan Produksi	Potensial waste	Bentuk	Intensitas	Dampak ke Lingkungan
Unloading	debu CaCO ₃	partikulat	kecil	pencemaran udara
Tapping	-	-	-	-
Charging	debu CaCO ₃	partikulat	kecil	pencemaran udara
Combustion	heat waste	energi	besar	pencemaran udara
	CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , HCl, jelaga, fly ash	gas dan partikulat	sangat besar	pencemaran udara
	bottom ash	padat	sedang	pencemaran air tanah
Discharging	debu CaO, CaSO ₄ , CaCO ₃	partikulat	kecil	pencemaran udara
Loading	debu CaO, CaSO ₄ , CaCO ₃	partikulat	kecil	pencemaran udara

Energi yang dibutuhkan dalam proses produksi kapur tohor ini adalah sebesar 116 juta kJ. Sedangkan potensial panas yang dapat dihasilkan oleh bahan bakar adalah 22 ribu kJ per kg bahan bakar. Bila pembakaran dapat berjalan sempurna maka kebutuhan bahan bakar hanya sekitar 5,3 ton bahan bakar. Sedangkan saat ini, kebutuhan bahan bakar adalah 17 ton. Hal ini mengindikasikan kehilangan panas dalam proses produksi. Panas yang hilang dalam proses produksi adalah sebesar 255 juta kJ.

Kehilangan panas ini disebabkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini juga ditandai oleh munculnya jelaga pada gas buang. Beberapa faktor yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna yakni: suhu pembakaran yang tidak mencukupi, waktu pembakaran yang terlalu singkat, suplai udara kurang dan distribusi udara dengan bahan bakar saat pembakaran yang tidak merata. Agar proses pembakaran menjadi sempurna proses produksi yang ada harus dimodifikasi. Keuntungan proses pembakaran sempurna dalam proses produksi kapur tohor terlihat dari perbandingan kedua jenis proses pembakaran pada tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan proses pembakaran sempurna dan proses pembakaran tak sempurna.

	Pembakaran Tak Sempurna	Pembakaran Sempurna
Kebutuhan RDF (kg)	17.000	5.300
Potensial kalor (kJ)	370.840.805	116.138.848
Kalor yang dipakai (kJ)	116.138.848	116.138.848
Kehilangan panas (kJ)	254.701.957	0
Emisi udara (ton)	33	21
Lama proses (jam)	±72	±26 ¹

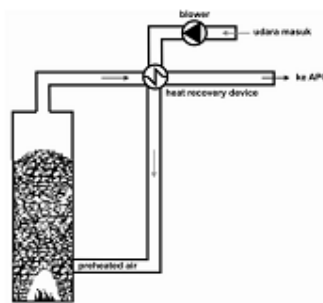
¹Oates, 1998

Modifikasi Proses Produksi

Agar proses pembakaran dapat berlangsung sempurna, ada dua opsi modifikasi proses yang dapat dilakukan. Opsi pertama adalah dengan menambahkan fan dan recuperator. Opsi kedua adalah penggunaan boiler yang berarti menggunakan steam sebagai penuplai kebutuhan panas dalam proses produksi.

Instalasi Fan dan Recuperator

Opsi pertama, penambahan fan dan recuperator, diusulkan karena dua alasan. Pertama, proses pembakaran saat ini tidak sempurna. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kurangnya suplai udara yang masuk dalam proses produksi. Kedua, tingginya nilai panas yang terbuang dari dalam tungku melalui emisi udara. Agar dua hal tersebut dapat diatasi maka diusulkanlah opsi pertama ini. Skema alur proses dari modifikasi proses opsi pertama diperlihatkan oleh gambar 4



Gambar 4 Alur proses pada modifikasi proses opsi 1.

Penambahan fan merupakan solusi untuk alasan pertama. Dengan penambahan ini, suplai udara (oksigen) yang dibutuhkan untuk proses pembakaran dalam tungku menjadi terpenuhi. Oleh karena itu, penambahan ini akan menjadikan pembakaran bahan bakar sempurna.

