

Studi Simulasi Menentukan Kondisi Ideal Furnace Untuk Proses Produksi Expanded Perlite dengan Menggunakan Software Metsim

Simulation Study Searching For Ideal Condition of Expanded Perlite Production Process Using Metsim Software

¹Rifqi Sakti Oktavian, ²Pramusanto, ³Hasudungan Eric Mamby
^{1,2,3}*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
email: ¹rifqisakti93@gmail.com, ³mamby.sitanggang@gmail.com*

Abstract. Preparation of Commercialization of Micro Sized Mineral Milling Production Units was motivated by the Research and Technology Center for Research and Technology (Puslitbang tekMIRA) which has become a Public Service Agency (BLU) which has to obtain funds from outside parties. The activity aims to support the activities of the Public Service Agency (BLU) Center for Mineral and Coal Technology Research and Development in terms of micro-sized mineral processing. The scope of this activity is the preparation of commercialization of micro-sized mineral milling production units located in Lampung. The mineral in question is perlite. At this time perlite is very beneficial for the industrial world, including as coagulant slag, pipe filler material, light brick, planting media, water filter, animal feed and paint industry. These minerals have unusual properties which can develop when heated. This expansion property is caused by the structure of water and gas molecules that can be mobilized at temperatures of 800⁰-1000⁰C, and can expand to 20 times the original volume. The development process is inseparable from the heat factor reacted to perlite. The study conducted is to make the ideal condition of the furnace with the help of Metsim software. Metsim is the main process modeling software, capable of accurately simulating various processes for inorganic chemicals, hydrometallurgy, pyrometallurgy, alternative energy and the processing process of the processing plant. The analysis is carried out by observing the parameters that will affect the heating process inside the furnace, including the specification of perlite feed and also the gas to be reacted. The sample used has a SiO₂ content of 76.06%. The gas used is Methane with a capacity of 96.69%, followed by Ethane with a capacity of 2.38% and Propane of 0.304%. Gas and feed entering the reaction chamber will pass through different pathways. To convert water from the liquid (liquid) phase to the gas phase (steam), heat energy is needed to increase the temperature of the water commonly referred to as "Sensible Heat". At normal atmospheric pressure the boiling point of water is 100⁰C (212⁰F). The recommended ideal conditions for expanded perlite furnaces with a capacity of 8000 tons / year with metsim devices that produce ideal conditions in the furnace that are adjusted to the dimensions of the plan of the company, will have dimensions with a total furnace height of 341 cm with the top and bottom having the same height of 120 cm. The diameter of the feed hole is 30.48cm and the diameter of the furnace is 80cm. The furnace frame is designed using a Carbon 6mm steel plate and also a heat resistant brick with type Y-3 (JIS)

Keywords: Perlite, Furnace, Metsim, Expanded Perlite

Abstrak. Kegiatan Penyiapan Komersialisasi Unit Produksi Penggilingan Mineral Berukuran Mikro dilatar belakangi karena Puslitbang tekMIRA telah menjadi Badan Layanan Umum (BLU) yang dimana harus mendapatkan pemasukan dana dari pihak luar. Adapun kegiatan ini bertujuan untuk menunjang kegiatan Badan Layanan Umum (BLU) Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara dalam hal pemrosesan mineral berukuran mikro. Ruang lingkup dari kegiatan ini adalah penyiapan komersialisasi unit produksi penggilingan mineral berukuran mikro yang berlokasi di Lampung. Adapun mineral yang dimaksud adalah perlit. Pada saat ini perlit sangat bermanfaat bagi dunia industri, diantaranya sebagai slag koagulan, bahan pengisi pipa, bata ringan, media tanam, filter air, pakan ternak dan industri cat. Mineral tersebut memiliki sifat yang tidak biasa yaitu dapat berkembang saat dipanaskan. Sifat pemuai ini disebabkan oleh adanya struktur molekul air dan gas yang dapat dimobilisasikan pada temperatur 800⁰-1000⁰C, dan dapat mengembang hingga 20 kali dari volume aslinya. Proses pengembangannya tidak terlepas dari adanya faktor panas yang direaksikan terhadap perlit. Studi yang dilakukan adalah membuat kondisi ideal tungku dengan bantuan perangkat lunak metsim. Metsim merupakan perangkat lunak pemodelan proses utama, mampu secara akurat mensimulasikan berbagai macam proses untuk bahan kimia anorganik, hidrometalurgi, pirometalurgi, energi alternatif dan proses perencanaan pabrik pengolahan. Analisis dilakukan dengan memperhatikan parameter yang akan berpengaruh pada saat proses pemanasan di dalam tungku, antara lain adalah spesifikasi umpan perlit dan juga gas yang akan direaksikan. Contoh yang digunakan memiliki kadar SiO₂ sebesar 76,06%. Adapun gas yang digunakan yaitu Methane dengan

