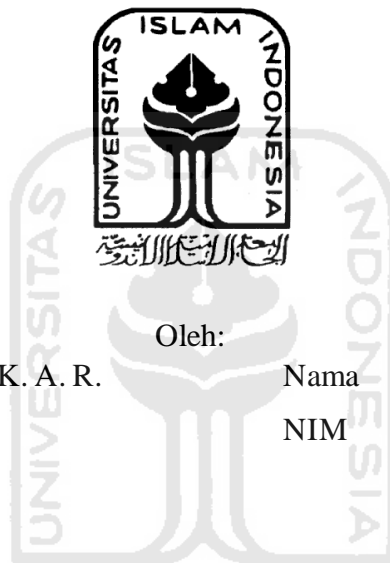


**PRA RANCANGAN PABRIKORDINARY PORTLAND
CEMENT (OPC) DENGAN DRY PROCESS
KAPASITAS 2.000.000 TON/TAHUN**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia



Oleh:

Nama : Yasjudan K. A. R.

Nama : Taufik Kusuma

NIM : 13521214

NIM : 13521171

**KONSENTRASI TEKNIK KIMIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PRARANCANGAN PABRIK *ORDINARY PORTLAND*
CEMENT (OPC) DENGAN
KAPASITAS 2.000.000 TON / TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**

Oleh :

Nama : Yasjudan Kholifah Akbar R.

Nama : Taufik Kusuma

No. Mhs: 13521214

No. Mhs: 13521171

Yogyakarta, 05 Januari 2021

Menyetujui

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Farham H M Saleh, MSIE.,
Dosen Pembimbing I



Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRA RANCANGAN PABRIK *ORDINARY PORTLAND CEMENT* DENGAN *DRY PROCESS* KAPASITAS 2.000.000 TON/TAHUN

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : Yasjudan K.A.R

Nama : Taufik Kusuma

NIM : 13521214

NIM : 13521171

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 05 Agustus 2021

Tim Penguji,

Dr. Ir. Farham H M Saleh, MSIE.,
Ketua

Ir. Agus Taufiq, M.Sc.,
Anggota I

Umi Rofiqah, S.T., M.T.,
Anggota II

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia


Ir. Suharno Rusdi Ph.D

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Karya tulis ilmiah penulis persembahkan kepada:

Bapak dan Ibu tercinta yang selalu ada di hatiku.

Kakak dan adik – adikku yang selalu mendukungku.

Dr. Arif Hidayat yang mengumpulkan kami angkatan 2013, dan dengan segera memberikan kami arah dan daya untuk kembali berhadapan dengan masa depan.

Kepada Pak Farham dan Bu Ajeng yang bersedia menerima dan mengayomi kami.

Sahabat – sahabatku yang selalu memberikan bantuan disaat ku membutuhkan. Kepada mas arman kuniawan selaku pemberi fasilitas laptop toshiba dan rivan yang melatih kesabaran kami.

Dan,

kepada yang lain yang terlupakan, kepada Tuhanlah letak kesempurnaan

Almamaterku : Kampus Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Puja dan puji agar karunia Allah SWT Tuhan semesta alam yang memiliki keagungan dan kekuasaan tertinggi di seluruh kosmos, selalu mengiringi siapapun. Dan tanpa rahmatNya Tugas Akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Ordinary Portland Cement (OPC) dengan Dry Process Kapasitas 2.000.000 Ton/Tahun” mutlak tidak terselesaikan. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, para sahabat, dan para ulama dan mudah-mudahan sampai kepada kita selaku pengagum amin.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Syukur dengan keyakinan serta bantuan dari beberapa pihak yang bersifat moril maupun material, akhirnya kesulitan dan hambatan yang dihadapi dapat teratasi dengan baik, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. .Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor UII
2. Prof. Ir. Dr. Hadi Purnomo, M.T., selaku Dekan FTI UII
3. Ir. Suharno Rusdi, Ph.D., sebagai Ketua Program Studi Teknik Kimia.
4. Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T., sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Kimia.
5. Dr. Ir. Farham H M Saleh, MSIE., selaku pembimbing Tugas Akhir
6. Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T., selaku pembimbing Tugas Akhir

7. Segenap dosen dan staf pengajar yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan ilmunya kepada penulis.

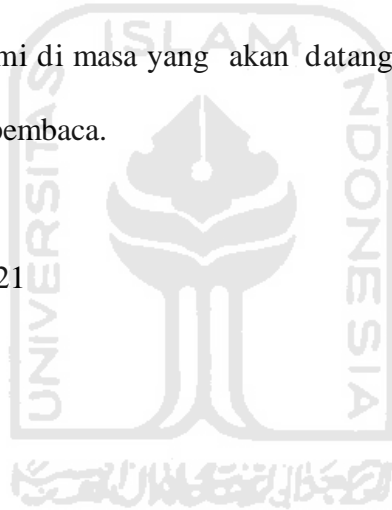
8. Semua pihak yang turut membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan wawasan yang lebih luas dan menjadi sumbangan pemikiran serta memberi manfaat kepada pembaca khususnya kepada penyusun dan kepada para mahasiswa teknik kimia-FTI-UH.

Kami menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Dengan demikian, kami menerima masukannya demi perbaikan Tugas Akhir kami di masa yang akan datang dan mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca.

Yogyakarta, 05 Januari 2021

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tinjauan Pustaka	14
BAB II	86
PERANCANGAN PRODUK	86
2.1 Spesifikasi Produk	86
2.1.1 Kimia	86
2.1.2 Fisika	87
2.2 Spesifikasi Bahan Baku	88
2.2.1 Batu Kapur (<i>Limestone</i>)	88
2.2.2 Tanah Liat	89
2.2.3 Copper Slag	90
2.2.4 Gypsum	90
2.3 Pengendalian Kualitas (<i>Quality Control</i>)	90
BAB III	103
PERANCANGAN PROSES	103
3.1 Uraian Proses	103
3.1.1 Jenis-Jenis Proses	103
3.1.2 Proses yang digunakan	Error! Bookmark not defined.
3.1.3 Proses Pembuatan Semen	108
3.1.4 Spesifikasi Alat/Mesin	113
BAB IV	136
PERANCANGAN PABRIK	136
4.1 Lokasi Pabrik	136
4.2 Tata Letak Pabrik	137
4.2.1 Letak Storage	137
4.2.2 Layout Peralatan	137
4.2.3 Perluasan Pabrik	137
4.2.4 Utilitas	137
4.2.5 Pemakaian Luasan Tanah	138
4.2.6 Plant Service	138
4.2.7 Bangunan	138
4.2.8 Peralatan Penanganan Material	138
4.2.9 Akses Jalan	138
4.3 Tata Letak Alat	140
4.4 Neraca Massa	141
4.5 Neraca Panas	149

4.6.	Utilitas	153
4.7.	Struktur Organisasi Manajemen Pabrik.....	162
4.7.1	Tugas, Wewenang dan Tanggung Jawab.....	163
4.7.2	Ketenagakerjaan	168
4.7.3	Jumlah Pekerja dan Gaji.....	169
4.8.	Evaluasi Ekonomi.....	172
4.8.1	Taksiran Harga	173
4.8.2	Perhitungan.....	180
4.8.3	Perhitungan Biaya	181
4.8.4	Analisa Kelayakan Pabrik	182
4.8.5	Hasil Perhitungan	184
4.8.6	Analisa Keuntungan	190
4.8.7	Analisa Kelayakan.....	190
BAB V	194
PENUTUP	194
5.1	Kesimpulan	194
DAFTAR PUSTAKA	196
LAMPIRAN	199



ABSTRAK

Indonesia adalah negara ke 13 terluas di dunia dengan total luas wilayah 1.919.440 km² dimana pembangunan yang ada di Indonesia dapat dikatakan tidak merata, oleh karena itu pemerintah berencana untuk melakukan pemindahan ibu kota yang mana diharapkan terjadi pemerataan di bidang ifrasturktur. Prarancangan pabrik Ordinary Cement (OPC) direncanakan didirikan agar dapat memenuhi konsumsi semen dalam negeri yang bertambah seiring berjalannya program pemerintah memfokuskan pembangunan dibagian infrastruktur. Produsen semen sangat dibutuhkan dalam jumlah besar agar mendukung pembangunan yang direncanakan oleh pemerintah. Pabrik semen ini direncanakan didirikan di kecamatan montong kabupaten tuban provinsi jawa timur dengan kapasitas 2 juta ton per tahun dengan luas 7,5 ha dengan lahan perluasan 7,5 ha. Secara umum proses pembuatan semen dengan proses kering dibagi atas 5 tahap meliputi : (1) Penyediaan bahan baku (2) Persiapan bahan baku (3) Pembakaran dan Pendinginan (4) Penggilingan (5) pengemasan. Pabrik ini menggunakan bahan bakar batubara jenis lignit untuk mencapai temperature proses pembakaran di dalam kiln. Proses kering dipilih karena keuntungan proses kering yang membutuhkan tanur yang relative lebih pendek. Panas yang dibutuhkan rendah, sehingga bahan bakar yang digunakan relatif lebih sedikit dan kebutuhan air yang sedikit dengan kapasitas produksi lebih besar. Bentuk organisasi pada prarancangan pabrik Ordinary Portland Cement ini ialah Perseroan Terbata (PT). kebutuhan tenaga kerja untuk menjalankan perusahaan ini berjumlah 170 orang dengan waktu kerja 330 hari per tahun. Hasil analisa ekonomi yang diperoleh, Fixed Capital Investmen = Rp 628.907.196.458,85 ROI sebelum pajak 93% dan ROI setelah pajak 47%, 11 bulan POT sebelum pajak dan 1,8 tahun POT setelah pajak, 17,73% BEP, 10,14 SDP, 12,82 Interest Rate

Kata – kata kunci : Ordinary Portland Cement, dry process, klinker, kebutuhan semen, evaluasi ekonomi

ABSTRACT

Indonesia is the 13th largest country in the world with a total area of 1,919,440 km² where the development in Indonesia can be said to be uneven, therefore the government plans to move the capital city which is expected to be equal in the infrastructure sector. The design of the Ordinary Cement (OPC) factory is planned to be established in order to meet the increasing domestic cement consumption as the government program focuses on the development of the infrastructure sector. Cement producers are needed in large numbers to support the development planned by the government. This cement factory is planned to be established in Montong sub-district, Tuban district, East Java province with a capacity of 2 million tons per year with an area of 7.5 ha with an expansion area of 7.5 ha. In general, the process of making cement by the dry process is divided into 5 stages including: (1) Provision of raw materials (2) Preparation of raw materials (3) Burning and cooling (4) Milling (5) packaging. This plant uses lignite type coal to reach the temperature of the combustion process in the kiln. The dry process was chosen because of the advantages of the dry process which requires a relatively shorter kiln. The heat required is low, so that relatively less fuel is used and less water needs with a larger production capacity. The organizational form of the Ordinary Portland Cement factory design is the Perseroan Terbatas (PT). The number of workers needed to run this company is 170 people with a working time of 330 days per year. The results of the economic analysis obtained, Fixed Capital Investments = Rp.628,907,196,458.85 ROI before tax 93% and ROI after tax 47%, 11 months POT before tax and 1.8 years POT after tax, 17.73% BEP, 10, 14 SDP, 12.82 Interest Rate

Keywords : Ordinary Portland Cement, dry process, clinker, the need for cement, economic, evaluation.



BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya alam (SDA) yang sangat besar. Mungkin kalimat itu sangat terkesan klasik, apalagi jika tercantum pada pembukaan latar belakang sebuah tugas akhir. Sesungguhnya potensi sumber daya alam kita mungkin memang sebegitu besarnya, sampai-sampai hal tersebut yang paling sering terlintas ketika mencoba berbicara perihal Indonesia. Potensi sumber daya alam Indonesia yang besar salah satunya dibuktikan dengan keberadaan kawasan karst yang mencapai hampir 20% dari total luas wilayah Indonesia (Adji dkk, Makalah, 1999). Konon, Indonesia juga merupakan negara yang berkembang. Meskipun istilah ‘berkembang’ tersebut masih diperdebatkan, istilah itu juga memiliki jam terbang yang cukup tinggi ketika berbicara ihwal pembangunan berskala masif yang sedang terjadi di negeri ini. Berbicara soal pembangunan, hal tersebut mungkin memang belum dan akan menemukan banyak kesulitan jika ingin melihat kesetaraan didalamnya. Namun ‘kesetaraan’ bukanlah hal yang muskil, ia memang layak diagendakan dan dikampanyekan di tiap-tiap mimbar kemenangan. Sekiranya hal tersebut memang sungguh diperuntukkan untuk kepentingan khalayak umum, sehingga dukungan harus terus diperjual-belikan untuk membantu melancarkan pembangunan bangsa dan negara. Kawasan karst menjadi tempat sumberdaya mineral, diantaranya batuan karbonat. Batuan karbonat merupakan sumberdaya yang memiliki kegunaan sebagai bahan

bangunan, batu hias, dan industri. Pemanfaatan terbesar batu gamping di Indonesia ialah sebagai bahan baku dari pembuatan semen.

Semen sampai saat ini mungkin memang masih memainkan peranan yang belum tergantikan dalam hal pembangunan. Keberadaannya di pasaran, memacu banyak pihak untuk berduyun-duyun membangun ibu pertiwi. Terbukti sampai tahun ini, semen masih menjadi produk yang seksi di tengah isu overcapacity yang melanda negeri ini. Mungkin pemerintah Indonesia memiliki perhitungannya sendiri bila berkaitan dengan semen dan hal tersebut terbukti dengan diumumkannya ibu kota baru di Kalimantan sebagai pengganti ibu kota yang sekarang, DKI Jakarta. “Pemindahan” ibukota baru ini tentunya membutuhkan semen sebagai bahan baku pembangunan yang mungkin menurut pemerintah belum tercukupi dengan populasinya sekarang. Apalagi pembangunan Papua menjadi salah satu fokus Joko Widodo selaku Presiden terpilih Indonesia periode 2020-2025. Selain itu semen tentunya juga merupakan komoditas ekspor yang cukup menjanjikan untuk mendatangkan devisa negara.

Semen merupakan bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengeras jika dicampurkan dengan air, dan dengan komposisi yang pas cukup mampu diandalkan sebagai bahan utama pembuat beton dengan kualitas baik. Semen tentunya dibuat dengan bahan-bahan yang tersedia secara alami di bumi yang tentunya mengandung senyawa alami—batu kapur dengan Kalsium Oksida (CaO) dan tanah liat dengan Silika Oksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3), dan Magnesium Oksida (MgO). Bahan-bahan alami tersebut kemudian dilelehkan dengan cara

dipanaskan, hasil dari proses ini kemudian dikenal sebagai klinker yang nantinya akan dihancurkan dan diberi tambahan *gypsum* untuk menghasilkan produk yang akan tersedia dalam kemasan yang akrab disebut ‘sak’ dengan berat rata-rata 40 atau 50 kg.

1.1.1 Kapasitas Rancangan

di Indonesia istilah karst yang dikenal sebenarnya diadopsi dari bahasa Yugoslavia/Slovenia. Istilah aslinya adalah ‘*krst / krast*’ yang merupakan nama suatu kawasan di perbatasan antara Yugoslavia dengan Italia Utara, dekat kota Trieste (Adji dkk, Makalah, 1999). Dengan wilayah karst yang terdapat di hampir tiap sudut republik kita, penambangan batu gamping atau batu kapur sebagai bahan baku bagi pembuatan semen telah acapkali dilakukan; di Cibinang, Gresik, Tuban, Nusakambangan, Gombang, Padang, dan Tonasa. Untuk memproduksi satu ton semen diperlukan paling sedikit satu ton batu kapur sebagai bahan baku disamping tanah liat dan pasir kuarsa. Industri semen di Indonesia tentunya terus mengalami perkembangan, mengingat ketersediaan bahan baku yang melimpah. Hanya dalam kurun waktu 44 tahun – bermula pada tahun 1974 disaat Indonesia masih harus impor 1,4 juta ton semen untuk memenuhi kebutuhan domestik, tahun 2018 Indonesia berubah menjadi negara pengekspor semen (ELY, *Kompas*, 23 Februari 2019). Di tahun 2018 saja tercatat jumlah kapasitas terinstall mencapai 110 juta ton, sedang konsumsi semen domestik di tahun 2018 masih menyentuh angka 69,5 juta ton (Saptowalyono, *Kompas*, 31 Juli 2019). Kondisi pasokan (*supply*) semen yang melimpah sudah dimulai sejak

tahun 2014 (ELY, *Kompas*, 23 Februari 2019), sedang permintaan (*demand*) belum mampu mengimbangnya. Dengan “*overcapacity*” yang diprediksi masih akan terjadi dalam beberapa tahun kedepan, sebenarnya pemerintah sebaiknya tidak mengizinkan lagi pembangunan pabrik semen di Indonesia seperti himbauan Ketua Asosiasi Semen Indonesia Widodo Santoso agar pemerintah melindungi investasi yang sudah ada dengan penghentian sementara izin pabrik baru karena permintaan dan kapasitas produksi yang tidak seimbang (Saptowalyono, *Kompas*, 20 Februari 2018). Namun jumlah ini akan terus meningkat dengan dibangunnya pabrik-pabrik semen yang dalam beberapa tahun kedepan akan mulai beroperasi; seperti pabrik Conch di Sulawesi Utara, pabrik Semen Indonesia di Kupang, dan pabrik semen Cipta Mortar Utama di Semarang. Saat ini Indonesia merupakan produsen semen terbesar di Asia Timur, disusul Vietnam, Jepang dan Korea Selatan. Dengan di izinkannya pembangunan pabrik-pabrik baru oleh pemerintah, sudah tentu pemerintah optimis dengan ekspor semen Indonesia dan mungkin pemerintah menargetkan untuk menguasai pasar semen beberapa negara di Asia yang sudah menjadi pelanggan tetap semen Indonesia serta pasar-pasar baru semen di luar Indonesia yang masih memungkinkan untuk disusupi. Langkah pemerintah ini jadi semakin menarik melihat beberapa negara di Asia Tenggara seperti Vietnam, Thailand, Malaysia dan Vietnam juga tengah “menderita” *oversupply*. Lebih menarik lagi ternyata negara-negara tetangga pun ingin meningkatkan kapasitas produksi dan ekspor semennya, meskipun mereka mungkin memiliki pandangan lain perihal jalan yang akan ditempuh. Thailand dan

Vietnam misalnya, mereka memberlakukan moratorium pemberian izin baru pembangunan pabrik semen. Namun mari sejenak kita kesampingkan para tetangga, dan kembali menuju Indonesia. Seperti yang sudah sedikit disampaikan di Latar Belakang, salak pembangunan infrastruktur sedang terjadi di Indonesia. Berdasarkan analisis regresi linear yang dilakukan, pada tahun 2025 jumlah permintaan (*demand*) akan mengungguli pasokan (*supply*) semen yang ada (Dengan syarat pemerintah sama sekali tidak mengizinkan impor semen dalam bentuk apapun agar tidak ada semen impor di Indonesia, selebihnya lihat di Lampiran). Merespon hal tersebut, kami bersepakat untuk membangun pabrik semen berkapasitas 2 juta ton/tahun (hasil perolehan kapasitas sebenarnya adalah 2.165.550 ton/tahun. Namun kami mempertimbangkan pabrik semen yang sudah ada dengan kapasitas mirip, yaitu pabrik semen Jawa dengan kapasitas 1.800.000 juta ton.).

1.1.2 Lokasi Pabrik

Lokasi pendirian pabrik semen akan dibangun di kecamatan Montong, Tuban, Jawa Timur. Tuban memiliki bahan-bahan pembuat semen seperti batu kapur. Daerah ini dipilih terutama karena pertimbangan sumber daya alam yang memenuhi untuk dijadikan pabrik Ordinary Portland Cement. Selain itu batu kapur yang ada di tuban memiliki komposisi CaO dan MgO yang pas untuk bahan baku semen. Berikut adalah lokasi pasti dari pendirian pabrik Ordinary Portland Semen yang akan didirikan di Kecamatan Montong Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur



1.1.3 Kapasitas Pabrik Komersial yang Masih Beroperasi

Berikut adalah data Pabrik Semen di Indonesia yang masih beroperasi beserta kapasitasnya mengutip (<http://mpk.binakonstruksi.pu.go.id/fstatprodsementhn#gsc.tab=0>, akses 22 Desember 2020 Pukul 02.20 WIB).

Nama Perusahaan	Kapasitas (Ton)
Sinar Tambang Artha Lestari, PT	1.800.000
Semen Tonasa, PT	7.400.000
Semen Padang, PT	8.900.000

Semen Kupang, PT	400.000
Semen Jawa, PT	1.800.000
Semen Gresik, PT	19.200.000
Semen Bosowa Maros, PT	7.400.000
Semen Baturaja, PT	3.850.000
Lafarge Holcim Indonesia, PT	15.531.000
Jui Shin Indonesia, PT	1.800.000
Indocement Tunggal Prakarsa, PT	25.500.000
Conch Cement Indonesia, PT	8.700.000
Cemindo Gemilang, PT	7.690.000
Total Kapasitas Produksi Terpasang	109.971.000

1.1.4 Tujuan Rancangan

Tujuan utama dan paling krusial perancangan Pabrik Semen OPC dengan kapasitas 2 juta ton/tahun agar penulis menyelesaikan studi sebagai Mahasiswa Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dengan segala keterbatasan pengetahuan penulis perihal semen di Indonesia, penulis memutuskan untuk mengambil Pabrik Semen sebagai Judul Tugas Akhir.

1.1.5 Bahan Baku Pembuatan Semen

Bahan Baku Pembuatan Semen

Bahan Baku Utama

a. Lime Component

Bahan kapur dalam pembuatan semen sangat dipengaruhi oleh standar yang berlaku dan akan digunakan, karena biasanya tiap standar punya klasifikasinya sendiri terhadap batu kapur. Pada standar ENV 459-1, bahan kapur yang digunakan diklasifikasikan sebagai berikut:

- *Air limes*: batu kapur yang kaya akan kandungan kalsium oksida atau hidroksida dan batu kapur ini perlahan-lahan akan mengeras ketika bereaksi dengan karbondioksida yang terdapat di udara sekitar. Umumnya batu kapur jenis ini tidak mengeras di dalam air dikarenakan absennya sifat hidraulik pada diri mereka.
- *Quicklime* (Kapur Tohor): *Air limes* yang kaya akan kandungan kalsium oksida dan magnesium oksida. Dibuat dari hasil kalsinasi dari batu kapur dan/atau batu dolomit. Kapur tohor akan memiliki reaksi yang eksotermis ketika melakukan kontak dengan air. Kapur Tohor tersedia dalam berbagai macam ukuran dari bentuk bongkahan sampai ke yang paling halus
- *Dolomitic lime*: kapur tohor yang banyak mengandung kalsium oksida dan magnesium oksida
- *Hydraulik lime* (Kapur Hidraulik): batu kapur yang banyak mengandung kalsium silikat, kalsium aluminat dan kalsium hidroksida. Diperoleh dari proses pembakaran batu kapur berlempung (*agrillaceous*) dan proses *subsequent slaking* dan penghalusan (*grinding*) dan/atau campuran material yang diperlukan dengan tambahan kalsium hidroksida.

- *Hydrated lime*: kapur hasil proses *slaking* yang banyak mengandung kalsium hidroksida

Pada standar BS 6100 Section 6.1, bahan kapur yang digunakan diklasifikasikan sebagai berikut:

- *Quicklime* (Kapur Tohor): produk yang diperoleh ketika material *calcareous* (berkapur) dipanaskan pada temperatur yang cukup tinggi untuk mengusir karbon dioksida

- *Dolomitic lime*: *Quicklime* (kapur tohor) dengan kandungan magnesium yang tinggi

- *Grey lime*: *Quicklime* (kapur tohor) dengan yang dibuat dari *grey chalk* – biasanya memiliki sifat semi-hidrolik

- *Magnesian lime*: *Quicklime* dengan kandungan magnesium oksida diatas 5%

- *Hydraulic lime* (Kapur Hidraulik): *Quicklime* (kapur tohor) mengandung zat terlarut dari silika, aluminat, dan lainnya yang lumayan. Untuk memperoleh zat terlarutnya perlu dilakukan hidrasi dan ditempatkan di tempat yang berair.

- *Semi-hydraulic lime* (kapur semi-hidrolik): mirip dengan kapur hidrolik tetapi mengandung sejumlah kecil zat silka, aluminat dan zat lainnya yang terlarut. (kadar minimum zat silika yang terlarut biasanya 6%)

- *Hydrated lime* (kapur yang sudah terhidrasi): bubuk putih kering, dibuat dari campuran *quicklime* (kapur tohor) dan air dalam jumlah terkontrol, yang sudah dihilangkan zat pengotornya berupa *gritty material* (material

berpasir) dan sudah dikeringkan. Konstituen utamanya adalah kalsium hidroksida.

Pada standar ASTM C 59-91 bahan kapur yang digunakan diklasifikasikan sebagai berikut:

- *Quicklime* (kapur tohor): batu kapur yang dikalsinasi, dengan kandungan utama kalsium oksida atau kalsium oksida yang berikatan dengan magnesium oksida, yang dapat di *slaking* dengan air.
- *Dolomitic lime: (Dolomitic)* – mengindikasikan keberadaan magnesium karbonat ($MgCO_3$) sebesar 35-46% pada batu kapur.
- *Magnesian lime: (Magnesian)* – mengindikasikan keberadaan magnesium karbonat ($MgCO_3$) sebesar 5-46% pada batu kapur.
- *Hidraulic lime (Kapur Hidraulik): Hydraulic hydrated lime* (kapur hidraulik terhidrasi) – produk *hydrated dry cementitious* yang diperoleh dari kalsinasi batu kapur yang mengandung silika dan alumina pada temperatur yang *short of incipient fusion* untuk membentuk kapur bebas (CaO) demi mengizinkan terjadinya hidrasi, dan dalam waktu yang bersamaan, meninggalkan sejumlah kalsium silikat yang belum terhidrasi untuk memperoleh bubuk kering yang sesuai dengan kebutuhan sifat hidraulik.
- *Hidrated lime*: bubuk kering yang diperoleh dari perlakuan air yang cukup terhadap *quicklime* (kapur tohor) untuk memuaskan afinitas kimianya terhadap air dalam kondisi *quicklime* (kapur tohor) yang terhidrasi. Di dalamnya terkandung kalsium hidroksida ataupun kalsium hidroksida yang tercampur dengan magnesium hidroksida.

b. Clay Component

- *Pozzolan material* (material pozzolanik): menurut keterangan dari ENV 197-1, *pozzolan material* (material pozzolanik) merupakan substansi alami (natural substances) atau pozzolana industri (industrial pozzolanas), silika, atau silika-alumina, atau perpaduan diantaranya. Meskipun *fly ash* dan *silica fume* bersifat pozzolanik, mereka ditetapkan dalam klausa yang berbeda. Material pozzolanik tidak mengeras dengan sendirinya ketika tercampur dengan air, namun ketika dihaluskan dengan baik dan ditempatkan di air, material pozzolanik bereaksi pada temperatur ruangan (ambient temperature) dengan hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) terlarut membentuk *strength-developing* komponen kalsium silikat dan komponen kalsium aluminat. Komponen ini mirip dengan komponen yang terbentuk pada semen hidrolik yang mengeras. Pozzolana umumnya mengandung SiO_2 dan Al_2O_3 reaktif. Sisanya mengandung Fe_2O_3 dan oksida lainnya. Proporsi dari CaO reaktifnya sangat kecil. Kandungan SiO_2 reaktifnya sebaiknya tidak kurang dari 25% massa pozzolana.

- *Fly ashes*: menurut keterangan dari ENV 197-1, fly ashes dapat berupa batuan yang kaya akan silika-alumina atau silika-berkapur (silico-calcareous) di alam. *Fly ash* mulanya memiliki sifat pozzolanik; kemudian bisa memperoleh tambahan sifat berupa sifat hidrolik. *Fly ash* yang berkurang ketika proses pembakaran sebaiknya tidak lebih dari 5% massanya. *Fly ash* diperoleh dengan presipitasi mekanis atau elektrostatik partikel mirip debu (*dust-like particles*) yang terdapat di *flue gases* pada

tungku yang dibakar dengan batu bara halus. *Fly ash* yang diperoleh dengan cara lainnya sebaiknya tidak digunakan untuk semen jika merujuk ke *European Prestandard*.

- *Silica fume*: menurut keterangan dari ENV 197-1, *silica fume* terdiri atas partikel yang nyaris berbentuk bola dengan kandungan silika amorf yang tinggi. Jika terdapat proporsi *silica fume* sebanyak 5% massa semen, maka hanya *silica fume* dengan syarat ini yang digunakan: silika amorf (SiO_2) \geq 85% massa, jumlah yang berkurang selama pembakaran \leq 4% massa, *specific surface area* (BET) (untreated) \geq 15 m²/g.

Bahan Pendukung

a. Bahan Konektif

b. *Additives* (bahan tambahan)

- Menurut ASTM C 219-94 bahan tambahan adalah '*additions*' dan mendefinisikannya sebagai bahan dengan kadar tertentu yang ditambahkan atau dicampurkan kedalam semen hidraulik pada saat pembuatan semen diantaranya yaitu '*processing addition*' untuk membantu proses pembuatan dan proses penanganan semen atau sebagai '*functional addition*' untuk memodifikasi sifat produk yang sudah jadi.

- *European Prestandard* tidak melakukan pemisahan definisi seperti ASTM C 219-94 dan mendefinisikan bahan tambahan sebagai tambahan yang bisa berupa *processing addition* seperti *grinding aid* atau sebuah *air-entraining agent*. Bahan yang digunakan sebagai *grinding aid* adalah trietanolamin asetat, trietanolamin, dan propilen glikol; fungsinya adalah untuk meminimalisir aglomerasi yang terjadi pada partikel semen dan efeknya

akan menambah output yang keluar dari penggilingan semen sebesar $\pm 10\%$. Bahan-bahan tersebut biasanya juga akan menambah sifat alir dari semen. Jumlah yang digunakan normalnya kurang dari 0,1 %. *Air-entraining agents* yang digunakan bisa berupa 'Resin Vinsol' alami, atau alkil aril sulfonat sintetis. Bahan-bahan tersebut juga merupakan bahan tambahan yang bersifat *water-reducing*, seperti lignosulfonat sebagai bahan tambahan tunggal ataupun dicampur dengan bahan tambahan yang lain.

- Menurut keterangan dari ENV 197-1: jumlah keseluruhan bahan tambahan yang digunakan sebaiknya tidak lebih dari 1% massa semen. Jika lebih, maka jumlah keseluruhannya harus dicantumkan pada kemasan dan/atau pada nota pengiriman. Bahan tambahan yang digunakan sebaiknya bukan bahan yang bersifat korosif terhadap beton bertulang, ataupun sifatnya merusak semen atau beton atau mortar yang terbuat dari semen terkait. Sama seperti *European Prestandard*, ENV 197-1 tidak membedakan bahan tambahan.

1.1.6 Produk yang dihasilkan.

Pabrik direncanakan akan menghasilkan semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) Tipe I yang diatur di SNI 15-2049-2004. Pengertian Semen Tipe I menurut SNI 15-2049-2004 adalah "semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada tipe-tipe lain (Dokumen, SNI 15-2049-2004: 2). Syarat kimia semen yang wajib dipenuhi ialah: MgO maksimum 6%, SO₃ maksimum 3% dan 3,5% jika C3A $\leq 8\%$ dan $>8\%$, hilang pijar maksimum 5%, dan bagian tak larut 3% (Dokumen, SNI 15-2049-2004: 2-3).

1.1.7 Kebutuhan Energi

Untuk mencukupi kebutuhan energi, batu bara dipilih dengan pertimbangan harganya yang terjangkau dan ketersediaannya terjangkau dari dalam negeri. Singkat cerita, tidak perlu mengeluarkan uang lebih untuk mengakali impor.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Sejarah Semen (Hewlett *et. al.*, Ed. 4, 2006. dan Zed dkk. 2001)

Semen dapat didefinisikan sebagai zat perekat (*adhesive substances*) yang memiliki kemampuan menyatukan kepingan-kepingan atau sejumlah partikel padat menjadi kesatuan yang kukuh (*a compact whole*). Semen memiliki definisi sekelompok zat (*substances*) dengan sedikit kesamaan tetapi memiliki kerekatan antara satu dan yang lainnya, dan karena teknis serta kepentingan ilmiah dari beragam kalangan yang sangat berbeda (*very unequal*) akhirnya memunculkan kesepakatan untuk membatasi penggunaan desain sejumlah zat perekat berbahan plastik untuk menghasilkan gaya rekat (*adhesi*) pada batu, batu bata, dan sebagainya dalam konstruksi bangunan dan pekerjaan teknik. Semen jenis ini juga memiliki ikatan kimia antara satu dengan yang lainnya, karena terdiri atas adonan yang mengandung campuran dari batu kapur sebagai unsur pokoknya. Istilah ‘semen’ yang sudah disepakati ini kemudian setara dengan ‘semen kapur’ (*calcareous cement*), tetapi masih diperbolehkan mengandung campuran tertentu dari magnesium.

Penggunaan semen pada bangunan masih belum dijumpai pada masa peradaban yang belum relatif canggih. Bangunan pada mulanya dibangun dari tanah, terkadang dibuat dalam bentuk tembok atau kubah dengan cara

memukul lapisannya secara terus menerus atau dari batuan yang disusun tanpa bantuan material perekat, seperti pada bangunan megalitikum, dan struktur batu (masonry) *Cyclopean* di Yunani. Kestabilan keseluruhan tembok jenis ini akhirnya diperoleh dari penyusunan bongkahan batu secara beraturan tanpa bantuan perekat. Sekalipun pekerjaan yang luar biasa sudah tercapai dengan metode konstruksi seperti itu, khususnya pada ruangan berkubah di *Mycenae*, dimana batu kecil didesakkan diantara celah-celah batu besar agar sambungan menjadi kuat, namun hasil karya *Cyclopean* selalu memberikan ruang dikemudian hari untuk struktur batu (masonry) atau struktur bata (brickwork), yang pemasangannya dilakukan dengan bantuan beberapa material plastik.

Rancangan yang paling sederhana dijumpai pada dinding bata bangunan Mesir kuno. Batu bata dikeringkan dibawah sinar matahari tanpa dibakar, dan masing-masingnya dilapisi dengan loam yang encer (lumpur sungai Nil) yang juga digunakan untuk membuat batu bata, dengan atau tanpa tambahan potongan jerami. Pengeringan lapisan ini menjadikan tembok sebagai tanah liat kering yang bermassa kokoh (solid). Wujud konstruksi seperti ini hanya memungkinkan di tempat dengan curah hujan yang sedikit, dikarenakan material yang tidak dibakar sehingga memiliki resistansi (daya tahan) yang rendah terhadap air. Walaupun demikian konstruksi seperti ini memiliki usia yang panjang, dan kota seperti Kuwait di Teluk Persia pernah keseluruhannya dibangun dengan lumpur sampai beberapa tahun belakangan ini. Batu bata yang dibakar dan lembaran-lembaran dari batu pualam putih kemudian digunakan oleh penduduk Babilonia dan Assyrians, lalu

direkatkan bersamaan dengan menggunakan bitumen. Metode seperti ini sangat efektif, tetapi sangat bergantung dengan wilayah yang memiliki deposit material tersebut sebagai kekayaan alamnya, sehingga tidak ditiru dimanapun.

Pada konstruksi struktur batu (masonry) masif Mesir kami menjumpai sistem kita yang sekarang; penyatuan batu bata dan lempeng-lempeng batu dengan mortar, terdiri dari campuran pasir dengan sejenis material perekat. Keseluruhan penulis di Mesir mendeskripsikan mortar Mesir sama dengan batu kapur yang dibakar, meskipun ditemukan di bangunan yang memiliki usia yang sama dengan Great Pyramid, pengujian secara kimia menunjukkan bahwa Bangsa Mesir tidak pernah menggunakan batu kapur sampai periode Bangsa Romawi dan material perekat selalu mereka peroleh lewat cara membakar gipsum. Karena gipsum yang ditambang kondisi kemurniannya sangat rendah, gipsum biasanya terpapar kalsium karbonat, yang akan terdekomposisi sebagian dalam proses pembakaran, atau bahkan terdapat pada kondisi tidak terdekomposisi dalam mortar menjadikannya seolah-olah menggunakan batu kapur. Gipsum mengalami pembakaran yang tidak baik, sehingga diperoleh campuran mineral utuh dan 'dead-burnt' plaster (kalsium sulfat, seperti plaster of Paris). Mortar yang demikian pastilah sulit untuk disusun secara teratur, sehingga sulit untuk membuat susunannya berhasil diselaraskan.

Menurut karya penting dari A.Lucas, alasan penggunaan gipsum ketimbang kapur, meskipun batu kapur lebih berlimpah dan terjangkau daripada gipsum, adalah kelangkaan bahan bakar, kapur memerlukan

temperatur yang lebih tinggi, dan konsekuensinya adalah lebih banyak bahan bakar untuk kalsinasinya.

Meskipun Bangsa Mesir di masa lalu belum mengenal penggunaan batu kapur, benda tersebut sudah digunakan pada periode yang sangat awal oleh Bangsa Yunani pada mulanya di Crete, dan Bangsa Romawi tentu meminjamnya dari Yunani. Mortar di treatment dengan cara modern, dengan proses slaking lalu dicampur dengan pasir, dan contoh struktur bata (brickwork) Bangsa Romawi yang masih eksis adalah bukti kesempurnaan pencapaian sains di masa lampau. Kekuatan luar biasa dari kualitas pengerjaan (workmanship) tembok Bangsa Romawi membingungkan banyak Insinyur dan kadangkala mengarah kepada asumsi bahwa ada rahasia kecil milik para pekerja yang luput, tetapi perbandingan analisa dari mortar dengan deskripsi dari metode pengarang-pengarang kuno tidak memberikan tempat untuk anggapan seperti itu.

Kekuatan luar biasa dari kualitas pengerjaan (workmanship) tembok Bangsa Romawi menarik banyak perhatian pada masa pembangunan air mancur di Versailles (great water works at Versailles). Para penulis di masa lampau menyarankan untuk menyimpan kapur dalam kondisi terlarut (slaked condition) dalam waktu yang lama, lebih baik dalam beberapa tahun, sebelum digunakan, namun pada tahun 1765 Lorient, seorang Insinyur Prancis tertarik ikut serta dalam pekerjaan ini, dibawah kepengurusannya bagian yang pada saat itu dipertentangkan telah disalah artikan, dan mengusulkan agar ditambahkan kapur tohor (quicklime) pada mortar pada saat pencampuran, bertujuan untuk mendapatkan tambahan kekuatan dan

daya tahan terhadap fluida (impermeabilitas). De la Faye menantang hal tersebut, dan merekomendasikan kapur padat seukuran telur agar direndam, ditransfer dari waktu ke waktu ke sebuah tangki tempat menyimpan air (cask), dan disitu dibiarkan bereaksi dengan air supaya berubah menjadi kalsium hidroksida (slake). Praktik seperti ini dipinjam dari Santo Augustine. Faujus de Saint-Fond, pada sebuah studi tentang material *pozzolanic* yang dilakukan dengan terperinci, mengutamakan agar proses slaking terjadi belakangan, dan tertarik dengan proses milik Bangsa India, yang dipraktikkan di selat Malabar, yaitu mencampur molase dengan beton kapur (lime concrete) untuk menaikkan tingkat kekerasannya. Terakhir Rondelet, setelah melakukan pengamatan secara detail pada bangunan Romawi dan setelah melakukan banyak eksperimen dengan metode dari Lorient serta yang lainnya, berkesimpulan bahwa kemantapan mortar Romawi bergantung, bukan dari rahasia apapun mengenai proses slaking atau komposisi batu kapur, melainkan dari kesempurnaan proses pencampuran dan proses pemukulan (ramming).

Sejarah macam bangunan dengan ragam rupa yang banyak diuraikan sebelumnya banyak membedakan ketetapan struktur bata (brickwork) dan struktur batu (masonry) dikarenakan perbedaan pengamatan terhadap point paling krusial temuan Rondelet.

Penjelasan Rondelet kebenarannya tidak diragukan lagi. Analisis menunjukkan tidak ada yang abnormal di mortar Romawi, hanya saja teksturnya sangat rapat, dan interiornya sering ditemukan mengandung kapur yang belum terkarbonasi, memperlihatkan kemampuan mortar yang

impermeable terhadap gas. Praktik proses pemukulan terus – menerus yang lama dikonfirmasi oleh pengalaman Bangsa India. Di Bengal, dimana batu bata tanah berkualitas menggantikan keseluruhan atau sebagian dari pasir, batu kapur besar (fat lime) dan *surki* (batu bata tanah) dicampur dan dibasahi di sebuah edge-runner sampai padatan lengket terbentuk, dan kemudian ditambahkan ke agregat, sampai tercampur dengan sempurna seluruhnya dan dipukul-pukul di tempat (rammed into place). Setelah ini proses tamping dilakukan selama beberapa jam sampai ketika dibuat lubang pada campuran ini dan lubang diisi dengan air, air tidak terserap kedalamnya.

Baik Bangsa Yunani dan Bangsa Romawi mengerti deposit vulkanik tertentu, jika ditambang dengan baik dan dicampurkan dengan kapur dan pasir, menghasilkan mortar yang tidak hanya memiliki kekuatan yang superior, tetapi juga memiliki daya tahan yang baik terhadap air, baik air tawar maupun air asin. Dengan tujuan tadi Bangsa Romawi menggunakan tuf dari kepulauan Thera (sekarang Santorin) dan material ini, dikenal sebagai *Santorin earth*, masih memiliki reputasi yang tinggi di Mediterania. Mortar yang digunakan oleh penduduk Santorin – pulau yang menggunakan kayu untuk bangunan – dalam jangka waktu yang lama masih memiliki kemiripan komposisi dan persiapan (preparation) dengan jaman kuno.