Berdasarkan pendekatan dulong, bahan bakar dengan kalor jenis sebesar 21.814 kJ/kg (9.387,34 Btu/lb) apabila dibakar membutuhkan udara sebanyak 6,33 lb/lb bahan bakar supaya terjadi pembakaran sempurna. Data pendekatan dulong secara detail tercantum pada tabel 4. Bila bahan bakar yang dibakar sejumlah 5,3 ton dibakar dalam waktu 26 jam maka akan dibutuhkan suplai udara sekitar 0,66 m³/s. Jadi, penambahan fan yang dibutuhkan adalah fan yang dapat mensuplai udara sekitar 0,66 m³/s.

Namun, penambahan fan ini menimbulkan masalah baru yakni turunnya suhu dalam tungku. Hal ini merupakan akibat penambahan udara sekunder melalui fan yang suhunya relatif sama dengan udara di lingkungan sekitar, yakni 25oC. Dampaknya adalah peningkatan konsumsi bahan bakar dan penurunan efisiensi kerja tungku. Guna menanggulangi hal tersebut, udara yang masuk melalui fan ke dalam tungku perlu terlebih dahulu dipanaskan agar tidak menurunkan suhu dalam tungku secara signifikan. Salah satu caranya adalah dengan memasang recuperator.

Recuperator memiliki mekanisme transfer panas yang baik. Aplikasi recuperator dapat mengurangi kebutuhan rasio udara berlebih dari proses pembakaran. Ia juga dapat mengurangi masalah kehilangan panas dari emisi udara yang lepas ke atmosfer. Melalui recuperator, panas yang terkandung dalam emisi digunakan untuk memanaskan udara berlebih yang masuk. Akibatnya, udara yang masuk tetap menjaga suhu di dalam tungku berada pada kisaran dimana pembakaran sempurna terjadi. Hal ini juga mengurangi konsumsi energi dari sistem pembakaran di dalam tungku. Bila pada awalnya panas yang dihasilkan bahan bakar digunakan terlebih dahulu untuk memanaskan udara maka dengan penambahan recuperator sejumlah panas tersebut dapat langsung digunakan untuk memanaskan batu kapur. Dampak positifnya adalah penghematan penggunaan bahan bakar dalam proses produksi. Hal ini didukung oleh penelitian Andrej Senegačnik et al. (2008) yang menunjukkan bahwa penerapan recuperator ini dapat menghemat 4.6% bahan bakar.

Tabel 4 Pendekatan Dulong untuk mengetahui karakteristik RDF. (Brunner, 1994)

Q (Btu/lb)	C fraction	H ₂ fraction	O ₂ fraction	O ₂ Required (lb)	Air Required (lb)	CO ₂ out (lb)	N ₂ out (lb)	Dry gas (lb/100lb)	H ₂ O (lb)	H ₂ O (lb/100lb)
2.000	0.052	0.11	0.798	0.32	1.37	0.34	1.05	6.95	0.98	4.9
4.000	0.159	0.118	0.723	0.63	2.74	0.58	2.11	6.73	1.05	2.63
6.000	0.225	0.125	0.65	0.94	4.05	0.82	3.11	6.55	1.12	1.67
8.000	0.292	0.132	0.576	1.25	5.38	1.07	4.13	6.5	1.18	1.48
9.387,34	0.338	0.138	0.524	1.47	6.33	1.24	4.87	6.5	1.23	1.32
10.000	0.359	0.14	0.501	1.56	6.75	1.31	5.19	6.5	1.25	1.25
12.000	0.425	0.147	0.428	1.87	8.06	1.56	6.19	6.46	1.31	1.09
14.000	0.492	0.155	0.353	2.18	9.43	1.8	7.25	6.46	1.38	0.99
16.000	0.558	0.162	0.28	2.49	10.74	2.04	8.25	6.43	1.45	0.91
18.000	0.625	0.169	0.206	2.79	12.07	2.29	9.28	6.43	1.51	0.84
20.000	0.691	0.177	0.132	3.11	13.43	2.53	10.32	6.43	1.56	0.79
22.000	0.758	0.184	0.058	3.42	14.75	2.77	11.34	6.41	1.64	0.75