kapasitas 96,69%, lalu diikuti oleh Ethane dengan kapasitas 2,38% dan Propane sebesar 0,304%. Gas dan umpan yang masuk ruang reaksi akan melewati jalur (gas) yang berbeda. Untuk mengubah air dari fase liquid (cair) menjadi fase gas (uap) diperlukan energi panas untuk menaikkan temperatur air yang biasa disebut sebagai "Panas Normal". Pada tekanan atmosfer normal titik didih air adalah 1000°C (212°F). Rekomendasi kondisi ideal tungku expanded perlite kapasitas 8000ton/tahun dengan perangkat metsim yang menghasilkan kondisi ideal di dalam tungku yang disesuaikan dengan dimensi rencana dari perusahaan, akan memiliki dimensi dengan tinggi tungku total 341 cm dengan bagian atas dan bawah memiliki tinggi yang sama yaitu 120 cm. Diameter lubang feed sebesar 30,48cm dan diameter badan tungku sebesar 80cm. Rangka tungku di desain menggunakan plat baja Carbon 6mm dan juga bata tahan panas dengan tipe y-3 (JIS).

Kata Kunci: Perlit, Tungku, Metsim, Tungku Pengembangan.

A. Pendahuluan

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara atau dikenal dengan nama "**Puslitbang TEKMIIRA**" adalah salah satu sentra penelitian dan pengembangan mineral dan juga batubara. Banyak riset tentang pengolahan dan pemurnian tentang mineral yang dikembangkan oleh Puslitbang TEKMIIRA. Salah satunya adalah pengkajian tentang mineral perlit. Perlit adalah kaca vulkanik amorf yang memiliki kadar air yang relatif tinggi, dan juga biasanya terbentuk oleh hidrasi obsidian. Mineral tersebut memiliki sifat yang tidak biasa yaitu dapat berkembang saat dipanaskan. Sifat pemuai ini disebabkan oleh adanya struktur molekul air dan gas yang dapat dimobilisasikan pada temperatur (800-1000)⁰C dan dapat mengembang hingga 20 kali dari volume aslinya. Apabila perlit dipanaskan, air yang terkandung sebanyak 2 - 6% akan berubah menjadi uap, membentuk gelembung-gelembung kecil yang tidak berhubungan satu sama lainnya. Permukaan gelembung tersebut apabila pecah akan menambah luas permukaan dan sifat absorpsi perlit muai tersebut. Oleh karena itu *expanded perlite* sedang banyak diminati dan juga dikembangkan untuk berbagai kebutuhan. Bagi pihak industri tambang mineral perlit dengan adanya kegiatan produksi ini diharapkan akan membuka pangsa pasar untuk penjualan mineral perlit hasil dari pertambangan yang sudah ada. Terlebih di beberapa daerah di Pulau Sumatera, Jawa, dan Nusa Tenggara, berdasarkan literatur yang ada, masih menyimpan potensi sumber daya mineral perlit yang masih belum diberdayakan. Bagi warga masyarakat sekitar Pilot Plant Lampung, khususnya di daerah Lampung Selatan, dengan hadirnya unit produksi penggilingan mineral perlit ini diharapkan akan menjadi sumber lapangan pekerjaan yang baru.

Proses pengembangannya tidak terlepas dari adanya faktor panas yang direaksikan terhadap perlit. Tujuan penelitian untuk mencari kondisi ideal rencana tungku yang paling efektif untuk menghasilkan produk *expanded perlite* yang sesuai dengan target produksi 8000 ton/tahun.