Material yang terkandung pada bangunan Romawi adalah tuf merah ataupun tuf ungu yang ditemukan di lokasi yang berbeda di titik – titik dekat Bay of Naples. Dengan diperolehnya varietas terbaik dari tanah (earth) ini di perkampungan Pozzoli atau Pozzuoli (dalam Bahasa Latin Puteoli), material

ini kemudian dinamai Pozzolana dan pembuatannya meluas menjadi sebuah permasalahan material yang menjadikannya sebuah “tipe”. Vitruvius pernah membahas soal material ini: ‘ Terdapat sebuah jenis pasir yang, alami, memiliki kualitas yang ekstraordiner. Ditemukan di bawah Baiae dan pada area perkampungan di Gunung Vesuvius; jika dicampurkan dengan batu kapur dan rubble, akan mengeras di lautan bak di sebuah bangunan’.

Jika tanah vulkanik tidak tersedia, Bangsa Romawi menggunakan *powdered tiles* atau tanah liat, yang memiliki efek mirip. Meng-*quote* Vitruvius lagi, ‘Jika keberadaan pasir di sungai maupun lautan, diberikan tempat mewujudkan diri di daratan lalu mengalir melalui sebuah pengayak, dengan proporsi satu berbanding tiga, ditambahkan, sebuah mortar akan memiliki kegunaan lebih’. Penting untuk kemudian diketahui bahwa kata ‘semen’ pada masa Latin Lampau dan masa awal terbentuknya Prancis dibentuk digunakan dan didesain untuk material dengan kemampuan seperti itu, sekarang diklasifikan sebagai pozzolana artifisial; maknanya kemudian berubah untuk memperbarui catatan bahwa mortar dipersiapkan dengan mencampur tiga bahan baku, dan hanya dalam beberapa tahun kemudian semen memperoleh makna barunya. Ada bukti bahwa potsherd yang dihancurkan ditambahkan pada mortar kapur (lime mortar) untuk menambahkan sifat hidraulitas pada peradaban Minoan di Crete dan kemungkinan Bangsa Romawi menggunakan tambahan tile yang sudah hancur sebelum mereka menemukan pozzolana alami yang terdapat di dekat kerajaan mereka.

Bangsa Romawi membawa pengetahuan mereka perihal persiapan mortar ke wilayah-wilayah yang dekat kerajaannya, sebagai contoh struktur bata (brickworks) Romawi ditemukan di Inggris, yang memang benar-benar sama dengan yang dimiliki di Italia. Ground tiles adalah bahan yang paling sering digunakan, namun di beberapa distrik ditemukan beberapa pozzolana alami yang mirip dengan pozzolana alami yang ditemukan di Bay of Naples. Penggunaan tuf vulkanik Rhenis dikenal sebagai Trass kemungkinan diperkenalkan pada masa ini, dan material ini, seperti pozzolana, masih digunakan sampai saat ini.

Kemunduran secara gradual terhadap kualitas mortar yang digunakan pada bangunan terjadi setelah zaman Romawi, kemudian terus berlangsung sampai Abad Pertengahan. Bangunan Bangsa Saxon dan Bangsa Norman, misalnya, menunjukkan bukti campuran mortar yang buruk, seringkali dipersiapkan dari kapur yang dibakar dengan tidak sempurna. Kesimpulan yang muncul dengan meyakinkan, dari pemeriksaan terhadap bangunan Prancis, yang pada abad-abad ke 9, ke 10 dan ke 11 pengetahuan mengenai teknik pembakaran kapur (the art of burning lime) hampir lenyap sepenuhnya, kapur yang digunakan dalam bongkahan-bongkahan yang terbakar dengan buruk (badly burnt lumps), tanpa tambahan ground tiles. Mulai dari Abad ke Duabelas kedepan terjadi kualitas semakin membaik, kapur dibakar dengan baik lalu disaring dengan baik. Setelah Abad ke 14 mortar dengan kualitas unggul ditemukan, dan ternyata tindakan pencegahan dilakukan dengan pencucian pasir agar bebas dari kotoran dan lempung (clay) yang menempel. Mengacu pada 'tarrice'

atau *'tarras'* di dokumen Abad ke 17 mengindikasikan bahwa penggunaan pozzolana pada mortar sudah mulai di mapankan lagi di Inggris.

Istilah 'semen' umum digunakan pada Abad Pertengahan untuk mortar, misalnya dalam karya, selalu digunakan di Abad Pertengahan dan masa sesudahnya, Bartholomew Anglicus dalam *De Proprietatibus Rerum*, dalam pembacaan kami: *'Lyme...is a stone brent;by medlynge thereof with sonde and water sement is made'*. Kata 'mortar', bagaimanapun, juga digunakan sedini 1290.

Campuran kapur dengan pozzolana alami atau artifisial milik Romawi lama bertahan posisinya sebagai satu-satunya material yang cocok digunakan untuk pengerjaan di dekat perairan atau pengerjaan terekspos dengan air. Bernard Forest de Belidor, pemegang prinsip konstruksi hidraulik yang sudah mapan digunakan, merekomendasikan percampuran intim antara tiles, butiran batu, kerak-kerak dari tempat pandai besi (*forge scales*), dengan hati-hati ditampung, dicuci bersih dari batu bara dan kotoran, dikeringkan dan disaring, lalu dicampur dengan kapur hasil proses slaking yang masih fresh. Penulis yang sama juga menyebutkan penggunaan pozzolana atau trass jika tersedia. Subjek pozzolana ini nantinya akan dibahas dengan mencerahkan di hasil observasi Rondelet yang apik tentang bangunan. Sangat epik meskipun sampai belakangan ini quote sebagian besar ahli yang digunakan merupakan quote kuno, termasuk Pliny, Vitruvius, dan Santo Augustine.

Ketika kami menghadirkan waktu – waktu dekat/ketika kami mendekati akhir-akhir ini/ketika kami mendekati waktu-waktu belakangan/

ketika kami mendekati tahun – tahun ini, kemajuan terpenting terkait pengetahuan semen, pelopor dari segala pertalian penemuan dan penciptaan modern perihal semen, tidak diragukan lagi berasal dari investigasi yang diemban oleh John Smeaton. Ketika dipanggil pada tahun 1756 untuk mendirikan mercusuar baru di Eddystone Rock setelah penghancuran mercusuar sebelumnya dengan api, dia memutuskan untuk melakukan penyelidikan mengenai material bangunan yang paling cocok untuk digunakan di kondisi lingkungan seperti ini. Dia menemukan bahwa mortar biasa yang digunakan untuk pengerjaan di lingkungan dekat perairan ternyata terdiri dari ‘dua takar quenched atau kapur hasil proses slaking, dalam bentuk bubuk kering, campur dengan satu takar *Tarras Belanda*, dan keduanya ditumbuk dengan baik hingga mengental menjadi pasta, menggunakan sesedikit mungkin air’. Karena hasil dari campuran ini tidak selalu memuaskan, John Smeaton melakukan percobaan guna menemukan efek dari penggunaan kapur dari tempat yang berbeda, kemudian melakukan perbandingan campuran yang dihasilkan dengan cold-water test (dengan mencelupkan mortar dengan segera ke dalam air setelah mortar dibentuk menjadi bola padat dan didiamkan). Temuannya bahwa kapur dari Aberthaw (yang kemudian dikenal sebagai Aberthaw Limestone), di Glamorgan, memberikan hasil lebih baik ketimbang kapur biasa, dia membandingkan sifat kimia dari macam-macam batu kapur, dan menemukan bahwa yang memberikan hasil terbaik setelah menjadi mortar adalah kandungan unsur tanah liat dalam jumlah yang cukup banyak. Ini adalah kali pertama sifat hidraulik kapur dikenali. John Smeaton juga membandingkan beberapa

macam pozzolana alami dan artifisial sebagai pengganti trass, termasuk bijih besi yang sudah dibakar (burnt ironstone) dan kerak-kerak dari tempat padai besi (forge scales). Akhirnya, mortar dipersiapkan dengan menggunakan kapur hidraulik blue lias, dan pozzolana dari Civita Vecchia, diaduk sampai merata masing-masing dalam jumlah yang sama, yang kemudian digunakan untuk pekerjaannya. Menara Suar Smeaton direksikan di Eddystone Rocks pada tahun 1759. Menara Suar itu memiliki ketinggian 72 kaki 93 langkah. Ketika Menara Suar ini digantikan dengan yang baru, yang lebih besar pada tahun 1882, Menara Smeaton dibongkar batu demi batu lalu dipindahkan ke tempat barunya (1882) di Plymouth Hoe, dimana sampai sekarang Menara Smeaton menjadi landmark paling terkenal milik Plymouth.

Walaupun eksperimen milik Smeaton sukses, penggunaan kapur hidraulik hanya mengalami sedikit perkembangan, dan campuran lama dari kapur dan pozzolana mengalami masa jayanya pada periode yang lama. Penemuan bahwa semen hidraulik dapat dibuat dari proses kalsinasi dari nodul-nodul batu kapur argilaseus (berlempung), dikenal sebagai septaria, ditemukan pada beberapa lapisan Tersier, kemudian dipatenkan pada tahun 1796. Produk semen hidraulik ini memperoleh nama yang menyesatkan dan tidak tepat sebagai semen Romawi (Roman cement), berdasarkan sifat hidrauliknya, meskipun itu sama sekali tidak menyerupai mortar bangsa Romawi. Istilah 'Romawi' yang dibubuhkan ke semen pertamakali digunakan oleh James Parker pada sebuah pamflet (1798) berjudul *Semen Romawi, terras artifisial dan stuko (Roman Cement, artificial terras and*

stucco) yang terkandung di kopian surat dari Thomas Telford ke John MacKenzie, seorang Sekretaris yang bekerja untuk British Society for the Fisheries, etc., tertanggal 12 April 1796, dimana percobaan detail Telford yang dia emban terkait dengan semen pada 23 dan 26 Maret dan pada 4 April dengan arahan dari Direktur Society tersebut. Telford berpendapat bahwa dia 'sangat beralasan untuk merekomendasikan kepada Direktur supaya menggunakan komposisi Tuan Parker, sebagai pengganti Tarras Belanda, untuk membuat Pier di Lochbay (Skye)'.

Semen Romawi merupakan tipe semen yang cepat mengering dan berguna pada kerja konstruksi yang mengalami kontak langsung dengan air dan mudah dikontrol. Kejayaan semen Romawi pada pengerjaan bidang teknik sipil (civil engineering) bertahan lama sampai sekitar tahun 1850, setelah secara perlahan 'dihempaskan' oleh semen Portland. Pengembangan dari semen hidraulik yang secara berangsur-angsur terus mengalami perubahan tidak hanya terjadi di Inggris tapi sama halnya di Negara lain. Bersamaan dengan dikenalkannya semen Romawi, bahan perekat alami yang mirip telah digunakan di Prancis berdasarkan temuan beton-beton didekat Bolougne, dan deposit 'batuan perekat', mampu menghasilkan semen hidraulik dari proses kalsinasi, ditemukan di Rosendale dan Louisville, Amerika Serikat. Temuan tersebut tidak lama sebelum industri perekat alami Amerika menjadi sangat penting, terutama dalam pembuatan kanal.

Investigasi L.J Vicat mengenai kapur hiraulik menuntunnya untuk membuat kapur hiraulik artifisial dari perpaduan intim batu kapur dan tanah

liat yang kemudian dikalsinasi, dimasukkan kedalam penggiling dalam kondisi basah. Proses ini kemudian dikenang sebagai prinsip pelopor dalam pembuatan semen Portland. Edgar Dobbs dari Southwark mematenkan semen jenis ini pada tahun 1811. Tahun 1825 James Frost mendirikan pabrik manufaktur di Swanscombe (Kent) – ini merupakan pabrik semen calcareous (bahan kapur) pertama di distrik London. James Frost hanya melakukan kalsinasi seadanya pada campuran mentahnya, dan produknya jelas sangat inferior dibanding Roman cement, sehingga produknya dijual dengan harga lebih murah.

Diantara banyak paten untuk semen hidraulik yang muncul di awal abad ke 19 ada satu yang paling berpengaruh secara historis dibandingkan yang lain; paten inilah yang paling terkenal, paten no 5022 (gambar 1.2), tertanggal 21 Oktober 1824 oleh Joseph Aspdin. Aspdin adalah kuli bangunan atau tukang batu yang memiliki pengetahuan perihal batu sebagai bahan bangunan (building stones), dan dalam patennya Aspdin mendeskripsikan materialnya sebagai ‘Semen Portland’. Pemilihan nama ini karena pada saat itu batu Portland memiliki reputasi tinggi untuk kualitas dan daya tahannya serta Aspdin menginginkan agar orang langsung memperhatikan kemiripan warna dan kualitas semennya dengan batu Portland – batu kapur yang digali di Dorset, sangat diutamakan oleh Wren di akhir abad 17.

Aspdin menggunakan batu kapur keras untuk memperbaiki jalanan, dihancurkan, lalu dikalsinasi, dan mencampurnya dengan lempung, dihaluskan menjadi slurry halus dengan menggunakan air. ‘Kemudian

kuhancurkan campuran tersebut menjadi gumpalan yang sesuai dan mengkalsinasikannya di tungku yang mirip dengan kiln kapur sampai asam karbonnya terbuang. Campuran yang terkalsinasikan di diamkan, dihancurkan, atau digiling menjadi butiran halus, dan kemudian dalam kondisinya yang terbaik untuk pembuatan semen atau batu artifisial'. Seperti Frost, Aspdin mungkin menggunakan temperatur rendah, dan produknya mestinya memiliki kualitas yang buruk. Dia tampaknya juga diarahkan oleh gagasan bahwa pemanasan artifisial yang di berikan ke lempung seharusnya menghasilkan material yang memiliki kemiripan sifat dengan batuan vulkanik alami. Pabrik pertamanya berada di Wakefield (gambar 1.3).

Semen pertama Aspdin tidak lebih daripada kapur hidraulik, tetapi paten tahun 1824 milik Aspdin memberinya kuasa untuk menggunakan istilah semen Portland meskipun produk semennya bukanlah semen Portland yang sekarang kita kenal. Mineralogy semen Aspdin amat berbeda, sama seperti aktivitas hidraulisnya. Meski demikian, semen yang dipatenkan oleh Aspdin merupakan sebuah hubungan esensial dalam pengembangan yang mengarah, menuju kemajuan teknologi, ke kalsium silika yang sekarang yang kita sebut semen Portland.

Kembali pada saat, Brian Higgins (1780) mendeskripsikan kualitas salah satu mortar hasil eksperimennya '... dalam tiga bulan hampir sama kerasnya dengan batu Portland yang berada di permukaan'. Higgin merubah metode preparasinya dan menyatakan '... dalam waktu sebulan, saya menemukan potongan stuko ini lebih rapat dan keras dibandingkan lapisan dasarnya dan pada permukaannya sama dengan batu Portland yang lebih

superior dan yang lain inferior’. Kemudian John Smeaton (1791) mendeskripsikan bagaimana dia bertujuan ‘...untuk membuat semen yang sama padat dan tahan lamanya dengan batu Portland terbaik yang diperjualbelikan.’

Semen yang dipatenkan dari hasil proses pembuatan milik Joseph Aspdin merupakan pendahulu dari semen Portland modern. Anak termuda Joseph Aspdin, William, menghabiskan hampir 12 tahun di perusahaan milik bapaknya untuk memperoleh pengetahuan menyeluruh mengenai bisnis yang dimiliki bapaknya. Namun, pada Juli 1841 William tiba-tiba meninggalkan perusahaan milik bapaknya, kemungkinan karena hasil tambang keluarganya, dan memulai sebuah pabrik semen di Rotherhithe yang terletak di sisi selatan Sungai Thames di London pada musim panas tahun 1843. Pabrik dimiliki oleh J.M. Maude, Son & Co., dan beroperasi untuk membuat semen tingkat lanjut. William Aspdin menemukan bahwa material ‘overburnt’ atau di klinker pada hakikatnya menambah kekuatan semen yang dimilikinya. Karena William memiliki pengetahuan yang terbatas soal ilmu kimia, penemuannya sangat mungkin dipastikan suatu kebetulan. Pada awal 1846 sebuah pabrik baru dibangun di Northfleet, tetapi pengoperasiannya terbengkalai karena masalah finansial dan kepemilikan pabrik. William Aspdin melanjutkan pembuatan semen baik di Thames dan di Gateshead yang berada di Tyne (Gateshead-on-Tyne). Beehive kiln preservasi milik Aspdin diilustrasikan pada gambar 1.4 – kiln ini beroperasi pada periode 1847-1850. Skempton telah mengindikasikan bahwa pada 1848 semen Aspdin 2,4 kali lebih kuat dibandingkan dengan semen Romawi

terbaik pada masa itu dan 20% lebih kuat dibanding semen jenis-Portland yang dibuat oleh Messrs J.B. White (managernya ialah I.C Johnson). Hasil pengamatan retrospektif mikroskopis dari semen jenis-Portland ‘preservasi’ yang dibuat oleh pabrik Aspdin di Northfleet mengindikasikan bahwa dia mencapai vitrifikasi pada kiln miliknya sehingga memproduksi kristal alit (gambar 1.5).

I.C Johnson juga mendapati bahwa gumpalan material ‘overburnt’ pada kiln, walaupun lebih lambat mengering saat digunakan, menghasilkan semen yang lebih baik daripada produk biasanya. Johnson menemukan beberapa kesulitan dalam menemukan takaran kapur dan lempung yang pas, namun sepertinya hal ini sudah teratasi sejalan dengan keputusan Johnson meninggalkan karyawannya dan membuat pabriknya sendiri di Rochester, yang mulai melakukan produksi pada 1 Mei, 1851. Dia kemudian mengambil alih pabrik yang ditinggalkan Aspdin di Gateshead.

Pembakaran dengan temperatur yang lebih tinggi sangat mungkin telah dilakukan Aspdin di pabrik-pabriknya sebelum pabrik yang dimilikinya di Gateshead diambil alih oleh I.C Johnson, sejalan pada saat awal mula pembangunan Terowongan Thames di tahun 1838, Brunel menggunakan semen Portland meskipun dengan fakta bahwa harganya dua kali lipat semen Romawi, di hadapan lawan terkuat semen Portland.

Pembuatan semen dilakukan dalam lingkungan yang sangat kompetitif. Aspdin tidak memproteksi teknik lanjutan yang dimilikinya akan tetapi malah berdalih. Aspdin lama menyembunyikan proses yang dimilikinya, dan menurut Johnson, dialah yang mengklaim telah

menyarankan pembakaran dengan temperatur yang lebih tinggi guna menghasilkan vitrifikasi, dia biasa mengangkut wadah berisi tembaga sulfat ke kiln ketika pengisian, agar mengisyaratkan seolah-olah proses tersebut bergantung dari penambahan garam. Aspdin (1848) menyatakan paten bapaknya di tahun 1824 adalah satu-satunya paten untuk pembuatan semen Portland.

Kisah perkembangan semen Portland tidak mudah untuk di jabarkan. Dengan sering terjadinya kisah ini dalam sejarah ilmu kimia, inovator asli pada industri semen Portland bukanlah orang yang pertama kali menemukan reaksi kimianya. Kontribusi Joseph Aspdin adalah penamaan semen 'Portland' (dari patennya tahun 1824 yang meragukan) dan, meskipun semen miliknya adalah sebuah improvisasi yang sangat jelas dari material sebelumnya, ini hanyalah sebuah semen proto-Portland. Semen itu tidak lagi menjadi sebuah semen proto-Portland sampai pada pertengahan tahun 1840an, William Aspdin tanpa sengaja mensintesis kalsium silikat yang menjadi basis sebuah semen meso-Portland. Johnsonlah yang mengembangkan semen meso-Portland setelah melanjutkan kerja Aspdin di Northfleet. Johnson mengikuti sejumlah training di bidang kimia dan dialah yang mengasuh prosesnya dan melihat perkembangan industrinya tumbuh dewasa hingga Abad Keduapuluh sebelum kematiannya pada tahun 1911 di usianya yang ke 100.

William Aspdin menjadi keji dalam menjalankan transaksi bisnisnya sehingga mengakibatkan kerjasama bisnis miliknya terus-terusan gagal. Di akhir tahun 1850an dia terlibat dalam beberapa spekulasi bisnis terkait

semen di Jerman, tetapi pabriknya tidak mampu bertahan lama/hanya mampu beroperasi dalam waktu yang singkat dan dia kemudian wafat di Itzehoe yang diakibatkan oleh kebangkrutan yang dialaminya di tahun 1864 pada usianya yang ke 49.

Dalam sejarah semen Portland peristiwa yang terpenting, dalam kacamata teknik produksi dan pengendalian kualitas (quality control), merupakan dikenalkannya penggunaan rotary kiln serta pengembangan teknisnya, yang menggantikan shaft kiln. Pembuatan semen kemudian mengalami perubahan dari proses batch ke proses produksi kontinyu (continuous production process). Perubahan ini dialami secara perlahan pada permulaan abad ke 20, dan sekitar 70 tahun kemudian, pengendalian kualitas (quality control) berkembang lebih jauh dengan implementasi pemantauan computer (computer monitoring).

Melihat kebelakang dan melakukan peninjauan disana (looking back in retrospect), terdapat kemungkinan untuk membedakan tahapan dalam perkembangan sejarah semen Portland melalui studi komposisi mineralogika (study of the mineralogical assemblage) penyusun semen 'Portland' yang dibuat pada tiap periode. Pendekatan ini memudahkan klasifikasi dalam terminology berikut:

- Semen proto-Portland;
- Semen meso-Portland;
- Semen Portland normal.

Dengan mempelajari komposisi mineral tidak terhidrasi (unhydrated) pada mortar menggunakan mikroskop tipe reflected light (reflected light microscopy), dapat dipastikan sifat dasar semen yang sebenarnya.

Semen proto-Portland pada hakikatnya merupakan campuran batu kapur dan lempung terkalsinasi dengan sedikit bukti interaksi CaO-SiO_2 , karena temperatur pembakaran yang sangat rendah untuk sintesis campuran. Semen yang dipatenkan oleh Joseph Aspdin (yang masih asli buatannya) yang dibuat di Wakefield dapat disebut semen proto-Portland.

Semen meso-Portland merupakan material yang luar biasa heterogen (extremely heterogen) tetapi memiliki bukti yang pasti dari interaksi CaO-SiO_2 (menghasilkan $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ dan sedikit kandungan $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dan mengalami fase flux yang buruk (poorly defined flux phase). Semen meso-Portland menunjukkan bukti jelas pendinginan yang lambat (slow cooling), campuran padatan ternary (ternary solid solution) yang sesekali hadir dengan butiran silika (material mentah dihaluskan dengan penggilingan batu) dan serpihan besi (dari tiang besi di kiln vertikal). Gambar 1.5 menunjukkan foto mikrograf dari semen meso-Portland.

Semen Portland normal, yang kita kenal hari ini, adalah semen calcareous (bahan kapur) berkualitas yang dibuat di kiln putar (rotary kiln) dan inilah produk yang bisa di definisikan sebagai semen Portland normal. Semen Portland normal merupakan perpaduan sintesis kalsium silika yang terbentuk di sebuah molten matrix dari campuran komponen calcareous (bahan kapur) dan argilaseus (berlempung) dengan takaran yang sesuai. Periode kalsinasi (the calcination period), temperatur reaksi dan waktu

tinggal (residence time) pada zona pembakaran di rotary kiln harus tepat diantaranya untuk meminimalisir kapur yang tidak menyatu (uncombined) dan memaksimalkan kalsium silika pada produk dimana, melalui penakaran dasarnya (basic proportioning), akan menghasilkan perbandingan $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Produknya, ketika digunakan dalam kondisi partikel yang terdistribusi dengan optimum (optimum particle size distribution) dapat terhidrasi dalam beberapa kondisi yang cocok dengan kebutuhan komersial standar spesifikasi nasional yang bersangkutan (seperti BS 12:1991). Semen Portland normal (tidak seperti semen proto-Portland atau semen meso-Portland sebelumnya) akan mengandung jumlah kalsium sulfat interground yang terkendali sebagai setting retarder.

Perkembangan dari teknologi semen dapat dipelajari sebagai sebuah fungsi kenaikan daya tahan (*function of strength improvement*) dari campuran mortar terhidrasi dengan tidak mengesampingkan studi periode kronologisnya, seperti yang terdapat pada gambar 1.6 Periode 1 pada grafik ini memplot era semen meso-Portland sedang periode 2 adalah tahap transisi dengan awal dari prosedur pengendalian kualitas yang mengarah ke periode 3 yang merepresentasikan semen Portland normal. Periode 1 didominasi oleh teknologi Britania sedang periode 2 didominasi oleh teknologi Jerman. Semen Portland normal, setelah Perang Dunia 2, dibuat dalam 2 kualitas: biasa (ordinary) dan cepat (rapid) mengeras (digiling lebih halus dan diperbanyak kandungan $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ nya). BS 12:1991 menetapkan empat kategori daya tahan untuk memenuhi syarat dari EN 196 Part 1, membawanya sejajar dengan ASTM dan spesifikasi continental. Semen

Portland akan diidentifikasi setidaknya dari nama dan dari subkelas daya tahan paling awalnya.

Sejak perkembangan dari semen meso-Portland (oleh William Aspdin dan I.C Johnson), sifat utama yang dicari dari semen calcareous (bahan kapur) adalah kemampuan produk dalam melakukan hidrasi untuk memperoleh kekuatan, dan selama setahun aspek ini menjadi wilayah mayor dari kompetisi. Penggunaan temperatur pembakaran yang lebih tinggi menghasilkan silika dengan kandungan kapur yang lebih besar, dimana ini penting untuk mempercepat laju perolehan kekuatan pada beton. Karakter heterogen dari semen meso-Portland menghasilkan sebuah semen yang lambat mengering (slow-setting) dan tidak dibutuhkan untuk mengintergrind klinker dengan retarding agent untuk mengontrol waktu mengeras dari gel tersebut. Karakter memperoleh daya tahan dari semen Portland mengalami kenaikan tetap selama setahun sejalan dengan proses termal pada bahan baku yang secara berkala didesain ulang sesuai dengan perkembangan teknologinya. Peningkatan yang terjadi di akhir abad ke 19 adalah ketika dikenalkannya ball mill untuk penghalusan semen dan proses batch menggunakan shaft kiln yang digantikan oleh proses kontinyu menggunakan kiln putar (rotary kiln) secara berangsur-angsur.

Converted lime-burning bottle kiln tahun 1860an digantikan dengan horizontal arched chamber kiln (di tahun 1872, oleh I.C Johnson) dan pada tahun 1898 terdapat sekitar 1000 kiln dengan desain yang beragam di sungai Medway dan Thames.

Pada tahun 1877 Thomas Crampton, seorang insinyur lokomotif, mematenkan sebuah kiln dengan silinder berputar yang di sejajarkan dengan batu bata tahan api (firebrick). Pada tahun 1885 seorang berkebangsaan Amerika, Frederick Ransome, memproduksi sebuah kiln silindris sepanjang 6,5 m tetapi memiliki masalah pengoperasian. Bangsa Amerika melanjutkan percobaan mereka dan di tahun 1898 Hurry dan Seaman menyempurnakan kiln putar (rotary kiln) berbahan bakar bubuk batu bara pertama yang beroperasi secara penuh. Kiln putar pertama yang di ereksikan di Inggris merupakan sebuah baterai yang terdiri dari enam kiln kecil di Thurrock, Essex (1900) untuk menyediakan sumber semen yang digunakan untuk pembangunan pelabuhan Dover. Perkembangan kiln putar sampai akhir dari era Viktorian tidak hanya dimodifikasi berdasarkan skala kebutuhan produksi melainkan juga untuk membantu dalam menciptakan produk yang lebih homogen dimana kealamian komposisi mineral (mineral assemblage) dan derajat kominusi (degree of comminution) membutuhkan bantuan gel-setting retarder. Untuk melakukan kontrol terhadap hidrasi dari komponen $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, gypsum ditambahkan dalam tahapan penghalusan.

Dalam waktu 90 tahun semenjak pengereksian kiln putar pertama di Inggris, tahapan reaksi pada kiln mengalami banyak penurunan langsung dalam aspek kualitas dan ekonomi. Perubahan yang terjadi melibatkan pengurangan pada kadar air bahan baku, kealamian proses pembakaran, konsumsi bahan bakar dan terakhir perhitungan yang terkomputerisasi (computeryzed operation). Proses semi-kering (semi-dry) dan semi-basah (semi-wet) diperkenalkan pada tahun 1950an dan pada tahun 1960 lebih dari

5 persen produksi semen klinker di Inggris dibuat dengan menggunakan proses ini. Sekitar tahun 1960 dan 1980 banyak dikenakan perubahan besar dalam ukuran unit terpasang dan jumlah material mencapai kenaikan sekitar empat kali lipat pada desain ukuran unit selanjutnya pada tahun 1980 lebih dari 50 persen semen Portland klinker di Inggris dibuat dengan proses termal yang lebih efisien. Sekitar periode 1955 sampai 1985, dilakukan percobaan berkaitan dengan sumber bahan bakar. Dengan menggunakan batu bara yang dihaluskan (menjadi bubuk halus) kandungan debu didalamnya merupakan bagian utuh (integral part) dari bahan baku dan seharusnya dipertimbangkan dalam perhitungan umpan bahan mentah (raw feed calculation). Harga bahan bakar yang melambung mengharuskan diperolehnya bahan bakar yang ekonomis. Proses basah yang digunakan di bagian tenggara Inggris tidak terlalu efisien secara termal karena hanya sepertiga total panas yang digunakan untuk reaksi pembentukan klinker (clinkering reaction) setelah proses penguapan air dan bahan baku mengalami dekarbonasi (decarbonated). Sebagai alternatif batu bara yang dihaluskan, dicobalah minyak bakar fraksi berat (heavy fuel oil) sebagai pengganti dan awal tahun 1970an tersedia beberapa harga gas alam yang sangat menarik. Bagaimanapun, dengan terjadinya kenaikan harga gas alam diakhir tahun 1970an, pembuatan semen kembali menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya dengan beberapa pabrik menambahkan input bahan bakar mereka dengan menggunakan sampah domestic (domestic refuse) dan bahkan ban karet. Pengendalian kondisi pembakaran yang lebih baik membuat reaksi pembentukan klinker terbantu, diantaranya mengurangi

jumlah batu kapur yang tidak menyatu dan memberikan efek yang signifikan terhadap sifat pemberi kekuatan (strength-giving properties).

Perbedaan esensial antara semen meso-Portland pada era Aspdin dan semen Portland modern adalah pada efisiensi kemampuan menyatu (combinability efficiency) dan homogenitas mineral (komposisi campuran dan karakteristik kristalnya). Terdapat hasil yang berbeda-beda tergantung tingkatan teknologi yang diterapkan pada masing-masing zaman. Sangatlah jelas terdapat perubahan sifat dari semen Portland biasa pada abad ke 20. Perubahan paling signifikan yaitu hubungan perbandingan dari trikalsium silikat dan dikalsium silikat, walaupun proporsi keseluruhan dari kalsium silika di semen kurang lebih tetap tidak mengalami perubahan (constant). Terdapat perhatian khusus pada tahun 1980 tentang implikasi dari kenaikan bertahap kekuatan semen Portland terhadap kemungkinan efek daya tahan yang dimiliki beton.

Jika asal kuat saja (strength-only) merupakan syarat dasar dari desain campuran beton, tingkat kekuatan yang diinginkan dapat dicapai dengan mengurangi komposisi semen yang digunakan dan menggunakan perbandingan air-semen (w/c ratio) yang lebih besar daripada biasanya. Hal ini sangat jelas berdampak dengan daya tahan yang dimiliki beton. Seharusnya mula-mula kita menentukan beton yang cocok digunakan untuk lingkungan yang akan mengeksposnya. Hal ini berarti kita harus menentukan kebutuhan komposisi semen minimum, perbandingan air-semen maksimum dan tingkat kekuatan beton yang kompatibel dengan dua karakteristik dasar tadi (daya tahan dan kekuatannya).

Perubahan komposisi yang mirip juga tercatat di Amerika Serikat dan disana beberapa investigasi dilakukan untuk mempelajari perubahan yang terjadi pada karakteristik semen. Studi yang paling dikenal adalah studi yang dilakukan oleh Gonnerman dan Lerch (1952) yang melakukan survey detail terkait semen Amerika selama periode 1904 sampai 1950. Perbandingan langsung data antara semen Amerika dan semen Britania tidak memungkinkan dikarenakan perbedaan metode pengujian, namun terdapat kemiripan dari slope karakteristik kekuatannya (slope of strength characteristic) selama setahun, yang memberikan keyakinan bahwa data semen Amerika dapat dikorelasikan dengan data 28 hari kekuatan semen Standar Britania (British Standard 28-day cement strengths). Pada abad ke 20 terjadi sekitar 4 atau 5 kali kenaikan kekuatan semen dalam waktu 28 hari dan ini cocok untuk membuat beton yang memiliki kekuatan lebih. Sangatlah jelas bahwa bangunan yang sekarang dibuat menggunakan beton tidak mungkin ada tanpa semen berkekuatan rendah (low-strength cement) yang telah tersedia sebelumnya.

Penggunaan beton (concrete), kumpulan artifisial yang terdiri dari kerikil atau kepingan batu bersamaan dengan pasir, serta kapur atau semen, juga merupakan sesuatu yang sangat antik. Istilah 'concretum' hanya digunakan oleh Bangsa Romawi untuk menyebutkan campuran dari material yang sudah jadi. Merujuk kepada Pliny terkait pembangunan waduk: 'Waduk sebaiknya dibuat dengan perbandingan 5 bagian pasir yang hanya mengandung kerikil, 2 bagian kapur tohor yang paling keras, dan kepingan dari silex, yang tiap bagiannya memiliki berat tidak lebih dari satu pon;

ketika semua bahan sudah menyatu, bagian dasar dan sisi waduk sebaiknya di pukul dengan menggunakan pemukul dari besi. 'Bentuk beton yang terbuat dari kepingan tiles lebih banyak terlihat di jalanan, dan semen yang dicampur dengan minyak atau bahan organik lainnya sering digunakan sebagai bahan pelapis supaya tahan terhadap air. Banyak beton unggulan yang terbuat dari pecahan batu bata, kapur dan pozzolana, sedang pada pembangunan berskala besar tuf vulkanik biasanya mengambil alih posisi batu bata. *The great vaults of the Thermae* dan *the great vaults of the Basilica of Constantine* terbuat dari beton yang dibentuk.

Bangunan Romawi paling terkenal yang didirikan dengan menggunakan beton adalah Pantheon, temboknya yang memiliki, ketebalan 6 meter, dibuat dari tuf dan beton pozzolana yang berhadapan tipis dengan batu bata, sedangkan kubahnya, dengan diameter (span) 43,5 meter, dibuat dalam bentuk yang padat dari beton yang mengandung batu apung dan pozzolana. Papan kayu digunakan sebagai alat cetakan, dan beton kemudian dimasukan ke dalamnya dalam kondisi yang semi-fluid (tidak terlalu cair). Pantheon merupakan satu dari sedikit bangunan di Roma yang masih utuh setelah kemunduran Emperium Romawi. Beton ringan yang melibatkan tuf vulkanik dan pozzolana dikembangkan oleh pekerja bangunan Romawi dan digunakan di beberapa bentuk lengkungan (arches) yang terdapat pada *Colosseum* dan pada kubah *Pantheon*. Cahaya yang masuk melalui celah 8 meter di mahkota pada gedung bundar (rotunda) di dalam Pantheon jatuh dari ketinggian dengan panjang yang sama persis dengan diameter yang dimiliki bangunan – sesuai yang dikehendaki teori Bangsa Romawi tentang

kaidah arsitektural (architectural proportions). Keunikan dan daya tahan kubah milik Pantheon menginspirasi Sir Christopher Wren pada desain kubah miliknya untuk Katedral Santo Paul di London. Kondisi kualitas sejumlah bangunan Romawi yang seperti ini cukup untuk membuktikan keunggulan mutu material yang digunakan. Hal tadi lebih jauh ditunjukkan oleh eksistensi bongkahan beton Romawi pada pesisir diantara Naples dan Galea, yang dipoles oleh lautan namun tetap tidak terluka.

Beton juga digunakan pada tembok bangunan pada masa Abad Pertengahan, namun kurang tersusun dengan teratur (less systematically), dan dengan pengetahuan minim tentang material, dibanding Bangsa Romawi. Gereja kuno yang berada di Roma memiliki tembok yang terbuat dari beton, sedangkan di Inggris contoh model konstruksi yang mirip adalah Istana Kendal dan Istana Corfe, sebuah bangunan Saxon, yang memberikan ide kepada Smeaton untuk menggunakan beton dalam pekerjaan rekayasa (engineering works). Banyak beton di bangunan medieval yang memiliki kualitas sangat rendah. Beton berkualitas rendah itu tidak tersentuh sampai zaman yang betul-betul modern hal tersebut dianggap penting untuk disadari, kesadaran ini di perlihatkan kali pertamanya pada pembangunan Dermaga India Barat (West India Dock) di tahun 1800. Dorongan besar untuk menyadari hal itu karena dikenalkannya semen Portland, dan sejak itu penggunaan beton membuatnya tumbuh menjadi bahan bangunan yang serbaguna. Penemuan beton bertulang, sebuah material yang tahan terhadap tekanan yang terbuat dari beton yang tercampur dengan baik lalu mengeras dipadukan dengan baja yang memiliki tensile strength (daya rentang),

meningkatkan kegunaan beton dan memiliki efek jangka panjang secara terus-menerus dalam membawa kemajuan terhadap kualitas semen. Meskipun paten pertama untuk sistem konstruksi beton bertulang dimiliki oleh W.B Wilkinson di tahun 1854, hal ini sudah diobservasi dan bahwa dekorasi Fleurs-de-Lys pada Aula Portland William Aspdin (William Aspdin Portland Hall) di Gravesend, Kent, yang dibangun pada tahun 1850, ternyata terbuat dari beton bertulang.

Dengan permintaan untuk semen Portland, terutama sebagai bahan pembuat beton, meningkat, dan kebutuhan untuk para insinyur akan material yang lebih sempurna, hal tersebut menjadi sangat diinginkan supaya tercapainya standar kualitas yang seperti itu, dengan persetujuan (consignment) yang bisa dinilai setelah hasil dari serangkaian uji coba yang dilakukan. Dengan cara ini spesifikasi standar menjadi meningkat di banyak negara, baik dengan bantuan pihak resmi, atau dengan kerja organisasi sukarela yang terdiri dari insinyur dan consumer, ataupun dari asosiasi pembuat semen. Asosiasi seperti itu dibentuk di Jerman jauh di tahun 1877, dan tidak lama kemudian menerapkan aturan untuk mengontrol kualitas dari produk. Spesifikasi Standar Jerman pertama lahir di tubuh ini. Pembentukan dari VDZ (Asosiasi Pekerja Semen Jerman) sedemikian pentingnya hingga membuat Jerman mengambil alih peran Britania sebagai daerah utama pengembang teknologi semen, dan hal terpenting yang menyebabkan ini adalah kepatuhan terhadap kualitas (adherence to quality). Pada masa gencarnya ekspansi ekonomi di Amerika Serikat yang diikuti kemudian dengan Perang Sipil, semen Portland produksi Eropa, terutama Jerman,

digunakan. Sekitar 8000 barel semen Dyckerhoff diimpor pada tahun 1884, dari Jerman untuk membangun fondasi beton dari Patung Liberty di New York. Ini hanya contoh pertama – bangunan lain di New York yang menggunakan semen Jerman adalah Hotel Waldorf-Astoria dan Rumah Opera Metropolitan (Metropolitan Opera House). Spesifikasi Standar Britania pertama (BS 12) lahir di tahun 1966, dan revisinya yang ke empat muncul pada tahun 1991. Spesifikasi ASTM pertama dikeluarkan di tahun 1904. Semua spesifikasi itu dapat dikenakan revisi dari tahun ke tahun, perubahan yang dilakukan melulu mengarah ke persoalan menaikkan tingkat kekerasan (stringency) minimumnya. Pada saat yang bersamaan, hampir semua semen yang diperdagangkan biasanya memenuhi lebih dari satu syarat spesifikasi resmi.

Dengan ditentukannya variasi karakter mineral dari semen Portland, semen yang didesain khusus (specialised cement) dapat di produksi dan istilah ‘semen Portland’ sekarang memperoleh status sebagai istilah yang generik (umum).

Dengan semakin dekatnya pertalian ekonomi dengan masyarakat Eropa melalui perjanjian Roma dan perjanjian Maastricht, Komite Standardisasi Eropa (CEN) mempersiapkan sebuah Persiapan Standar Eropa untuk semen. Sebagai bagian yang memayungi aktifitas ini, CEN mempublikasikan EN 196, sejumlah metode untuk menguji semen. BS 12: 1991 ditentukan persyaratannya dari prosedur pengujian EN 196.

Studi ilmiah dari semen relatif baru-baru ini dilakukan. Bahkan penulis pertama yang berurusan dengan teori tentang setting (waktu yang

dibutuhkan semen untuk mengering), tapi penjelasan mereka merupakan penjelasan secara alami (natural) yang sifatnya sungguh sangat hipotetis. Demikian dengan Vitruvius, yang mungkin hanya merekam pendapatnya ketika itu, dan tidak membuat kontribusi orisinal apapun terhadap subjek, hanya mampu menyarankan, dalam menjelaskan karakteristik dari mortar, yang mana

Batu...menembus melalui kiln, dan kehilangan sifat aslinya yang ulet karena laku dari panas yang intens, daya rekatnya lama kelamaan hilang, lalu pori-porinya menjadi terbuka dan tidak aktif. Kelembapan dan udara yang terdapat di batu, oleh sebab itu, diekstrak dan dihilangkan, sebagian panasnya dipertahankan, ketika zatnya tenggelam dalam air sebelum panas dapat disebarkan, batu tadi akan memperoleh kekuatan ketika air yang menerjang seluruh pori-pori yang dimilikinya, membuih, dan akhirnya seluruh panasnya tersisih...pori-pori dari batu kapur, kemudian menjadi terbuka, dan itu menjadi sangat mudah untuk dicampurkan dengan pasir, lalu melekat disana, dan dari situ, dikeringkan, dari sana kedengarannya diperoleh.

Terdapat sebuah kepercayaan kuno dimana kualitas dari kapur dipengaruhi oleh tekstur batu kapur yang membuatnya, semakin keras batu kapur maka akan semakin tahan lama pula mortarnya, bertahan sampai dikenalkannya semen Portland.