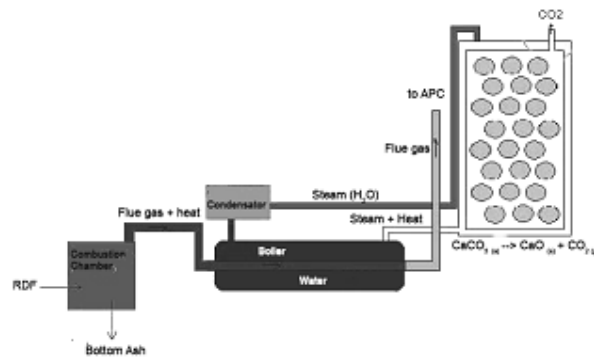
Dampak positif lain dari penambahan recuperator adalah reduksi emisi yang dihasilkan dari proses produksi. Gas buang dari proses produksi diperkirakan dapat mencapai suhu 500oC-800oC. Melalui recuperator, panas yang terkandung dalam gas buang dapat ditransfer ke udara yang masuk ke tungku. Hal ini akan memastikan pembakaran bahan bakar terjadi secara sempurna sehingga emisi udara yang timbul pun menurun, khususnya suhu emisi gas buang.

Opsi pertama yang ditawarkan ini diperkirakan dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi pencemaran udara. Khusus dalam hal pengurangan pencemaran udara, modifikasi proses produksi opsi pertama ini perlu didukung dengan penambahan alat pengendali pencemaran udara (APPU) agar pencemaran udara dapat berkurang hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan pemerintah.

Selain itu, usulan modifikasi proses opsi pertama ini juga memiliki dua kekurangan. Kekurangan pertama adalah proses pembakaran yang terjadi tetap merupakan open burning sehingga relatif sulit untuk dikontrol prosesnya. Kekurangan lainnya adalah biaya operasional produksi yang lebih besar—yakni, dalam penggunaan listrik—bila dibandingkan dengan proses produksi saat ini.

Penggunaan Boiler

Modifikasi proses opsi kedua adalah penggunaan boiler. Opsi ini diusulkan karena steam yang dihasilkan boiler merupakan penyimpan panas yang baik. Dengan menggunakan boiler diperkirakan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dapat terus dijaga. Hal ini memberi dampak positif berupa penghematan bahan bakar yang digunakan serta pengurangan pencemaran udara yang terjadi. Skema alur proses opsi 2 terlihat pada gambar 5.



Gambar 5 Skema alur proses produksi pada opsi 2.

Gambar 5 Skema alur proses produksi pada opsi 2.

Steam dipanaskan dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar. Pembakaran ini dilakukan di dalam ruang bakar multiple chamber. Di dalam ruang bakar multiple chamber ini terjadi dua kali pembakaran. Pembakaran pertama adalah pembakaran bahan bakar menjadi gas buang. Pembakaran kedua adalah pembakaran gas buang hasil pembakaran pertama dengan menambahkan bahan bakar tambahan yang berupa gas atau cair. Dengan adanya dua mekanisme pembakaran ini, pembakaran yang terjadi dipastikan merupakan pembakaran sempurna. Selain itu, gas buang yang dihasilkan pun memiliki suhu yang lebih tinggi sehingga dapat memanaskan steam lebih baik.

Dalam kasus ini diusulkan penggunaan superheated steam bertekanan 5 atm dan memiliki suhu 1200oC. Boiler didesain untuk memproduksi steam ini dengan laju sebesar 0.24kg/s. Boiler tersebut merupakan jenis water tube boiler dengan volume 0,96 m3. Boiler didesain dengan diameter 1 m dan panjang 1,25 m. Air di dalam boiler dipanaskan oleh gas buang yang mengalir melalui pipa yang dilewatkan ke dalam boiler sehingga menjadi steam. Steam tersebut kemudian keluar dari dalam boiler dan dialirkan ke jaket yang melapisi tungku.

Tungku yang digunakan merupakan tungku tertutup yang disertai dengan katup pelepas gas CO₂ yang mempertahankan tekanan di dalam tungku. Gas CO₂ merupakan salah satu hasil dari proses kalsinasi yang mana seiring berjalannya proses kalsinasi semakin bertambah banyak. Pertambahan gas CO₂ ini menaikkan tekanan di dalam tungku tertutup tersebut. Agar tekanan dalam tungku dapat dipertahankan dalam tekanan konstan, dalam kasus ini ditetapkan 5 atm, gas CO₂ tersebut akan dikeluarkan melalui katup ketika tekanan di dalam tungku mencapai 5 atm. Steam yang telah melalui jaket akan mengalami penurunan suhu. Turunnya suhu steam diakibatkan oleh transfer panas dari steam ke dalam tungku yang terjadi di sepanjang perjalanan steam di jaket.