B. Landasan Teori

Perlit

Perlit merupakan batuan vulkanik silika yang terbentuk secara alami dari proses hidrasi batuan obsidian sehingga memiliki kandungan air terikat yang cukup tinggi. Dengan kandungan air yang cukup tinggi (3-5%), perlit memiliki sifat unik yaitu ketika dipanaskan pada suhu *softening point*-nya dapat mengembang 4-20 kali dari volume aslinya, atau disebut dengan *expanded perlite*. Perlit terdapat pada hasil letusan atau lelehan dibagian bawah atau tengah. Hal ini diinterpretasikan bahwa terjadinya perlit disebabkan oleh proses perlitisasi selama atau pada waktu pembekuan. Proses tersebut berlangsung pada temperatur tertentu yang disebabkan oleh berat lapisan di atasnya. Selama perlitisasi berlangsung terjadi penambahan air yang berasal dari batuan sekitarnya atau *post magmatic hydration*. Pecahan-pecahan perlit berbentuk kulit

bawang (*union skin fracture*), mungkin disebabkan oleh gaya tarikan (*strain*) pada waktu proses pendinginan. Tebal lapisannya mencapai ratusan meter. Umumnya batuan mengandung tersebut adalah batuan piroklastik, sedimen tufaan yang kadang-kadang mengandung kerakal (*pebbles*) tersisipkan bersama-sama dengan anglomerat amygdaloidal. Perlit yang terdapat pada batuan intrusi didekat permukaan umumnya berbentuk kubah (*dome*), retas (*dike*), dan *sill*.



Sumber: Perlite.org

Gambar 1. Perlit

Pemanfaatan Perlit

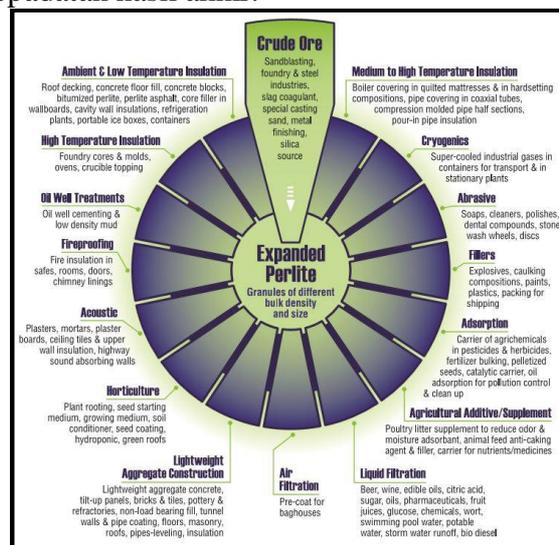
Perlit digunakan untuk plester, agregat beton ringan, atap, isolator temperatur rendah, isolator temperatur tinggi, dempul tembok dan juga bahan-bahan penyaring. Perlit muai dapat bersaing dengan bahan lain untuk digunakan sebagai bahan agregat konstruksi bangunan ringan, campuran plesteran atau campuran beton karena berat jenis sangat ringan dan tahan panas. Untuk dipergunakan sebagai campuran plester dan beton, perlit muai harus mempunyai berat jenis antara $7,15 - 15 \text{ kg/m}^3$. Persyaratan lain yang diperlukan perlit muai untuk campuran bahan bangunan (*light weight concrete*) adalah besar butiran yang homogen. Sifat-sifat lain yang diperlukan perlit muai sebagai bahan bangunan adalah : tidak reaktif, $\text{pH} = 7$, bebas dari bahan organik, dan tidak mempengaruhi *setting time* dari ikatan ikatan *semen portland*. Produk ini memiliki beberapa sifat unggul, diantaranya luas permukaan yang tinggi, volume pori yang tinggi, ringan (massa jenis rendah), dan konduktifitas panas rendah, sehingga banyak digunakan untuk berbagai aplikasi.