Eksperimen Smeaton yang paling epik, ketika dia menunjukkan bahwa kapur hidrolik memiliki sifat yang khusus karena konstituen

berlempung pada batu kapur, merupakan fundamental yang penting untuk memahami sifat alamiah semen (nature of cement), namun mereka hanya mendapatkan sedikit perhatian dari para kimiawan. Hipotesis milik Bergman, menetapkan bahwa sifat hidraulik dari semen berhubungan dengan kehadiran garam mangan (manganese salt), meskipun berdasarkan penemuan yang tidak disengaja dari beberapa mangan di dalam kapur hidraulik, hipotesisnya secara umum diterima, dan hanya mampu digulingkan oleh hasil kerja dari Collet-Descotils, yang membuktikan bahwa pembakaran merubah silika menjadi bentuk terlarutnya, dan terutama karena investigasi praktis dan teoretis yang mendalam dari Vicat. Cakupan material yang sangat luas yang dipelajari oleh penulis ini menggambarkan betapa berharganya karyanya yang khusus ini. Pokok kesimpulan teoritisnya adalah bahwa silika pada lempung yang menjadi perantara esensial dalam terjadinya proses pengerasan. Sebaliknya, Fremy, yang gagal membuat kalsium silikat dengan sifat hidraulik, namun sukses memperoleh sebuah kalsium aluminat artifisial dengan sifat hidraulik, yang saling berbagi sifat dengan alumina. Kerja Fremy juga mengandung sesuatu yang menarik untuk diantisipasi dan nantinya akan menjadi tesis yang dikejakan oleh Michaelis, bahwa pengerasan pada semen Portland dan reaksi antara kapur dan pozzolana merupakan proses kimia yang sama-sama alami. Bukti milik J.N Fuchs bahwa quartz dan bentuk silika lainnya yang mengkristal dalam kondisi yang tidak aktif, dimana bentuknya yang terhidrasi dan amorf berperilaku sama seperti pozzolana, menandakan sebuah jejak yang lebih jauh. Pandangan bahwa silikat biasa terbentuk dari proses pembakaran, dan

kemudian terhidrolisis oleh air, menghasilkan kapur dan menghidrasi sedikit silikat, diajukan oleh A.Wrinkler dan sudah menjadi sangat mapan dengan sendirinya.

Studi ilmiah tentang semen Portland mulai memperoleh momentum pada akhir abad ke 19. Teori terkait setting dan pengerasan pada semen Portland diajukan diantaranya oleh Le Chatelier (1883; teori pengkristalan), W. Michaelis (1893; teori koloidal-gelatinasi) dan belakangan oleh Baikov (1926; tiga periode dalam proses setting) kemudian oleh Rebinder (1954, kondensasi-pengkristalan model tiga dimensi).

Teknik pengujian yang paling diapresiasi adalah teknik pengujian mikroskopis. Le Chatelier menggunakan pendekatan petrologi, dan dengan pengujian mikroskopis dia memutuskan bahwa komponen esensial pada semen Portland yaitu $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ merupakan satu dari empat jenis kristal yang terdapat pada semen Portland. Studi independen yang dilakukan oleh Tornebohm (1897) melaporkan 4 jenis Kristal yang diberi nama alite, belite, celite, dan felite. Assarson dan Sundius mengkaji ulang spesimen milik Tornebohm dan hasil kristalografi (crystallographic work) mereka menunjukkan bahwa alite sejatinya adalah $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, belite dan felite merupakan $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ dan celite merupakan campuran zat padat yang terlarut (solid solution).

Kerja sistematis pada konstitusi semen Portland dimulai di Amerika Serikat yang dilakukan di Laboratorium Geofisika Institusi Carneige di Washington, sejalan dengan pengembangan dari penyelidikan terhadap batuan beku (igneous rocks) yang kemudian menjadi fokus utama dari

Institusi tersebut. Penerapan brilian dari metode termal dan petrologi pada semen Portland sejak tahun 1906 dan seterusnya, meletakkan pengetahuan semen pada landasan yang sepenuhnya berbeda. Hasil penting dari penerapan metode ini merupakan sebuah publikasi terkait studi fundamental pada sistem ternary $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ oleh Rankin dan Wright (1915).

Sebuah pengujian retrospektif yang menarik dari beton dengan adonan semen (cement paste) meso-Portland milik Aspdin dilakukan pada pertengahan 1980an oleh berbagai investigator yang bekerja secara mandiri dengan material dari sumber yang sama. Material yang diuji merupakan beton dekorasi dari Aula Portland William Aspdin (Gravesend, Kent) yang dibangun di periode 1850. Berbagai teknik digunakan termasuk analisis dengan mikroskop optik dan analisis dengan electron microprobe (EMPA). Hasil yang diperoleh jelas menunjukkan bahwa itu merupakan semen meso-Portland dan Aspdin mencapai temperatur yang cukup tinggi untuk menghasilkan alite dan belite pada semen miliknya. Rayment yang mengolah data electron microprobe di sekitar bagian dalam dan bagian luar 'C-S-H' di sekitar kelompok kristal alite, dan dia membuktikan bahwa hidrasi pada semen milik William Aspdin identic dengan komposisi bagian dalam dan bagian luar hidrasi dari semen Portland modern biasa (modern ordinary Portland cement).

Semen Portland dibuat dari beberapa campuran hidraulik dan masing-masing bereaksi dengan air secara spesifik, dan ringkasan dari reaksi tadi menjurus ke setting dan pengerasan dari semen. Studi mengenai hidrasi semen, dan teknologi semen umumnya, dilakukan oleh banyak negara.

Misalnya, studi mengenai setting dilakukan di Laboratorium Biro Standardisasi Amerika Serikat pada Perang Dunia I, dan sejak 1926 banyak studi mengenai semen Portland sudah dilakukan oleh Asosiasi Semen Portland. Studi ilmiah di Jerman mengenai semen dilanjutkan di dalam Laboratorium yang jumlahnya semakin meningkat, sedangkan kontribusi fundamental perihal kimia dari semen mulai tumbuh dari Prancis, Italia, Swedia dan Negara Eropa lainnya dan kemudian dari Kanada, Uni Soviet, dan ditempat lainnya. Kontribusi dari Britania Raya pada tahun-tahun awal abad ke 20 tidak proporsional dengan besarnya skala Industri, meskipun kepeloporannya pada pengembangan dari semen Portland berlangsung pada abad yang lebih dulu, namun ketika didirikannya Departemen Sains dan Penelitian Industri yang dinaungi oleh Pusat Penelitian Bangunan (Building Research Station) pada tahun 1921, baru dilakukan penelitian yang sistematis pada semen sebagai bagian dari program dan banyak kontribusi besar muncul dari sana. Setelah Perang Dunia II sebuah laboratorium penelitian dibangun oleh Asosiasi Semen dan Beton. Sebagai sekolah penelitian, minat terhadap sifat persenyawaan semen dan produk turunannya, tumbuh di beberapa universitas, khususnya di Birkbeck College (University of London) dan kemudian di University of Aberdeen.

Simposium berkala pada perihal kimia dari semen memainkan peranan sebagai rentetan titik yang menentukan untuk penyebaran ide dan data penelitian. Data terkait lokasi simposium dapat dilihat pada lampiran.

Literatur tentang semen tumbuh menjadi begitu besar sehingga, tanpa bantuan abstrak dari jurnal terspesialisasi dan sistem pengembalian

data terkomputerisasi (computerised data retrieval system), sulit untuk mengikuti perkembangannya. Abstrak Penelitian Bangunan (Building Science Abstract) diterbitkan tiap bulan oleh Pusat Penelitian Bangunan mulai tahun 1928, namun berhenti terbit pada Desember 1976. Bagaimanapun, database Abstrak Penelitian Bangunan yang sudah terkomputerisasi sebagian sudah terbentuk dan sudah dipelihara sejak 1973. Pusat Penelitian Bangunan berubah menjadi *Building Research Establishment* pada musim gugur tahun 1972 dan masih berlokasi di Garston (Watford, Hertfordshire, Inggris). Literatur kunci lainnya kemudian ditemukan di *Documentation Bibliographique*, yang diterbitkan tiga bulan sekali oleh CERILH (the Centre d'études et de Recherches de L'Industrie des Lians Hydrauliques) di Prancis sejak 1948. Sebagai hasil dari reorganisasi, CERILH berubah menjadi ATILH (Association Technique de L'Industrie des Lians Hydrauliques). Jurnal per-tiga bulannya berhenti di tahun 1967 tapi ATILH menyediakan sebuah database daring (versi buletin abstrak) sebuah *Bulletin Analytique* diterbitkan oleh CERILH tetapi nama dari publikasi ini, dibawah ATILH sekarang dikenal sebagai *Bulletin de Documentation. Wecke's Handbuch der Zement Literatur*, yang merupakan kompilasi abstrak dari makalah sampai tahun 1925, menyediakan referensi literatur yang lebih tua. Pada tahun 1987 Asosiasi Semen dan Beton menyatu dengan Federasi Pembuat Semen dan organisasi yang baru di beri nama Asosiasi Semen Britania.

Sejarah dari semen kapur (calcareous cement) merefleksikan perbedaan keadaan gejolak perekonomian (economic buoyancy). Terdapat

keadaan periode pertumbuhan – dan periode kemunduran disana. Pada zaman modern tiada material yang sangat berpengaruh dalam dunia konstruksi. Faktanya, tidak ada material bangunan yang berpengaruh begitu lamanya terhadap publik yang sama selain bangunan yang menggunakan semen (cement-based structures).

Kiln semen pertama merupakan kiln tegak lurus yang menyerupai kubah (sarang lebah) – bentuk dan cara mengoperasikannya memiliki banyak kemiripan dengan kiln dari batu bata atau batu kapur (tungku yang terbuat dari batu bata atau batu kapur). Beroperasi dengan cara batch, kapasitas kiln yang terbatas dan kualitas output (hasil keluaran/produk) yang tidak menentu. Masih terdapat kemungkinan untuk melihat salah satu kiln seperti ini dalam kondisi yang masih terawat di Northfleet, Kent, UK. Dikembangkannya kiln putar (rotary kiln) dimulai pada permulaan abad ke 20 dan desainnya, melalui pengalaman dan kemajuan teknis, memperoleh kemajuan dalam semua hal berikut, kualitas yang terkendali (thermal gradient, zona pembakaran yang teroptimalkan dan kondisi pendinginan yang teroptimalkan) dan kiln yang beroperasi dengan bantuan komputer.

Pabrik semen modern kemudian bersifat memperoleh keuntungan yang sebesar-besarnya (highly capital intensive). Namun modal yang terbatas (economy restraints), persyaratan lingkungan (environmental requirements) dan permintaan pasar; ketiganya mempengaruhi skala pabrik yang beroperasi. Industri semen kapur (calcareous cement) di Inggris mencapai pertumbuhan maksimum pada tahun 1960an, dan kemudian mulai mengalami kemunduran. Tumbuhnya pabrik semen di Benua Afrika

mengurangi permintaan ekspor semen. Dalam waktu dua dekade, 1970-90, industri semen di Inggris berkurang jumlahnya dan industri semen di bagian Thames – tempat lahirnya industri semen Portland – tereliminasi. Pada tahun 1973 industri di Inggris memproduksi hampir 20 Mt semen, namun produksi di tahun 1981 merosot menjadi 12 Mt. Tidak ada ekspor yang terjadi di tahun 1985 dan impor terhadap semen dimulai pada tahun 1983. Semua pembuat semen Inggris masing-masing menjamin kualitasnya dan memandang industrinya kedepan untuk perubahan dan tantangan yang disebabkan oleh penyetaraan spesifikasi dengan daratan Eropa yang akan dimulai di tahun 1992.

Tuduhan bahwa bangsa Indonesia adalah bangsa yang ‘terbelakang’ agaknya untuk sementara ini sangat tidak terbukti. Lukisan perburuan pada dinding gua Maros di Sulawesi yang diperkirakan berusia 44.000 tahun, sepertinya cukup untuk menunjukkan bahwa nenek moyang kita sudah amat sangat mampu dan mapan untuk membayangkan hewan-hewan lain selain diri mereka yang kemudian terus menerus berkembang menjadi sebuah narasi – menjadi sebuah dongeng. Kemampuan untuk menciptakan fiksi itu menurut Yuval Noah Harari dalam bukunya Homo Sapiens, merupakan kemampuan utama yang membuat manusia unggul diatas hewan yang lainnya. Fiksi-fiksi tadi nantinya akan terus berkembang sehingga dipercayai, diyakini dan kemudian akan membuat manusia berkumpul, bergerak untuk tujuan yang sama. Dari sinilah nantinya peradaban manusia akan terbentuk lalu berkembang.

Sulit untuk menemukan kapan persisnya semen Portland masuk ke Indonesia. Namun jikalau mengacu kepada istilah ‘semen’ yang sebenarnya, nampaknya masyarakat kita sudah cukup lama mengenalnya. Sependek yang kami ketahui hal ini cukup terbukti dari Bangunan Candi Borobudur yang merupakan *sutra* (imaji akan sebuah kitab) yang terletak di Magelang mitosnya menggunakan sejenis ‘semen’ yang dibuat dari entah apa. Meskipun tidak sebesar ataupun semegah Colosseum, Piramida, Tembok China, Macu Piccu ataupun Pantheon yang gagah berdiri selama berabad-abad lamanya agaknya kami pesimis dari peninggalan Lukisan di dinding gua Maros sampai Bangunan Candi Borobudur, Indonesia di masa itu hanya memiliki satu jenis ‘semen’ yang digunakan untuk bahan pembuatan bangunan.

Kira-kira awal mula masuknya semen Portland adalah ketika negara Indonesia – dari sabang sampai merauke, belum dirumuskan atau bahkan belum di imajinasikan. Indonesia masih dikenal dengan nama Hindia-Belanda, itupun bukan dari sabang sampai merauke. Semen Portland masuk ke Hindia-Belanda dikarenakan material itu di butuhkan oleh VOC hingga pada akhirnya semen Portland di datangkan dari Eropa. Tidak jelas berapa jumlah sebenarnya yang di datangkan ke Hindia Belanda pada mulanya tapi tentu saja sangat jelas bahwa jumlah itu terus bertambah dikarenakan pembangunan infrastruktur seperti; pelabuhan, jembatan, benteng dan sebagainya yang dilakukn VOC tidak hanya dilakukan di satu tempat (tidak mungkin juga di seluruh tempat yang sekarang bernama Indonesia), dan mereka terus melakukan eksplorasi untuk mencari keuntungan sebanyak-

banyaknya sampai akhirnya Kerajaan Belanda sendiri yang datang untuk mengambil alih kekuasaan.

Pulau Sumatera yang dijuluki Swarnadwipa sejak zaman dahulu mungkin tidak boleh hanya sekedar di artikan sebagai Pulau yang kaya akan emas saja. Barangkali sejak zaman dahulu Pulau Sumatera memang sudah dikenal sebagai Pulau yang sangat diberkahi, layaknya emas yang tidak bisa diperbarui lagi. Sejak abad 19, yakni bersamaan dengan mengalmnya arus investasi Eropa ke Hindia-Belanda, Sumatera dipandang sebagai wingewest, daerah tempat mengeruk keuntungan. "... surga buat kapitalis, tetapi tanah keringat dan air mata maut, neraka buat kaum pribumi..." Disana berlaku pertentangan tajam antara modal dan tenaga, serta antara penjajah dan yang terjajah". Suara hati yang geram terhadap praktek kapitalis di Indonesia dinukilkan Tan Malaka dalam bukunya yang terkenal, *Dari Penjara ke Penjara*. Di mata tokoh nasionalis terkemuka asal Minangkabau itu praktek kapitalisme dan kolonialisme di manapun sama saja, eksploitasi dan penghisapan lewat kekuatan modal.

Di luar sektor industri dan pasar terdapat komunitas masyarakat petani yang 'terbelakang'. Pribumi yang petani itu dianggap kurang rasional dan tidak mau bekerja keras. Penduduk Pribumi 'inlander' terlihat terlarut dalam kemiskinan, 'bodoh' dan 'pemalas'. Orang Belanda menjuluki orang Minangkabau dengan sebutan 'melayu kopidaun' yang hanya tahu menikmati 'daun kopi ' untuk bahan minum 'kawa' (dari Bahasa Arab: qahwa), tetapi buah kopinya malah mereka berikan kepada Belanda. Sarkasme yang berarti, negeri yang mereka tempati sungguh berlimpah

tetapi mereka tetap hidup miskin. Pribumi ini malah menyibukkan diri dan boros dengan kehidupan komunal yang tiada nilai ekonomisnya. Mereka seperti tidak berwujud di mata kaum kapitalis. Menurut J.H Boeke seorang ahli ekonomi Belanda, ini adalah ekonomi bumiputra “ekonomi Timur” yang cirinya memiliki pertanian guna memenuhi kebutuhan *substitensi* (secukupnya). Begitulah kiranya kehidupan masyarakat Nagari Lubuk Kilangan, yang sebelumnya hanyalah sebuah Nagari terpencil di Luar Kota Padang sebelum akhirnya masyarakatnya kebanyakan beralih menjadi masyarakat ‘modern’ akibat masuknya industri meskipun ada beberapa yang masih bertahan dengan ke’terbelakangannya’.

Pada tahun 1906 Carl Christophus Lau seorang perwira Belanda sekaligus seorang insinyur sipil asal Jerman melihat dan tentu saja segera melakukan penyelidikan di Bukit Putih dan Bukit Ngalau di Nagari Lubuk Kilangan. Tidak lain karena batu-batuan yang ia lihat dan prediksi yang dimilikinya terhadap batuan itu. Sampel bongkahan batu yang diambil olehnya kemudian dikirim ke laboratorium di Betawi lalu diuji lagi di *Laboratorium van Material Onderzoek* yang terletak di Amsterdam. Ternyata prediksi Lau benar. Rupanya batu-batuan yang diuji memang benar-benar mengandung deposit yang kaya akan bahan baku untuk pembuatan semen. Nagari itu tiba-tiba menjadi ‘center of the universe’ Belanda dikarenakan oleh penemuannya. Bahkan menurut laporan laboratorium diperkirakan masih tersimpan ratusan juta metrik Ton batu kapur. Tidak jauh dari sana, tepatnya di Ngalau tersedia pula batu silika. Dan di bukit yang dulunya banyak ditumbuhi pohon ‘indarung’ yang oleh

masyarakat setempat digunakan untuk membuat tempat hunian, ternyata juga menyimpan deposit tanah liat (clay). Cukup sudah ketiga komponen utama yang dibutuhkan oleh Lau untuk pembuatan semen, batu kapur yang menurut uji laboratorium memiliki sekitar 96% kandungan kalsium karbonat (CaCO_3), batu silika dan tanah liat. Sisa bahan bakunya seperti gips dan bahan pelengkap lainnya bukanlah alasan yang nampaknya mampu untuk menggagalkan apa yang oleh Lau sudah berada di ujung jarinya.

Indarung yang termasuk sebuah kampung kecil di dalam Nagari Lubuk Kilangan kondisi sekelilingnya memang boleh dikatakan 'modern'. Bagaimana tidak, sejak kedatangan ulando (orang Belanda) pada awal abad ke 19 kota Padang yang sebenarnya cukup dekat jaraknya dari Nagari Lubuk Kilangan kemudian digunakan ulando sebagai pusat pemerintahan di Sumatra's Westkus (Sumatera Barat). Seorang pelancong Belanda pernah dibuat takjub oleh kota ini karena alamnya yang masih asri dan 'perawan', amat sangat luar biasa eksotis. Singkat saja komentar sang *traveller's* di catatannya tentang kota Padang "*de stad van het heimwee naar de toekomst*". Padang merupakan kota dambaan masa depan. Dan tentu saja apapun yang menjadi eksotis ataupun diberi label 'eksotis' akan menjadi buruan dikemudian harinya, terancam punah hingga mungkin benar-benar musnah.

Sebelum kedatangan Carl Christopus Lau ke Nagari Lubuk kilangan, ulando sudah membangun tiga 'landmark' yang memainkan peranan sangat penting dan boleh dikata menjadi yang membuat ulando untuk kemudian melakukan eksplorasi lebih jauh lagi. Tiga landmark itu antara lain Tambang

Batu-bara Ombilin (TBO), pelabuhan Emmahaven (sekarang menjadi pelabuhan Teluk Bayur) dan Jaringan Kereta Api. Oleh Sejarawan Rusli Amran, ketiga landmark itu dia sebut ‘tiga serangkai’. Menurutnya ketiganya saling mengait sehingga tidak bisa lepas antara satu dengan yang lainnya, sehingga mereka harus dikerjakan sekaligus. Apalagi pembangunan kedua infrastruktur lalu lintas ini bukan hanya membantu tumbuhnya perekonomian, tetapi juga sangat menunjang kepentingan militer. Dan juga dengan dibangunnya kedua infrastruktur lalu lintas ini temuan deposit batu bara di Ombilin akan kembali mendatangkan keuntungan bagi ulando setelah sistem tanam paksa kopi di Minangkabau tidak lagi mendatangkan *capital intensive* buat mereka.

Proyek ‘tiga serangkai’ ulando ternyata ikut menyulut tradisi ‘menggallas’ (membeli barang untuk dijual kembali) orang Minangkabau. Pada masa proyek ini pula pusat kota Padang di Muaro “terdapat toko-toko Eropa dan bank-bank besar yang membuka kantor penolongnya disini”. Betapa beruntungnya Carl Christopus Lau karena keberadaan tiga obyek vital ini, terutama obyek yang tentunya vital juga bagi apa yang akan dia bangun nantinya, Tambang Batu-bara Ombilin. Dengan keberadaan TBO Lau boleh dibilang tidak perlu pusing lagi mengenai persediaan bahan bakar yang akan dia gunakan nantinya. Keberuntungan Lau nampaknya masih belum akan putus, di kota Padang nampaknya semangat mengadu untung, mencari usaha untuk mendapat uang – cerminan *zeitgeist* (jiwa jaman) kaum kapitalis Eropa pada masa ini, juga dimiliki oleh saudara Otto Baumer yaitu Paul Baumer yang nantinya akan menjadi mitra bisnis Lau bahkan pemodal

pertama dalam membangun pabrik semen yang akan membuat namanya semakin melambung di Sumatera Barat. Tiga serangkai nampaknya hanya tinggal menunggu waktu untuk menjadi ‘empat serangkai’.

Urusan membangun pabrik di masa ini agaknya tidak begitu sulit asal ada modal. Karena mulai tahun 1900, himbauan agar kaum kapitalis melakukan investasi pada perusahaan perkebunan dan industri semakin digalakkan karena kebijakan ini dianggap dapat menyetatkan ekonomi kolonial di Hindia-Belanda. Meskipun semangat ‘politik etis’ yang disebabkan Max Havelaar karangan Multatuli yang sampai ke elit Belanda, keuangan tetap saja selalu lebih senang berafiliasi dengan yang namanya ‘politik’ yang ketika itu harum bersama ‘kolonialisme’ daripada aspek manapun. Tambahan ide mendirikan pabrik semen tentunya didukung oleh elit Belanda di Padang guna membantu pemasukan ‘pemerintah’ sedang yang merosot tajam karena sistem pajak kepala yang di terapkan pemerintah nantinya memicu meletusnya Perang Pajak di tahun 1908, dan oleh karena itu pabrik semen akan sangat membantu keuangan dengan tentunya juga ‘mitra buruh’ yang dapat digaji dan kemungkinan pemberontakan yang tentunya lebih kecil karena ‘mitra buruh’ ini akan disibukkan oleh pekerjaan yang diberi upah.

Dengan bersatunya Carl Christopus Lau dan Paul Baumer yang keduanya sama-sama berdarah Jerman dan sama-sama memiliki *zeitgeist*, dimulailah upaya-upaya untuk merealisasikan mimpi yang akhirnya menjadi milik mereka berdua. Upaya pertama ternyata sudah dilakukan Lau sejak awal tahun 1907. Singkat cerita upaya tersebut meskipun cukup alot

menghasilkan apa yang kemudian dikenal dengan “Keboelatan Kerapatan Nagari Lubuk Kilangan”, No. 8/1907, yaitu sebuah dokumen Akte Notaris, yang dibuat dalam dua bahasa: Belanda dan Arab-Melayu. Proses yang alot tersebut tentunya dikarenakan Pokong dan anggota ninik-mamak Lubuk Kilangan yang menandatangani Akte Notaris itu tidak tahu apa itu semen, dan mereka hanya menimbang-nimbang apa yang bisa diberikan oleh pemerintah Belanda kepada rakyat Indarung karena tanah yang akan digunakan sebagai lokasi pabrik semen adalah tanah ulayat milik kaum mereka. Upaya kedua yaitu pembangunan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) yang airnya diperoleh dari Sungai Lubuk Paraku. Air yang mengalir dari ketinggian sekitar 70 meter dengan debit sekitar 950 liter per detik ini nantinya akan memutar turbin yang terletak di Rasak Bungo dan kemudian mengalir terus ke kawasan pabrik sebagai air yang juga dibutuhkan oleh pabrik. Pembangunan ini dirampungkan I tahun 1909 dan turbin pertama berkekuatan 750 PK sudah menghasilkan penerangan listrik. Untuk membiayai pembangunan ini Lau dan mitranya Paul menghabiskan dana yang cukup besar diantaranya harus membayar biaya izin pemakaian air sekitar f.3941,87 (tiga ribu sembilan ratus empat puluh satu gulden dan delapan puluh tujuh sen) dengan perincian f.4 (empat gulden) per PK.

Untuk membiayai tahap-tahap yang selanjutnya paling tidak butuh dana yang lebih besar lagi. Untuk itu mereka mula-mula menuju Firma “*Gebroeders Veth*” (“Veth Bersaudara”) yang berkantor pusat di Amsterdam dan memiliki kantor cabang di Padang. Empat orang *Gebroeders Veth*, masing-masingnya Willem Pieter Veth, Franz Herman Veth, dan Cornelis

Gerard Veth tinggal di Amsterdam dan hanya Jan Cornelis Veth yang tinggal di Overveen, Bloemendaal. Singkat cerita akhirnya mereka menginvestasikan modal untuk membiayai mesin pabrik dan infrastruktur seperti pembangunan jalan dalam kompleks pabrik, kelistrikan dan sebagainya. Sementara itu untuk membangun kompleks pabrik beserta pemasangan mesin-mesin dan kiln diserahkan kepada Firma “Jarman & Zoon” yang juga berada di Amsterdam yang komisaris perusahaannya dipegang oleh Hendrik Wijsman Hendrikzoon yang juga tinggal di Amsterdam. Perusahaan lain yang juga ikut andil dalam sejumlah investasi antara lain adalah “Firma Dunlop” milik Engelbertus van Essen yang juga tinggal di Amsterdam. Pada akhirnya setelah pabrik hampir selesai, ditahun 1909 perusahaan-perusahaan yang berinvestasi tadi bergabung dibawah sebuah perusahaan khusus yang bergerak di bidang industri semen bernama “*Naamlooze Vennootschap (NV) Nederlandsch-Indische Portland Cement Maatschappij (NI-PCM)*” yang dipegang oleh Firma *Gebroeders Veth* sekaligus sebagai *ver-tegenwoordiger* (perwakilan) di Padang. Inilah awah sejarah pabrik semen Indarung, sebuah perusahaan pertama dan satu-satunya pabrik semen di Hindia-Belanda bahkan sampai teks proklamasi dibacakan oleh Ir. Soekarno kemudian Indonesia akhirnya dikenal ‘dari sabang sampai merauke’. Inilah tonggak sejarah industri semen di Indonesia, sejak masa Hindia-Belanda, dalam hal ini lebih tepatnya lagi Nagari Lubuk Kilangan.

Pabrik semen di Indarung dioperasikan pada tahun 1911. Pertama untuk mulai mengoperasikan pabrik semen, batu kapur yang terletak di Bukit Karang Putih digali menggunakan dinamit yang dipasang didalam

celah batu buatan yang ledakkannya akan menghasilkan celah batu yang lebih besar lagi. Pecahannya kemudian diangkut ke pabrik dengan menggunakan '*transportkabel*'. Kedua, batu silika diambil dari tambang-tambang terbuka di Bukit Ngalau yang juga diangkut ke pabrik dengan *transportkabel*. Ketiga, tanah liat (clay) yang diperoleh dari sekitar pabrik dan mulanya diangkut dengan tenaga manusia, tetapi kemudian dalam perkembangannya diangkut dengan menggunakan oto-mobil. Keempat, gips sejenis bahan tambahan yang diperlukan untuk *setting time* (dilakukan penambahan gips agar campuran tidak cepat mengeras). Bahan gips didatangkan dari dua tempat. Dari Madura didatangkan gips-pasir (gipszand) dan dari Mesir didatangkan gips-batu (gips-steen). Keempat bahan baku tadi kemudian dicampurkan dan digiling dengan penggiling (mill) untuk dihaluskan. Perbandingannya adalah sebagai berikut: batu kapur, batu silika dan tanah liat = 8 : 1 : 1 . Setelah itu barulah ditambahkan gips sebanyak 2,5 % dari jumlah campuran. Penampungan semen mulanya menggunakan drum dan kemudian berubah menjadi menggunakan karung yang terbuat dari kertas. Produksi pertama tercatat 25.000 *vaten* atau sekitar 4.250 ton setiap bulan.

Selama ini pabrik memang memiliki hubungan atau dampak terhadap masyarakat setempat. Ada beberapa 'anak arik' atau tukang gergaji yang mengolah kayu di rimba untuk akhirnya dijual ke pabrik atau dijual ke masyarakat. Satu anak arik paling tidak biasanya terdiri dari kelompok berpasangan dua atau tiga pria yang dipimpin oleh seorang induk semang. Salah seorang induk semang anak arik bernama Kicik sangat merasakan

dampak pabrik semen terhadap mereka. Kedai nasi yang dijaga oleh isterinya yaitu Timah kian hari kian laris saja. Menurut mereka ketika pabrik mulai benar-benar memproduksi nama Indarung yang sebenarnya bagian dari Lubuk Nagari semakin terkenal saja, bahkan lebih dikenal ketimbang Lubuk Nagari itu sendiri. Bagi penduduk Lubuk Kilangan Khususnya yang tinggal di Indarung, kehadiran pabrik semen membawa sebuah perubahan suasana. Mereka lebih sering melihat ulando datang ke daerah mereka, dan tentu sejumlah wanita termasuk Timah takkan melupakan kenangan saat tuan-tuan ulando dengan senang hati memperbolehkan mereka menaiki mobilnya. Penduduk juga terheran-heran ketika menyaksikan peralatan-peralatan besar pabrik yang seumur hidup belum pernah mereka saksikan. Bila malam telah tiba, mereka akan terkagum-kagum dengan kerlap-kerlip cahaya lampu dari kejauhan pabrik, sesuatu yang nampaknya tak pernah muncul dalam mimpi mereka. Bagaimanapun, keterlibatan penduduk amatlah terbatas dengan pabrik. Biasanya sebagai penonton di luar pagar, walaupun tidak ya menjadi 'mitra buruh' dari pabrik. Tempat yang dulunya menjadi tanah ulayat masyarakat sekitar sekarang berubah menjadi tempat yang amat menyita perhatian mereka.

Harus diakui pabrik memang sebenarnya tidak memiliki sesuatu yang benar-benar diperuntukkan bagi masyarakat setempat. Dalam kacamata pengusaha yang di masa itu adalah seorang 'ulando', mereka hanya sekedar numpang singgah sebagai seorang rantau yang sedang mengeksplorasi kekayaan alam dan tentunya akan kembali ke kampung mereka begitu itu 'cukup'.

Selama tahun-tahun awal beroperasi, perjalanan pabrik belum begitu mengembirakan. Jumlah produksi yang diperoleh belum mampu memuaskan para pengusaha yang tergabung di NV-NIPCM. Pada tahun 1918, ikhtiar penyehatan kembali pun mulai diupayakan. Dimulai dengan mendatangkan seorang konsultan ahli dari Amsterdam yaitu Mr. Erick Klem, kemudian akhirnya berdasarkan laporan darinya ditunjuklah sebuah perusahaan yang didaku sebagai industri mesin terbesar di Denmark; yakni Perusahaan F.L Smidth & Co. Setelah serangkaian negosiasi perusahaan itupun kemudian mengirimkan seorang teknisi untuk dikirim ke Indarung, seorang insinyur muda yang bernama Alex V. Jensen. Berkat kerja keras Ir. Alex V. Jensenlah pabrik semen Indarung di tahun 1920an mengalami 'optimasi' dan kemudian mencapai produksi tertingginya di tahun 1929, meskipun dia tidak bisa melihat hasil kerjanya karena harus meninggalkan Indarung di akhir tahun 1920 dan mewariskannya ke Ir. G.B Hogenraad. Sampai tahun 1927 terdapat empat kiln dengan ukuran panjang masing-masingnya 50, 70, 80, dan yang terakhir 85 meter.

Pada Januari 1927, Pemerintah Kolonial digoncangkan oleh pemberontakan rakyat yang menyeruak di dua tempat. Pertama di Sumatera Barat dan kedua di Banten. Di Sumatera Barat pemberontakan itu meletus di Silungkang dekat TBO Sawahlunto dan tadinya direncanakan menyebar ke daerah sekitar termasuk Indarung. Katalisator dari pemberontakan itu adalah Partai Komunis Indonesia (PKI). Pemberontakan juga meletus di daerah Kalumbuk, Pauh XI, masih dekat dengan Padang. Pemberontakan tidak dipusatkan di dalam Kota Padang karena keberadaan dinas intelijen milik

Belanda yaitu PID (Politieke Inlichting Dienst). Propaganda anti-asing digerakkan oleh tiga organisasi mantel PKI, yaitu Sarikat Rakyat, Sarikat Djongos dan Sarikat Djin. Sentimen asing ditujukan kepada praktek pengurusan kekayaan Indonesia oleh pengusaha kapitalis Eropa. Bagi mereka dan sebenarnya juga bagi kebanyakan rakyat waktu itu, perusahaan-perusahaan Eropa seperti Indarung, TBO Sawahlunto dan perkebunan asing di Halaban adalah contoh nyata dari pengurusan kekayaan Indonesia. Negeri ini adalah “surga bagi kapitalis, tetapi tanah keringat dan air mata maut, neraka bagi kaum pribumi...” Di sana berlaku pertentangan tajam antara modal dan tenaga, serta antara penjajah dan yang terjajah”. Nasionalisme ke-Indonesiaan versi komunis jelas-jelas sudah terserap ke dalam sanubari gerakan. Pemberontakan ini akhirnya dapat ditumpas, namun penguasa Belanda di Sumatera Barat sangat syok melihat kejadian ini. Pimpinan pabrik di Indarung dengan sigap mengeluarkan jurus pamungkasnya yang rupanya cukup sakti. Untuk tidak terlalu terkesan milik Belanda, nama pabrik pada karung semen diganti dengan kata “Padang Portland Cement Mattschapij”. Tidak itu saja. Kata-kata di bawah gambar “kerbau” ditukar dengan bahasa “Indonesia”. Jelasnya tertulis, “Fabrik di Indarung DEKAT PADANG, SUMATERA TENGAH. Bersih 421/2 KG” (lihat logo 1928 dan sebelumnya di lampiran). Langkah ini terbukti manjur, bisa dilihat dari produksi tahun 1929 yang meningkat drastis dari yang seelumnya hanya sekitar 135.000 ton menjadi 154.000 ton dan terus melaju pada tahun-tahun berikutnya.

Ketika Perang Dunia II meletus pada tahun 1939, ancaman serangan terhadap kapal-kapal Sekutu yang dilakukan oleh Jerman menyebabkan terganggunya hubungan Eropa-Hindia – dikarenakan Hindia yang merupakan wilayah jajahan Belanda dan Belanda yang masih merupakan bagian dari Sekutu. Hal tersebut tentunya mempengaruhi baik impor atau ekspor yang dilakukan oleh Belanda melalui Hindia karena banyaknya impor atau ekspor pada masa itu yang menggunakan kapal. Terganggunya ekspor dan impor sangat berpengaruh terhadap kondisi perusahaan Belanda di Indonesia. Misalnya disebabkan impor bahan baku yang didatangkan dari beberapa negara seperti Mesir dan Amerika Serikat terhambat mengakibatkan terhambatnya produksi pabrik semen Indarung, dan terganggunya ekspor menyebabkan penjualan semen yang tidak berkembang dan kedua hal tersebut lama-kelamaan akan menyebabkan pabrik menjadi mati. Pada tahun 1940-1941, pabrik semen Indarung sebetulnya masih tetap memproduksi, walaupun sudah menurun drastis. Tahun 1941 produksi semen Indarung hanya sekitar 20.000 ton/bulan, pabrik waktu itu bahkan tidak mampu mencukupi kebutuhan dalam negeri yaitu sekitar 30.000 ton/bulan. Kejadian-kejadian ini boleh juga karena ingatan mereka tentang yang ‘cukup’ akan muncul kembali.

Pada awal bulan April 1942, *Gunseibu* (Pemerintahan Militer Jepang) di Bukittinggi segera mengirim Kolonel Fujiyama bersama tiga orang asistennya ke Padang untuk melakukan serah-terima pemerintahan di sana. Kolonel Fujiyama lah yang pertama melakukan pengambil-alihan kekuasaan atas Sumatera Barat dari Residen Belanda, G.A Bosselaar di

Padang. Selanjutnya sekitar tanggal 11 April 1942 penguasa Jepang di Padang mengirim tiga orang tim ahlinya ke Indarung. Masing-masingnya adalah Tuan Osaka, Marita dan Ukuma guna membuat pabrik berfungsi kembali. Atas saran Pak Dusun Malin Kayolah akhirnya enam orang staf Belanda dipekerjakan kembali, termasuk Ir. Konijnenburg – bekas *Hoofdadministrateur* pabrik semen. Pekerjaan restorasi pabrik rampung sejak Bulan Agustus 1942 dan sejak itu pabrik mulai beroperasi kembali. Kemudian Jepang mengirim teknisi Belanda setelah setahun bekerja ke kamp tahanan tanpa diketahui nasib mereka selanjutnya. Akhirnya Jepang mengandalkan teknisinya yang didatangkan dari negerinya atau dari Cina utara. Sejak inilah *NV-NIPCM* berubah menjadi *Asano Cement* yang berkantor pusat di Tokyo, tentunya masih dengan bantuan tenaga buruh Indonesia.

Jepang sebagai penguasa yang baru di Indonesia selain berkepentingan untuk mengambil alih semua kekayaan milik Belanda di Indonesia adalah menguasai bahan baku untuk industri di negerinya, dengan sambilan memenuhi kebutuhan suplai di kawasan Asia Tenggara. Pabrik *Asano Cement* di Indarung juga merupakan salah satu dari kebutuhan utama. Semen Indarung, selain dikirim ke Jepang juga digunakan untuk memenuhi kebutuhan proyek-proyek Jepang di Indonesia, seperti pembuatan jembatan, gedung-gedung, serta benteng-benteng pertahanan Jepang di Indonesia. Selama dua tahun (Agustus 1942-Agustus 1944) meskipun sambil dibombardir Sekutu, pabrik *Asano Cement* masih mampu bertahan dan beroperasi.

Keadaan Padang di akhir kekuasaan Jepang, seperti juga di lain tempat, menyaksikan suatu episode baru yang menegangkan. Kebisingan radio disudut-sudut jalan yang biasa memutar berita-berita kemenangan pasukan Jepang dalam arena pertempuran, mulai dihentikan. Kerumunan massa bergerak dan bersiap menyambut zaman baru dengan pekikan “merdeka”. Jepang tampak kebingungan karena gendrang revolusi sedang ditabuh, pertanda perang baru siap dimulai. Jepang mencoba mencairkan suasana di Padang dengan melakukan ‘cuci gudang’ barang-barang pabrik di depan gudang-gudang perusahaan-perusahaan besar Jepang seperti *Mitsubishi KK*, *Asano Budan KK*, *Toyo Menko*, *Nichimen Kagyo KK*, *Sinbahi Sanyo KK* dan lain-lain di Padang dan Bukittinggi.

Perjanjian Linggarjati yang ditandatangani oleh (...) 18 November 1946 membuat Belanda hanya mengakui kekuasaan Indonesia secara *de facto* namun tidak dengan *de jure*. Itu membuat Belanda merasa berhak untuk menumpas kaum “ekstrimis”, sebutan Belanda untuk para pejuang kemerdekaan Indonesia. Kemudian pada tanggal 21 Juli 1947, terjadilah serangan serentak secara masif yang dikenal sebagai Agresi Militer Belanda I. Beberapa hari setelahnya, pabrik kembali jatuh ke tangan Belanda dan Ir. Koenjiburg kembali memimpin pabrik. Sasaran utama Agresi Militer Belanda I adalah untuk mengakuisisi kembali aset ekonomi yang diambil oleh Jepang ketika kekalahan mereka pada tahun 1942, yang sempat di ambil alih oleh Indonesia.

Diperlukan waktu yang cukup lama untuk pabrik mulai beroperasi dikarenakan kondisi pabrik yang morat-marit dan perlu perbaikan baik

bangunan fisik maupun mesin-mesinnya. Awal bulan April 1948 pabrik baru mulai aktif memproduksi lagi, dengan perbaikan yang masih terus dilakukan. Dengan bantuan finansial dari pemerintah Belanda berupa kredit sebesar f.3 juta (gulden), rehabilitasi mulai dilakukan sejak awal 1949 guna melunasi hutang-hutang dan mendongkrak produksi di tahun-tahun kedepannya supaya bisa melakukan renovasi dengan menggunakan biaya sendiri.

Meskipun dilaksanakan KMB serentak di Den Haag dan di Jakarta pada tanggal 29 Desember 1949, perusahaan-perusahaan milik Belanda di Indonesia belum bisa begitu saja langsung di ambil alih. Dikarenakan perusahaan-perusahaan Belanda masih diberi kelonggaran waktu beberapa tahun sebelum diambil alih oleh Indonesia. Khusus untuk pabrik semen di Indarung, 'nasionalisasi' dilakukan pada tahun 1958 mengikuti UU No 86 tahun 1958 tentang nasionalisasi semua perusahaan Belanda. Dengan ini resmi sudah pabrik semen Indarung menjadi milik Negara Republik Indonesia.