Steam ini kemudian dialirkan kembali ke dalam boiler untuk dipanaskan kembali oleh gas hasil pembakaran bahan bakar. Hal ini terus berlanjut hingga proses kalsinasi selesai. Dengan sistem seperti ini diperkirakan proses produksi akan memakan waktu selama 26 jam.

Seperti pada modifikasi proses opsi pertama, modifikasi proses opsi dua ini juga membutuhkan penambahan APPU untuk mengurangi pencemaran udara agar dapat memenuhi baku mutu emisi udara. Selain itu, opsi dua ini juga memiliki beberapa kekurangan. Pertama, sistem operasional proses produksi memiliki potensi bahaya sehingga diperlukan pengoperasian yang baik sehingga dibutuhkan sumber daya manusia yang terampil dan disiplin untuk mengoperasikannya. Kedua, biaya investasi yang dibutuhkan untuk konstruksi sistem produksi cukup tinggi. Ketiga, adanya biaya operasional tambahan yang berupa penggunaan listrik, pembelian air boiler dan pembelian bahan bakar tambahan berupa gas atau cair.

KESIMPULAN

Proses pembakaran dalam proses produksi kapur tohor di Pabrik X merupakan pembakaran tak sempurna. Pembakaran seperti ini menjadikan tingginya angka kebutuhan bahan bakar, lamanya proses produksi dan menghasilkan emisi gas buang yang sangat besar jumlahnya dalam satu siklus proses produksi.

Opsi modifikasi proses produksi agar tidak terjadi pembakaran tidak sempurna ada dua. Pertama, penambahan fan dan recuperator. Kedua, penggunaan boiler dalam sistem proses produksi. Dengan penerapan salah satu dari kedua modifikasi proses ini energi yang digunakan menjadi lebih efisien, bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit serta penurunan kualitas dan kuantitas emisi gas buang yang dihasilkan dari proses produksi.

Kekurangan dari opsi 1 adalah sulitnya mengontrol proses pembakaran dan peningkatan biaya operasional produksi—penggunaan listrik. Sedangkan kekurangan dari opsi 2 adalah kebutuhan sumber daya manusia yang terampil dan disiplin dalam operasional produksi, tingginya biaya investasi konstruksi serta adanya biaya operasional tambahan—berupa penggunaan listrik, pembelian air boiler setiap jangka waktu tertentu, dan pembelian bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Beach, Rober H., A. M. Bullock, Katherine B. Heller, Jean L. Domanico, Mary K. Muth, Alan C. O'Connor, dan Richard B. Spooner. (2000). Final Report: Lime Production: Industry Profile. North Carolina: Research Triangle Institute Center for Economics Research.
- Brunner, Calvin R. (1994). Hazardous Waste Inceneration 2nd Edition. Singapura: McGraw-Hill, Inc.
- Herianto, Edi. (2003). Pengembangan Industri Kapur di Kalimantan Timur, Semiloka Nasional Metalurgi 2003, Jakarta.
- Lin, Shiyang, Takashi Kiga, Yin Wang, and Katsuhiko Nakayama. (2011). Energy Analysis of CaCO₃ Calcination with CO₂ Capture. Energy Procedia, 4: 356–361.
- Moropoulou, Antonio, Asteios Bakolas and Eleni Aggelakopoulou. (2001). The Effects of Limestone Characteristics and Calcination Temperature to The Reactivity of The Quicklime. Cement and Concrete Research, 31: 633-639.
- Oates, J.A.H. (1998). Lime and Limestone: Chemistry and Technology, and Production and Uses. Weinheim: Wiley-VCH.
- Research and Education Association. (1978). Modern Pollution Control Technology Volume 1 Air Pollution Control. New York: REA.
- Senegačnik, Andrej, Janez Oman dan Brane Širok. (2007). Analysis of Calcination Parameters and The Temperature Profile in An Annular Shaft Kiln. Part 1: Theoretical Survey. Applied Thermal Engineering, 27: 1467–1472.