Bila dilanjutkan dengan penggilingan hingga ukuran mikron, *crushed expanded perlite* menghasilkan bentuk mikroskopik yang unik berupa *flakes* (lembaran), yang dapat digunakan sebagai media filter (*ultra fine filter*) untuk berbagai cairan. Disamping itu, dengan metode khusus dapat diproduksi perlit dalam bentuk *spherical* (bulat) dengan ukuran 10 mikron untuk aplikasi *filler* (*ultra fine filler*) untuk berbagai produk. Gambar 2.1 memperlihatkan aplikasi perlit dalam berbagai bidang. Perlit mentah memiliki keterbatasan dalam penggunaannya, diantaranya untuk material *sand blasting*, sumber silika, dan material *slag coagulant* dalam industri pengecoran logam. Untuk aplikasi *slag coagulant*, perlit perlu dicampur dengan obsidian dengan perbandingan 9:1. *Slag coagulant* digunakan untuk memisahkan *slag* dari logam lelehan sehingga kemurnian logam yang diperoleh dapat lebih baik.

Di bidang industri, perlit muai digunakan antara lain sebagai:

1. Bahan penggosok (*abrasive*), yaitu sebagai campuran pada alat penggosok atau pembersih, misalnya sabun dan bahan pembersih lainnya, pada gurinda (*grinding wheel*), perlit muai direkat pada temperatur rendah. Perlit muai mempunyai keuntungan tahan urai (*disintegrasi*).

2. Bahan Saringan, karena sifatnya yang netral (non reaktif), perlit muai digunakan sebagai bahan saringan, misalnya pada perusahaan minuman, makanan, pabrik gula, pabrik sari buah-buahan, dan farmasi kimia.
3. Bahan Pembawa, yaitu digunakan sebagai bahan pengandung atau pembawa unsur insektisida, pestisida *weedicide*, pupuk dan lain-lain.
4. Bahan Pengisi atau ekstender, misalnya pada cat, plastik, kertas, tekstil, damar, genteng, dan bahan pembersih. Selain digunakan sebagai ekstender, juga untuk mengurangi kepadatan hasil akhir.



Sumber: perlite.org

Gambar 2. Pemanfaatan Perlit di Berbagai Bidang

Tungku Tegak Vertikal

Tungku silinder vertikal (*vertical cylindrical furnaces*) merupakan dapur yang berbentuk silinder tegak. *Burner* terletak pada lantai dapur dengan nyala api tegak sejajar dengan dinding tungku. *Tube-tube* tungku di daerah radiasi terpasang tegak melingkar mengelilingi *burner*. Panas dipancarkan secara radiasi di bagian silinder. Bagian konveksi berada di atas bagian radiasi. Diantara bagian radiasi dan konveksi dipasang kerucut untuk menyempurnakan radiasi (*Reradiating Cone*). Dapur ini biayanya murah dan harga bahan bakarnya rendah. Tungku jenis ini merupakan tungku yang paling efektif untuk proses produksi *expanded perlite* berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan oleh unit produksi penggilingan berukuran mikro terhadap perusahaan perlit yang ada di Indonesia.

METSIM (Metallurgy Simulation)

Dalam perencanaan pabrik pengolahan dan juga pemurnian, perlu adanya perencanaan awal sebelum kegiatan tersebut dilakukan. Hal ini yang membuat para insinyur teknik pertambangan mempelajari hal tersebut. Kehadiran perangkat lunak atau *software* akan sangat membantu dalam prosesnya. Salah satunya adalah METSIM. Dasar untuk analisis semua proses kimia dan metalurgi adalah keseimbangan massa dan energi. Desain pabrik, biaya modal, dan evaluasi teknis semuanya tergantung pada perhitungan semacam itu. METSIM adalah sistem simulasi proses tujuan umum yang dirancang untuk membantu insinyur dalam melakukan keseimbangan massa dan energi dari proses yang kompleks. METSIM menggunakan bermacam-macam metode komputasi untuk

menghasilkan kombinasi optimal dari kerumitan, waktu pengguna, dan penggunaan sumber daya computer.

C. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Karakteristik Perlit dan Bahan Bakar

Sebelum dilakukannya simulasi, perlu diketahui karakteristik perlit dan juga bahan bakar yang digunakan. Untuk mengetahui karakteristik perlit, dilakukan pengujian X-RF dan untuk bahan bakar digunakan gas yang di *supply* oleh PGN (Perusahaan Gas Negara). Setelah dilakukannya pengujian yang dilakukan untuk menentukan parameter yang diperlukan pada saat proses menentukan kondisi ideal di dalam tungku *expanded perlite* yang direncanakan, penulis akan membahas karakteristik *feed* yang telah diujikan dengan pengujian X-RF.