Indonesia sebagai Negara Republik yang baru terbentuk pastinya mempunyai banyak lini yang ingin dibenahi. Salah satu diantaranya ialah politik dalam negeri. Akan tetapi, masalahnya sepanjang tahun 1950an itu indonesia sibuk dengan 'tikus percobaan' yang bernama demokrasi. Pada tahun-tahun tersebut ketegangan politik antara daerah dan pusat semakin menjadi-jadi, pasalnya sebagian besar inkam daerah yang terkesan 'diambil' oleh pusat karena pembangunan yang tidak merata. Serangkaian peristiwa terjadi kala itu termasuk terpilihnya Partai Komunis Indonesia (PKI) sebagai

salah satu pemenang Pemilu pertama (1955) yang kemudian menggerakkan kaum buruh menciptakan agitasi di daerah-daerah. Kondisi semakin memburuk dikarenakan perpecahan di kalangan elit politik ibukota, mulai tak terhindarkan. Pengunduran diri Bung Hatta sebagai Wakil Presiden menjadi puncak ketidakpuasan rakyat, khususnya rakyat Sumatera Barat dengan permainan kekuasaan di ibukota yang kemudian memunculkan Dewan Banteng untuk mencoba menjadi jembatan antara pusat dan daerah. Namun akibat dukungan yang tidak memuaskan dari pemerintahan Soekarno, maka meletuslah peristiwa PRRI sejak 15 Januari 1958.

Keputusan Nasution untuk menggempur Sumatera Barat dari darat, laut, maupun udara membuat Sumatera Barat porak-poranda dan tenggelam dalam Perang Saudara. Peristiwa ini boleh dikatakan sangat berdampak kepada pabrik semen Indarung. Karena Padang dan sekitarnya dikuasai oleh tentara, suplai batu-bara Ombilin ke Indarung terhenti sehingga perusahaan terpaksa mendatangkannya dari Bukit Asam, Palembang dan Samarinda. Barangkali hal yang membuat pabrik sangat terpukul ialah ketika sebagian karyawannya meninggalkan pabrik dan ikut angkat senjata untuk membantu PRRI (Mungkin hal ini juga yang membuat produksi pabrik menurun dari 154.000 ton/tahun menjadi sekitar 80.000 ton pada tahun 1958). Tahun 1961 Perang Saudara yang terjadi, tidak dilanjutkan.

Setelah nasionalisasi yang dilakukan secara spontan dan unilateral, pabrik semen di Indarung kemudian dikenal dengan nama pabrik Semen Padang. Pabrik Semen Padang masih menjadi satu-satunya pabrik semen di Indonesia sampai tahun 1957, ketika Pabrik Semen Gresik didirikan oleh

Bank Industri Negara (BIN). Namun meskipun begitu, pabrik Semen Padang tetaplah menjadi pabrik semen tertua di Indonesia.

Sejarah Pabrik semen di Indarung yang kemudian berubah menjadi Pabrik Semen Padang cukup mengajari kita banyak hal. Pabrik yang tadinya bertujuan untuk sekedar memenuhi kebutuhan dalam negeri, perlahan berubah menjadi pabrik yang berambisi menguasai pasar semen Internasional dengan melakukan ekspor.

1.2.2 Definisi Semen

“Semen” merupakan kata yang awalnya digunakan oleh Bangsa Romawi kuno. Mereka membuat semacam *structural concrete* yang terbuat dari bebatuan ataupun material sejenis yang direkatkan dengan menggunakan batu kapur yang terlebih dahulu dibakar sebagai medium pengikat. Bentuk konstruksi inilah yang kemudian disebut “*opus caementium*”. Kemudian, istilah “*cementum*” digunakan untuk menunjukkan campuran yang, ketika ditambah batu kapur memperoleh sifat hidraulik, contoh, memberinya kekuatan untuk ajek dan mengeras dalam kondisi lembap atau bahkan di dalam air. Semen dapat didefinisikan sebagai zat perekat (adhesive substances) yang memiliki kemampuan menyatukan kepingan-kepingan atau sejumlah partikel padat menjadi kesatuan yang kukuh (a compact whole). Semen jenis ini juga memiliki ikatan kimia antara satu dengan yang lainnya, karena terdiri atas adonan yang mengandung campuran dari batu kapur sebagai unsur pokoknya. Istilah ‘semen’ yang sudah disepakati ini kemudian setara dengan ‘semen kapur’ (calcareous cement), tetapi masih diperbolehkan mengandung campuran tertentu dari magnesium. Semen

portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen (*clinker*) portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004)

1.2.3 Jenis-jenis Semen

Special Cements:

a. *Oilwell cements: oilwell cements* merupakan produk yang dikembangkan untuk tujuan eksplorasi dan produksi minyak bumi dan gas alam. Produk tersebut merupakan kebutuhan akan material yang membentuk *slurry* dengan viskositas rendah, supaya mudah untuk dipompa pada kedalaman tertentu kemudian ditujukan agar mengeras dengan cepat pada kedalaman tersebut. Fungsi utamanya adalah untuk mengalirkan fluida, supaya hanya fluida yang dibutuhkan saja yang mengalir dari sumur minyak atau gas alam (seperti pipa). Penggunaan utamanya adalah pada *primary cementing*, proses pada tahapan-tahapan saat pengeboran, lubang pengeborannya disejajarkan kebawah dengan *casing* baja (atau pipa) kemudian semen berupa *slurry* dipompa pada ruang diantara *casing* baja dan lubang pengeboran. Semakin dalam lubang pengeborannya, temperatur semakin dinaikkan agar semen berupa *slurry* tetap cair dan tidak mengeras dijalan.

b. *Decorative Portland cements: Decorative Portland cements* seperti *white cement* (semen putih) memiliki peran estetik yang penting dalam membuat beton dengan permukaan yang terbuka, seperti pada gedung, jembatan, dan

kolam renang agar terlihat lebih menarik di lingkungan. Juga, menyumbang tambahan penampilan visual dari berbagai macam mortar. Semen Portland putih adalah salah satu *decorative cement* yang paling banyak digunakan. *Coloured Portland cement* lebih jarang digunakan ketimbang semen Portland putih. Untuk memperoleh beton putih atau beton berwarna terang, utamanya dibutuhkan agregat pasir putih atau pasir berwarna terang dan batuan terkait.

b.1 *White Portland cement* (semen Portland putih): pembuatan dari semen Portland putih memerlukan proses khusus dan kehati-hatian dalam menyeleksi bahan mentah yang sesuai untuk menghindari kontaminasi yang berimbas ke tingkat keputihan produk. Semen Portland biasa berwarna abu-abu utamanya disebabkan oleh kandungan besi oksida yang terdapat di dalamnya, jadi kadar besi oksidanya harus dijaga serendah mungkin. Bahan mentah untuk pembuatan semen Portland putih adalah kapur (*chalk*) atau batu kapur dan *china clay*, yang mana terpilih karena kadar besi oksidanya rendah. Kandungan kromium dan mangan oksida juga mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap warna semen Portland. Umumnya semakin tinggi kandungan C_4AF , semakin gelap warna semen Portlandnya. Terkait semen Portland putih, merupakan sebuah kewajiban untuk mengurangi kadar Fe_2O_3 sampai dibawah 0,4 %. Pengurangan yang melebihi itu hanya memiliki efek yang kecil terhadap keputihan warna semen. Karena kadar zat besi yang tidak tercukupi, yang normalnya berfungsi sebagai *flux* pada saat pembakaran bahan baku di kiln putar, kombinasi bahan baku yang diperlukan lebih sukar daripada semen Portland biasa. Temperatur

pembakaran yang lebih tinggi dari biasanya (*c.a* 1550-1600°C) seringkali diperlukan untuk mencapai *clinkering*. Cryolite (sodium aluminium fluoride) seiring waktu ditambahkan sebagai *flux* untuk membantu pembakaran. Minyak atau gas normalnya digunakan sebagai bahan bakar, dikarenakan ketika menggunakan batu bara abu dari batu bara berperan sebagai kontaminan. Pendinginan klinker sewajarnya pada temperatur yang rendah membantu memutihkan warna semen Portland putih, karena pengurangan zat Fe(III) ke Fe(II), Mn (III), dan Cr(VI) ke Cr(III) atau makin baik ke Cr(II) menyebabkan penurunan intensitas warna. Klinker yang sudah dingin kemudian dicampurkan dengan gypsum putih murni di dalam *grinding mill* yang menggunakan *grinder* (penggiling) berbahan keramik atau *pebbles* ketimbang menggunakan *grinder* berbahan baja (meskipun *grinder* berbahan baja lebih efisien) supaya produk terhindar dari kontaminasi besi. *Agent* pemutih seperti titanium dioksida terkadang juga ditambahkan ke klinker. *Agent* pemutih secara substansi memiliki tingkat keputihan yang lebih tinggi dibanding dengan klinker semen putih. *Agent* pemutih tersebut harus digunakan dengan berhati-hati, jika digunakan, karena sifat alaminya yang tidak hidraulik.

b.2 *Coloured Portland cements* (semen Portland berwarna): semen Portland berwarna adalah produk semen Portland abu-abu biasa yang di *intergrind* (digiling bersama) dengan pigmen yang cocok. Hal itu menghasilkan produk beton yang lebih seragam dibandingkan dengan hanya mencampurkan beton dengan pigmen, karena sukarnya memperoleh warna yang seragam pada keseluruhan beton. Mayoritas pigmen semen merupakan

inorganik (tidak organik). Semen Portland berwarna (merah, oranye, kuning, hijau, biru, hitam, dan sebagainya) kebanyakan dibuat berdasarkan semen Portland putih dengan tambahan 10% atau lebih pigmen warna. Beberapa tipe faktanya dibuat berdasarkan dari semen Portland abu-abu biasa, namun semen Portland abu-abu tidak mampu memenuhi kebanyakan spesifikasi semen Portland berwarna dikarenakan warna abu-abu yang tidak tertutupi secara optimal. Pigmen yang digunakan untuk semen harus memenuhi persyaratan spesifikasi yang sesuai, seperti BS 1014. beberapa pigmen dibutuhkan untuk memenuhi sifat-sifat berikut:

- *non-detrimental* terhadap semen
- tidak terpengaruh oleh semen
- memiliki daya tahan warna dari paparan sinar matahari dan bermacam kondisi cuaca
- *finely divided*;
- tidak mengandung *soluble salts* (garam terlarut)

Warna dari tiap semen Portland berwarna dapat dicek dengan prosedur *colometric* yang sesuai.

b.3 *Cement Paints*: istilah *cement paints* digunakan untuk cat yang dibuat berdasarkan semen Portland dengan tambahan dari pigmen, *fillers*, substan akselerator dan substan penolak air. *Paints* ini tersedia dalam bentuk bubuk kering dan dicampur dengan air sebelum digunakan. Semen Portland putih digunakan untuk warna *paints* yang lebih tipis, namun untuk warna gelap semen Portland abu-abu biasa dapat digunakan sebagai pengganti. Titanium dioksida dan zinc sulfida digunakan untuk meningkatkan *opacity*

dari warna putih dan warna tipis *cement paints*. Kalsium atau aluminium stearat serta bahan sejenis ditambahkan untuk meningkatkan kualitas daya tahan air *exterior paints*, juga sebagai akselerator (umumnya kalsium klorida) untuk memastikan bahwa *paints* akan terkondisikan sesuai keinginan kita sebelum ia mengering. *Cement paints* berbentuk bubuk dinaungi oleh standar seperti standar BS 4764. Pada standar ini produk harus dibuat dari semen Portland, mengikuti standar BS 12, pigmen dan ekstender. Ekstender ini haruslah batu kapur (termasuk kapur) atau material bersilika, seperti yang tertera di BS 1795, atau kapur terhidrasi. Bilamana mungkin, pigmen sebaiknya mengikuti standar BS 1014. *Cement paints* digunakan untuk tujuan dekoratif yaitu untuk memberi *matt finish* dan untuk meningkatkan daya tahan dari penetrasi air hujan dengan cara menyumbat lubang-lubang terlihat dan memblokir pori-pori yang lebar. *Paint* ini cocok untuk bahan bangunan berpori seperti, *brickwork* (struktur bata), *stonework* (struktur batu), beton, *cement renderings*, *building blocks*, bata dan semen asbestos, tapi tidak dengan bahan seperti metal, produk dari kayu pohon, plaster gypsum atau *bituminous felt*. Karena bahan-bahan tersebut resisten terhadap alkali yang terdapat di semen dan memperbolehkan *moisture* pada tembok untuk mengering dengan cepat, dan bahan-bahan tadi juga cocok untuk *immediate decoration* produk semen. Rekomendasi penggunaan *cement paints* berbentuk bubuk tertera pada standar yang tepat seperti standar BS 4764.

c. *Chemical cements*

c.1 Semen magnesium oksiklorida (semen sorel): semen magnesium oksiklorida atau semen sorel dibuat dengan cara mencampurkan bubuk magnesium oksida (magnesia) dengan larutan magnesium klorida terkonsentrasi. Fase utama yang terbentuk adalah $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ dan $Mg_2(OH)_3Cl \cdot 4H_2O$. Dengan CO_2 atmosferik yang menyerang, menyebabkan terbentuknya dua fase - $Mg_2OHCICO_3 \cdot H_2O$ dan $Mg_5(OH)_2(CO_3)_4 \cdot 4H_2O$. Kelarutan MgO dalam larutan $MgCl_2$ membuat terbentuknya *gel (setting)* dan umumnya terbentuk sebelum terjadinya kristalisasi pada hidrat yang lain. Semen Sorel memiliki porositas yang diberkahi dan kekuatan mekanik yang lebih baik daripada semen portland biasa. Mekanisme pengikat yang ada di semen ini mirip dengan yang dimiliki oleh semen gypsum. Penting untuk dicatat bahwa semen Sorel juga memiliki adhesi terhadap garam (sodium klorida).

c.2 *Magnesium Oxysulfate Cement* (semen magnesium oksisulfat): semen magnesium oksisulfat dapat dibuat dengan cara menambahkan larutan magnesium klorida pada kalsium sulfat atau campuran kalsium fosfat – sulfat. Semen magnesium oksisulfat dapat dianggap sebagai varian dari semen Sorel. Keberadaan dari fosfat menambah sifat *rheology* pasta semen dan daya tahannya terhadap air. Alternatifnya, magnesium oksida dapat di *treatment* dengan asam sulfat untuk membentuk semen magnesium oksisulfat.

c.3 Semen zink oksiklorida (*zinc oxychloride cement*): reaksi zink oksida dengan zink klorida dalam air membuat produk semen zink oksiklorida yang ekstrem kerasnya, yang mana (tidak seperti semen Sorel) tidak diserang oleh asam ataupun air mendidih. Produk utama yang terhidrasi adalah dua hidrat zink oksiklorida, $4\text{ZnO}\cdot\text{ZnCl}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{ZnO}\cdot\text{ZnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

c.4 Semen aluminium oksiklorida (*aluminium oxychloride cement*): aluminium oksiklorida larut dalam air untuk menjadikan sebuah larutan Al^{3+} yang terkonsentrasi. Sedikit perubahan pada pH membuat terjadinya hidrolisis dengan susunan gel alumina yang mengikat agregat refraktori. Semen ini dapat membuat beton memiliki sifat refraktori hingga 1500°C . Ketika dipanaskan, hidrogen klorida akan terbentuk, yang mana korosif terhadap metal. Meskipun begitu, semen aluminium oksiklorida menjadi lebih ekstensif digunakan dalam keramik dan metalurgi dikarenakan mudah penanganannya.

c.5 Semen silikofosfat (*silicophosphate cement*): semen silikofosfat umumnya mengandung bubuk *wollastonite* (CaSiO_3) dan *membuffer phosphoric acid*. Normalnya semen mengering dalam waktu 30 menit. *Compressive strength* hingga 50 MPa dibangun dalam waktu 4 jam. Faktor yang mempengaruhi pembangunan kekuatan adalah partikel yang seukuran dengan *wollastonite*, yaitu *phosphorus pentoxide* (P_2O_5) yang terdapat dalam cairan dan terdapat di rasio cairan:bubuk. Hal tersebut tampak ketika

permukaan kristal-asam terbentuk, sebagai akibat dari pengurangan area permukaan *wollastonite* yang terlihat, yang membebaskan konstituen terikat untuk membentuk matriks.

d. *Special Portland-type and other cements*

d.1 *Non-Calcareous and Non-Siliceous Portland-Style Cements*: semen dapat diproduksi dengan cara mengganti kalsium dengan strontium atau barium dan silikon dengan germanium, *tin* atau *lead*. Kalsium tidak dapat begitu saja diganti dengan magnesium karena magnesium silikat dan aluminat tidak memiliki ikatan hidraulik intrinsik ketika berada di air, begitu juga silikon yang tidak begitu saja bisa digantikan dengan titanium karena alasan yang mirip. Produk hidrasi dari strontium dan barium silikat dan aluminat memiliki kekuatan ikatan yang baik. *Compressive strength* yang dimiliki dan resistansi terhadap sulfat umumnya lebih baik daripada semen Portland biasa, namun hidrasinya lebih sukar dikendalikan.

d.2 *Non-Gypseous Portland Cement*: penggunaan gypsum sebagai regulator yang bertujuan untuk *smooth setting* semen Portland sudah dipraktikkan sejak lama sehingga hampir tercantum pada seluruh standar bahwa hal tersebut merupakan definisi paling dasar dari semen Portland. Alternatif yang mungkin pada penggunaan gypsum sebagai *set regulator* di semen Portland, misal seperti kalsium lignosulfonate – campuran sodium hidrogen karbonat, sudah di advokasi. Sejak sifat aliran dan tingginya kebutuhan air semen Portland biasa merupakan fungsi dari kondisi flokulasi yang sebagian besar disebabkan oleh gypsum, penggantian dengan alternatif bahan yang cocok

dapat memberi semen sifat yang menguntungkan. Kemungkinan mengkombinasikan *water-reducing retarder* seperti kalsium lignosulfat dengan tambahan akselerator seperti sodium hidrogen karbonat kedalam sebuah sistem alternatif – keduanya dapat melarutkan klinker dan mengatur semen Portland yang bebas-gypsum, sedang diselidiki. Sama halnya dengan mengeset kelarutan efektif, dimana hal itu mengurangi kebutuhan air, disini terdapat hidrasi awal yang sangat cepat dan penghimpunan kekuatan yang cepat. Juga, terdapat perbedaan karakteristik dari produk yang terhidrasi. Semen ini dapat terhidrasi dengan sendirinya tanpa tambahan kalsium klorida pada suhu dibawah 0 °C (misal di suhu -20 °C) lalu mengering serta mengeras dengan baik.

1.2.4 Sifat-sifat Semen

1. Komposisi Kimia Semen

Semen Portland umumnya memiliki 4 senyawa utama berupa oksida di dalamnya. Mereka semua adalah kapur tohor (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan ferioksida (Fe₂O₃) atau lebih dikenal dengan sebutan karat (Labahn dan Kohlhaas, 1983: 162). Pada saat proses pembuatan semen bahan-bahan tadi akan membentuk dikalsium silikat (C₂S), trikalsium silikat (C₃S), trikalsium aluminat (C₃A), dan tetrakalsium aluminaferit (C₄AF). C₃A pada semen berfungsi agar semen mencapai kondisi yang disebut *set* (mengalami pengerasan) namun dibutuhkan gipsium sebagai *retarder* agar waktu pengerasannya dapat diatur sesuai kebutuhan. C₃S pada semen bertanggung jawab atas terjadinya *early strength* pada semen di hari ketujuh atau kedelapan setelah digunakan. C₂S bersamaan dengan C₃S bertanggung

jawab atas terjadinya *final strength* pada semen ketika semen yang digunakan berusia 1 tahun. Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Mg dan alkali berfungsi untuk mengurangi suhu saat terjadinya proses *clinkering*. Sangat memungkinkan bagi semen Portland untuk mengandung senyawa lainnya, karena tingkat kemurnian dan bahan-bahan pembuatnya yang bervariasi berdasarkan tempat pengambilannya dan juga karena ada tambahan bahan-bahan yang pada akhirnya memang sengaja ditambahkan (aditif). Aditif diperbolehkan untuk memiliki 1% dari berat total semen, asalkan mereka tidak memperbesar kemungkinan korosi pada besi yang digunakan di beton bertulang. *Chlorides* (Cl^-) tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai aditif; kandungan Cl^- inheren pada bahan baku sebaiknya tidak melebihi 0,1% berat total semen dan magnesia (MgO) serta sulfat (SO_3) masing-masing sebaiknya tidak melebihi 5% dan 4% berat total semen (Labahn dan Kohlhaas, 1983:163).

2. Panas hidrasi (*Heat of hydration*)

Reaksi kimia yang terjadi antara semen yang belum terhidrasi dan air saat *setting* dan mengeras, melepaskan panas yang membuat kenaikan suhu terjadi pada beton yang masih fresh. Pendinginan yang dilakukan secara berkala pada beton tadi akan membuat kontraksi termal dan retakan. Kenaikan temperatur dapat dihubungkan dengan kandungan semen dalam beton (per unit volume dari beton) dan komposisi bahan lain yang terdapat pada beton dan semen.

3. Setting time

Setting time merupakan sifat penting yang ditunjukkan oleh semen saat semen mencapai *setting*, yang terjadi setelah semen bercampur dengan sejumlah air (misal, sebuah campuran dengan rasio air/semen pada *range* 0,2-0,7). Penentuan *setting time* terdapat pada prosedur standar yang digunakan di Inggris (*The European Standard BS EN 196-3: 1995*). Di dalamnya terdapat dua jenis *setting time* yang disebutkan dalam standar untuk adonan semen yang konsisten, yaitu *initial* dan *final set*. Tidak ditemukan penjelasan yang baik atas istilah tersebut, selain deskripsi yang arbitrer terkait perubahan tahap-tahap reologis yang terjadi ketika hidrasi. Jumlah air yang digunakan untuk adonan semen standar dapat digunakan secara konsisten ketika *plunger* dengan diameter 10mm dapat melakukan penetrasi kedalam adonan semen *fresh* dengan beratnya sendiri. Metode *trial and error* digunakan untuk menentukan jumlah air yang tepat untuk membentuk adonan semen yang konsisten.

Untuk menentukan *initial setting time*, tongkat dengan diameter 1 mm² dipaksa menembus permukaan adonan semen *fresh* yang berada di kontainer berkedalaman 40 mm dengan menambah beban pada tongkat tersebut (berat beban 300 g). Ketika tongkat tidak mampu lagi melakukan penetrasi 4 ± 1 mm dari dasar kontainer, maka *initial set* telah tercapai.

Ujung tongkat dimodifikasi dengan *attachment* berbentuk silinder yang ujungnya menyerupai pisau untuk penentuan *final set*: *final set* tercapai ketika ujung pisau hanya membuat kesan “dangkal” pada permukaan adonan semen.

3.1 Efek Proporsi Mineral Utama *Clinker*

Komposisi kimia *clinker* semen Portland digunakan sebagai parameter turunan dari analisis kimia berikut:

$$aluminaratio = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3} \text{ dan } silicaratio = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}$$

Pada sampel bebas alkali, *setting time* sedikit berkurang dengan bertambahnya *silica ratio* dan *alumina ratio*. *Setting time* semen yang dibuat dari *clinker* bebas alkali dan sulfat berkurang dengan bertambahnya *lime saturation factor* (Hewlett *et al.*, 2006: 352).

$$limesaturationfactor\% = \frac{100(\%CaO)}{2,8x\%SiO_2 + 1,18x\%Al_2O_3 + 0,65x\%Fe_2O_3}$$

Formula diatas cukup merepresentasikan dengan baik jumlah maksimum kapur yang boleh dikombinasikan dengan *clinker* semen Portland.

Pembaruan dari formula diatas untuk mengakomodir MgO, yaitu:

$$limesaturationfactor\% = \frac{100(\%CaO + 0,75x\%MgO)}{2,8x\%SiO_2 + 1,18x\%Al_2O_3 + 0,65x\%Fe_2O_3}$$

Persentase maksimum dari MgO yang dapat dimasukkan pada formula ini ~2 persen (Hewlett *et al.*, 2006: 353).

3.2 Efek Kandungan Sulfat

Setting time yang dimiliki semen Portland bertambah seiring kenaikan jumlah gipsum yang digunakan, sampai pada level tertentu *setting time* menjadi *insensitive* terhadap tambahan jumlah gipsum lebih lanjut. Semen yang dibuat dari *clinker* yang kaya akan kandungan SO₃ (>2% SO₃) dan rendah alkali, *settingnya* dalam keadaan yang tidak normal, sekalipun dengan tambahan kalsium sulfat. Jika *clinker* yang kaya SO₃ kandungan alkalinya juga tinggi (>1%), maka *settingnya* normal, meskipun tanpa

tambahan kalsium sulfat. Tambahan sulfur pada fase *clinker* nampaknya mempercepat efek *setting* selagi kehadiran sulfur sebagai alkali sulfat memperlambatnya.

3.3 Efek Kandungan Alkali

Efek tambahan alkali (dalam bentuk karbonat) pada bahan mentah sebelum proses pembakaran diselidiki oleh Odler dan Wonnemann dalam *clinker* yang dipersiapkan untuk laboratorium yang memiliki 70% C₃S, 10% C₂S, 10% C₃A dan 10% C₄AF. *Clinker* kemudian dicampur dengan gypsum (3% SO₃) untuk membentuk semen dengan luas permukaan spesifik sebesar 300 m²/kg. Jumlah oksida alkali yang ditemukan dalam *clinker* setelah proses pembakaran keberadaannya lumayan turun dibanding dengan jumlah yang ditambahkan pada bahan mentah, *volatilisation* K₂O lebih besar ketimbang Na₂O. Distribusi alkali pada fase *clinker* tidak terjadi merata, konsentrasi tertinggi kedua oksida terbentuk pada fase kalsium aluminat. Nilai hidrasi awal untuk komponen C₃S pada semen tidak begitu signifikan dipengaruhi oleh kehadiran alkali. Bagaimanapun, nilai hidrasi mula-mula dari C₃A lumayan menurun dengan kehadiran Na₂O pada kristal *lattice* dan dipercepat dengan keberadaan K₂O pada *lattice*. Oksida alkali mempengaruhi *setting time* dengan cara yang sama dengan nilai hidrasi dari C₃A.

4. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan adalah parameter material terpenting yang digunakan untuk mengkarakteristikan produk berbasis semen. Biasanya, istilah kekuatan menyiratkan *concrete cubes* (beton berbentuk balok) dengan panjang 100

atau 150 mm yang dicetak menggunakan *steel moulds*, di tekan menggunakan mesin hidraulik hingga *concrete cubes* tadi hancur (Hewlett, *et al.*, 2006: 355). Banyak upaya telah dilakukan untuk memastikan terjadinya *reproducibility*, termasuk dengan mengetahui spesifikasi toleransi yang dimiliki dinding cetakan beton, dan spesifikasi dari *rigidity* dan *stiffness* yang dimiliki oleh mesin hidraulik. Keretakan pada beton (yang berujung pada patahnya beton) terdiri atas tiga tahap: *crack initiation*, *slow crack growth*, dan *rapid crack propagation*, yang berakhir ketika beton patah. Tes dengan menghancurkan *concrete cubes* telah menjadi metode standar untuk menentukan *compressive strength* di industri konstruksi, dan merupakan metode standar yang mengklasifikasikan kekuatan semen di Inggris. *Concrete cube* dengan panjang 100 mm (dengan perbandingan air/semen= 0,65 dan agregat/semen = 6) adalah ukuran spesimen yang biasanya digunakan di Inggris. Pada standar pengetesan di Eropa (BS EN 196-1: 1995), digunakan alat yang dikenal RILEM Cembureau mortar prisms untuk mengetahui *compressive strength* yang dimiliki semen.

4.1 Efek Kandungan Mineral Utama Terak

Relasi antara karakteristik kimia *laboratory clinkers* (terak yang dibuat di laboratorium yang dibakar pada suhu 1450°C selama 2 jam) dengan sifat *strength-generating* yang dimilikinya telah diselidiki dengan memodifikasi 3 parameter: *lime saturation factor*, *alumina ratio*, dan *silica ratio*. Satu diantara ketiga parameter diganti sementara kedua yang lain dibiarkan konstan. Semen dipersiapkan terlebih dahulu dengan menggiling clinker seberat 320 m²/kg dengan 6 % gipsum. Pengujian *compressive strength*

dilakukan menggunakan *mortar prism* berukuran kecil (15 x 15 x 60 mm), dengan perbandingan campuran pasir/semen = 3 dan air/semen = 0,5. Penyelidikan dilakukan dengan *clinker laboratory* yang terbuat dari bahan baku dengan *lime saturation factor* 93 %, *alumina ratio* 2, *silica ratio* 1,6-3,2, dan kandungan alkali serta *degree of sulfatisation* yang berbeda. Pengujian kekuatan menunjukkan hasil berikut:

- Kekuatan naik seiring bertambahnya *silica ratio*, dan berkurang seiring naiknya kandungan SO_3
- Kekuatan pada hari kedua mengalami kenaikan dengan tambahan K_2O sampai 1,5 %, dan tambahan Na_2O sampai 1,5 % saat *degree of sulfatisation*-nya 100 %.
- Kekuatan pada hari ke-28 dan ke-90 menurun dengan tambahan Na_2O dan K_2O yang setara, Na_2O memiliki pengaruh yang jauh lebih besar ketimbang K_2O .
- Untuk K_2O , *degree of sulfatisation* yang optimum adalah 60-70 % dan 90-100 % untuk Na_2O .
- *Supersulfatisation* alkali menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan.
- Reduksi kekuatan pada hari ke-28 dan ke-90 pada semen yang mengandung K_2O dapat diatasi dengan menambahkan *silica ratio*, menghiraukan keadaan *degree of sulfatisation* yang optimum. Tindakan ini hanya berhasil dilakukan pada semen yang mengandung Na_2O .

Penyelidikan terhadap *clinker laboratory* selanjutnya dilakukan dengan *lime saturation factor* 93%, *silica ratio* 2,4 , *alumina ratio*

(1,3-2,7), kandungan alkali (Na_2O dan K_2O masing-masing $\sim 0,2$ %) dan *degree of sulfatisation* yang beragam. Pengujian kekuatan menunjukkan hasil sebagai berikut:

- Kekuatan selalu bertambah seiring penurunan *alumina ratio*
- Kekuatan pada hari kedua dan ketujuh semakin berkurang dengan kandungan K_2O dan Na_2O mencapai sekitar 1,5 %. Kandungan alkali yang tinggi dan *supersulfatisation* mengurangi kekuatan.
- Kekuatan pada hari ke-28 dan ke-90 berkurang seiring naiknya kandungan K_2O dan Na_2O .
- Untuk kandungan alkali oksida yang setara, kekuatan pada hari ke-28 dan hari ke-90 berkurang jauh oleh Na_2O daripada K_2O . Proporsi molar dua alkali oksida yang setara mengurangi kekuatan dengan jumlah yang sama ketika *degree of sulfatisation*-nya dibawah 100 %.
- Untuk *alumina ratio* dibawah sekitar 1,3 dan 2,7, *degree of sulfatisation* yang optimum berada pada kisaran 60 % untuk K_2O dan sekitar 100 % untuk Na_2O .
- *Supersulfatisation* alkali mengurangi kekuatan dalam jumlah yang besar; hal ini terjadi terutama pada semen yang mengandung Na_2O .
- Penurunan kekuatan setelah hari ke-28 dan ke-90 oleh kandungan K_2O $\sim 1,5$ % dapat diatasi dengan mengurangi kandungan *alumina ratio* dengan syarat terdapat *degree of sulfatisation* yang optimum, namun pengurangan kekuatan yang disebabkan oleh kandungan Na_2O yang mencapai 1,5 % hanya terkompensasi sebagian.

Compressive strength semen yang bebas kandungan sulfat dan alkali bertambah pada semua hari pengujian dengan bertambahnya *silica ratio* dan *lime saturation factor*. Dengan kenaikan *alumina ratio*, kekuatannya ‘*virtually constant*’.



BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

Produk semen yang dihasilkan adalah produk semen Jenis I yang sesuai dengan SNI 15-2049-2004, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Sedangkan menurut Shreve dan Austin, semen portland jenis I adalah produk semen portland biasa yang digunakan untuk konstruksi umum. Ada beberapa tipe semen jenis ini, diantaranya semen putih, yang kandungan *ferric oxide*-nya lebih sedikit, *oil-well cement*, *quick setting cement*, dan semen lainnya yang digunakan untuk keperluan khusus (Shreve dan Austin, 1984: 126)

2.1.1 Kimia

- C₃S : 55 %
- C₂S : 19 %
- C₃A : 10 %
- C₄AF : 7 %
- MgO, maksimum : 6,0 %
- SO₃, maksimum
- Jika C₃A ≤ 8,0 : 3,0 %
- Jika C₃A > 8,0 : 3,5 %
- Hilang pijar, maksimum : 5,0 %
- Bagian tak larut, maksimum : 3,0 %

- Alkali sebagai ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$), maksimum : 0,60 % , hanya berlaku bila semen digunakan dalam beton yang agregatnya bersifat reaktif terhadap alkali (SNI 15-2049-2004: 3)

2.1.2 Fisika

- Kehalusan

Uji permeabilitas udara, m^2/kg

Dengan alat:

Turbidimeter, minimum : 160

Blaine, minimum : 280

- Kekekalan

Pemuaihan dengan autoclave, maksimum % : 0,80

- Kuat tekan

Umur 3 hari, kg/cm^2 , minimum : 125

Umur 7 hari, kg/cm^2 , minimum : 200

Umur 28 hari, kg/cm^2 , minimum : 280

- Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat:

Gillmore

✓ Awal, menit, minimal : 60

✓ Akhir, menit, maksimum : 600

Vicat

✓ Awal, menit, minimal : 45

✓ Akhir, menit, maksimum : 375

Pengikatan semu penetrasi akhir, % minimum : 50

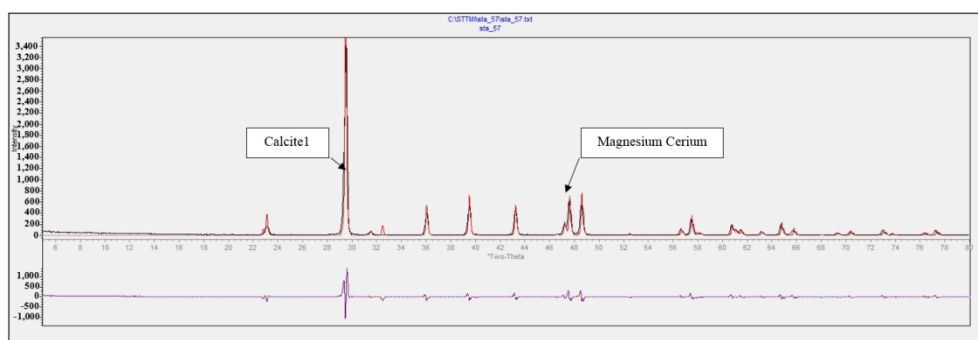
Kandungan udara mortar, % volume, maksimum : 12

2.2 Spesifikasi Bahan Baku

2.2.1 Batu Kapur (*Limestone*)

No.	Major Element	%
1	CaO	54,47
2	MgO	1,5
3	Fe ₂ O ₃	0,0049
4	MnO	0,0044
5	Na ₂ O	0,2107
6	K ₂ O	0,0069
7	P ₂ O ₅	0,13
8	TiO ₂	0,07
9	Al ₂ O ₃	0,069
10	SiO ₂	0,3
11	H ₂ O-	0,08
12	H ₂ O+	38,91
13	LOI	41,87

Tabel 1. Tabel hasil analisa kimia AAS (*Atomic Absorption Spect*) dan X-RF (*X-ray Fluorescence*) dalam satuan persen (%) dari batugamping terumbu



formasi Paciran, Montong, Tuban, Jawa Timur (Santika dan Mulyadi, Jurnal Ris.Geo.Tam Vol 27, No. 2, Desember 2017)

Gambar 1. Grafik hasil analisa kimia X-RD (*X-ray Diffraction*) dari batugamping terumbu Formasi Paciran, Montong, Tuban, Jawa Timur (Santika dan Mulyadi, Jurnal Ris.Geo.Tam Vol 27, No. 2, Desember 2017)

No	ID	Phase	Weight (%)
1	10	Calcite I	99,1
2	1181	Magnesium Cerium	0,9

Tabel 2. Tabel hasil analisa kimia X-RD dalam satuan persen (%) dari batu gamping terumbu Formasi Paciran (Konversi menggunakan *software Siroquant*) (Santika dan Mulyadi, Jurnal Ris.Geo.Tam Vol 27, No. 2, Desember 2017).

2.2.2 Tanah Liat

- Fasa : Padat
- Warna : Coklat kekuningan, kadang berwarna hitam
- Kadar air : 18-25 %
- *Bulk density* : 1,4 ton/m²
- *Specific gravity* : 2,36
- Ukuran material : 0,1-30 mm
- *Silica ratio* : 2,30
- *Alumina ratio* : 2,70
- *Alumina index* : >4
- Titik leleh : 1999 °C

2.2.3 Copper Slag

- Fase : Padat
- Warna : Merah kehitaman
- Fe_2O_3 : 52-64 %

2.2.4 Gypsum

- Fase : Padat
- Warna : Putih kotor
- Kadar air : 10%
- *Bulk density* : 1,40 ton/m²
- *Specific gravity* : 1,40
- Ukuran material : 0,1-30 mm

2.3 Pengendalian Kualitas (Quality Control)

Pengendalian kualitas dalam manufaktur semen adalah bidang dengan spesialisasi yang tinggi. Dalam manufaktur semen kualitas bahan baku yang digunakan sangat mempengaruhi hasil produk semen yang dihasilkan. Bahan-bahan yang diperoleh harus dianalisa kandungannya karena jika ternyata kandungan dari bahan baku utama yang digunakan kurang, maka bahan koreksi yang digunakan dapat ditambahkan kedalam campuran bahan baku agar diperoleh produk semen yang sesuai dengan standar mutu yang sudah ditetapkan. Misal bahan baku utama yang digunakan seperti batu kapur sebagai sumber utama CaO, dan tanah liat sebagai sumber utama SiO₂ dan Al₂O₃ ternyata kandungan CaO dan SiO₂ nya kurang, maka dapat ditambahkan bahan koreksi berupa batu kapur *high grade* (kandungan CaO > 93 %) dan pasir silika (kandungan SiO₂ 90-95 %), ini adalah kasus yang terjadi pada Pabrik Semen Gresik di Tuban (Reski dan Rahayu,

Laporan Kerja Praktek PT Gresik, Tuban, Instiut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018). Menurut standar DIN 1164 pengendalian kualitas semen dilakukan baik secara “internal” (dilakukan oleh pabrik semen) maupun “eksternal” (organisasi pengawas independen yang berwenang) (Kohlhaas dan Labahn, 1982: 164).

1. *Quality Control Formulas*

Berikut adalah *Quality Control Formula* menurut Peray (Peray, 1979)

- *Ignition Loss*

Ignition loss atau hilang pijar biasanya ditentukan melalui pengujian yang dilakukan di *laboratory furnace* (tungku laboratorium). Hilang pijar dapat juga ditentukan dengan analisis kimia *kiln feed* (umpan kiln) dengan formula:

$$\begin{aligned} \text{Ignitionloss} &= 0,44CaCO_3 + 0,524MgCO_3 + \dots \\ &+ \text{combined } H_2O + \text{organic matter} \end{aligned}$$

- *Silica Ratio*

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Terak dengan nilai *silica ratio* yang besar dapat menjadi sebuah indikasi *poor uniformity* (campuran yang buruk) di *kiln feed* (umpan kiln) atau *fired coal* (batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar). Perubahan-perubahan yang terjadi pada *coating formation* di zona pembakaran, *burnability of the clinker* (kemampuan terak untuk terbakar), dan *ring formation* pada kiln dapat dilacak dari perubahan nilai *silica ratio* yang dimiliki terak. Sebagai *rule*, terak dengan nilai *silica ratio* yang tinggi lebih sulit untuk dibakar dan menunjukkan

poor coating properties (sifat pelapisan yang buruk). Nilai *silica ratio* yang rendah seringnya mengarah kepada terjadinya *ring formation* dan *low early strength* (kekuatan awal yang kecil) di hari ketiga sampai ketujuh pada semen.

- *Alumina-Iron Ratio*

$$SR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Terak dengan nilai *alumina-iron ratio* yang tinggi, sebagai *rule*, menghasilkan semen dengan *high early strength* (kekuatan awal yang tinggi) namun membuat reaksi antara silika dan kalsium oksida yang terjadi di zona pembakaran menjadi lebih sulit.

- *Lime Saturation Factor*

Menurut Peray (Peray, 1979: 4), “Faktor ini telah bertahun-tahun lamanya digunakan di Eropa sebagai *kiln feed control* dan hanya baru-baru ini saja diterima oleh pembuat semen di Amerika”. Dengan nilai LSF (*lime saturation factor*) yang mendekati “sempurna” (1), terak menjadi sulit untuk dibakar dan seringkali menghasilkan kandungan *free lime* (kapur bebas) yang berlebih. Terak dengan nilai *lime saturation factor* 0,97 atau yang mendekati batas ambangnya dikenal dengan istilah “*overlimed*” dimana kandungan kapur bebasnya dapat tetap stabil pada kadar yang tinggi terlepas dari banyaknya bahan bakar yang sudah di umpan ke kiln oleh operator kiln (Peray, 1979: 4). Sedangkan menurut S.P Deolalkar, semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) normalnya memiliki nilai LSF antara 90-95 (Deolalkar, 2009: 33-34).