Tabel 1. Hasil Pengujian X-RF (Perlit Padang)

Nomor Lab.	Perlit OCT-1-PL1
Ikatan	%
SiO₂%	76,06
Al₂O₃%	12,45
Fe₂O₃%	0,92
MnO%	0,048
MgO%	0,068
CaO%	0,68
Na₂O%	2,93
K₂O%	4,48
TiO₂%	0,090
P₂O₃%	0,013
SO₃%	0,011
Cr₂O₃%	0,015
CuO%	0,003
NiO%	0,001
PbO%	0,003
Rb₂O%	0,023
SrO%	0,008
ZnO%	0,004
ZrO₂%	0,007

Data pada *table* 1 menunjukkan bahwa kadar SiO₂ merupakan komponen yang

dominan dalam sample tersebut. Selanjutnya diikuti dengan adanya Al_2O_3 yang juga akan menentukan keberhasilan reaksi pada saat proses pemanasan pada tungku *expanded perlite*. Presentasi total conto di analisis dengan kondisi kering adalah 97,89 % dengan kadar air (H_2O) sebesar 2,11 %. Melihat karakteristik tersebut conto memiliki kadar air yang cukup banyak untuk material perlit yang akan dikembangkan. Kandungan air kristal yang dimiliki oleh material tersebut adalah presentase yang akan dilepaskan sehingga diharapkan akan terjadinya pengembangan yang diinginkan.

Tabel 2. Spesifikasi Gas *Input*

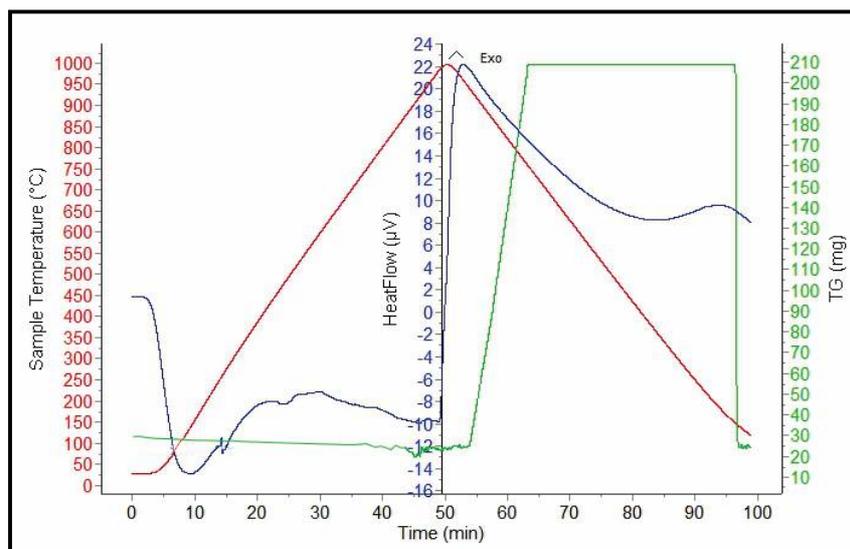
Supply Gas Negara	
Perusahaan Gas Negara	
Gas	%
CH ₄	96,69
C ₂ H ₆	2,38
C ₃ H ₄	0,304

Gas yang digunakan di dominasi oleh Methane dengan kapasitas 96,69%, lalu diikuti oleh Ethane dengan kapasitas 2,38% dan Prophane sebesar 0,304%. Gas tersebut nantinya direncanakan akan digunakan untuk memanaskan material perlit yang akan diolah menjadi *expanded perlite*.

Analisis Pengujian TGA

Pada pemanasan yang menerus dari suhu kamar, maka pada suhu – suhu tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada suhu tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari histogram XRD. Sehingga biasanya TGA digunakan untuk melakukan analisa proximate seperti kadar air, kadar senyawa volatil dan kadar abu dalam bahan. Selain dengan pengujian proximate untuk batubara, ternyata pengujian TGA ini sangat baik untuk menganalisa hilangnya kadar air kristalin yang di kandung dan terikat di dalam sample perlit. Dari pengujian tersebut kita bisa mengetahui pada suhu berapa sample perlit yang diujikan mengalami kehilangan berat dan juga bisa dianalisa pada suhu berapa perlit tersebut mengalami penguapan air Kristal.