➤ Jika $A/F = >0,64$

$$LSF = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3}$$

➤ Jika $A/F = <0,64$

$$LSF = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,1Al_2O_3 + 0,7Fe_2O_3}$$

- *Hydraulic Ratio*

Indeks ini (Peray, 1979: 4-9) sudah sangat jarang digunakan di teknologi semen modern untuk *kiln feed control*.

$$LSF = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3}$$

- *Percent Liquid*

Terak, ketika dibakar pada temperatur 2642 °F, mengandung kadar cairan:

$$\begin{aligned} \text{Percentliquid} &= 1,13C_3A + 1,35C_4AF + MgO \\ &+ \text{Alkalies} \end{aligned}$$

- *Burnability Index*

Burnability index adalah indikator kemudahan terak untuk terbakar. Semakin tinggi nilai indeksnya, semakin sulit terak untuk terbakar.

$$BI = \frac{C_3S}{C_4AF + C_3A}$$

- *Burnability Factor*

Burnability factor digunakan sebagai panduan operator kiln untuk menunjukkan bahwa terak yang dimaksud mudah atau sulit untuk dibakar. Nilai *burnability factor* yang tinggi menghasilkan terak

yang sulit untuk terbakar. Sebaliknya, nilai yang kecil membuat terak lebih mudah untuk terbakar.

$$BF = LSF + 10SR - 3(MgO + Alkalies)$$

- *Bogue Formula for Clinker and Cement Constituents*

Untuk seorang ahli kimia semen, formula ini adalah formula yang paling penting dan paling sering digunakan sebagai indikator kandungan kimia yang ada pada semen ataupun terak. Konstituen yang dikalkulasi oleh formula ini, bagaimanapun juga, hanyalah komposisi potensial ketika terak sudah terbakar dan didinginkan pada kondisi tertentu yang diketahui (Peray, 1979: 5). Perubahan *cooling rate* (tingkat pendinginan) atau temperatur pembakaran dapat merubah komposisi konstituen sebenarnya sampai batas tertentu.

a) *Bogue Formulas for Cement Constituents*

Jika $A/F = >0,64$

$$C_3S = 4,071CaO - (7,602SiO_2 + 6,718Al_2O_3 + 1,43Fe_2O_3 + 2,852SO_3)$$

$$C_2S = 2,867SiO_2 - 0,7544C_3S$$

$$C_3A = 2,65Al_2O_3 - 1,692Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3,043Fe_2O_3$$

Jika $A/F = <0,64$

$$C_3S = 4,071CaO - (7,602SiO_2 + 6,718Al_2O_3 + 1,43Fe_2O_3 + 2,852SO_3)$$

$$C_2S = 2,867SiO_2 - 0,7544C_3S$$

$$C_3A = 0$$

$$ss(C_4AF + C_2F) = 2,1 Al_2O_3 - 1,702 Fe_2O_3$$

b) *Bogue Formulas for Clinker Constituents*

Ketika jumlah SO_3 dan Mn_2O_3 pada terak sudah mencukupi, nilai analisis kimianya harus dikalkulasi ulang untuk menghitung jumlah CaO yang telah bereaksi dengan SO_3 , jumlah *free lime* yang ada dan jumlah Mn_2O_3 .

Nilai yang akan digunakan dalam formula Bogue adalah:

$$Fe_2O_3 = Fe_2O_3 + Mn_2O_3$$

$$CaO = CaO - freeCaO - (CaO\ combined\ with\ SO_3)$$

Untuk menentukan jumlah CaO yang bereaksi dengan SO_3 menjadi $CaSO_4$, digunakan langkah perhitungan dibawah:

- Langkah 1, jika $(K_2O/SO_3) = < 1,176$ maka tidak semua SO_3 bereaksi dengan K_2O menjadi K_2SO_4

$$SO_3\ in\ K_2O = 0,85\ K_2O$$

- Langkah 2, menghitung residu SO_3

$$SO_3 - SO_3\ (in\ K_2O) = SO_3\ (remaining)$$

Jika $[Na_2O/SO_3\ (remain.)] = < 0,774$ maka tidak semua SO_3 bereaksi dengan Na_2O menjadi Na_2SO_4 .

$$SO_3\ in\ Na_2O = 1,292\ Na_2O$$

- Langkah 3, menghitung jumlah CaO yang bereaksi dengan SO_3 menjadi $CaSO_4$

$$CaO\ (in\ SO_3) = 0,7\ [SO_3 - SO_3\ (in\ K_2O) - SO_3\ (in\ Na_2O)]$$

Setelah menentukan nilai CaO dan Fe₂O₃ yang sesuai, hal selanjutnya yang dapat dilakukan adalah menentukan konstituen potensial terak dengan menggunakan formula Bogue yang sebelumnya telah disebutkan. Ketika formula Bogue digunakan untuk menentukan komposisi umpan kiln, perlu di ingat bahwa tambahan *coal ash*, *dust losses*, dan *alkali cycles* dapat merubah komposisi akhir terak. Juga gunakan analisis pada basis “*loss free*” dalam menghitung konstituen.

- *Total Carbonates*

Total carbonates biasanya ditentukan secara analitis dengan menggunakan metode titrasi asam-basa. *Total carbonates* juga bisa ditentukan dari analisis *raw (unignited)* dibawah:

$$TC = 1,784CaO + 2,09MgO$$

- *Total Alkalies as Na₂O*

Kandungan total alkali *in terms of* sodium oksida dikalkulasikan dengan analisis *loss free*

$$TotalasNa_2O = Na_2O + 0,658K_2O$$

- *Conversion of Raw Analysis to Loss Free Basis*

$$O_l = \frac{O_r}{100 - L} 100$$

dimana:

O_r = persen oksida (dalam berat) pada basis *raw*

O_l = persen oksida (dalam berat) pada basis *loss free*

L = persen hilang pijar (dalam berat)

- *Conversion of Kiln Dust Weight to Kiln Feed Weight*

Debu yang dikumpulkan di presipitator atau *baghouse* pada kiln menunjukkan perbedaan hilang pijar dari umpan kiln karena debu tersebut sudah terkalsinasi sebagian. Untuk tujuan *inventory control* dan dalam beberapa studi pengoperasian kiln hal ini sering diperlukan untuk mengekspresikan berat debu *in terms of* berat umpan ekivalen.

$$w_e = \frac{(w_d)(1-L_d)}{1-L_f}$$

Dimana:

w_e = berat debu *in terms of* umpan

w_d = berat debu sebenarnya

L_d = persen *ignition loss*, debu (desimal)

L_f = persen *ignition loss*, umpan (desimal)

- *Calculation of Total Carbonates from Acid-Alkali Titration*

Metode ini hanya dapat diaplikasikan ketika kandungan MgO pada sampel diketahui. Nilai dari basis *raw (unignited)* digunakan untuk perhitungan.

$$O_l = \frac{O_r}{100 - L} 100$$

$$MgCO_3 = 2,098 MgO$$

$$TC = MgCO_3 + CaCO_3$$

$$CaO = 0,93453(a - 1,48863 MgO)$$

a = apparent total lime content from titration

- *Percent Calcination*

Umpan kiln atau sampel debu yang diambil di sembarang lokasi dalam kiln seringnya diselidiki untuk mengetahui tingkat kalsinasi sebenarnya yang telah dicapai oleh sampel.

$$C = \frac{(f_l - d_l)}{f_l} 100$$

Dimana:

C = tingkat kalsinasi sampel sebenarnya

f_l = *ignition loss* umpan asli

d_l = *ignition loss* sampel

2. *Internal Quality Control*

Berikut ini adalah hal-hal yang di uji setidaknya sekali sehari:

➤ *Setting*

➤ *Soundness*

Setidaknya duakali seminggu:

➤ Hilang pijar

➤ *Content of carbondioxide* CO₂

➤ *Insoluble residue*

➤ *Content of sulphate* SO₃

➤ *Fineness of grinding*

➤ *Compressive strength at each specified age* (lihat DIN 1164, Bagian 1)

Setidaknya sekali sebulan:

➤ *Principal constituents of cement*

➤ *Heat of hydration*

➤ *The composition required to ensure high sulphate resistance*

Hasil dari pengendalian kualitas internal harus ditulis dan, jika memungkinkan dianalisis secara statistik. Catatan harus disimpan sekurang-kurangnya selama 5 tahun dan terbuka untuk diberikan kepada organisasi pengawas (eksternal) ketika diminta (DIN 1164, Bagian 2).

3. *External quality control*

External quality control adalah peran yang dimainkan oleh lembaga resmi penjamin mutu yang diakui, misal di Jerman adalah *German Cement Works Association (Verein Deutscher Zementwerke), Düsseldorf*. Lembaga ini wajib memastikan bahwa pabrik semen memiliki penjamin mutu internalnya sendiri, terutama dengan melakukan inspeksi terkait relevansi catatan dan dokumen. Sebagai tambahan, Lembaga pengawas harus melakukan serangkaian uji coba (untuk tiap jenis semen dan tingkatan kekuatannya) berikut untuk memastikan yang tercantum dalam DIN 1164, Bagian 1:

Setidaknya sekali selama dua bulan:

Hilang pijar, Content of carbon dioxide CO₂, insoluble residue, content of chloride, fineness of grinding, setting, soundness, compressive strength at each specified standar age, pincipal constituents of the cements.

Setidaknya sekali selama enam bulan

Heat of hydration, the composition required to ensure high sulphate resistance.

4. Kontrol dan Instrumentasi

Instrumentasi mencakup segala jenis peralatan yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk berkualitas dengan proses yang efisien. “Instrumen disediakan untuk memonitor *key process variable* (variabel kunci yang ada dalam proses) saat pabrik beroperasi. Instrumentasi dapat dilakukan, baik dengan sistem kontrol otomatis ataupun sistem kontrol manual. *Review* komprehensif instrumen proses dan alat-alat kontrol dipublikasi secara berkala dalam jurnal *Chemical Engineering*” (Sinnott, 2005: 227). Berkat pesatnya perkembangan teknologi komputer, kontrol pada variabel proses sekarang sudah terkoneksi secara langsung dengan tampilan digital pada monitor yang terhubung dengan komputer tersebut. Bahkan dengan bantuan internet cukup mudah memantau variabel-variabel proses tadi dari jarak yang jauh sekalipun, meskipun hal ini tidaklah mudah dan membutuhkan biaya yang cukup tinggi agar hal ini dapat terpantau secara *real-time*.

4.1 Instrumentasi dan Kontrol Objektif

Tujuan utama seorang perancang pabrik dalam mengimplementasikan instrumentasi dan skema kontrol adalah:

- Keamanan pengoperasian:
 - Untuk menjaga variabel proses tetap di batas operasi yang aman.
 - Untuk mendeteksi kondisi berbahaya secara langsung dan menanganinya dengan cepat, misalnya dengan tersedianya alarm yang terhubung dengan sistem *shut-down* otomatis.
- *Production rate*:

Tentunya untuk mencapai *output* produksi yang diinginkan.

- *Cost:*

Untuk mengoperasikan pabrik dalam kondisi operasi yang paling –
minim biaya.

Keempat tujuan ini tidak dapat dipisah dan harus tercapai secara gotong-royong. Karena pada kenyataannya semua tujuan-tujuan tadi saling berkaitan erat, dan dari tujuan-tujuan tersebut kebijakan pabrik akan ditentukan.

4. 2 *Automatic-control schemes* (Sistem kendali otomatis)

Perancangan detail dan spesifikasi sistem kendali otomatis untuk sebuah pabrik, biasanya dilakukan oleh spesialis. Dalam sistem kendali otomatis, sensor yang digunakan untuk mendeteksi variabel proses “berkomunikasi” dengan sensor-sensor lainnya. Dan sensor ini memiliki kendali untuk mengatur variabel proses agar tetap dalam “batas amannya”. Misalnya sensor ketinggian (*Level control*) yang ada di tangki penampung memiliki kendali untuk mengatur ketinggian cairan di dalamnya agar tidak meluap, sehingga ketika cairan sudah mendekati “batas amannya” sensor ketinggian akan melakukan komunikasi dengan sensor kecepatan aliran (*flow control*) masuk untuk sedikit memperlambat aliran cairan yang masuk dan sensor kecepatan aliran masuk akan sedikit menutup kerannya.

5. Instrumen pada Pra-rancangan Pabrik Semen

- *Level control*

Level control seperti yang sudah disebutkan sebelumnya berguna untuk memantau ketinggian suatu zat di dalam sebuah wadah

(tangki). *Level control* digunakan dalam wadah-wadah penampungan seperti silo, *stockpile*, dan lain-lain.

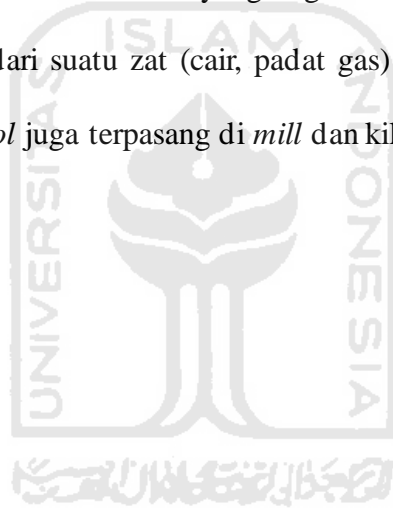
- *Flow Ratio control*

Flow control juga sudah disebutkan pada contoh sebelumnya, berguna untuk mengukur laju aliran massa baik yang masuk ataupun keluar. *Level control* digunakan pada aliran masuk dan aliran keluar alat, misal seperti *Mill dan kiln*.

- *Temperature control*

Temperature control adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu/temperature dari suatu zat (cair, padat gas) atau campurannya.

Temperature control juga terpasang di *mill dan kiln*.



BAB III

PERANCANGAN PROSES

3.1. Uraian Proses

3.1.1 Jenis-Jenis Proses

Umumnya digunakan proses kering dan basah dalam industri pengolahan semen. Di Amerika sendiri proses basah mendominasi cukup lama jika dibandingkan dengan Eropa. Konsumsi bahan bakar menjadi salah satu faktor yang berpengaruh saat itu dikarenakan keberadaan minyak sebagai bahan bakarnya yang saat itu sedang sulit. Proses basah memang memiliki keunggulan karena prosesnya yang lebih “sederhana” disebabkan panjangnya kiln yang digunakan sehingga bahan mentah yang digunakan dapat tercampur lebih homogen dalam bentuk “*slurry*”, sehingga meskipun boros bahan bakar hal ini termaafkan. Amerika lebih memilih proses basah dikarenakan keberadaan minyak yang berlimpah dan karena proses ini tidak menggunakan banyak peralatan yang “rumit” (yang juga berarti lebih hemat listrik) dan lebih hemat tenaga buruh (Deolalkar, 2009: Chapter 3 hal. 18). Proses basah terus mendominasi dalam jumlah dan kapasitas pabrik hingga sekitaran tahun 1950an. Di India proses ini masih terus mendominasi untuk 2 dekade kedepan (Deolalkar, 2009: Chapter 1 hal. 1). Sampai permulaan tahun ke 50 abad ke 20, sebuah konsep manufaktur semen yang “luar biasa” hadir —penggunaan *Suspension Preheater*. Keberadaan *suspension preheater*, bak menjadi “*missing link*” yang disandingkan dengan kiln membuat proses kering cepat diadaptasi dan memberangus keberadaan proses basah yang sempat mendominasi. Bahkan di India, proses basah yang mendominasi keberadaannya menjadi kurang dari 3% sekarang (Deolalkar,

2009: Chapter 1 hal. 2). Keberadaan *suspension preheater* sebagai alat memperlebar jarak jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan antara proses kering dan proses basah. Sebagai gambaran, konsumsi bahan bakar proses basah adalah 1500 Kcal/kg terak. Sedangkan proses kering 800 Kcal/kg terak dengan *preheater* 4 tahap. Jarak ini dapat diperlebar lagi menjadi 700 Kcal/kg dengan menggunakan *preheater* 6 tahap. Pada proses manufaktur semen, terdapat 2 bagian paling dasar yang dilakukan sebelum bahan-bahan yang digunakan berubah menjadi produk yang kita kenal sebagai “semen”. Bagian pertama yaitu *raw material preparation* (persiapan bahan baku) yang meliputi *crushing, grinding, homogenising* dan *kiln feed*. Bagian kedua adalah *pyroprocessing* (proses “pengapian”) yang meliputi *drying, preheating, calcining, sintering* dan *clinker cooling*. Perbedaan besar antara proses basah dan proses kering terlihat jelas pada tahap *pyroprocessing*. Yang akhirnya kesemuanya akan berhubungan langsung ke peralatan yang digunakan.

- Proses Basah (*Wet process*)

Pada tahapan *grinding* (penggilingan), ada penambahan air ke bahan baku yang digunakan. Hasilnya bahan baku yang diolah menggunakan *ball mill* menghasilkan “*slurry*” (produk basah) yang memiliki kadar air sekitar 35-40% dan akan di *Homogenising* (homogenkan) menggunakan mikser pneumatik dan mekanik. Produk yang dihasilkan berupa *kiln feed* (umpan kiln) dengan kadar air sekitar 34%. *Drying* (pengeringan), *preheating* (pra-pemanasan)

dan *calcining* (kalsinasi) umpan kiln tadi akan dilakukan “bersamaan” menggunakan kiln.

- Proses Kering (*Dry Process*)

Pada proses kering bahan baku akan digiling dengan menggunakan *ball mill* atau *vertical mill*. Hasil penggilingan akan disaring (atau langsung diumpan ke *preheater*, sesuai dengan mill yang digunakan) umpan ke *preheater* yang berfungsi sebagai pengering sekaligus tempat awal terjadinya kalsinasi—yang nantinya akan diselesaikan di kiln—menghasilkan *kiln feed* yang siap untuk diolah menggunakan kiln. Terdapat pabrik semen dengan proses kering yang menggunakan *precalciner*, agar proses kalsinasi terjadi secara paripurna diluar kiln.

3.1.2 Pemilihan Proses

Proses yang dipilih oleh kami didasari berbagai macam pertimbangan. Salah satunya adalah kadar air dalam kiln. Dalam proses basah umpan tanur berupa slurry dengan kadar air berkisar 25-40%. Kadar air yang cukup besar ini nantinya akan mengakibatkan dimensi kiln relatif lebih besar, pada umumnya panjang kiln dari proses basah bisa mencapai 200 m dengan begitu volume kiln akan lebih besar. Sedangkan pada proses kering, panjang kiln berkisar 40-50 m dengan volume L/D yang lebih kecil dibandingkan proses basah (Rahadja, 1990).

Berikut tabel volume kiln L/D

Type of kiln	l/d ratio
Wet kiln	35-40
Long dry kiln	30-35
Suspension preheater kiln	14-16
Preheater-precalciner kiln	10-12.

Meskipun volume wet kiln lebih besar ketimbang kiln proses kering ini bukan berarti kapasitas yg dihasilkan lebih besar. Ini dapat dibuktikan dari tabel output yang keluar dari kiln tiap proses

Type of kiln	Output in tpd /m ³
Wet kiln	1,5 - 2,0
Long dry kiln	2 - 2,5
Suspension preheater kiln	3 - 4,0
Preheater-precalciner kiln	5 - 6,0

Panjang kiln dari proses basah lebih panjang dikarena kan di proses basah pada tahap awal didalam kiln ada proses pengeringan slurry pada T = 100-500°C. Lalu selanjutnya pada saat tahap kalsinasi yaitu saat dekomposisi kalsium karbonat ($\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}$) membutuhkan waktu yang relatif lama untuk mencapai suhu optimum yaitu pada T = 600-900°C . Sedangkan proses kering memiliki kadar air berkisar 1% oleh karena itu panjang dari kiln proses basah relatif lebih panjang. Dapat dilihat dari tabel dibawah kadar air dari tiap proses

Jenis Proses	Kadar air
Wet process	25 - 40 %
Semi wet process	15 - 25 %
Dry process	1%
Semi dry process	10 - 12 %

Salah satu faktor ini nantinya akan berimbas kepada harga alat yang lebih mahal. Proses basah juga relatif lebih boros, ini dikarenakan panas yang digunakan pada proses basah yaitu sekitar 1380 – 1700 kcal/kg terak. Sedangkan pada proses kering yang menggunakan suspension preheater kiln, panas yang digunakan berkisar 750-850 kcal/kg terak jauh lebih kecil ketimbang proses basah. Ini disebabkan pada proses kering yang menggunakan suspension preheater kiln, udara panas yang keluar dari kiln tidak dibuang langsung ke udara melainkan dialirkan menuju suspension preheater untuk memanaskan feed sebelum masuk kedalam kiln sehingga penggunaan panas lebih efisien serta membuat kebutuhan energi untuk memanaskan feed lebih sedikit. Kadar air juga menentukan suhu yang keluar dari kiln tidak terlalu rendah ini disebabkan pada proses kering, energi tidak banyak digunakan untuk menguapkan air yang terkandung dalam feed sedangkan dalam proses basah energi digunakan untuk memanaskan feed juga untuk menguapkan air yang terkandung didalam feed. Oleh karena itu energi yang dibutuhkan di proses basah lebih banyak daripada energi di proses kering. Seperti yang dapat dilihat dari tabel berikut

Type of kiln	kCal/kg Clinker
Wet kiln	1380-1700
Long dry kiln	950-1150
Suspension preheater kiln	750-850
Preheater-precalciner kiln	680-750

Wet kiln adalah kiln yang digunakan untuk proses basah, sedangkan long dry kiln adalah jenis kiln yang digunakan pada proses kering tanpa menggunakan suspension preheater di rangkaian alat kiln. Dari tabel diatas

dapat dipastikan bahwa jenis kiln untuk proses basah kebutuhan energi yang dibutuhkan lebih besar dibanding dengan proses kering. Berdasarkan pertimbangan ekonomi proses kering jauh lebih ekonomis daripada proses basah karena kadar air yg tinggi, membuat energi yang dibutuhkan di proses basah besar dan panjang kiln yang relatif panjang membuat harga alat lebih mahal ketimbang proses kering. Oleh karena itu berdasarkan pertimbangan kami dari segi ekonomi kami memutuskan untuk menggunakan proses kering.

3.1.3 Proses Pembuatan Semen

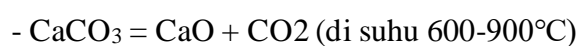
Batu kapur dan tanah liat yang digunakan, diambil dari lokasi yang dekat dengan pabrik, guna menghemat biaya transportasi. Copper slag diperoleh dari limbah peleburan tembaga PT. SMELTHING Co, Gresik. Sejak 1998 sebagai pengganti Pasir Besi PT Semen Gresik Tuban menggunakan Copper slag. Copper slag dipilih karena kandungan Fe_2O_3 nya mirip dengan kandungan Fe_2O_3 yang ada di Pasir Besi, serta harganya yang jauh lebih murah dibanding dengan menambang langsung Pasir Besi. (Reski dan Rahayu, Laporan Kerja Praktek PT. Gresik Persero ITS: 2018). Ketiga bahan Baku ini kemudian disimpan di tempat penampungannya masing-masing. Ketiga bahan baku ini lalu dianalisa lagi dengan metode XRD (X-Ray Diffraction) dan XRF (X-Ray Fluorescent) untuk mengetahui kandungan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , air dan kandungan bahan lainnya. Hasil analisa kemudian akan digunakan untuk menentukan modulus-modulus yang digunakan sebagai standar untuk menentukan layak atau

tidaknya bahan digunakan sebagai bahan baku produksi. Ketiga bahan baku akan memperoleh proporsi (perbandingan) setelah bagian *Quality Control* menyelesaikan analisisnya. Kami menggunakan proporsi

TABEL PERBANDINGAN	
Batu kapur	72,5%
Tanah Liat	26,8%
Copper Slag	0,7%

72,5:26,8:0,7 untuk batu kapur, tanah liat dan copper slag (perhitungan menggunakan *Quality Control Formula*). Dari tempat penyimpanan, batu kapur akan dialirkan menuju hopper yang nantinya—dengan menggunakan prinsip gravitasi—meneruskan batu kapur tadi ke apron conveyor. Apron conveyor kemudian meneruskan perjalanan batu kapur ke *Hammer Crusher*. *Hammer crusher* menghancurkan batu kapur dan membuat ukurannya menjadi lebih halus (≥ 90 micron). Batu kapur halus ini lalu meneruskan perjalanannya menuju *screen* untuk mengantisipasi batu kapur yang masih belum sesuai ukurannya. Batu kapur yang ukurannya sesuai akan lolos dari *screen* dan mengalir dengan bantuan *belt conveyor*. Batu kapur yang belum lolos, akan dikembalikan dengan ditemani *belt conveyor* yang mengarah ke tempat penyimpanan batu kapur. Batu kapur yang lolos, kemudian diproses dalam *Mixer* bersama tanah liat dan copper slag. Sebelum bertemu dengan batu kapur di *Mixer*, tanah liat dibantu oleh *hopper* dan *apron conveyor* untuk diperkecil ukurannya, agar sama dengan batu kapur. Setelah diperkecil ukurannya dengan *Roll Crusher (RC)*, tanah liat juga harus disaring oleh *screen*. Tanah liat yang masih besar ukurannya, dibantu *belt conveyor* untuk kembali ke tempat penampungan tanah liat.

Yang sudah lolos——sesuai janji——akan bertemu batu kapur dan copper slag di *Mixer*. Copper slag tentu mengalami hal yang sedikit berbeda dari batu kapur dan tanah liat. Copper slag yang diperoleh dari PT. SMELTHING Co, Gresik, telah memiliki ukuran sesuai dengan yang lainnya. Namun demi terciptanya kondisi ideal, copper slag juga harus melalui screen. Seperti biasa yang tidak lolos akan dikembalikan ke penyimpanan dan, yang lolos akhirnya akan bertemu dengan bahan yang lain di *Mixer*. Dalam *Mixer* semua bahan yang sudah terkumpul, akan dilakukan pencampuran bahan baku (*mixing process*). Butiran campuran bahan baku (*raw mix*) akan dibawa oleh *belt conveyor* lalu *bucket elevator* mengangkatnya menuju *suspension preheater*. *Suspension Preheater* yang digunakan memiliki 4 *stage*. Di *stage* yang pertama, campuran bahan baku akan merasakan suhu 350°C. Seluruh air yang masih tinggal dalam campuran bahan baku akan menguap dan beterbangan di udara. Di *stage* kedua, ketiga dan keempat secara berturut-turut campuran bahan baku merasakan suhu 500, 700, dan 800°C (Deolalkar, 2009: Section 6, figur 17.1, hal. 173). Keluar dari *suspension preheater*, campuran bahan baku sudah siap untuk di umpankan kedalam kiln. Campuran bahan baku yang terjatuh menuju *Rotary Kiln*, kini disebut sebagai *kiln feed*. Dalam rotary kiln, terdapat 3 wilayah panas yang akan dilalui *kiln feed* (Boateng, Ed.2, 2015: 238). Tiap melalui sebuah wilayah panas, kandungan *kiln feed* akan berubah. Di wilayah panas 1 (*decomposition zone*) misalnya, terjadi reaksi (Boateng, Ed.2, 2015: 240-241):



- $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{CaO Al}_2\text{O}_3$ (di suhu 800°C)
- $\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{CaO Fe}_2\text{O}_3$ (di suhu 800°C)
- $\text{CaO} + \text{CaO Fe}_2\text{O}_3 = 2\text{CaO Fe}_2\text{O}_3$ (di suhu 800°C)
- $3(\text{CaO Al}_2\text{O}_3) + 2\text{CaO} = 5\text{CaO } 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (di suhu $900\text{-}950^\circ\text{C}$)

Di wilayah panas 2 (*transition zone*) terjadi reaksi:

- $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 = 2\text{CaO SiO}_2$ (di suhu 1000°C)
- $3(2\text{CaO Fe}_2\text{O}_3) + 5\text{CaO } 3\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} = 3(4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (di suhu $1200\text{-}1300^\circ\text{C}$)
- $5\text{CaO } 3\text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{CaO} = 3(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3)$ (di suhu $1200\text{-}1300^\circ\text{C}$)

Di wilayah 3 (*sintering zone*) terjadi reaksi:

- $2\text{CaO SiO}_2 + \text{CaO} = 3\text{CaO SiO}_2$ (di suhu $1350\text{-}1450^\circ\text{C}$)

Kesemua reaksi yang terjadi, membuat sebagian besar kandungan *klinker feed* menjadi C_3S (3CaO SiO_2), C_2S (2CaO SiO_2), C_3A ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$) dan C_4AF ($4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$)—*klinker feed* sepenuhnya berubah menjadi terak (*klinker*). Setelah klinker keluar dari kiln akan masing akan membentuk terak dikarenakan reaksi penggabungan dengan suhu tinggi.

Berikut adalah komposisi tiap komponen sesuai standar SNI

Standar SNI 2004	
C_3S	: 55 %
C_2S	: 19 %
C_3A	: 10 %
C_4AF	: 7 %
MgO Max	: 6,0 %

SO ₃ Max	
Jika C ₃ A ≤ 8,0	: 3,0 %
Jika C ₃ A > 8,0	: 3,5 %
Hilang pijar Max	: 5,0 %
Bagian tak larut Max	: 3,0 %

Terak membara bersuhu 1400°C berjatuhan, memasuki *grate cooler*. Dalam *grate cooler* terjadi pendinginan terak dengan udara yang dipompa masuk oleh *fan* (kipas), Kami mengasumsikan *grate cooler* terbagi menjadi 3 *section* + 1 *section* akhir agar terak yang keluar bersuhu 100°C (Anwar, Analisis Perpindahan Panas pada *Grate Cooler* Industri Semen, Majalah Ilmiah “MEKTEK” TAHUN XIII NO.2: Mei 2011). Udara tadi membawa sebagian besar panas yang dimiliki terak, dan akan masuk ke dalam *rotary kiln* dan *suspension preheater* agar panas tidak terbuang percuma. Ketika keluar dari *grate cooler* terak bersuhu 100°C akan memasuki *crusher* yang ada di dalam *grate cooler* agar terak yang sebelumnya keras—karena dipanaskan dan dinginkan—menjadi lebih halus dan beban kerja alat penghalus selanjutnya tidak terlalu berat dan juga agar pendinginan terjadi efisien. Selesai digiling, terak akan dialirkan dengan *belt conveyor* menuju tempat penggilingan terakhir. Selagi terak berada di *belt conveyor*, Gypsum (dialirkan ketika terak keluar dari *grate cooler* dan *crusher* agar gypsum tidak terhidrasi dan agar terak memiliki ukuran yang sama dengan gypsum sebelum dicampur. Gypsum yang dialirkan berjumlah 4% dari total kapasitas pabrik) akan dialirkan ke *belt conveyor* yang sama juga dengan

menggunakan *belt conveyor*. Campuran terak dan gypsum memasuki penggilingan terakhir, *Ball mill*. *Ball mill* akan melumat campuran, merubah bentuknya menjadi butiran halus (berukuran *blaine* 3000 cm²/g). Dalam *Ball mill* terak juga didinginkan dengan cara disemprot air (*water spray*). Campuran yang keluar dari *ball mill* sekarang disebut semen. Supaya lebih ideal, semen yang keluar dari *ball mill* tidak langsung dikemas, melainkan harus melalui *separator*. *Separator* akan menyeleksi semen berdasarkan ukurannya. Semen yang sudah layak akan dibawa ke tempat pengemasan oleh *belt conveyor* dan yang belum layak akan diumpan balik ke *ball mill*, juga dengan bantuan *belt conveyor*. Semen yang dikemas memiliki berat 50 kg dan siap untuk didistribusikan . Semen dikemas dengan menggunakan kertas, sehingga kita kerap menyebutnya dengan *zak* (bahasa Belanda untuk kantong semen yang diproduksi, karena Pabrik Semen Pertama dibangun oleh “Belanda” di Indarung)

3.1.4 Spesifikasi Alat/Mesin

1. *Stockpile* Batu Kapur

Fungsi: Penyimpanan Batu Kapur

Bahan konstruksi: Rangka baja dan dinding *fiber glass*

Laju alir volume : 167,997 m³/jam

Kapasitas : 4031,934 m³

Dimensi *Stockpile*

Diameter parit: 20,993 m

WxLxH: 23x28x28

Volume: 18.387,183 m³

Luas: 634,403 m²

Jumlah: 1 unit

2. *Stokpile Tanah Liat*

Fungsi: Penyimpanan Tanah Liat

Bahan konstruksi: Rangka baja dan dinding *fiber glass*

Laju alir volume: 70,308 m³/jam

Kapasitas: 1687,386 m³

Dimensi *Stockpile*

Diameter parit: 15,211 m

WxLxH: 17,5x21x20,5

Volume: 7465,294 m³

Luas: 355,471 m²

Jumlah: 1 unit

3. *Stokpile Copper slag*

Fungsi: Penyimpanan *Copper slag*

Bahan konstruksi: Rangka baja dan dinding *fiber glass*

Laju alir volume: 1,155 m³/jam

Kapasitas: 27,709 m³

Dimensi *Stockpile*

Diameter parit: 3,867 m

WxLxH: 6x7x5

Volume: 220,451 m³

Luas: 41,298 m²

Jumlah: 1 unit

4. *Stokpile Gypsum*



Fungsi: Penyimpanan *Gypsum*

Bahan konstruksi: Rangka baja dan dinding *fiber glass*

Laju alir volume: 8,087 m³/jam

Kapasitas: 194,095 m³

Dimensi *Stockpile*

Diameter parit: 7,397 m

WxLxH: 9,5x11x10

Volume: 1082,094 m³

Luas: 105,96 m²

Jumlah: 1 unit

5. *Stockpile* Batu Bara

Fungsi: Penyimpanan Batu Bara

Bahan konstruksi: Rangka baja dan dinding *fiber glass*

Laju alir volume: 50,045 m³/jam

Kapasitas: 1201,068 m³

Dimensi *Stockpile*

Diameter parit: 13,582 m

WxLxH: 15,5x19x18

Volume: 5463,062 m³

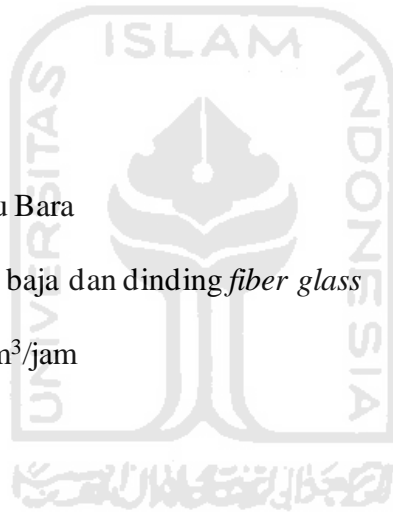
Luas: 291,344 m²

Jumlah: 1 unit

6. *Hammer Crusher*

Fungsi: Sebagai *crusher* batu kapur

Model: 815



Bahan konstruksi: *Carbon Steel SA-51 6 70*

Laju alir massa: 277,195 ton/jam

Kapasitas: 330 ton/jam

Rotor dimension: 48x90 in

Maximum feed size: 10 in

Maximum speed: 900 r/menit

Power: 900 hp

Jumlah: 1 unit

7. *Clay Cutter*

Fungsi: Sebagai *crusher* tanah liat

Model: 708

Bahan konstruksi: *Carbon Steel SA-51 6 70*

Laju alir massa: 102,645 ton/jam

Kapasitas: 140 ton/jam

Rotor dimension: 42x48 in

Maximum feed size: 10 in

Maximum speed: 900 r/menit

Power: 900 hp

Jumlah: 1 unit

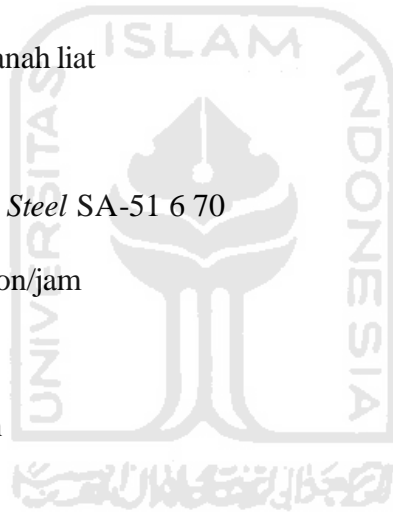
8. *Belt Conveyor*

Fungsi: Mengangkut batu kapur dari penyimpanan batu kapur ke *Hammer*

Crusher

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 330 ton/jam



Cross sectional area of load: 1,09 ft²

Lebar *belt*: 42 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor/10ft *lift*: 3,5 hp

Daya motor/100ft *centers*: 2,28 hp

Jumlah: 1 unit

9. *Belt Conveyor*

Fungsi: Mengangkut batu kapur dari *Hammer Crusher* ke *Screen*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 330 ton/jam

Cross sectional area of load: 1,09 ft²

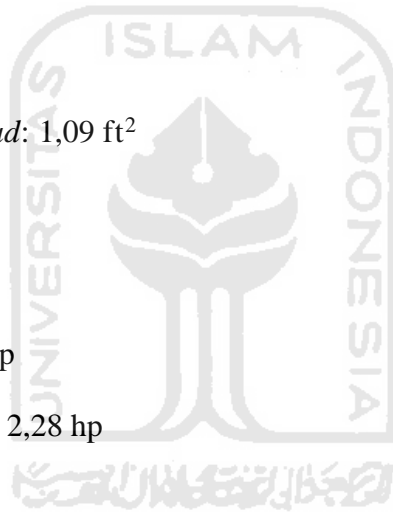
Lebar *belt*: 42 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor/10ft *lift*: 3,5 hp

Daya motor/100ft *centers*: 2,28 hp

Jumlah: 1 unit



10. *Belt Conveyor*

Fungsi: Mengangkut tanah liat dari penyimpanan tanah liat ke *Clay Cutter*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 132 ton/jam

Cross sectional area of load: 0,14 ft²

Lebar *belt*: 16 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor/10ft *lift*: 1,36 hp

Daya motor/100ft *centers*: 1,48 hp

Jumlah: 1 unit

11. *Belt Conveyor*

Fungsi: Mengangkut tanah liat dari *Clay Cutter* ke *Screen*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 132 ton/jam

Cross sectional area of load: 0,14 ft²

Lebar *belt*: 16 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor/10ft *lift*: 1,36 hp

Daya motor/100ft *centers*: 1,48 hp

Jumlah: 1 unit

12. *Belt Conveyor*

Fungsi: Mengangkut terak dari *Grate Cooler* ke *Ball Mill*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 330 ton/jam

Cross sectional area of load: 1,09 ft²

Lebar *belt*: 42 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor/10ft *lift*: 3,5 hp

Daya motor/100ft *centers*: 2,28 hp

Jumlah: 1 unit

13. *Belt Conveyor*



Fungsi: Mengangkut *gypsum* dari penyimpanan *gypsum* ke *Belt Conveyor*

Grate Cooler

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 32 ton/jam

Cross sectional area of load: 0,11 ft²

Lebar *belt*: 14 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor/10ft *lift*: 0,34 hp

Daya motor/100ft *centers*: 0,44 hp

Jumlah: 1 unit

14. *Screw Conveyor*

Fungsi: Membawa batu kapur dari *screen* ke penampungan batu kapur

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 10 ton/jam

Diameter of flights: 10 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of shafts: 2 in

Panjang *conveyor*: 15 ft

Kecepatan: 55 r/menit

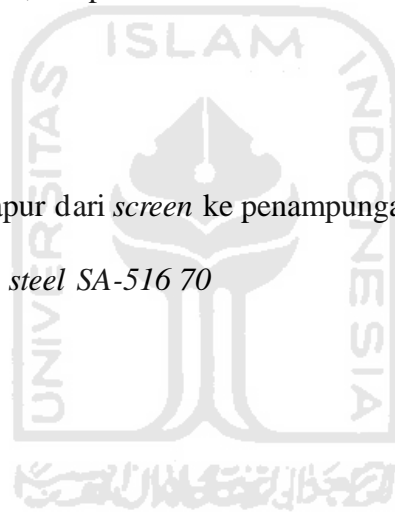
Daya motor: 0,85 hp

Jumlah: 1 unit

15. *Screw Conveyor*

Fungsi: Membawa tanah liat dari *screen* ke penampungan tanah liat

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*



Kapasitas: 5 ton/jam

*Diameter of flights:*9 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of shafts: 2 in

Panjang *conveyor*: 15 ft

Kecepatan: 40 r/menit

Daya motor: 0,43 hp

Jumlah: 1 unit

16. *Screw Conveyor*

Fungsi: Membawa *copper slag* dari penampungan *copper slag* ke *screen*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 5 ton/jam

*Diameter of flights:*9 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of shafts: 2 in

Panjang *conveyor*: 45 ft

Kecepatan: 40 r/menit

Daya motor: 1,27 hp

Jumlah: 1 unit

17. *Screw Conveyor*

Fungsi: Membawa *copper slag* dari *screen* ke penampungan *copper slag*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Kapasitas: 5 ton/jam

*Diameter of flights:*9 in



Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of shafts: 2 in

Panjang conveyor: 15 ft

Kecepatan: 40 r/menit

Daya motor: 0,43 hp

Jumlah: 1 unit

18. *Screw Conveyor*

Fungsi: Membawa copper slag dari screen ke silo

Bahan konstruksi: Carbon steel SA-516 70

Kapasitas: 5 ton/jam

Diameter of flights: 9 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of shafts: 2 in

Panjang conveyor: 67,086 m

H (jarak horizontal): 17,946 m

Kecepatan: 40 r/menit

Daya motor: 6,31 hp

Jumlah: 1 unit

19. *Screw Conveyor*

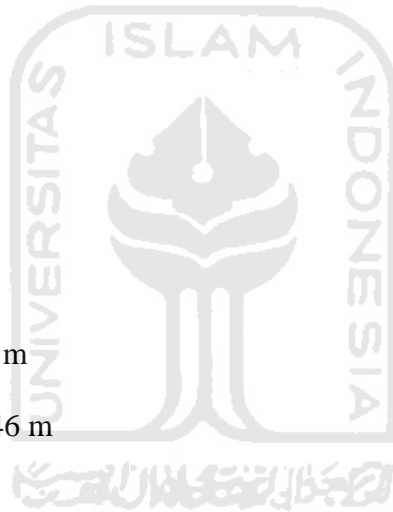
Fungsi: Membawa batu kapur dari screen ke penampungan batu kapur

Bahan konstruksi: Carbon steel SA-516 70

Kapasitas: 10 ton/jam

Diameter of flights: 10 in

Diameter of pipe: 2,5 in



Diameter of shafts: 2 in

Panjang conveyor: 15 ft

Kecepatan: 55 r/menit

Daya motor: 0,85 hp

Jumlah: 1 unit

20. Screw Conveyor

Fungsi: Membawa tanah liat dari screen ke penampungan tanah liat

Bahan konstruksi: Carbon steel SA-516 70

Kapasitas: 5 ton/jam

Diameter of flights: 9 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of shafts: 2 in