Mengacu atas hasil grafik TGA yang dilakukan dengan pemanasan yang di atur hingga keadaan $1000^{\circ}C$, ada beberapa bagian dari grafik yang menjadi fokus penulis dalam penentuan suhu dan waktu kontak yang akan direncanakan di dalam tungku. Untuk garis hijau adalah grafik weight loss (TG) fungsi waktu, sedangkan merah adalah Temperatur (C) fungsi waktu sedangkan biru adalah DTA fungsi waktu. Bisa dilihat pada grafik TG pada suhu sekitar $750-1000^{\circ}C$ terjadi penurunan berat yang tidak terlalu signifikan. Kemungkinan besar dikarenakan kehilangan air kristal. Dapat dianalisa demikian dikarenakan penulis mengacu kembali pada karakteristik perlit dan juga sifat air Kristal yang memiliki sifat akan menguap pada suhu lebih dari $800^{\circ}C$. Lepasnya air yang terikat tersebut membuat permukaan dari material rusak dan merekah karena pada suhu tersebut air kristal memaksa untuk melepas dari ikatan perlit menembus permukaan yang sebagian besar adalah silika.



Gambar 3. Grafik Pengujian TGA (Perlit Padang)

Keadaan tungku diharapkan bisa menghasilkan panas yang sesuai dan cukup untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Oleh sebab itu selain adanya panas dari tungku yang direncanakan sebesar 800-1000⁰C maka akan direncanakan reaksi dalam yang akan membantu proses pengembangan dari perlite tersebut. Pada proses tersebut pun tercatat perubahan volume yang meningkat sekitar 12 kali volume asal.

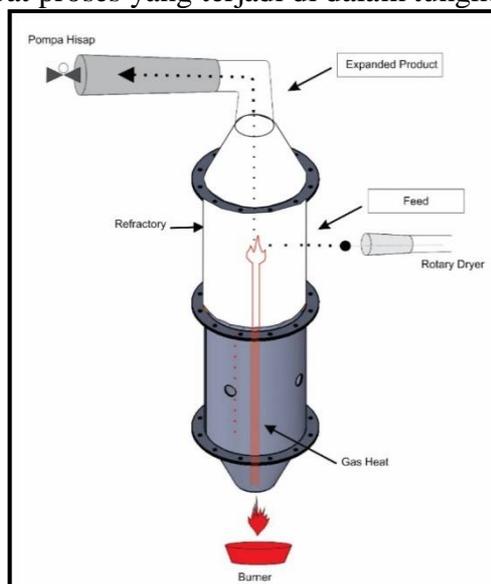
Rancangan Kondisi Ideal Tungku untuk Kapasitas Produksi 8000 ton/ tahun Berdasarkan Simulasi Metsim

Vertical Furnace adalah tungku berbentuk silinder tegak dan terdiri sebuah tungku panjang dari ruang dan reaksi ruang untuk penyediaan pemanasan udara atau distribusi gas ke perapian. Perapian, yang dirancang akan menyediakan distribusi panas di atas penampang seluruh ruang reaksi, yang merupakan sebuah logam atau plat baja karbon dengan katup yang digunakan sesuai kebutuhan. Distribusi panas di seluruh penampang ruang reaksi tetap permanent, sebuah kisi logam atau plat bukaan yang terbuat dari plat baja akan tersuspensi oleh udara atau gas yang mengalir melalui stream dan mengalir menuju ruang interaksi dimana reaksi berlangsung antara bahan padat dan gas.

Produk jadi dikeluarkan dari tungku melalui sebuah jalur di bagian atas dan bawah dari ruang reaksi. Gas buang akan cenderung terpisah karena reaksi yang sudah di rencanakan akan menghasilkan steam yang mengandung material air. Produk perlite yang direncanakan juga akan mengembang. Pengembangan ini dilakukan secara cepat dari air pada saat perlit pada kondisi plastis. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan jumlah panas yang maksimum. Reaksi kimia terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, dan hidrogen yang ada dalam bahan bakar. Reaksi ini umumnya menghasilkan nyala api.