Panjang conveyor: 15 ft

Kecepatan: 40 r/menit

Daya motor: 0,43 hp

Jumlah: 1 unit



21. Apron Conveyor

Fungsi: Mengangkut batu kapur dari screen ke silo

Bahan konstruksi: Carbon steel SA-516 70

Panjang conveyor: 67,086 m

Lebar apron: 54 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor: 24,788 hp

Jumlah: 1 unit

22. *Apron Conveyor*

Fungsi: Mengangkut tanah liat dari *screen* ke *silo*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Panjang *conveyor*: 67,086 m

Lebar apron: 42 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya motor: 9,179 hp

Jumlah: 1 unit

23. *Pneumatic Conveyor*

Fungsi: mengangkut semen dari *Dust Collector* ke *Silo Semen*

Kapasitas: 45360 kg/jam

Inside diameter pipa *conveyor*: 8 in

P (daya per alat): 200 hp

Jumlah alat: 7

24. *Pneumatic Conveyor*

Fungsi: mengangkut semen dari *Separator* ke *Ball Mill*

Kapasitas: 10000 kg/jam

Inside diameter pipa *conveyor*: 8 in

P (daya alat): 100 hp

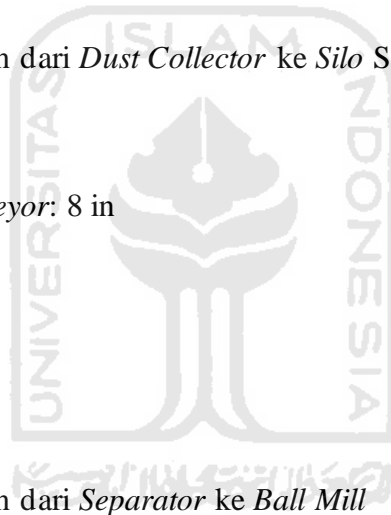
Jumlah alat: 1

25. *Silo*

Fungsi: Tempat penampungan raw mix dan homogenasi

Bahan konstruksi: *Carbon steel*

Kapasitas: 3698,48 m³



Residence time: 12 jam

Dimensi

Diameter silinder: 14,13 m

Diameter bukaan : 0,8 m

Tinggi total: 28,631 m

Tebal plat silinder: 0,459 in

Tebal konis: 0,438 in

26. *Silo*

Fungsi: Tempat penampungan semen dan homogenasi

Bahan konstruksi: *Carbon steel*

Kapasitas: 2491,48 m³

Residence time: 12 jam

Dimensi

Diameter silinder: 13,557 m

Diameter bukaan: 0,8 m

Tinggi total: 25,057 m

Tebal plat silinder: 0,418 in

Tebal konis: 0,438 in

27. *Cyclone Separator*

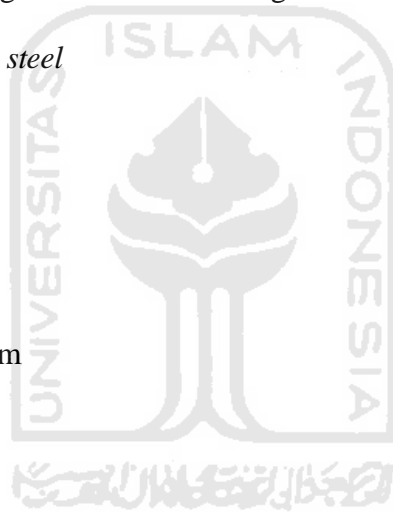
Fungsi: Memisahkan ukuran partikel semen yang belum halus

Type/Model : Lapple

Bahan konstruksi : *High Alloy SA-240 304*

Laju alir massa : 257,679 ton/jam

Dimensi



Tinggi *cyclone* : 22,4 m
Diameter : 5,6 m
Ukuran pipa udara in : 2,8 x 1,4 m
Diameter pipa udara output : 2,8 m
Diameter Pipa dust *output*: 1,4 m

28. *Dust Collector*

Fungsi: Menangkap semen dari *Cyclone Separator*

Bahan konstruksi: *Aloy Stell SA-167 grade 10*

Jumlah *cyclone*: 6

Laju alir volume: 166,881 m³/jam

Dimensi

Tinggi *cyclone*: 13,4 m

Diameter: 3,35 m

Ukuran pipa udara in: 1,675 m x 0,838 m

Diameter pipa udara output: 1,675 m

Diameter Pipa dust *output*: 0,838 m

Fabric filter

Jenis filter: *Cotton (Cellulose)*

Temperatur maksimal: 450°F

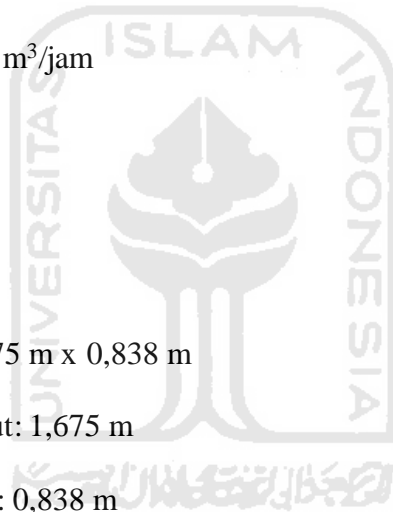
Pressure drop: 0,036 atm

Jumlah: 1 unit

29. *Ball Mill*

Fungsi: Menghaluskan terak dan *gypsum*

Tipe: *two-compartment mill*



Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-167 grade 10*

Output blaine: 3000 cm²/g

Waktu tinggal: 30 menit

Volume mill: 465,66 m³

Diameter mill: 5,83 m

Panjang mill: 17,49 m

Diameter grinding ball: Kompartemen I : 90, 80, 70, 60 mm

Kompartemen II :60, 50, 30 mm

Total berat grinding media: 3,673 ton

Power: 84,522 hp

Jumlah: 1 unit

30. *Rotary Kiln*

Fungsi: Tempat pembakaran *raw meal* dan tempat kalsinasi 100%

Bahan konstruksi: *Alloy steel SA-515 grade 70*

Laju alir massa: 89,403 kg/s

Time of passage: 32,463 menit

Diameter: 2,931 m

Panjang: 46,892 m

Tebal *shell*: 7 in

Kecepatan putar: 2,3 rpm

Tipe *brick*: *Magnesite Brick* dan *High Alumina Bricks*

Dimensi *brick*: 230 x 114 x 65 mm

Jumlah *brick*: 16458 *brick*

Spesifikasi *coal dust burner*



Diameter: 1,152 m

Panjang: 4,607 m

Jumlah : 1 unit

31. *Grate Cooler*

Fungsi : Mendinginkan terak yang keluar dari *rotary kiln*

Bahan konstruksi : *Carbon steel*

Laju alir massa : 247577,819 kg/jam

Dimensi *Cooler* : 7,757 x 5,766 x 1,841 m

Volume *design Cooler*: 81,347 m³

Kebutuhan udara : 187262,711 kg/menit

Tekanan total sistem : 3,582 in H₂O

Jumlah : 1 unit

32. *Preheater with precalciner*

Kapasitas maksimum: 8500 ton/jam

Cyclone 1, 2, 3, 4: 5,1; 8,3; 6,2 dan 9,5

Jumlah alat: 1

33. *Bucket Elevator*

Fungsi: Mengangkut *raw mix* dari *Silo* ke *Preheater with calciner*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

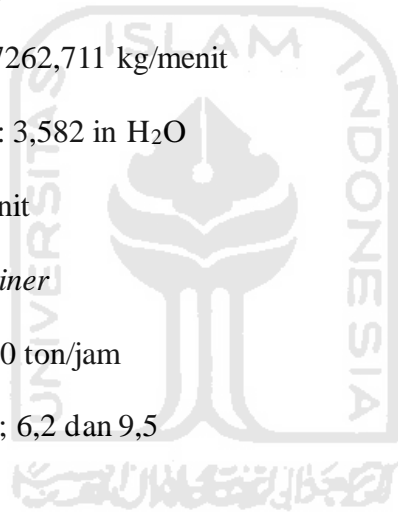
Tinggi *elevator*: 1168,583 in

Lebar *bucket*: 16 in

Proyeksi *bucket*: 8 in

Kedalaman *bucket*: 8,5 in

Jarak antar *bucket*: 18 in



Jumlah *bucket*: 148

Kecepatan aktual: 76,139 m/menit

Daya motor: 27,666 hp

Jumlah alat: 3

34. *Bucket Elevator*

Fungsi: Mengangkut semen dari *Ball Mill* ke *Cyclone Separator*

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA-516 70*

Tinggi *elevator*: 899,528 in

Lebar *bucket*: 16 in

Proyeksi *bucket*: 8 in

Kedalaman *bucket*: 8,5 in

Jarak antar *bucket*: 18 in

Jumlah *bucket*: 115

Kecepatan aktual: 78,506 m/menit

Daya motor: 23,743 hp

Jumlah alat: 2

35. *Blower*

Fungsi: Mengalirkan udara dari *Cyclone Separator* ke *Dust Collector*

Laju alir massa : 280320 kg/jam

Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-516 70*

Temperatur gas masuk: 433.18 K

Tekanan masuk : 101,33 kPa

Tekanan keluar : 151,995 kPa

Daya motor : 11,649 hp



Jumlah : 2 (1 cadangan)

36. *Blower*

Fungsi: Mengalirkan udara pendingin ke *Grate Cooler*

Laju alir massa : 42134109,97 kg/jam

Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-516 70*

Temperatur gas masuk: 303.18 K

Tekanan masuk : 101,33 kPa

Tekanan keluar : 151,995 kPa

Daya motor : 1225,489 hp

Jumlah : 16

37. *Blower*

Fungsi: Mengalirkan udara untuk membakar batu bara

Laju alir massa : 954293,842 kg/jam

Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-516 70*

Temperatur gas masuk: 303,18 K

Tekanan masuk : 101,33 kPa

Tekanan keluar : 151,995 kPa

Daya motor : 27,756 hp

Jumlah : 2 (1 cadangan)

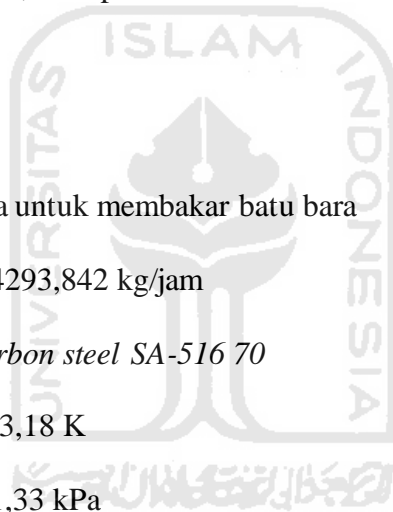
40. Pompa

Fungsi: Memompa air sungai ke tangki penampungan air sungai

Tipe: pompa sentrifugal

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA 285, Grade A*

Kapasitas: 2691676,971 kg/jam



Daya pompa: 182,394 hp

Daya motor: 198,254 hp

Diameter nominal: 18 in

Schedule number: 20

Jumlah: 6 buah (3 cadangan)

41. Pompa

Fungsi: Memompa larutan tawas ke *clarifier*

Tipe: pompa sentrifugal

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA 285, Grade A*

Kapasitas: 215,334 kg/jam

Daya pompa: 0,044 hp

Daya motor: 0,109 hp

Diameter nominal: 0,375 in

Schedule number: 80

Jumlah: 1 buah (1 cadangan)

42. Pompa

Fungsi: Memompa larutan larutan desinfektan ke tangki penampung air bersih

Tipe: pompa sentrifugal

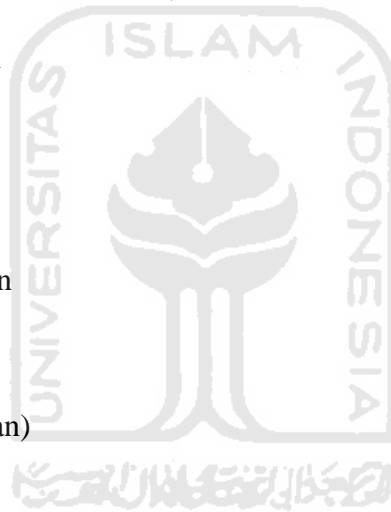
Bahan konstruksi: *Carbon steel SA 285, Grade A*

Kapasitas: 8,076 kg/jam

Daya pompa: 6.2351E-05 hp

Daya motor: 0.000155 hp

Diameter nominal: 0,125 in



Schedule number: 80

Jumlah: 1 buah (1 cadangan)

43. Pompa

Fungsi: Memompa air dari sand filter ke tangki penampung air bersih

Tipe: pompa sentrifugal

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA 285, Grade A*

Kapasitas: 3230012,366 kg/jam

Daya pompa: 18,936 hp

Daya motor: 21,04 hp

Diameter nominal: 17,75 in

Schedule number: 20

Jumlah: 4 buah (4 cadangan)

44. Bak penampung air bersih

Fungsi: menampung air yang telah selesai diproses untuk keperluan utilitas

Tipe: bak berbentuk persegi

Bahan konstruksi: beton

Kapasitas: 93329.445 m³

Tinggi: 21,807 m

Panjang: 65,42 m

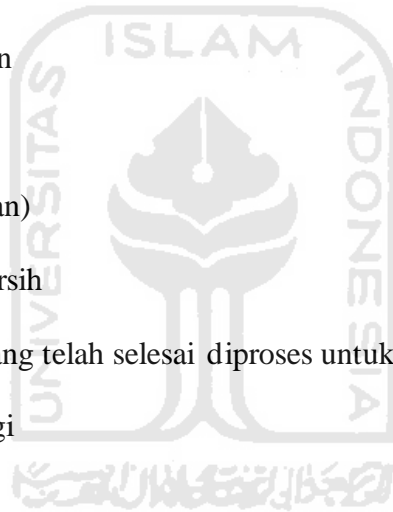
Lebar: 65,42 m

Jumlah: 1 unit

45. Tangki pelarut tawas

Fungsi: Sebagai tempat pelarutan dan penyimpanan tawas

Tipe: Silinder vertikal dengan tutup atas dan bawah datar



Bahan konstruksi: Carbon steel SA-129 Grade A

Kapasitas: 136,499 m³

Tinggi: 4,651 m

Diameter: 5,582 m

Tebal shell: 0,463 in

Tebal head: 0,463 in

Kebutuhan daya: 1632,986 hp

Jumlah: 1 unit

46. Tangki pelarut desinfektan

Fungsi: Sebagai tempat pelarutan dan penyimpanan desinfektan

Tipe: Silinder vertikal dengan tutup atas dan bawah datar

Bahan konstruksi: Carbon steel SA-129 Grade A

Kapasitas: 0,029 m³

Tinggi: 0,278 m

Diameter: 0,333 m

Tebal shell: 0,137 in

Tebal head: 0,137 in

Kebutuhan daya: 0,002 hp

Jumlah: 1 unit

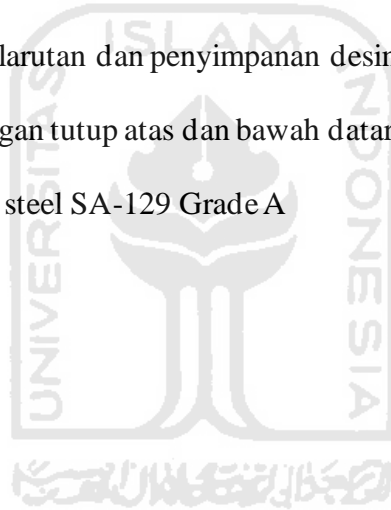
47. Clarifier

Fungsi: tempat koagulasi dan flokulasi

Tipe: Tangki dengan bagian bawah berbentuk konis

Bahan konstruksi: *Carbon steel SA 226*

Kapasitas: 1642,628 m³



Tinggi: 4,043 m

Diameter: 8,845 m

Tebal shell: 1,108 in

Tebal head: 1,108 in

Jenis pengaduk: flat six-blade turbine with disk

Jumlah baffle: 4

Daya motor pengaduk: 8355,512 hp

Jumlah: 4 unit

48. Sand Filter

Fungsi: Menyaring kotoran air setelah air keluar dari clarifier

Tipe: Bak dengan tutup atas dan bawah datar

Bahan konstruksi: Carbon steel SA 285, Grade A

Kapasitas: 2801,977 m³

Panjang: 23,275 m

Lebar: 15,517 m

Tinggi: 7,758 m

Jumlah: 2 unit (1 standby)

49. Bar Screen

Fungsi: Menyaring kotoran dari air sungai

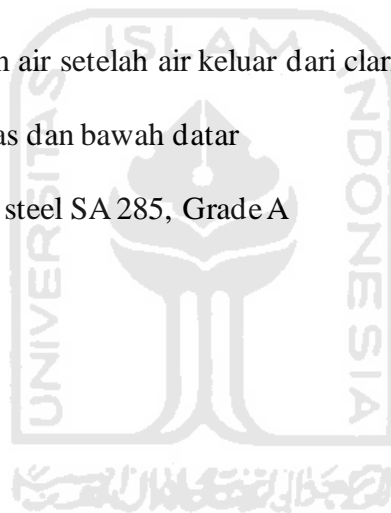
Bahan konstruksi: Stainless steel

Lebar bar: 5 mm

Tebal bar: 20 mm

Bar clear spacing : 20 mm

Head loss: 1,033 mm



Luas bukaan: 12,6 m²

Jumlah bar: 125 buah

Jumlah: 1 unit

50. Tangki Penampung Air Sungai

Fungsi: tempat penampungan air sungai yang akan diproses

Tipe: bak persegi

Kapasitas: 77769.15808 m³

Tinggi: 20,521 m

Panjang: 61,562 m

Lebar: 61,562 m

Jumlah: 1 unit

51. *Screen* Batu Kapur

Fungsi: tempat menyortir batu kapur yang ukurannya sesuai sebelum masuk ke silo raw mix

Laju alir massa: 611110,6 lb/jam

Ukuran: 105 micron

Sieve opening: 0,105 mm

Nominal wire diameter: 0,004 mm

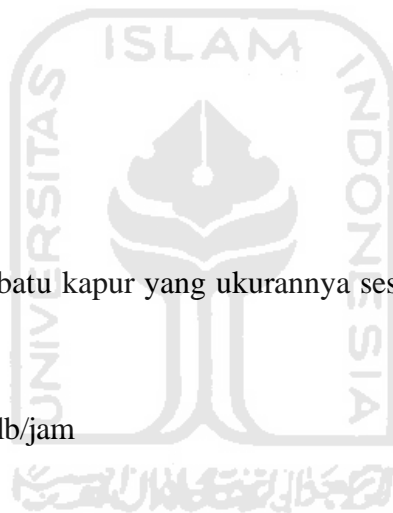
Screen area: 9048,236 ft²

Jumlah alat: 1 unit

52. *Screen* Tanah Liat

Fungsi: tempat menyortir tanah liat yang ukurannya sesuai sebelum masuk ke silo raw mix

Laju alir massa: 226302.602 lb/jam



Ukuran: 105 micron

Sieve opening: 0,105 mm

Nominal wire diameter: 0,004 mm

Screen area: 3350,685 ft²

Jumlah alat: 1 unit

53. *Screen Copper Slag*

Fungsi: tempat menyortir copper slag yang ukurannya sesuai sebelum masuk ke silo raw mix

Laju alir massa: 5879.587476 lb/jam

Ukuran: 105 micron

Sieve opening: 0,105 mm

Nominal wire diameter: 0,004 mm

Screen area: 87,055 ft²

Jumlah alat: 1 unit

3.1.5 Perencanaan Produksi

Komponen	Kebutuhan Bahan Baku	Ketersediaan
Batu Kapur	2.195.387,844 Ton/Tahun	Melimpah
Tanah Liat	812.982,103 Ton/Tahun	534.666.857 Ton
Copper slag	21.122,158 Ton/Tahun	805.000 Ton/Tahun

Ketersediaan batu kapur Kecamatan Montong masuk potensi batu kapur yang sangat tinggi dengan luasan 7423,00 ha dan 5641,67 ha. (Dhiyaulhaq dan Bangun, Pemetaan Potensi Batuan Kapur Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 di Kabupaten Tuban, Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 2, 2017).

Untuk ketersediaan tanah liat data disadur dari dokumen (Profil Pertambangan dan Industri Kabupaten Tuban Propinsi Jawa Timur) dan untuk ketersediaan copper slag disadur dari (<https://kumparan.com/kumparanbisnis/prihadi-santoso-mundur-dari-pt-smelting-1549894206699725207/full>) yang diakses 1 Desember 2020 pukul 8.31 WIB.

Berdasarkan tabel yang disajikan, pabrik dapat dibangun karena ketersediaan bahan baku cukup dan aman untuk jangka waktu yang panjang.



BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1. Lokasi Pabrik

Di atas kertas, Pabrik *Ordinary Portland Cement* akan berdiri di Kecamatan Montong, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Alasannya, sumberdaya utama seperti batu kapur dan tanah liat tersedia masif. Hal ini akan sangat memangkas biaya dan waktu transportasi bahan baku. Montong juga cukup dekat dengan daerah pinggir pantai dan pelabuhan Tuban, akan kembali diaktifkan guna mendukung proyek kerja sama antara Pertamina-Rosneft yang akan membangun kilang minyak terbesar di Indonesia dan mengembalikan Tuban sebagai kota pelabuhan yang sempat tenar di zamannya. Akses jalan raya sudah terbangun sehingga untuk transportasi produk ke tempat pemasaran dan penerimaan bahan baku lain seperti slag

tembaga yang diperoleh dari PT. Smelting, berlangsung lebih mudah. Kondisi alam sekitar lokasi pun menyenangkan dan menantang untuk dieksploitasi. Untuk memenuhi kebutuhan air yang cukup besar, juga tersedia Sungai Krawak yang dekat dan cukup mudah diakses. Akan sangat memungkinkan dengan pembangunan pabrik tenaga kerja yang berasal dari sekitar lokasi, mulai berdatangan.

4.2. Tata Letak Pabrik

Desain lokasi pabrik persiapan gudang, area pemrosesan, dan area transfer produksi harus dipertimbangkan dalam koordinasi yang efektif dengan faktor-faktor berikut:

4.2.1 Letak Storage

Tujuannya untuk menyimpan bahan baku dan bahan pendukung. Dalam hal ini, yang harus diperhatikan adalah sifat-sifat bahan mentah dan aditif, seperti berbahaya, mudah terbakar, dll, serta pengelolaan bahan tersebut. Selain itu, keamanan pabrik juga harus diperhatikan.

4.2.2 Layout Peralatan

Setiap perangkat yang dipasang harus memiliki ruang yang cukup untuk pemeriksaan, pemeliharaan, perbaikan, dan keamanan di tempat kerja. Semua aspek keselamatan instalasi harus dipertimbangkan sejak awal desain, serta tindakan pencegahan bahaya yang ada.

4.2.3 Perluasan Pabrik

Kemungkinan ini harus dipertimbangkan di awal pabrik, karena membuat pabrik lain lebih mahal daripada memiliki pabrik tunggal.

4.2.4 Utilitas

Untuk mengimplementasikan alat yang berguna ini, Kita perlu memikirkan tentang biaya, operasi dan persiapan biaya.

4.2.5 Pemakaian Luasan Tanah

Penggunaan lahan harus memungkinkan, tetapi harus tetap menjaga faktor konservasi.

4.2.6 Plant Service

Ini termasuk: tempat tidur, kantin, galeri dan musala. Ruang dan tatanan hemat biaya berlaku.

4.2.7 Bangunan

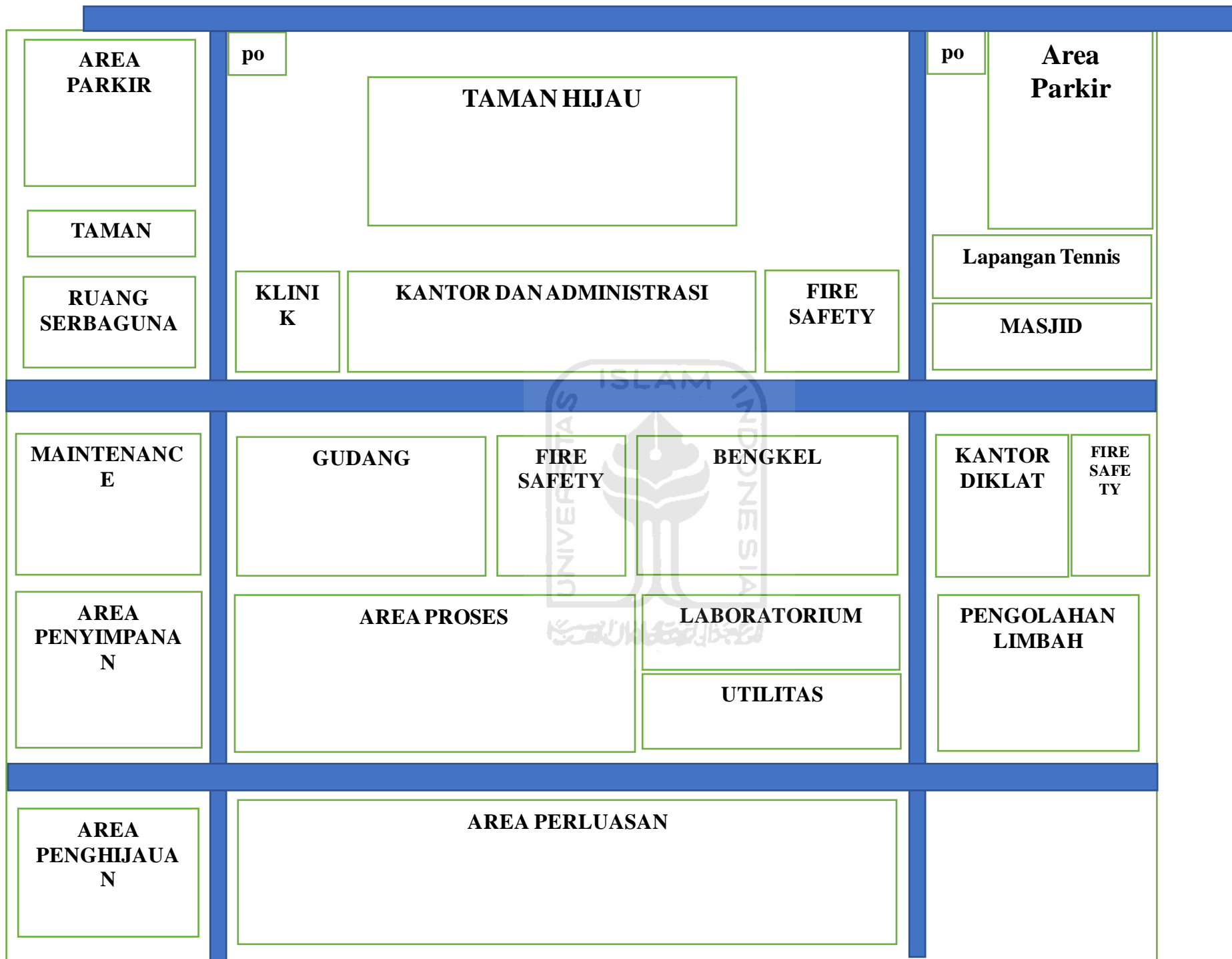
Untuk bangunan pabrik, bangunan standar harus digunakan dengan dasar yang fundamental bahwa bangunan harus melindungi prosesnya.

4.2.8 Peralatan Penanganan Material

Saat menangani material, ekonomi, topografi tanah, dll. Harus diperhitungkan.

4.2.9 Akses Jalan

Untuk jalan raya, lokasi dan lebar lalu lintas, pemasaran pabrik dan proteksi kebakaran harus diperhitungkan. Kedamaian dan kenyamanan di tempat kerja dapat diciptakan dengan pengaturan yang sempurna atau pengaturan peralatan proses dan fasilitas lainnya.



4.3. Tata Letak Alat

Saat mendesain tata letak peralatan proses, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Aliran Produk dan Bahan Baku

Aliran bahan mentah dan produk yang tepat menawarkan keuntungan ekonomi yang besar dan mendukung produksi yang lancar dan aman.

2. Udara

Aliran halus udara di dalam dan di sekitar area proses harus dipertimbangkan. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara di tempat yang dapat menumpuk bahan kimia berbahaya sehingga membahayakan keselamatan pekerja. Perhatikan arah angin juga.

3. Cahaya

Pencahayaan seluruh sistem harus cukup di lokasi pemrosesan yang berbahaya atau berisiko tinggi.

4. Lalu Lintas Orang Sekitar

Saat mendesain tata letak sistem, karyawan harus memastikan bahwa mereka dapat mengakses semua alat proses dengan cepat dan mudah sehingga mereka dapat segera diperbaiki jika alat proses mengalami malfungsi. Selain itu keselamatan pekerja selama bekerja harus diutamakan.

5. Letak Alat

Ketika peralatan proses ditempatkan di pabrik, upaya dilakukan untuk mengurangi biaya operasi dan memastikan produksi pabrik yang lancar dan aman sehingga layak secara ekonomi.

6. Jarak Tiap Alat

Alat proses dengan suhu dan tekanan tinggi harus dipisahkan dari alat proses lainnya agar alat tersebut tidak membahayakan alat proses lainnya jika terjadi ledakan atau kebakaran.

4.4. Neraca Massa

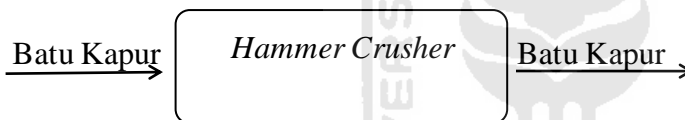
Perhitungan neraca massa disesuaikan dengan basis perhitungan:

Kapasitas produksi: 2.000.000 Ton/Tahun

Kapasitas produksi perjam:

$$= \frac{2.000.000 \text{ Ton}}{\text{Tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Ton}} \times \frac{\text{Tahun}}{330 \text{ Hari}} \times \frac{\text{Hari}}{24 \text{ Jam}} = 252.525,253 \text{ kg/jam}$$

1. Neraca Massa Hammer Crusher

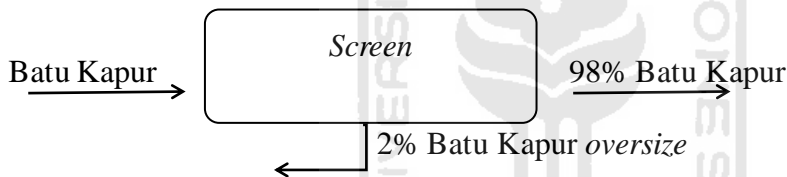


Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	f1	f2
SiO ₂	831.586	814.955
Al ₂ O ₃	19.126	18.744
Fe ₂ O ₃	13.583	13.311
CaO	150988.353	147968.586
MgO	4157.932	4074.773
H ₂ O	108078.500	105916.930
Impuritas	13106.355	12844.227
SiO ₂ sisa		16.632

Al ₂ O ₃ sisa		0.383
Fe ₂ O ₃ sisa		0.272
CaO sisa		3019.767
MgO sisa		83.159
H ₂ O sisa		2161.570
Impuritas sisa		262.127
Total	277195.435	271651.526

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan NM pada *Hammer Crusher*

2. Neraca Massa Screen

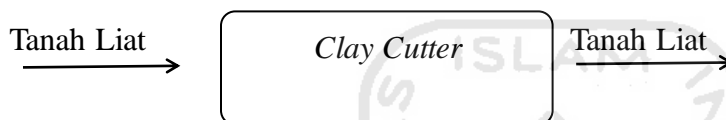


Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	f ₂	f ₄	f ₃
SiO ₂	814.955	814.955	16.632
Al ₂ O ₃	18.744	18.744	0.383
Fe ₂ O ₃	13.311	13.311	0.272
CaO	147968.586	147968.586	3019.767
MgO	4074.773	4074.773	83.159
H ₂ O	105916.930	105916.930	2161.570
Impuritas	12844.227	12844.227	262.127
SiO ₂ sisa	16.632		
Al ₂ O ₃ sisa	0.383		

Fe ₂ O ₃ sisa	0.272		
CaO sisa	3019.767		
MgO sisa	83.159		
H ₂ O sisa	2161.570		
Impuritas sisa	262.127		
Subtotal	277195.435	271651.526	5543.909
Total	277195.435	277195.435	

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan NM pada *Screen*

3. Neraca Massa Clay Cutter

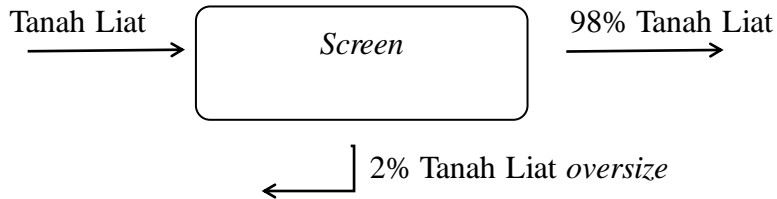


Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	f5	f6
SiO ₂	48060.381	47099.174
Al ₂ O ₃	17686.467	17332.737
Fe ₂ O ₃	6549.022	6418.042
CaO	7180.315	7036.709
MgO	1334.440	1307.752
H ₂ O	21802.702	21366.648
Impuritas	35.927	35.209
SiO ₂ sisa		961.208
Al ₂ O ₃ sisa		353.729
Fe ₂ O ₃ sisa		130.980
CaO sisa		143.606
MgO sisa		26.689

H2O sisa		436.054
Impuritas sisa		0.719
Total	102649.255	102649.255

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan NM pada *Clay Cutter*

4. Neraca Massa Screen

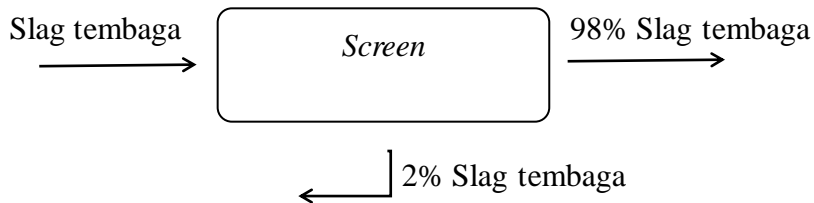


Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	f6	f8	f7	
SiO ₂	47099.174	47099.174	961.208	
Al ₂ O ₃	17332.737	17332.737	353.729	
Fe ₂ O ₃	6418.042	6418.042	130.980	
CaO	7036.709	7036.709	143.606	
MgO	1307.752	1307.752	26.689	
H ₂ O	21366.648	21366.648	436.054	
Impuritas	35.209	35.209	0.719	
SiO ₂ sisa	961.208			
Al ₂ O ₃ sisa	353.729			
Fe ₂ O ₃ sisa	130.980			
CaO sisa	143.606			
MgO sisa	26.689			
H ₂ O sisa	436.054			
Impuritas sisa	0.719			
subtotal	102649.255	100596.270	2052.985	

Total	102649.255	102649.255	
-------	------------	------------	--

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan NM pada *Screen*

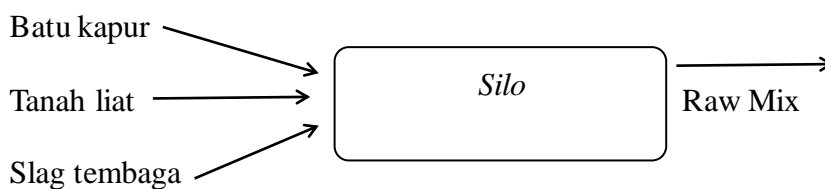
5. Neraca Massa *Screen*



Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	f9	f11	f10
SiO ₂	689.137	675.354	13.783
Al ₂ O ₃	5.867	5.750	0.117
Fe ₂ O ₃	1821.253	1784.828	36.425
CaO	4.000	3.920	0.080
MgO	5.334	5.227	0.107
H ₂ O	0.000	0.000	0.000
Impuritas	141.348	138.521	2.827
subtotal	2666.939	2613.600	53.339
Total	2666.939	2666.939	

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan NM pada *Screen*

6. Neraca Massa Silo

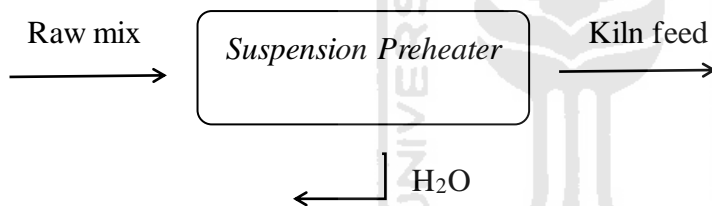


Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
----------	----------------	-----------------

	f4	f8	f11	f12
SiO ₂	814.955	47099.174	675.354	48589.483
Al ₂ O ₃	18.744	17332.737	5.750	17357.231
Fe ₂ O ₃	13.311	6418.042	1784.828	8216.181
CaO	147968.586	7036.709	3.920	155009.216
MgO	4074.773	1307.752	5.227	5387.752
H ₂ O	105916.930	21366.648	0.000	127283.578
Impuritas	12844.227	35.209	138.521	13017.957
Subtotal	271651.526	100596.270	2613.600	374861.397
Total	374861.397			374861.397

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan NM pada *Silo*

7. Neraca Massa Suspension Preheater

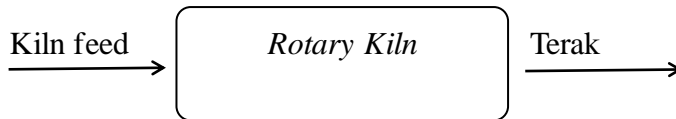


Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	f12	f14	f13
SiO ₂	48589.483	48589.483	
Al ₂ O ₃	17357.231	17357.231	
Fe ₂ O ₃	8216.181	8216.181	
CaO	155009.216	155009.216	
MgO	5387.752	5387.752	
H ₂ O	127283.578		127283.578
Impuritas	13017.957	13017.957	
Subtotal	374861.397	247577.819	127283.578

Total	374861.397	374861.397
-------	------------	------------

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan NM pada *Suspension Preheater*

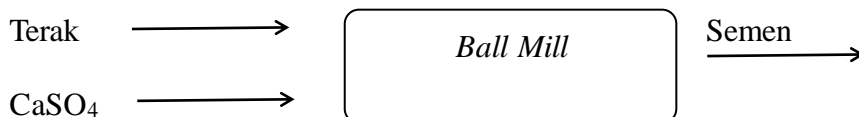
8. Neraca Massa Rotary Kiln



Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	f14	f15
SiO ₂	48589.483	
Al ₂ O ₃	17357.231	
Fe ₂ O ₃	8216.181	
CaO	155009.216	
MgO	5387.752	
Impuritas	13017.957	13017.957
C ₃ S		133310.252
C ₂ S		38736.793
C ₄ AF		25001.838
C ₃ A		32094.885
CaO sisa		28.343
MgO		5387.752

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan NM pada *Rotary Kiln*

9. Neraca Massa Ball Mill

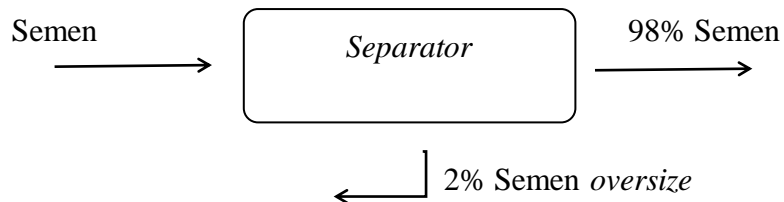


Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	f17	f18

C3S	133310.252	130644.047
C2S	38736.793	37962.057
C4AF	25001.838	24501.801
C3A	32094.885	31452.987
CaO	28.343	27.776
MgO	5387.752	5279.997
CaSO4	10101.010	9898.990
Impuritas	13017.957	12757.598
C3S Sisa		2666.205
C2S Sisa		774.736
C4AF Sisa		500.037
C3A Sisa		641.898
CaO sisa		0.567
MgO sisa		107.755
CaSO4 Sisa		202.020
Impuritas sisa		260.359
Total	257678.829	257678.829

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan NM pada *Ball Mill*

10. Neraca Massa Separator



Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	f18	f20	f19
C3S	130644.047	130644.047	2666.205

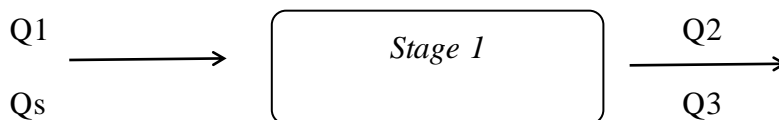
C2S	37962.057	37962.057	774.736
C4AF	24501.801	24501.801	500.037
C3A	31452.987	31452.987	641.898
CaO	27.776	27.776	0.567
MgO	5279.997	5279.997	107.755
CaSO4	9898.990	9898.990	202.020
Impuritas	12757.598	12757.598	260.359
C3S Sisa	2666.205		
C2S Sisa	774.736		
C4AF Sisa	500.037		
C3A Sisa	641.898		
CaO sisa	0.567		
MgO Sisa	107.755		
CaSO4 Sisa	202.020		
Impuritas sisa	260.359		
Subtotal	257678.829	252525.253	5153.577
Total	257678.829	257678.829	

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan NM pada *Separator*

4.5. Neraca Panas

1. Neraca Panas pada *Suspension Preheater*

Stage 1

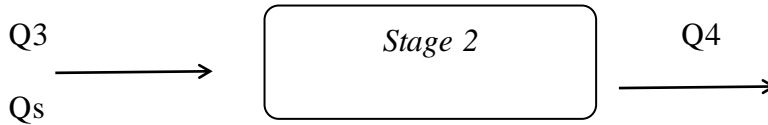


	in	out
Qrawmix	257442927.1	
QH2O		80169911.79
Qrawmix kering		72946228.53

subtotal	257442927.1	153116140.3
Qs	-104326786.8	
total	153116140.3	153116140.3

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan NP pada *Stage 1 Suspension Preheater*

Stage 2



	in	out
Qrawmix kering	72946228.53	
Qrawmix kering		107487533.9
subtotal	72946228.53	107487533.9
Qs	34541305.38	
total	107487533.9	107487533.9

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan NP pada *Stage 2 Suspension Preheater*

Stage 3



	in	out
Qrawmix kering	107487533.9	
Qrawmix kering		155994690.6
subtotal	107487533.9	155994690.6
Qs	48507156.65	
total	155994690.6	155994690.6

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan NP pada *Stage 3 Suspension Preheater*

Stage 4



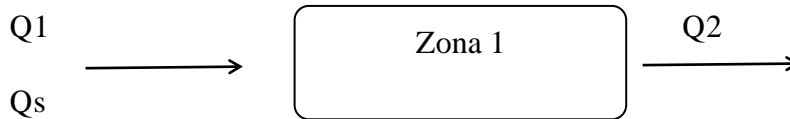
	in	out
Qrawmix kering	155994690.6	
Qrawmix kering		180443962.2
subtotal	155994690.6	180443962.2
Qs	24449271.65	

total	180443962.2	180443962.2
-------	-------------	-------------

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan NP pada *Stage 4 Suspension Preheater*

2. Neraca Panas pada *Rotary Kiln*

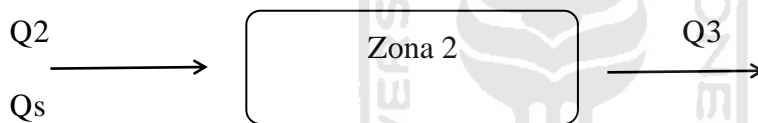
Zona 1



	In	out
Q	180443962.2	
Q		98939986.55
subtotal	180443962.2	98939986.55
Qs	-81503975.66	
total	98939986.55	98939986.55

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan NP pada Zona 1 *Rotary Kiln*

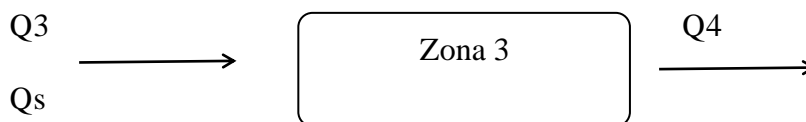
Zona 2



	In	out
Q	98939986.55	
Q		247996257.6
subtotal	98939986.55	247996257.6
Qs	149056271	
total	247996257.6	247996257.6

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan NP pada Zona 2 *Rotary Kiln*

Zona 3

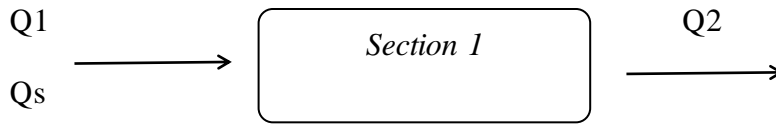


	In	out
Q	247996257.6	
Q		456507076.2
subtotal	247996257.6	456507076.2
Qs	208510818.7	
total	456507076.2	456507076.2

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan NP pada Zona 3 Rotary Kiln

3. Neraca Panas pada *Grate Cooler*

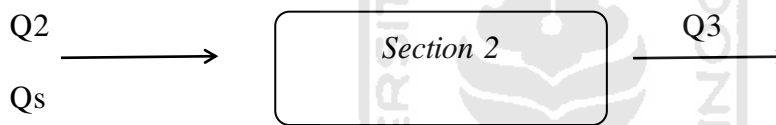
Section 1



	In	out
Q	456507076.2	
Q		332370844.9
subtotal	456507076.2	332370844.9
Qs	-124136231.3	
total	332370844.9	332370844.9

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan NP pada *Section 1 Grate Cooler*

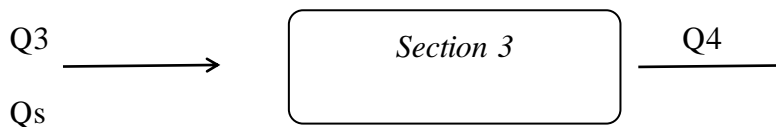
Section 2



	In	out
Q	332370844.9	
Q		326858403.1
subtotal	332370844.9	326858403.1
Qs	-5512441.795	
total	326858403.1	326858403.1

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan NP pada *Section 2 Grate Cooler*

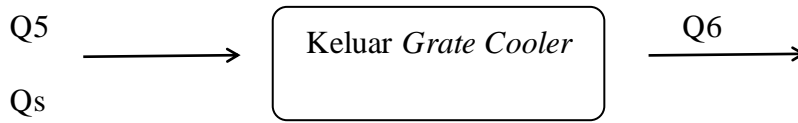
Section 3



	In	out
Q	326858403.1	
Q		116835777.1
subtotal	326858403.1	116835777.1
Qs	-210022626	
total	116835777.1	116835777.1

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan NP pada *Section 3 Grate Cooler*

Neraca Panas Keluar *Grate Cooler*



	In	out
Q	116835777.1	
Q		44933136.06
subtotal	116835777.1	44933136.06
Qs	-71902641.07	
total	44933136.06	44933136.06

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan NP keluar *Grate Cooler*

4. Neraca Panas pada *Ball Mill*



	In	Out
Q	44933136.06	
Q		381811600.9
subtotal	44933136.06	381811600.9
Qs	336878464.9	
total	381811600.9	381811600.9

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan NP *Ball Mill*

4.6. Utilitas

1. Menghitung kebutuhan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah batubara yang diperoleh dari PT. Indominco.

HHV (kcal/kg)	LHV (kcal/kg)	C	H	O	N	S
6755	5790	75.45	5.37	15.9	1.78	1.51

Proximate Analysis					
Sample	country	MOI	VM	FC	Ash
Indomico	indonesia	14.29	38.64	39.31	Free

Tabel 4.3.1 Komposisi Batu Bara PT. Indomico (Gyeong-Min, *et al.*, jurnal

Appl. Sci MDPI, 21 July 2019: 4), kandungan *ash* kami asumsikan 0%.

LHV Batu Bara = 5790 kcal/kg = 24242,73 kJ

Heat consumption Rotary Kiln, Figure 18.1 (Duda, Ed.3, 1985: 348) = 1580

kcal/kg = 6615,46 kJ/kg

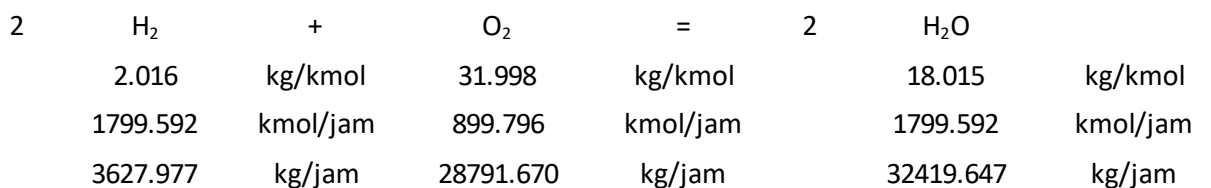
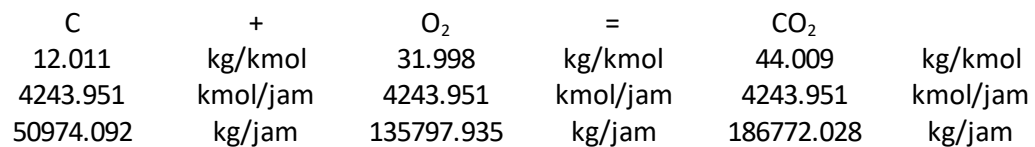
Kebutuhan batu bara = w (*coal dust required to burn 1 kg clinker*) x laju alir massa di *rotary kiln*

$$= 0,273 \times 247.577,819 = 67.560,096 \text{ kg/jam}$$

$$= 535.075,958 \text{ Ton/Tahun}$$

Produksi Batu Bara di PT. Indomico 16 Juta Ton/Tahun dan akan meningkatkan produksi menjadi 20 Juta Ton/Tahun (Video Dokumenter Watchdog Image, "Anak Santan"), sehingga kebutuhan batubara tercukupi.

Reaksi pembakaran batu bara:



S	+	O ₂	=	SO ₂	
32.070	kg/kmol		31.998	kg/kmol	64.068 kg/kmol
31.810	kmol/jam		31.810	kmol/jam	31.810 kmol/jam
1020.157	kg/jam		1017.867	kg/jam	2038.025 kg/jam

4% SO₂ menjadi SO₃ di suhu 400 - 1200°C (Duda, Ed.3, 1985: 349)

SO ₂	+	0.5 O ₂	=	SO ₃	
64.068	kg/kmol		31.998	kg/kmol	80.067 kg/kmol
1.272	kmol/jam		0.636	kmol/jam	1.272 kmol/jam
81.521	kg/jam		20.357	kg/jam	101.878 kg/jam

N ₂	+	O ₂	=	2 NO	
28.014	kg/kmol		31.998	kg/kmol	30.006 kg/kmol
42.927	kmol/jam		42.927	kmol/jam	85.855 kmol/jam
1202.570	kg/jam		1373.593	kg/jam	2576.162 kg/jam

O₂ di Batu Bara = 15,9% x 67.560,096 kg/jam = 10.742,055 kg/jam

Kebutuhan O₂ di udara untuk pembakar = 167.000,422 kg/jam

O₂ excess, Diasumsikan 20% (Duda, Ed.3, 1985: 350-351) = 20% x

167.000,422 kg/jam = 33.400,285 kg/jam

Total kebutuhan O₂ di udara = 167.000,422 kg/jam + 33.400,285 kg/jam

= 200.401,707 kg/jam

Total N₂ di udara = (79%/21%) x 200.401,707 kg/jam = 753.892,135 kg/jam

Kebutuhan udara = 200.401,707 kg/jam + 753.892,135 kg/jam

= 954.293,842 kg/jam

2. Menghitung udara pendingin di *Grate Cooler*

Section 1

ΔH Masuk

T_{op} = 32°C = 305,18 K

T_{ref} = 25°C = 298,18 K

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_{pdT} \text{ O}_2 = 8,27 (305,18-298,18) + (0,000258/2)(305,18^2-298,18^2) - (187700/3)(300,18^3-298,18^3) = 6,423 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_{pdT} \text{ N}_2 = 6,5 (305,18-298,18) + (0,001/2)(305,18^2-298,18^2) = 0,011 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 6,423 \text{ cal/mol K} + 0,011 \text{ cal/mol K} = 6,434 \text{ cal/mol K}$$

ΔH Keluar

$$T_{\text{op}} = 1000^\circ\text{C} = 1273,18 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_{pdT} \text{ O}_2 = 8,27 (1273,18-298,18) + (0,000258/2)(1273,18^2-298,18^2) - (187700/3)(1273,18^3-298,18^3) = 2,020 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_{pdT} \text{ N}_2 = 6,5 (1273,18-298,18) + (0,001/2)(1273,18^2-298,18^2) = 1,698 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 2,020 \text{ cal/mol K} + 1,698 \text{ cal/mol K} = 3,718 \text{ cal/mol K}$$

$$\Delta H_{\text{keluar}} - \Delta H_{\text{masuk}} = (3,718 \text{ cal/mol K} - 6,434 \text{ cal/mol K}) 4,187$$

$$= -11,371 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\text{Kebutuhan udara di section 1} = Q_s \text{ section 1} / -11,371 \text{ kJ/kmol K}$$

$$= -124.136.231,3 / -11,371$$

$$= 10.916.394,41 \text{ kmol/jam}$$

Section 2

ΔH Masuk

$$T_{op} = 32^{\circ}\text{C} = 300,18 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_{pdT} \text{ O}_2 = 8,27 (305,18-298,18) + (0,000258/2)(305,18^2-298,18^2) - (187700/3)(300,18^3-298,18^3) = 6,423 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_{pdT} \text{ N}_2 = 6,5 (305,18-298,18) + (0,001/2)(305,18^2-298,18^2) = 0,011 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 6,423 \text{ cal/mol K} + 0,011 \text{ cal/mol K} = 6,434 \text{ cal/mol K}$$

ΔH Keluar

$$T_{op} = 855^{\circ}\text{C} = 1128,18 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_{pdT} \text{ O}_2 = 8,27 (1128,18-298,18) + (0,000258/2)(1128,18^2-298,18^2) - (187700/3)(1128,18^3-298,18^3) = 1,731 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_{pdT} \text{ N}_2 = 6,5 (1128,18-298,18) + (0,001/2)(1128,18^2-298,18^2) = 1,431 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 1,731 \text{ cal/mol K} + 1,431 \text{ cal/mol K} = 3,162 \text{ cal/mol K}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{keluar} - \Delta H_{masuk} &= (3,162 \text{ cal/mol K} - 6,434 \text{ cal/mol K}) 4,187 \\ &= -13,7 \text{ kJ/kmol K} \end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan udara di section 2} = Q_s \text{ section 2} / -13,7 \text{ kJ/kmol K}$$

$$= -5.512.441,795 / -13,7$$

$$= 402.360,841 \text{ kmol/jam}$$

Section 3

ΔH Masuk

$$T_{op} = 32^{\circ}\text{C} = 305,18 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_{pdT} \text{ O}_2 = 8,27 (305,18-298,18) + (0,000258/2)(300,18^2-298,18^2) - (187700/3)(300,18^3-298,18^3) = 6,423 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_{pdT} \text{ N}_2 = 6,5 (305,18-298,18) + (0,001/2)(305,18^2-298,18^2) = 0,011 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 6,423 \text{ cal/mol K} + 0,011 \text{ cal/mol K} = 6,434 \text{ cal/mol K}$$

ΔH Keluar

$$T_{op} = 269^{\circ}\text{C} = 542,18 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_{pdT} \text{ O}_2 = 8,27 (542,18-298,18) + (0,000258/2)(542,18^2-298,18^2) - (187700/3)(542,18^3-298,18^3) = 0,672 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_{pdT} \text{ N}_2 = 6,5 (542,18-298,18) + (0,001/2)(542,18^2-298,18^2) = 0,403 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 0,672 \text{ cal/mol K} + 0,403 \text{ cal/mol K} = 1,076 \text{ cal/mol K}$$

$$\Delta H_{keluar} - \Delta H_{masuk} = (1,076 \text{ cal/mol K} - 6,434 \text{ cal/mol K}) 4,187$$

$$= -22,434 \text{ kJ/kmol K}$$

Kebutuhan udara di *section 3* = $Q_s \text{ section 3} / -22,434 \text{ kJ/kmol K}$

$$= -210.022.626 / -22,434$$

$$= 9.361.679,545 \text{ kmol/jam}$$

Keluar *Grate Cooler*

ΔH Masuk

$$T_{\text{op}} = 32^\circ\text{C} = 305,18 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_p dT \text{ O}_2 = 8,27 (305,18-298,18) + (0,000258/2)(305,18^2-298,18^2) - (187700/3)(305,18^3-298,18^3) = 6,423 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_p dT \text{ N}_2 = 6,5 (305,18-298,18) + (0,001/2)(305,18^2-298,18^2) = 0,011 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 6,423 \text{ cal/mol K} + 0,011 \text{ cal/mol K} = 6,434 \text{ cal/mol K}$$

ΔH Keluar

$$T_{\text{op}} = 100^\circ\text{C} = 373,18 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 8,27 + 0,000258T - 187700 T^2$$

$$C_p \text{ N}_2 = 6,5 + 0,001T$$

$$\int C_p dT \text{ O}_2 = 8,27 (373,18-298,18) + (0,000258/2)(373,18^2-298,18^2) - (187700/3)(373,18^3-298,18^3) = 0,748 \text{ cal/mol K}$$

$$\int C_p dT \text{ N}_2 = 6,5 (373,18-298,18) + (0,001/2)(373,18^2-298,18^2) = 0,123 \text{ cal/mol K}$$

$$\text{Total} = 0,748 \text{ cal/mol K} + 0,123 \text{ cal/mol K} = 0,871 \text{ cal/mol K}$$

$$\Delta H_{\text{keluar}} - \Delta H_{\text{masuk}} = (0,871 \text{ cal/mol K} - 6,434 \text{ cal/mol K}) 4,187$$

$$= -23,294 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\text{Kebutuhan udara di section 4} = Q_s \text{ section 4} / -23,294 \text{ kJ/kmol K}$$

$$= -71.902.641,07 / -23,294$$

$$= 3.086.621,219 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Total kebutuhan udara di Grate cooler} = 23.767.056,01 \text{ kmol/jam}$$

$$= 685.694.777 \text{ kg/jam}$$

3. Menghitung Kebutuhan Air di *Ball Mill*

ΔH Masuk

$$T_{op} = 30^\circ\text{C} = 303,18 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^\circ\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O (l)} = 92,053 - 0,039953T - 0,00021103T^2 + 5,3469 \times 10^{-7} T^3$$

$$\int C_p dT \text{ H}_2\text{O (l)} = 92,053 (373,18 - 298,18) - (0,039953/2)(373,18^2 - 298,18^2) - (0,00021103/3)(373,18^3 - 298,18^3) + (5,3469 \times 10^{-7}/4)(373,18^4 - 298,18^4) = 377,483 \text{ kJ/kmol K}$$

ΔH Keluar

$$T_{op} = 60^\circ\text{C} = 333,18 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^\circ\text{C} = 298,18 \text{ K}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O (l)} = 92,053 - 0,039953T - 0,00021103T^2 + 5,3469 \times 10^{-7} T^3$$

$$\int C_p dT \text{ H}_2\text{O (l)} = 92,053 (333,18 - 298,18) - (0,039953/2)(333,18^2 - 298,18^2) - (0,00021103/3)(333,18^3 - 298,18^3) + (5,3469 \times 10^{-7}/4)(333,18^4 - 298,18^4) = 2634,483 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\Delta H_{keluar} - \Delta H_{masuk} = 2634,483 \text{ kJ/kmol K} - 377,483 \text{ kJ/kmol K}$$

$$= 2256,669 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\text{Kebutuhan air di ball mill} = Q_s \text{ ball mill} / 2256,669 \text{ kJ/kmol K}$$

$$= 336.878.464,9 / 2256,669 \text{ kJ/kmol K}$$

$$= 2256,67 \text{ kmol/jam}$$

$$= 2.689.301,971 \text{ kg/jam}$$

4. Menghitung Kebutuhan Air Sanitasi

Konsumsi air per orang = 100 L/hari

Pabrik Semen diprediksi akan memiliki 300 karyawan, sehingga konsumsi air untuk karyawan = $300 \times 100 \text{ L/hari} = 30000 \text{ L/hari}$.

Kebutuhan air untuk Laboratorium = $20\% \times 30000 \text{ L/hari} = 6000 \text{ L/hari}$.

Kebutuhan air untuk Tempat Ibadah = $30\% \times 30000 \text{ L/hari} = 9000 \text{ L/hari}$.

Kebutuhan air untuk Klinik = $10\% \times 30000 \text{ L/hari} = 3000 \text{ L/hari}$.

Kebutuhan air untuk Kantin = $10\% \times 30000 \text{ L/hari} = 3000 \text{ L/hari}$.

Kebutuhan air untuk Taman = $20\% \times 30000 \text{ L/hari} = 6000 \text{ L/hari}$.

Total kebutuhan air sanitasi = $57.000 \text{ L/hari} = 2375 \text{ kg/jam}$.

Sehingga, total kebutuhan air seluruhnya = Total kebutuhan air sanitasi + kebutuhan air pendingin = $2.375 \text{ kg/jam} + 2.689.301,971 \text{ kg/jam} = 2.691.676,971 \text{ kg/jam}$.

Kebutuhan air diambil dari sungai Guwo Terus yang dekat dengan lokasi yang akan dibangun pabrik. Sungai ini dipilih, karena sungai ini tidak termasuk dalam sungai ataupun mata air yang dilindungi oleh pemerintah dan masuk kedalam potensi air baku, karena memiliki kualitas air yang baik (Laporan Akhir Penyusunan Rencana Induk Pengembangan SPAM Kabupaten TUBAN, Bagian VI hal. 41). Dengan unit pengolahan air yang dimiliki pabrik, air sungai akan diolah menjadi air yang sesuai standar untuk digunakan. Unit pengolahan air ini tentunya akan menambah biaya untuk

membangun pabrik. Akan tetapi dengan memiliki unit pengolahan air sendiri, kedepannya pabrik dapat menghemat biaya air jika dibandingkan dengan membeli air dari PDAM.

5. Pengadaan Tenaga Listrik

Listrik menggunakan PLN dan Listrik cadangan menggunakan Generator yang disewa dari PLN jika listrik padam agar pabrik bisa tetap beroperasi.

4.7. Struktur Organisasi Manajemen Pabrik

Struktur organisasi perusahaan dibentuk untuk menunjukkan bentuk dan tatanan perwujudan pola hubungan yang kokoh antara fungsi dan bagian serta orang-orang yang menunjukkan perbedaan posisi, tugas, wewenang dan tanggung jawab dalam suatu perusahaan, karena perusahaan merupakan organisasi produksi itu dan menggunakan koordinasi sumber daya ekonomi untuk memenuhi kebutuhan dengan cara yang menguntungkan. Hal ini penting dilakukan untuk mengetahui jalur implementasi dan memantau implementasi suatu perusahaan agar tidak menyimpang dari tujuan operasional maupun non operasional.

Manajemen dapat diartikan sebagai kemampuan untuk mengatur atau mempengaruhi faktor produksi. Manajemen mencakup semua tugas dan fungsi terkait sejak perusahaan didirikan hingga pedoman penting untuk membuat keputusan yang tepat. Struktur organisasi perusahaan yang sedang dibentuk terdiri dari organisasi fungsional dimana Direktur Utama sebagai pengambil kebijakan dan memastikan bahwa manajer menjalankan jalannya perusahaan dengan mengawasi dan mengeluarkan instruksi langsung dari

manajer. Sementara itu, tugas, pelaksanaan, tanggung jawab dan wewenang merupakan bagian dari tanggung jawab manajer.

4.7.1 Tugas, Wewenang dan Tanggung Jawab

Berikut adalah uraian tugas, wewenang dan tanggung jawab dari setiap jabatan pada Pabrik OPC:1.

1. Pemegang Saham

Pemegang kekuasaan tertinggi dalam struktur organisasi jajaran dan staf adalah rapat umum pemegang saham (RUPS), yang berlangsung setidaknya setahun sekali. Jika ada yang penting bisa tiba-tiba terjadi sesuai dengan jumlah forum. Pemegang saham, anggota dewan dan direksi mengambil bagian dalam RUPS.

Tugas dan wewenang RUPS adalah :

- a. Menentukan pemimpin tertinggi perusahaan, berupa mengadakan akte perusahaan dan menentukan garis besar haluan perusahaan (GBHP).
- b. Mengangkat dan memberhentikan dewan komisaris dan dewan direksi.
- c. Mengesahkan rancangan anggaran pendapatan dan belanja (RAPB) dan laporan tahunan yang dibuat oleh dewan direksi.
- d. Memutuskan besarnya deviden yang akan dibayar pada pemegang saham.
- e. Memutuskan besarnya gaji dewan komisaris dan dewan direksi.
- f. Memutuskan besarnya gratifikasi yang diberikan pada karyawan.

2. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris adalah penyelenggara harian pemegang saham, menetapkan kebijakan perusahaan secara luas, memantau dan mempromosikan semua kegiatan dan melaksanakan tugas direktur, dan secara teratur meminta laporan pertanggungjawaban direktur utama.

Tugas dan wewenang Dewan Komisaris adalah mengarahkan dan mengawasi kondisi perseroan sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang disetujui RUPS dan RAPB.

3. Dewan Direksi

a. Direktur Utama

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi yang diangkat oleh dewan komisaris.

Tugas dan wewenang direktur utama adalah:

- 1) Memimpin dan membina perusahaan secara efektif dan efisien.
- 2) Menyusun dan melaksanakan kebijaksanaan umum pabrik sesuai dengan kebijakan RUPS.
- 3) Memelihara kekayaan Perseroan Terbatas.
- 4) Mewakili perusahaan mengadakan perjanjian-perjanjian, merencanakan, dan mengawasi pelaksanaan tugas personalia yang bekerja pada perusahaan.
- 5) Menetapkan besarnya deviden perusahaan.
- 6) Mengangkat dan memberhentikan karyawan.

Dalam melaksanakan tugasnya, direktur utama dibantu oleh 4 orang manager, yaitu:

- 1) Manajer Administrasi/ Umum.
- 2) Manajer Pemasaran.
- 3) Manajer Keuangan.
- 4) Manajer Teknik dan Produksi.

b. Manajer

Secara umum tugas manajer adalah mengkoordinir, mengatur dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis-garis yang diberikan oleh pimpinan perusahaan. Manajer bertanggung jawab kepada direktur.

1) Manajer Administrasi dan Umum

Adapun tugas dan wewenang Manajer Administrasi dan Umum adalah:

- a) Mengawasi dan bertanggung jawab dalam hal administrasi perusahaan.
- b) Mengawasi dan bertanggung jawab untuk hal umum dalam perusahaan.

Manajer administrasi dan umum ini dibantu oleh kepala bagian administrasi dan kepala bagian umum. Kemudian kepala bagian administrasi dibantu oleh kepala seksi administrasi. Serta Kepala bagian umum dibantu oleh

Kepala seksi humas, Kepala seksi keamanan dan Kepala seksi personalia.

2) Manajer Pemasaran

Manajer pemasaran bertanggung jawab atas seluruh koordinasi dan pengawasan komersial perusahaan.

Tugas dan wewenangnya adalah:

- a) Membantu dan bertanggung jawab kepada direktur utama atas segala kegiatan yang menyangkut pemasaran produksi, kebijakan harga, dan distribusi produk yang dihasilkan perusahaan.
- b) Mengkoordinasi, memimpin, dan mengawasi bagian pemasaran yang mencakup pergudangan, pembelian bahan baku, distribusi, dan seterusnya.
- c) Manajer pemasaran ini dibantu oleh satu orang kepala bagian pembelian dan pemasaran. Kepala bagian pemasaran ini dibantu oleh kepala seksi yang meliputi:
 - (1) Kepala seksi pembelian
 - (2) Kepala seksi pemasaran

3) Manajer Keuangan

Manajer keuangan bertanggung jawab atas seluruh pengaturan segala urusan yang berhubungan dengan keuangan perusahaan serta kesejahteraan karyawan. Manajer keuangan dibantu oleh satu orang kepala bagian keuangan dan kepala bagian dibantu oleh Kepala seksi kas.

4) Manager Teknik dan Produksi

Manager teknik dan produksi adalah pembantu direktur utama untuk menangani permasalahan keteknikan dan proses produksi.

Tugas dan wewenang manager teknik dan produksi adalah:

- a) Menjalankan seluruh program dan kebijakan yang telah digariskan oleh dewan komisaris.
- b) Mengadakan pengawasan dan penelitian untuk melaksanakan program kerja bagian teknik dan produksi.
- c) Membantu dan bertanggung jawab kepada direktur utama atas segala sesuatu yang menyangkut tugasnya.
- d) Mengkoordinasi dan mengarahkan kegiatan bagian teknik dan produksi, rekayasa, dan keselamatan kerja.

Dalam menjalankan tugasnya manager teknik dan produksi dibantu oleh 2 orang kepala bagian, yaitu:

a) Kepala Bagian Teknik

Tugas dan wewenangnya adalah bertanggung jawab atas bidang keteknikan agar proses produksi berjalan lancar. Kepala bagian teknik ini dibantu oleh beberapa kepala seksi yaitu:

(1) Kepala seksi pemeliharaan

(2) Kepala seksi utilitas

b) Kepala Bagian Produksi

Tugas dan wewenangnya adalah pengaturan dan pengawasan jalannya proses dari bahan baku sampai produk serta sarana yang berhubungan dengan proses.

Kepala bagian produksi dibantu oleh:

- (1) Kepala seksi laboratorium
- (2) Kepala seksi pengendalian kualitas
- (3) Kepala seksi proses

4. Staff Ahli

Staff ahli bertugas memberikan masukan berupa saran, nasehat, dan pandangan terhadap segala aspek operasional perusahaan.

5. Sekretaris

Sekretaris diangkat oleh direktur utama untuk menangani surat menyurat dalam perusahaan, menangani kearsipan, dan pekerjaan lainnya untuk membantu direktur utama dalam menangani masalah administrasi perusahaan.

4.7.2 Ketenagakerjaan

Pabrik OPC akan dioperasikan terus menerus selama 24 jam sehari dan 330 hari setahun. Sisa hari itu, yang bukan merupakan hari libur, digunakan untuk perbaikan atau pemeliharaan dan *shutdown*. Sedangkan pembagian jam kerja pekerja dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Pekerja non-*shift*

Pekerja non-*shift* adalah karyawan yang pekerjaannya tidak memerlukan pemantauan 24 jam, mis. B. Pekerja kantor dan staf administrasi lainnya yang tidak terkait langsung dengan operasi pabrik.

Pekerja non shift dalam seminggu bekerja selama 5 hari dengan pembagian jam kerja sebagai berikut:

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin s.d Kamis	08.00 s.d 16.00 WIB	12.00 s.d 13.00 WIB
Jum'at	08.00 s.d 16.00 WIB	11.00 s.d 13.00 WIB
Sabtu	08.00 s.d 14.00 WIB	-

Jika lebih dari 40 jam dihitung sebagai lembur. Pada hari Minggu dan hari libur lainnya, karyawan non-shift menerima cuti

2. Pekerja *shift*

Pekerja shift adalah karyawan yang berhubungan langsung dengan proses produksi dan memerlukan pemantauan terus menerus selama 24 jam sehari selama 330 hari dalam setahun. Pekerja shift bekerja secara bergantian satu hari satu malam dengan tindakan pencegahan sebagai berikut:

a. Karyawan produksi dan teknik:

- 1) Shift pagi : jam 07.00-15.00
- 2) Shift siang : jam 15.00-23.00
- 3) Shift malam : jam 23.00-07.00

b. Karyawan keamanan:

- 1) Shift pagi : jam 07.00-15.00
- 2) Shift siang : jam 15.00-23.00
- 3) Shift malam : jam 23.00-07.00

Peraturan jam kerja yang berlaku di perusahaan telah disesuaikan dengan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku di Indonesia.

4.7.3 Jumlah Pekerja dan Gaji

- 1) Jumlah Pekerja

Jumlah karyawan harus ditentukan secara akurat dengan menghitung jumlah karyawan proses berdasarkan jumlah perangkat dan jumlah karyawan proses per unit dan tim. Selanjutnya ditentukan detail karyawan agar semua pekerjaan yang ada dapat dilaksanakan dengan baik dan efektif.

2) Gaji

Sistem gaji pekerja digolongkan menjadi tiga, yaitu:

A. Gaji Bulanan

Gaji ini diberikan kepada karyawan tetap. Besarnya gaji berdasarkan peraturan perusahaan.

B. Gaji Harian

Gaji yang diberikan untuk pekerja atau mitra harian

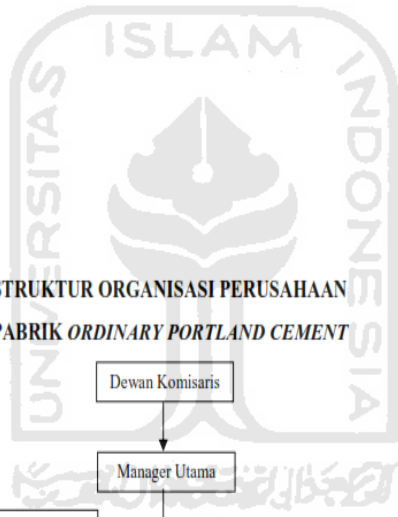
C. Gaji Lembur

Gaji ini diberikan kepada karyawan yang bekerja di luar jam kerja yang ditentukan. Jumlah tersebut sesuai dengan peraturan perusahaan.

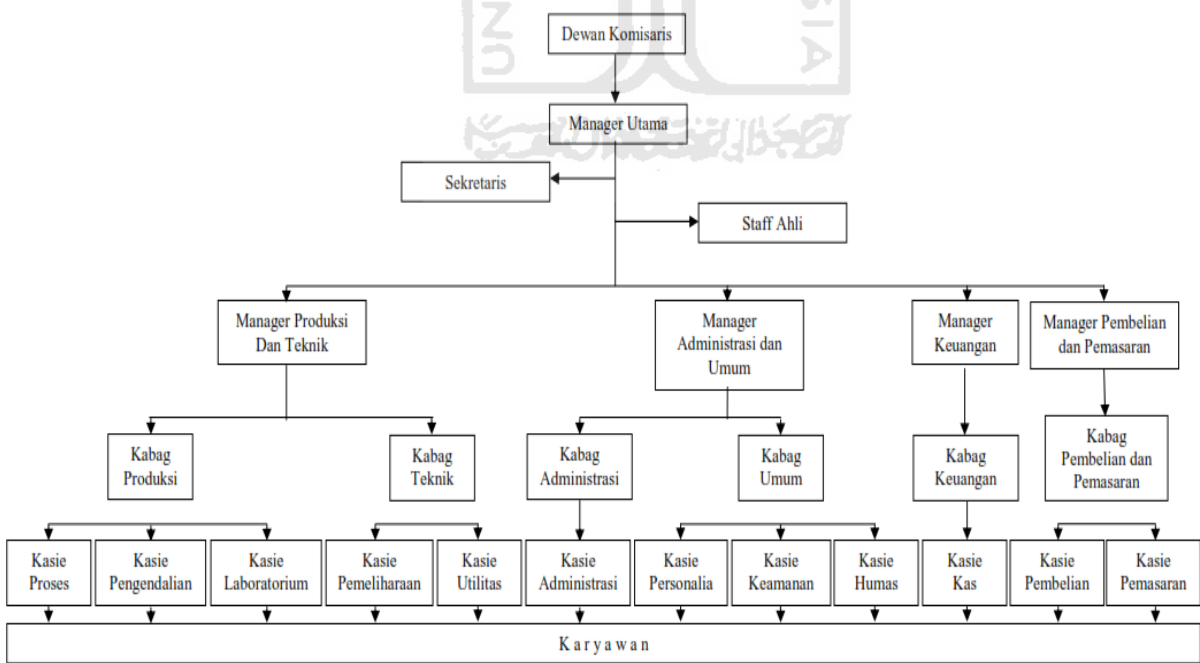
Maka dalam setahun dibutuhkan gaji karyawan sebesar:

$$= (12+1) \times 900.000.000 ; (\text{Penambahan 1 bulan ialah asumsi tunjangan})$$

$$= \text{Rp.}11.700.000.000$$



**STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN
PABRIK ORDINARY PORTLAND CEMENT**



4.8. Evaluasi Ekonomi

Pada pradesain pabrik, diperlukan analisis ekonomi untuk memperoleh perkiraan (taksiran) kelayakan investasi dalam suatu kegiatan produksi pabrik dengan mempertimbangkan kebutuhan modal investasi, besarnya keuntungan yang diperoleh, lamanya waktu pengembalian investasi dan impas. Pada titik di mana total biaya produksi sama, manfaat yang dicapai diperiksa. Selain itu, analisis ekonomi harus digunakan untuk menentukan apakah pabrik yang akan dibangun menguntungkan dan layak atau tidak. Dalam kajian ekonomi ini, faktor-faktor yang diteliti adalah:

1. *Return On Investment.*
2. *Pay Out Time.*
3. *Discounted Cash Flow.*
4. *Break Even Point.*
5. *Shut Down Point.*

Sebelum menganalisis kelima faktor ini, penting untuk memperkirakan:

1. Penentuan modal industri (*Total Capital Investment*)

Meliputi :

- a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*).
 - b. Modal kerja (*Working Capital Investment*).
2. Penentuan biaya produksi total (*Total Production Cost*)
- Meliputi :
- a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*).
 - b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*).
3. Pendapatan modal
- Untuk mengetahui titik impas, maka perlu dilakukan perkiraan terhadap :
- a. Biaya tetap (*Fixed Cost*).
 - b. Biaya variabel (*Variable Cost*).
 - c. Biaya mengambang (*Regulated Cost*).

4.8.1 Taksiran Harga

Harga peralatan berubah dari waktu ke waktu tergantung kondisi ekonomi yang mempengaruhinya. Sangat sulit untuk mengetahui harga pasti peralatan setiap tahun. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode atau cara untuk memperkirakan harga peralatan pada suatu tahun tertentu, dan perlu diketahui terlebih dahulu harga indeks alat operasi untuk tahun tersebut.

Pabrik semen normal di Portland bekerja selama satu tahun, atau 330 hari. Dalam analisis ekonomi, harga perangkat dan harga lainnya di tahun analisis diperhitungkan. Untuk mengetahui harga pada tahun analisis, cari indeks pada tahun analisis.

Harga peralatan akan berubah seiring waktu tergantung pada perubahan ekonomi. Jika alat-alat dari beberapa tahun terakhir diketahui, harga

perangkat saat ini dapat diperkirakan menggunakan Marsekal dan indeks biaya perangkat cepat. Oleh karena itu kita menggunakan harga pada tahun 2020 dengan asumsi harga tahun pemesanan sama dengan harga taun 2025

Daftar Harga Peralatan:

No	Nama Alat	Harga per Unit (US\$)	Jumlah	Harga Total (US\$)	Harga Total (Rp)
		2020			
1	Stockpile (ST-101)	40968	1	40,968	581,392,743
2	Stockpile (ST-102)	16633	1	16,633	236,048,527
3	Stockpile (ST-103)	6970527	1	6,970,527	98,921,682,526
4	Stockpile (ST-204)	2411	1	2,411	34,215,222
5	Stockpile (ST-305)	12172	1	12,172	172,739,061
6	Hammer Chrusher (HC-101)	15385	2	30,769	436,658,640
7	Hammer Chrusher (HC-102)	15386	1	15,386	218,343,512
8	Screen (101)	13900	1	13,900	197,260,738
9	Screen (102)	9000	1	9,000	127,722,780
10	Screen (103)	2300	1	2,300	32,640,266
11	Silo (S-101)	16250	1	16,250	230,610,575
12	Silo (S-202)	10947	1	10,947	155,350,735
13	Cyclone Separator (CS-101)	215127	1	215,127	3,052,952,321
14	Ball mill (B-101)	38000	1	38,000	539,273,960
15	Apron conveyor (AC-101)	61313	1	61,313	870,125,200
16	Apron conveyor (AC-102)	33751	1	33,751	478,968,000
17	Belt Conveyor (BC-101)	76713	1	76,713	1,088,666,402
18	Belt Conveyor (BC-102)	62794	1	62,794	891,136,027
19	Belt Conveyor (BC-103)	71810	1	71,810	1,019,085,870

20	Belt Conveyor (BC-104)	73392	1	73,392	1,041,536,697
21	Belt Conveyor (BC-205)	63111	1	63,111	895,634,708
22	Belt Conveyor (BC-306)	26098	1	26,098	370,367,679
23	Screw Conveyor (SC-101)	2800	1	2,800	39,735,976
24	Screw Conveyor (SC-102)	2800	1	2,800	39,735,976
25	Screw Conveyor (SC-103)	2800	1	2,800	39,735,976
26	Screw Conveyor (SC-204)	2800	1	2,800	39,735,976
27	Screw Conveyor (SC-205)	2800	1	2,800	39,735,976
28	Pneumatic Conveyor (PC-101)	7000	1	7,000	99,339,940
29	Pneumatic Conveyor (PC-202)	20000	1	20,000	283,828,400
30	Bucket Elevator (BE-101)	26678	1	26,678	378,598,703
31	Bucket Elevator (BE-202)	38528	1	38,528	546,767,030
32	Suspension Preheater (SP-101)	161335	1	161,335	2,289,572,746
33	Rotary Klinn (K-101)	1776618	1	1,776,618	25,212,738,308
34	Grate Cooler (GC-101)	108348	1	108,348	1,537,611,974
35	Dust Collector (DC-101)	108822	1	108,822	1,544,338,707
36	Blower Cyclone (BL-101 C/D)	42198	1	42,198	598,849,541
37	Blower Cyclone (BL-102 D/S)	60941	1	60,941	864,839,326
38	Blower Grate (BL-103)	17821	16	285,136	4,046,484,733
39	Bangunan Gudang OPC Packed	70554	1	70,554	1,001,261,447
		10300831	55	10,583,5	150,195,322,

				30	924
--	--	--	--	----	-----

No	Nama Alat	Harga per Unit (US\$)	Jumlah	Harga Total (US\$)	Harga Total (Rp)
		2020			
1	Tangki penampung air sungai	8005	1	8005	113606575
2	Clarifier	131915	4	527662	7488270449
3	Bar Screen	7276	1	7276	103255523
4	Tangki pelarut tawas	3005	1	3005	42649020
5	Sand filter	135163	2	270327	3836316984
6	Tangki desinfektan (sodium hypochlorite)	316	1	316	4489371
7	Pompa I (P-401 B/P)	4523	6	27138	385126756
8	Pompa II (P-302 T/C)	4523	2	9046	128375585
9	Pompa III (P-403 B/A)	4523	2	9046	128375585
10	Pompa IV (P-404 S/P)	4523	8	36184	513502341
11	Pasted Bag Machine (Mesin Packing)			1803210	25590106910
	TOTAL			2701215	38334075099

Biaya Bahan Baku dan Bahan Pendukung

1. Batu Kapur

Kebutuhan : 2.195.387,844 ton/tahun

Harga/ton : Rp.910 (Peraturan Bupati Tuban No 17

Tahun 2010)

Total harga/tahun : Rp.1.997.802.938

2. Tanah Liat

Kebutuhan : 812.982,103 ton/tahun

Harga/ton : Rp.2.080 (Peraturan Bupati Tuban No 17

Tahun 2010)

Total harga/tahun : Rp.1.691.002.774

3. Copper slag

Kebutuhan : 21.122,158 ton/tahun

Harga/ton : 3 USD (Jurnal Teknologi Mineral dan Batu Bara
Volume 12, Mei 2016)

Total harga/tahun : Rp.1.034.985.761

4. Gypsum

Kebutuhan : 80000 ton/tahun

Harga/ton : 8 USD (Alibaba, 2020)

Total harga/tahun : Rp.8.960.000.000

5. Batubara

Kebutuhan : 535.075,958 ton/tahun

Harga/ton : 78 USD (IESR, 2020)

Total harga/tahun : Rp.591.456.753.033

Total biaya bahan baku/ tahun = Rp.665.852.792.398

Berikut ini adalah tabel perincian gaji pekerja:

No	Jabatan	Jml	Gaji/bln/0	Total
		(Org)	(Rp)	(Rp)
1	Direktur Utama	1	100,000,000	100,000,000
2	Sekretaris	1	25,000,000	25,000,000
3	Staf Ahli	3	30,500,000	91,500,000
4	Direktur Teknik dan Produksi	1	40,000,000	40,000,000
5	Direktur Administrasi dan Umum	1	39,000,000	39,000,000

			0	0
6	Direktur Keuangan	1	35,000,00 0	35,000,00 0
7	Direktur Pembelian dan Pemasaran	1	35,000,00 1	35,000,00 1
8	Kepala Bagian Produksi	1	32,000,00 0	32,000,00 0
9	Kepala Bagian Teknik	1	32,000,00 1	32,000,00 1
1 0	Kepala Bagian Pembelian dan Pemasaran	1	32,000,00 2	32,000,00 2
1 1	Kepala Bagian Keuangan	1	32,000,00 3	32,000,00 3
1 2	Kepala Bagian Administrasi	1	32,000,00 4	32,000,00 4
1 3	Kepala Seksi Proses	1	25,000,00 0	25,000,00 0
1 4	Kepala Seksi Pengendalian	1	25,000,00 0	25,000,00 0
1 5	Kepala Seksi Laboratorium	1	25,000,00 0	25,000,00 0
1 6	Kepala Seksi Pemeliharaan	1	25,000,00 0	25,000,00 0
1 7	Kepala Seksi Utilitas	1	25,000,00 0	25,000,00 0
1 8	Kepala Seksi Pembelian	1	25,000,00 0	25,000,00 0
1 9	Kepala Seksi Pemasaran	1	25,000,00 0	25,000,00 0
2 0	Kepala Seksi Administrasi	1	20,000,00 0	20,000,00 0
2	Kepala Seksi Kas	1		

1			20,000,00 0	20,000,00 0
2 2	Kepala Seksi Personalia	1	20,000,00 0	20,000,00 0
2 3	Kepala Seksi Humas	1	20,000,00 0	20,000,00 0
2 4	Kepala Seksi Keamanan	1	20,000,00 0	20,000,00 0
2 5	Foreman Proses	3	15,000,00 0	45,000,00 0
2 6	Operator Proses	45	15,000,00 0	675,000,0 00
2 7	Foreman Bengkel dan Pemeliharaan	3	15,000,00 0	45,000,00 0
2 8	Operator Bengkel dan Pemeliharaan	6	15,000,00 0	90,000,00 0
2 9	Karyawan Penjualan	5	15,000,00 0	75,000,00 0
3 0	Karyawan Administrasi	2	15,000,00 0	30,000,00 0
3 1	Karyawan Keuangan	2	15,000,00 0	30,000,00 0
3 2	Karyawan Personalia	2	15,000,00 0	30,000,00 0
3 3	Karyawan Humas	2	15,000,00 0	30,000,00 0
3 4	Karyawan Laboratorium	6	15,000,00 0	90,000,00 0
3 5	Karyawan Quality Control	3	15,000,00 0	45,000,00 0
3 6	Foreman Utilitas	6	20,000,00 0	120,000,0 00

3 7	Operator Utilitas Unit Pengadaan Steam	6	15,000,00 0	90,000,00 0
3 8	Operator Utilitas Unit Pengadaan Air	6	15,000,00 0	90,000,00 0
3 9	Operator Utilitas Unit Pengadaan Tenaga Listrik	3	15,000,00 0	45,000,00 0
4 0	Operator Utilitas Unit Pengadaan Bahan Bakar	3	15,000,00 0	45,000,00 0
4 1	Operator Utilitas Unit Pengolahan Limbah	3	15,000,00 0	45,000,00 0
4 2	Foreman Pengendalian Bagian Laboratorium	6	15,000,00 0	90,000,00 0
4 3	Foreman Keamanan	3	14,000,00 0	42,000,00 0
4 4	Dokter	2	20,000,00 0	40,000,00 0
4 5	Perawat	3	10,500,00 0	31,500,00 0
4 6	Supir	3	9,000,000	27,000,00 0
4 7	Cleaning Service	10	7,000,000	70,000,00 0
4 8	Office Boy	11	7,000,000	77,000,00 0
	TOTAL	170	1,082,000, 011	2,798,000, 011

4.8.2 Perhitungan

1. Umur alat = 20 tahun
2. Upah Tenaga Asing/jam = \$25.00
3. Upah Tenaga Indonesia/jam = Rp20,000.00
4. Komposisi jumlah buruh

	Tenaga Indonesia =	99%	
	Tenaga Asing =	1%	
5. Perbandingan keahlian pekerja (Asing : Indonesia = 2 : 3)			
6. Waktu operasi dalam setahun	=	330	hari
		= 7920	jam
7. Kurs Rupiah terhadap US Dollar 1 \$ =		Rp14,191.42	

4.8.3 Perhitungan Biaya

1. Capital Investment

Capital investmen adalah jumlah biaya yang diperlukan untuk mendirikan dan mengoperasikan fasilitas pabrik.