Mengacu kembali kepada target produksi yaitu sebesar 8000 ton/ tahun, pemilihan target produksi 8000 ton/tahun dikarenakan alat-alat pendukung yang tersedia di *plant* memiliki kapasitas maksimum 8000 ton/ tahun sehingga tidak bisa di tingkatkan untuk target produksi dari *expanded perlite* yang direncanakan. maka disesuaikan dengan simulasi yang telah dilakukan dengan *software* metsim yaitu sebesar 1,369 ton / jam. Diharapkan akan menghasilkan produk *expanded perlite* dengan produk yang memiliki ekspansi sebesar 10-15 kali volume awal. Hasil tersebut sejauh ini merupakan yang paling efektif untuk sample perlite padang yang akan digunakan oleh perusahaan.

Kondisi produk yang telah disimulasikan oleh metsim memiliki unsur H₂O yang telah hilang sepenuhnya akibat proses yang terjadi di dalam tungku.



Gambar 4. Prinsip Kerja Tungku Rencana

D. Kesimpulan

Dari pemaparan yang telah disampaikan dapat disimpulkan bahwa Rekomendasi rencana kondisi ideal tungku *expanded perlite* kapasitas 8000ton/tahun dengan *software* metsim yang menghasilkan rencana reaksi dan juga rencana pemanasan dengan suhu 800°– 1000 ° C. Dengan waktu kontak yang direncanakan selama 5-10 detik yang disesuaikan dengan parameter parameter yang direkomendasikan dan juga dengan dimensi rencana dari perusahaan akan memiliki dimensi dengan tinggi tungku total 341 cm dengan bagian atas dan bawah memiliki tinggi yang sama yaitu 120 cm. Diameter lubang *feed* sebesar 30,48cm dan diameter badan tungku sebesar 80cm. Rangka *furnace* di desain menggunakan Plat Baja *Carbon* 6mm dan juga bata *refractory* dengan type y-3 (JIS). Produk yang akan dihasilkan merupakan produk *expanded perlite* yang direncanakan akan mengembang 10-15 kali volume asal.

Daftar Pustaka

- Amin, 2013. “Proses Produksi Expanded Perlit Lampung sebagai Material Industri Bata Ringan”, *Prosiding Semirata FMIPA Unila*, Hal. 329-342.
- Ayu, dkk, 2011. “Pembuatan Panel Beton Berbasis Perlit dan Aplikasinya sebagai Insulator Panas”, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Volume 2.
- Barnes, R.E. 1962. “Perlit Industry”. *AIME Transaction (Mining)*, Vol. 223.
- Bateman, A.M. 1958. “Economic Mineral Deposit”. John Wiley & Sons Inc, NewYork.
- Buat, Tambunan, 2016. “Desain dan Simulasi Tungku Bakar”, *Majalah Pengkajian Pemurnian*, UNAND.
- Isikdag, Burak, 2015. “Characterization of Lightweight Forrecement Panels Containing Expanded Perlite-based Mortar”, *Journal of Construction and Building Materials*, Vol. 81, Hal 15-23.
- Ismayanto, dkk, 2007. “Bantuan Perlit Karangnunggal sebagai Bahan Sintesa Atapulgit”, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Jilid 17. No. 2, Hal 1-17.

- Jauharah, 2009. "Pembuatan Panel Beton Ringan Berbasis Perlit dengan Efek Komposisi Terhadap Karakteristiknya, Pascasarjana USU, Medan.
- Karo Karo, 2013. "Perbandingan Hasil Uji Fisis Komposit Folimer Berbasis Perlit dengan Batu Apung", *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Vol. 1. No. 02, Hal. 131-135.
- Nusa, Cipta, 2016. "Enthalphy Studi Material Isolator Berbahan Dasar Fly Ash, Perlit dan Gypsum", *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, Vol. 1, No. 1, Hal. 13-22.
- Suhendar, dkk., 1997. *Bahan Galian Industri*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.
- Suhendar, 1996. "Perlit dan Obsidian Potensi, Teknologi dan Kegunaan", *Laporan Ekonomi Bahan Galian*, Universitas Malang Library.
- Sukandarmudi, 1998. "*Bahan Galian Industri*", Gajah Mada Press, Yogyakarta.
- Zarica, Yuniyaziza 2013. "Analisis Tungku Bakar", *Jurnal Metalurgi Mingguan*, Universitas Jendral Achmad Yani.