Capital *investment* terdiri dari:

a. *Fixed Capital Investment*

Fixed capital investment adalah biaya mendirikan fasilitas produksi.

b. *Working Capital Investment*

Working capital investment adalah biaya menjalankan bisnis atau modal untuk menjalankan pabrik untuk jangka waktu tertentu.

2. *Manufacturing Cost*

Manufacturing cost adalah jumlah *direct cost*, *indirect cost*, dan *fixed manufacturing cost* yang terlibat dalam pembuatan produk (Tabel 23 Aries & Newton).

A. *Direct Cost*

Direct cost merupakan biaya langsung yang berkaitan dengan pembuatan produk.

B. *Indirect Cost*

Indirect Cost merupakan biaya tidak langsung dikarenakan pabrik yang beroperasi.

C. Fixed Manufacturing Cost

Fixed manufacturing cost adalah biaya tertentu yang selalu timbul, terlepas dari apakah pabrik beroperasi atau tidak, atau biaya tetap yang tetap terlepas dari waktu dan tingkat produksi.

3. General Expense

General expense adalah pengeluaran umum yang berkaitan dengan fungsi pabrik namun tidak termasuk *manufacturing cost*.

4.8.4 Analisa Kelayakan Pabrik

Untuk mengetahui manfaat yang diperoleh besar atau tidak, sehingga dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial atau tidak maka dilakukan analisis atau penilaian kelayakan.

1. Return On Investment

Return of investment adalah keuntungan yang diperoleh setelah berinvestasi.

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

2. Pay Out Time

Pay out time adalah periode amortisasi yang dihasilkan didasarkan pada keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui berapa tahun investasi akan terbayar.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi})}$$

3. Break Even Point

Break Even Point adalah tercapainya kesetimbangan ketika penjualan sesuai dengan total investasi. Pabrik merugi jika bekerja di bawah BEP dan mendapat untung jika bekerja di atas BEP.

$$\text{BEP} = \frac{(\text{Fa} + 0,3 \text{ Ra})}{(\text{Sa} - \text{Va} - 0,7 \text{ Ra})} \times 100 \%$$

Dimana:

Fa : *Annual Fixed Manufacturing Cost* saat produksi maksimum

Ra : *Annual Regulated Expenses* saat produksi maksimum

Va : *Annual Variable Value* saat produksi maksimum

Sa : *Annual Sales Value* saat produksi maksimum

4. *Shut Down Point*

Kondisi ketika pabrik berada di tubir jurang, pabrik diharapkan mampu memutuskan akan melanjutkan produksi atau tidak.

$$\text{SDP} = \frac{(0,3 \text{ Ra})}{(\text{Sa} - \text{Va} - 0,7 \text{ Ra})} \times 100 \%$$

5. *Discounted Cash Flow Rate of Return*

Taksiran keuntungan yang diperoleh setiap tahun berdasarkan investasi yang pada setiap akhir tahun tidak terbayar sepanjang usia pabrik.

$$(\text{FC} + \text{WC})(1+i)^N = C \sum_{n=0}^{n=N-1} (1+i)^N + \text{WC} + \text{SV}$$

Dimana:

FC: *Fixed capital*

WC: *Working capital*

SV: *Salvage value*

C: Cash flow

: profit after taxes + depresiasi + finance

n: Umur pabrik = 10 tahun

I : Nilai DCFR

4.8.5 Hasil Perhitungan

1. Purchased Equipment Cost (PEC)

Harga pembelian alat proses dari tempat pembelian

a. Alat proses =	\$10,583,530.25
b. Alat Utilitas =	\$2,701,214.90

Total PEC =	\$10,583,530.25
=	Rp150,195,322,923.8
=	7

2. Delivered Equipment Cost (DEC)

Biaya pengangkutan (15% PEC)=	\$1,587,529.54
Biaya administrasi & pajak (10% PEC)=	\$1,058,353.03
	\$2,645,882.56
	Rp37,548,830,731

3. Instalation Cost (Biaya pemasangan)

Besarnya instalasi adalah 11 % dari purchased Equipment Cost (PEC)

Material =	11 % x PEC
=	\$1,164,188.33
=	Rp16,521,485,522
Labor =	32 % PEC
=	\$3,386,729.68
Tenaga Asing =	\$33,867.30
Tenaga Indonesia =	Rp5,364,579,8

	15
	\$378,015.72
Total Biaya Instalasi =	\$1,576,071.34
=	Rp22,366,690,370

4. Piping Cost (biaya pemipaan)

Sistem =	Fluid
Besarnya =	86 % x PEC
Material =	49 % PEC
=	\$5,185,929.82
Labor =	37 % PEC
=	\$3,915,906.19
Tenaga Asing =	\$39,159.06
Tenaga Indonesia =	Rp6,202,795,412
=	\$437,080.67
Total Biaya Pemipaan =	\$5,662,169.56
=	Rp80,354,226,339.06

5. Instrumentation Cost (Biaya Instrumentasi)

Instrumentasi (instrumentation, 30 % PEC)	
Material =	24% x PEC
=	\$2,540,047.26
Labor =	6% PEC
=	\$635,011.82
Tenaga Asing =	\$6,350.12
Tenaga Indonesia =	Rp1,005,858,715.38
=	\$70,877.95
Total Biaya Instrumentasi =	\$2,617,275.33
=	Rp37,142,853,411

6. Insulation Cost (Biaya Isolasi)

Insulasi (insulation, 8% PEC)

Material =	3 % x PEC
=	\$317,505.91
Labor =	5 % x PEC
=	\$529,176.51
Tenaga Asing =	\$5,291.77
Tenaga Indonesia =	Rp838,215,596.15
=	\$59,064.96
Total Biaya Insulasi =	\$381,862.63
=	Rp5,419,172,945

7. Electrical Cost
(Biaya Listrik)

Listrik (10-15 % PEC)	Sewa generator, asumsi listrik mati: 24 jam selama 1 tahun dengan biaya per kwh sebesar Rp.870
Total Biaya Electrical =	10 % PEC
=	\$1,071,865.03
	Rp15,211,286,759

8. Building Cost (Biaya bangunan)

Luas bangunan =	175,000.00	m2
harga bangunan =	Rp266,000	/m2
Total biaya bangunan =	46550000000	
=	\$3,280,150.96	
	Rp46,550,000,000	

9. Land & Yard Improvement (tanah dan perluasan lahan)

Luas tanah =	175,000.00	m2
harga tanah =	Rp266,000	/m2
Total harga tanah =	Rp46,550,000,000	
	\$3,280,150.96	

Dari data-data diatas didapatkan Physical Plant Cost /

PPC :

No	Jenis	Biaya (\$)
1	Purchased Equipment cost	10,583,530
2	Delivered Equipment Cost	2,645,883
3	Instalasi cost	1,576,071
4	Pemipaan	5,662,170
5	Instrumentasi	2,617,275
6	Insulasi	381,863
7	Listrik	1,071,865
8	Bangunan	3,280,151
9	Land & Yard Improvement	3,280,151
	Total	31,098,959
		441,338,383,480

10. Engineering and construction
 dari buku (aris newton, Table 4. P. 4), Engineering and Construction 25 %
 PPC

$$= \$7,774,739.66$$

$$= \text{Rp}110,334,595,869.97$$

DPC (Direct Plant Cost) = PPC + Engineering and construction
 = \$38,873,698.29

$$= \text{Rp}551,672,979,350$$

11. Contractor's fee (4-10 % DPC) (aris newton, P. 4)

$$\text{Contractor's fee} = \$1,554,947.93 \text{ (diambil 4\%)}$$

$$= \text{Rp}22,066,919,173.99$$

12. Contingency (10 % DPC) (aris newton, Table 5. P. 4)

$$\text{Contingency} = \$3,887,369.83$$

$$= \text{Rp}55,167,297,934.99$$

Fixed Capital Investment (FCI)

No	Fixed Capital	Biaya, \$
1	Direct Plant Cost	38873698.3
2	Cotractor's fee	1554947.9
3	Contingency	3887369.8
	Jumlah	44316016.05

Total Fixed Capital Investment (FCI) =	\$44,316,016.05
=	Rp628,907,196,458.85

No	<i>Direct Manufacturing Cost</i>	Jumlah (Rupiah/Tahun)
1	Bahan Baku	666.852.792.398
2	Tenaga Kerja	2.798.000.011
3	Supervisor	699.500.003
4	<i>Maintenance</i>	628.907.196.459
5	<i>Royalties and Patents</i>	299.670.490.760
6	Utilitas	38.334.075.099
7	<i>Plant Supplies</i>	94.336.079.468
	Total	1.731.598.134.199

No	<i>Indirect Manufacturing Cost</i>	Jumlah (Rupiah/Tahun)
1	<i>Payroll Overhead</i>	559.600.002
2	<i>Laboratory</i>	599.600.002
3	<i>Plant Overhead</i>	2.798.000.011
4	<i>Packaging and Shipping</i>	599.340.981

	Total	603.258.181.535
--	-------	-----------------

No	<i>Fixed Manufacturing Cost</i>	Jumlah (Rupiah/Tahun)
1	<i>Depreciation</i>	62.890.719.645
2	<i>Property Taxes</i>	12.578.143.929
3	<i>Insurance</i>	6.289.071.965
	Total	81.757.935.540

Total *Manufacturing Cost* = *Indirect Manufacturing Cost* + *Fixed Manufacturing Cost* = Rp. 2.416.614.251.274

No	<i>Working Capital</i>	Jumlah (Rupiah/Tahun)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	14.145.362.263
2	<i>Inproses Inventory</i>	3.661.536.744
3	<i>Product Inventory</i>	51.261.514.420
4	<i>Extended Credit</i>	127.132.935.475
5	<i>Avaliable Cash</i>	219.692.204.661
	Total	415.893.553.563

No	<i>General Expense</i>	Jumlah (Rupiah/Tahun)
1	<i>Administration</i>	144.996.855.076
2	<i>Sales Expense</i>	531.655.135.280
3	<i>Research</i>	193.329.140.101

4	<i>Finance</i>	41.792.030.000
	Total	911.773.160.459

Total Production Cost = Manufacturing Cost + General Expense = Rp.
3.328.387.411.733

Untuk melakukan perhitungan rencana pendirian pabrik OPC memerlukan data perhitungan *Physical Plant Cost* (PPC), *Direct Plant Cost* (DPC), *Fixed Capital Investment* (FCI), *Direct Manufacturing Cost* (DMC) *Indirect Manufacturing Cost* (IMC), *Fixed Manufacturing Costt* (FMC), dan *General Expense*

4.8.6 Analisa Keuntungan

Total penjualan= Rp 5.993.409.815.197

Total production cost = Rp 3.328.387.411.733

Keuntungan sebelum pajak = Rp 2.665.022.403.464

Pajak Pendapatan = 50%

Keuntungan setelah pajak = Rp 1.332.511.201.732

4.8.7 Analisa Kelayakan

1. *Return on Investment*

a. ROI Sebelum Pajak (Industrial Chemical min 11 - 44 %)

$$\text{ROI b} = \frac{\text{Keuntungan sebelum pajak}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

$$\text{ROI b} = 30 \%$$

b. ROI Sesudah Pajak

$$\text{ROI a} = \frac{\text{Keuntungan sesudah pajak}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

$$\text{ROI a} = 15 \%$$

2. Pay Out Time

a. POT Sebelum Pajak (Industrial Chemical min 2 th / High Risk- 5 th/low Risk)

$$\text{POT b} = \frac{\text{Fixed Capital}}{\text{Keuntungan sebelum pajak + Depresiasi}}$$
$$\text{POT b} = 2,75 \text{ Tahun}$$

b. POT Sesudah Pajak

$$\text{POT a} = \frac{\text{Fixed Capital}}{\text{Keuntungan sesudah pajak + Depresiasi}}$$
$$\text{POT a} = 5,15 \text{ tahun}$$

3. Break Even Point

$$\text{BEP} = \frac{\text{Fa} + (0,3 * \text{Ra})}{\text{Sa} - \text{Va} - (0,7 * \text{Ra})} \times 100\%$$

Fa = Fixed Capital pada produksi maksimum per tahun

Ra = Regulated Expense pada produksi maksimum

Sa = Penjualan maksimum pertahun

Va = Variabel Expense pada produksi maksimum pertahun

a. Fa (Fixed Cost)

Depresiasi = Rp62,890,719,646

Proerty Taxes = Rp12,578,143,929

Asuransi = Rp6,289,071,965

TOTAL Nilai Fa = Rp81,757,935,540

b. Ra (Regulated Cost)

Gaji Karyawan = Rp2,798,000,011

Payroll Overhead = Rp559,600,002

Supervision	=	Rp699,500,003
Plant Overhead	=	Rp2,798,000,011
Laboratorium	=	Rp559,600,002
General Expense	=	Rp911,773,160,459
Maintenance	=	Rp628,907,196,459
Plant Supplies	=	Rp94,336,079,469
<hr/>		
TOTAL Nilai Ra	=	Rp1,642,431,136,416

c. Va (Variabel Cost)

Raw Material	=	Rp666,852,792,398
Packaging and Shipping	=	Rp599,340,981,520
Utilities	=	Rp37,756,384,965
Royalty & Patent	=	Rp299,670,490,760
<hr/>		
TOTAL Nilai Va	=	Rp1,603,620,649,643

d. Sa (Sales) = Rp5,993,409,815,197

maka, BEP = 40,15 %

4. *Shut Down Point*

$$\text{SDP} = \frac{0,3 * \text{Ra}}{\text{Sa} - \text{Va} - (0,7 * \text{Ra})} \times 100\%$$

$$= 22,94 \%$$

5. *Discounted Cash Flow*

5. Discounted Cash Flow Rate

Umur Pabrik (n)	=	20 tahun
Salvage Value	=	Depresiasi
	=	Rp62,890,719,646

Cash Flow = Annual profit + Depresiasi + Finance

$$= \text{Rp1,437,193,951,379}$$

$$\text{Working Capiatal} = \text{Rp415,893,553,563}$$

Discounted cash flow rate
dihitung dengan cara trial
& error

$$R = S$$

$$R = (\text{WC} + \text{FCI}) \cdot [(1+i)^n]$$

$$\{ [(1+i)^{(n-1)}] + [(1+i)^{(n-2)}] + [(1+i)^{(n-3)}] + \dots + [(1+i)^{(n-n)}] + (1+i) + 1 \} \cdot \text{CF} + \{ \text{SV} + \text{WCI} \}$$

$$S = i + 1 \cdot \text{CF} + \{ \text{SV} + \text{WCI} \}$$

Dari hasil trial& error diatas, diperoleh :

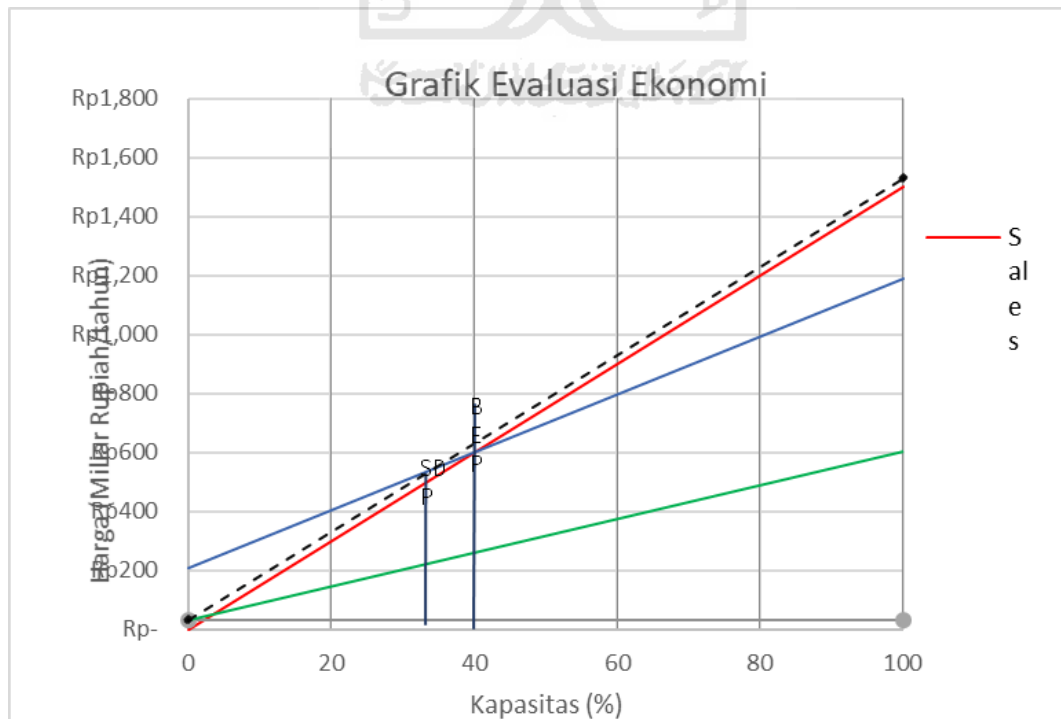
$$R = 11,658,087,855,597.00$$

$$S = 29777864923681.20$$

$$i = 0.1282$$

$$\text{Interest (i)} = 12.82 \%$$

Grafik Evaluasi ekonomi



Setting kelayakan :

harga bahan baku = \$46,989,856.72 Kg

harga produk = \$422,326,294.00 Kg

Gaji karyawan = Rp2,798,000,011.00

Kriteria	Terhitung	Persyaratan	Referensi
ROI sebelum pajak	30%	ROI before taxes	Aries Newton, P.193
ROI setelah pajak	15%	minimum low 11 %, high 44%	
POT sebelum pajak	2,75	POT before taxes	Aries Newton, P.196
POT setelah pajak	5.15	maksimum, low 5 th, high 2th	
BEP	40,15%	Berkisar 40 - 60%	
SDP	22,94%		
DCF	12.82%	> 9,75 bunga bank = minimum =	9.75%

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Pra Rancangan Pabrik OPC ini, beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh diantaranya:

1. Pabrik beroperasi 330 hari tiap tahunnya, selama 24 jam sehari dengan memproduksi semen OPC 2 juta ton/tahun.
2. Bahan baku yang dibutuhkan antara lain:
 - A. Batu kapur: 2.195.387,844 Ton/Tahun
 - B. Tanah liat: 812.982,103 Ton/Tahun

C. *Copper slag*: 21.122,158 Ton/Tahun

3. Pabrik membutuhkan listrik sebesar 44.360,839 kW untuk beroperasi

4. Konsumsi batu bara sebagai bahan bakar yang diperlukan ialah 67.560,096 kg/jam

5. Pabrik direncanakan dibangun di Montong, Tuban, Jawa Timur dengan total luas tanah 350.000 m²

6. Badan usaha direncanakan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan 170 tenaga kerja.

7. Hasil evaluasi ekonomi yang diperoleh:

- a. *Physical Plant Cost* = Rp. 441.338.383.479
- b. *Direct Plant Cost* = Rp. 551.672.979.350
- c. *Fixed Capital Investment* =Rp. 628.907.196.458
- d. *Direct Manufacturing Cost* =Rp. 1.731.598.134.199
- e. *Indirect Manufacturing Cost* =Rp. 603.258.181.535
- f. *Fixed Manufacturing Cost* =Rp. 81.757.935.540
- g. *Total Manufacturing Cost (MC)* =Rp.2.416.614.251.274
- h. *Working Capital* =Rp. 415.893.553.5563
- i. *General Expense (GE)* =Rp. 911.773.160.459
- j. Total biaya produksi =Rp. 3.328.387.411.733
- k. *Fixed cost (Fa)* =Rp.81.757.935.540
- l. *Variable cost (Va)* =Rp. 1.604.198.339.777
- m. *Regulated cost (Ra)* =Rp. 1.642.431.136.416
- n. ROI sebelum pajak: 30 % dan ROI sesudah pajak: 15 %

- o. POT sebelum pajak: 2,75 tahun dan POT sesudah pajak: 5,15 tahun
- p. BEP = 40,15 %
- q. SDP = 22,94 %
- r. *Interest Rate* (i) = 12,82 %

8. Beracuan data diatas kami menyimpulkan Prarancangan Pabrik *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan kaasitas 2 juta ton/tahun layak dipertimbangkan ke tahap perancangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Peray, Kurt. E. (1979). *Cement Manufacturer's Handbook*. New York: Chemical Publishing Co., Inc.
- Duda, Walter. H. (1985). *Cement Data Book: International Process Engineering in The Cement Industry. Vol. I. Bilingual 3rd revised and enlarged new edition*. Berlin: Bauverlag GmbH.
- Deolalkar, S. P. (2009). *Handbook for Designing Cement Plants*. New York: BS Publication.
- Labahn, Otto. (1983). *Cement Engineer's Handbook. 4th English Edition*, Bauverlag GMBH. Weisbaden and Berlin.
- Hewlett, Peter. C. (2006). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete. 4th Edition*. Cina: Butterworth-Heinemann, imprint of Elsevier.
- Alsop, Philip. A. (2019). *The Cement Plant Operation Handbook for Dry-Process Plants. 7th Edition*, Inggris: Tradeship Publication Ltd
- Chatterjee, Anjan. Kumar. (2018). *Cement Production Technology: Principles and Practice*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Brownell, L. E. dan Young, E. H. (1979). *Process Equipment Design. First U.S. Edition*. New York: John Wiley and Sons..
- Kern, Q. D. (1986). *Process Heat Transfer*. Singapore: International Student Edition. McGraw Hill International Book Company Inc.

Perry, R. H. (1997). *Perry's Chemical Engineer's Handbook 7th ed.* New York: Mc-Graw Hill Companies

Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineering 4th Edition.* New York: McGraw Hill Book Co. Inc.

Yaws, C. L., (1999). *Chemical Properties Handbook.* New York: McGraw Hill Company, Inc.

Couper, James. R. et al. (2010). *Chemical Process Equipment: Selection and Design. Revised 2nd Edition.* Butterworth-Heinemann, imprint of Elsevier.

Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operation.* U.S.A: Prentice Hall Inc,

Zed, Mestika. dkk (2001). *INDARUNG, Tonggak Sejarah Industri Semen Indonesia.* Jakarta: Pustaka Sinar Harapan

Austin, G.T.(1996). *Shreve's Chemical Process Industries, 5th edition.* New York: Mc Graw Hill Book Co.

Anwar, Khairil. (2011). *Analisis Perpindahan Panas pada Grate Cooler Industri Semen.* Palu: Majalah Ilmiah Mektek.

Santika, Ahmad Widia & Mulyadi, Dedi. (2017). *Geokimia Batu Kapur Montong, Tuban.* Jurnal Ris.Geo.Tam Vol 27, No. 2.

Ariesnawan, Rizka Adi. (2015). *Karakteristik Mekanik dan Dinamik CLAY SHALE Kabupaten Tuban Terhadap Perubahan Kadar Air. Tesis.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kajian Potensi Tambang Galian C Kabupaten Tuban Propinsi Jawa Timur. Profil Pertambangan dan Industri Kabupaten Tuban Jawa Timur.

Mauludi, Muhammad Syahrizal. (2014). *Pemanfaatan Copper Slag sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton Mutu K-255.* Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 2, No. 1.

Arinaldo Deon & Adiatma, Julius Christian. (2019). *Indonesia's Coal Dynamics: Toward A Just Energy Transition.* Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR).

Proxymate Analysis Calorific Values and Ultimate Analysis of Coal Samples. Sciencedirect

Pratama, Fandy Achmad Okky Pratama. *Analisis Tingkat Inventory dan Kebutuhan Peralatan Bongkar Batu Bara pada Pabrik Semen PT SEMEN INDONESIA. Tesis*

Reski, Akhmad K & Rahayu, Tutu Puji. (2018). *Laporan Kerja Praktek PT. Gresik (Persero) Tbk. Tuban, Jawa Timur*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Al Majid, Dhiyaulhaq & Sukojo, Bangun Muljo. (2017). *Pemetaan Potensi Batuan Kapur Mengginakan Citra Satelit Landsat 8 di Kabupaten Tuban. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 2*

Lampiran Peraturan Bupati Tuban Nomor 17 Tahun 2010 Tentang Penetapan Harga Dasar Mineral Bukan Logam dan Batuan.

Badan Pusat Statistik Indonesia. *Ekspor, Impor, dan Produksi Semen di Indonesia*

Asosiasi Semen Indonesia, Administrator. *Kebutuhan Semen Domestik*

Asri, Arlita Nurmaya. (2016). *Analisis Safety Stock dan Inventory Turnover pada Persediaan Bahan Baku Gypsum Pabrik Tuban*. Laporan Kerja Praktik di PT Semen Indonesia (PERSERO) Tbk. 1 Februari - 29 Februari 2016. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Tjahyo Nugroho Adji dan Eko Haryono dan Suratman Woro, "Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia" (Paper presented at Seminar PIT IGI, Universty of Indonesia, Indonesia, 1999), hal. 1

ELY, "Semen Kini Melimpah", dalam *Kompas*, 23 Februari 2019.

C Anto Saptowalyono, "Industri Semen: Optimalkan Kapasitas", dalam *Kompas*, 31 Juli 2019.

CAS, "Perindustrian: Investasi dan Ekspor Tetap Menjadi Fokus", dalam *Kompas*, 20 Februari 2018.

SNI 15-2049-2004: *Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Kapasitas Pabrik

Perhitungan Dilakukan dengan menggunakan regresi linear pada Software Matlab. Berikut adalah transkrip *M-file* yang digunakan (Modul Komputasi Proses Teknik Kimia UII, 2017: 18-19):

```
function[a, r2]=linregr(x,y)

%linregr(x,y):

% fitting kuadrat terkecil dari garis lurus terhadap data observasi

%input:

% x=variabel bebas

% y=variabel terikat

%Output

% a=vektor slope, a(1), dan intercept, a(2)

% r=coefficient of determination

n=length(x);

if length(y)~=n, error('banyaknya data x dan y harus sama'); end

x=x(:); y=y(:); %membuat vektor kolom

sx=sum(x); sy=sum(y);

sx2=sum(x.*x); sxy=sum(x.*y); sy2=sum(y.*y);

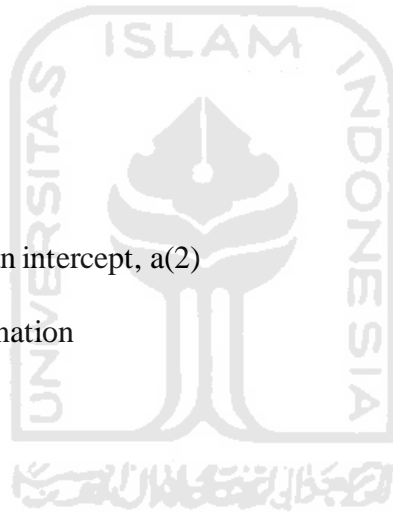
a(1)=(n*sxy-sx*sy)/(n*sx2-sx^2);

a(2)=sy/n-a(1)*sx/n;

r2=((n*sxy-sx*sy)/sqrt(n*sx2-sx^2)/sqrt(n*sy2-sy^2))^2

%membuat plot data dan garis fitting

xp=linspace(min(x),max(x),2);
```



```
yp=a(1)*xp+a(2);
```

```
plot(x,y,'o',xp,yp)
```

```
grid on
```

Untuk *fitting* kurva yang sempurna, nilai $r^2 = 1$ (Modul Komputasi Proses Teknik Kimia UII, 2017: 17). Semakin dekat nilai r^2 ke angka 1, semakin baik hasil regresinya. Selanjutnya, yang dibawah ini adalah hasil yang diperoleh dari penggunaan *M-file* diatas:

1. Menentukan ekspor semen tahun 2025

```
>> x=[2013:2017]
```

```
x =
```

```
2013    2014    2015    2016    2017
```

```
>> y=[1000149.155 575810.756 1223840.145 2082116.615 3390519.912]
```

```
y =
```

```
1.0e+06 *
```

```
1.0001    0.5758    1.2238    2.0821    3.3905
```

```
>> linregr(x,y)
```


r2 =

0.7947

ans =

1.0e+09 *

0.0006 -1.2652

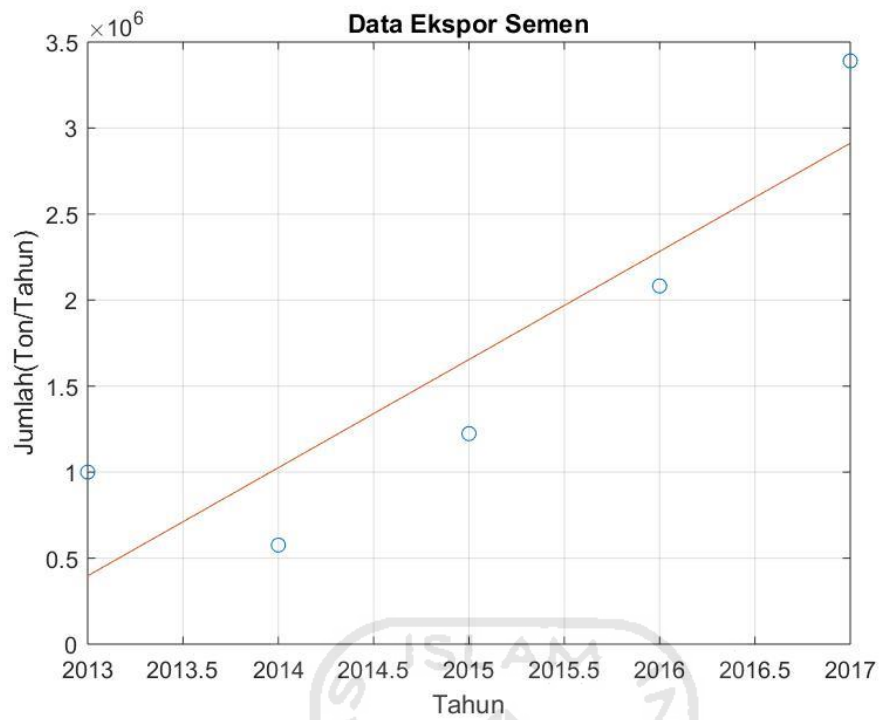
```
>> xlabel('Tahun')
```

```
>> ylabel('Jumlah(ton/tahun)')
```

```
>> title('Data Ekspor Semen Dalam Negeri')
```

```
>> title('Data Ekspor Semen')
```





```
>> persamaan_ekspor_semen=@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)
```

```
persamaan_ekspor_semen =
```

```
function_handle with value:
```

```
@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)
```

```
>> ekspor_semen=persamaan_ekspor_semen(2025)
```

```
ekspor_semen =
```

```
7.9415e+06=7941500
```

2. Menentukan Impor Semen 2025

```
>> x=[2013:2017]
```

```
x =
```

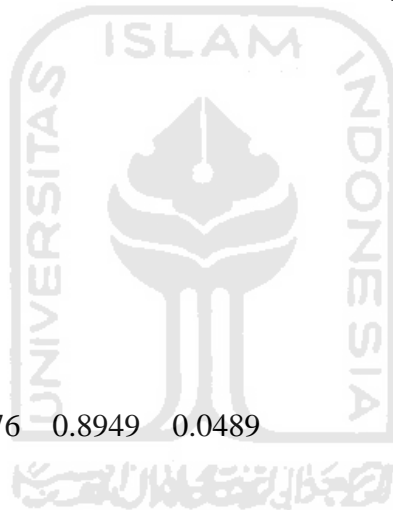
```
2013    2014    2015    2016    2017
```

```
>> y=[3725045.7 4056438 3257629.8 894857.1 48877.3]
```

```
y =
```

```
1.0e+06 *
```

```
3.7250  4.0564  3.2576  0.8949  0.0489
```



```
>> linregress(x,y)
```

```
r2 =
```

```
0.8485
```

```
ans =
```

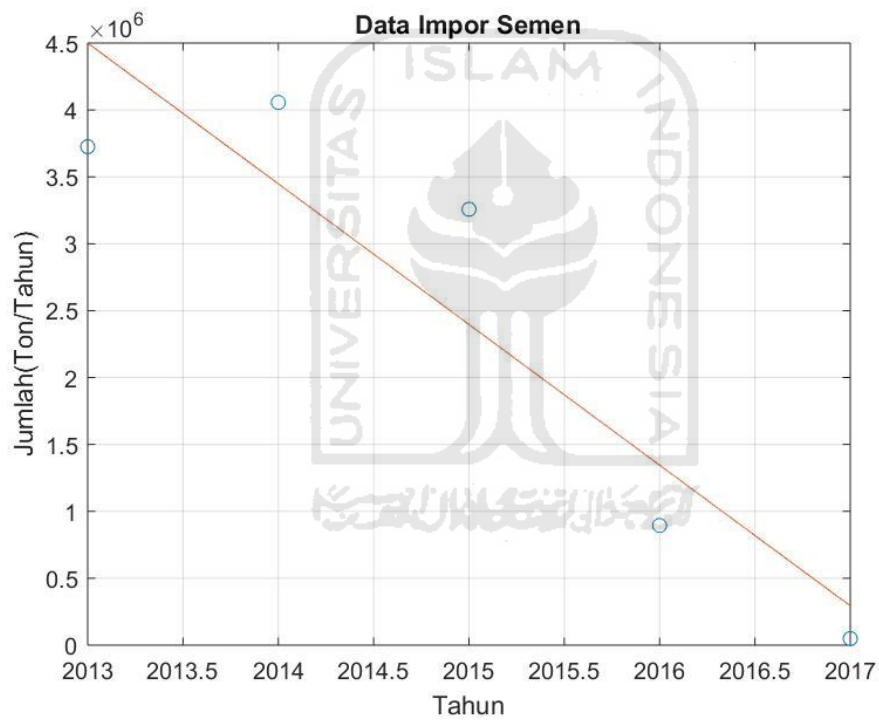
1.0e+09 *

-0.0011 2.1210

```
>> xlabel('Tahun')
```

```
>> ylabel('Jumlah(ton/tahun)')
```

```
>> title('Data Impor Semen')
```



```
>> persamaanimporsemen=@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)
```

persamaanimporsemen =

function_handle with value:

```
@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)
```

```
>> imporsemen=persamaanimporsemen(2025)
```

```
imporsemen =
```

```
-8.1173e+06=0
```

3. Menentukan Konsumsi Semen Dalam Negeri 2025

```
>> x=[2013:2017]
```

```
x =
```

```
2013    2014    2015    2016    2017
```

```
>> y=[58000000 60000000 62000000 61000000 66400000]
```

```
y =
```

```
58000000 60000000 62000000 61000000 66400000
```

```
>> linregr(x,y)
```

```
r2 =
```

0.8122

ans =

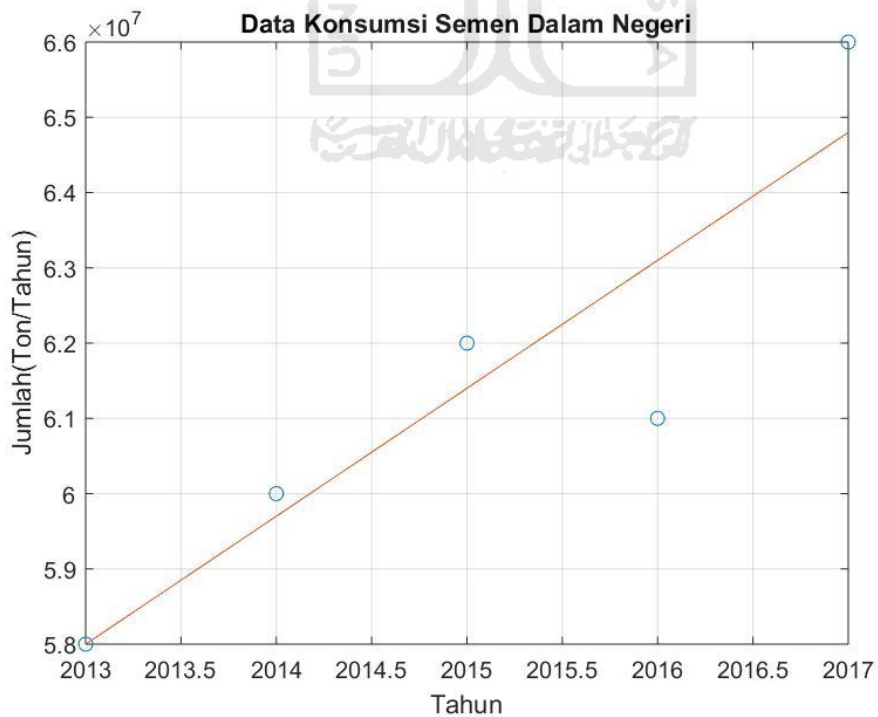
1.0e+09 *

0.0018 -3.5252

```
>> xlabel('Tahun')
```

```
>> ylabel('Jumlah(ton/tahun)')
```

```
>> title('Data Konsumsi Semen Dalam Negeri')
```



```
>> persamaankonsumsisemendalamnegeri=@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)
```

persamaankonsumsisemendalamnegeri =

function_handle with value:

@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)

>>

konsumsisemendalamnegeri=persamaankonsumsisemendalamnegeri(2025)

konsumsisemendalamnegeri =

79280000

4. Menentukan Produksi Semen Dalam Negeri 2025

>> x=[2013:2017]

x =

2013 2014 2015 2016 2017

>> y=[58003137 59909500 61994900 61639293 66349994]

y =

58003137 59909500 61994900 61639293 66349994

```
>> linregr(x,y)
```

r2 =

0.8813

ans =

1.0e+09 *

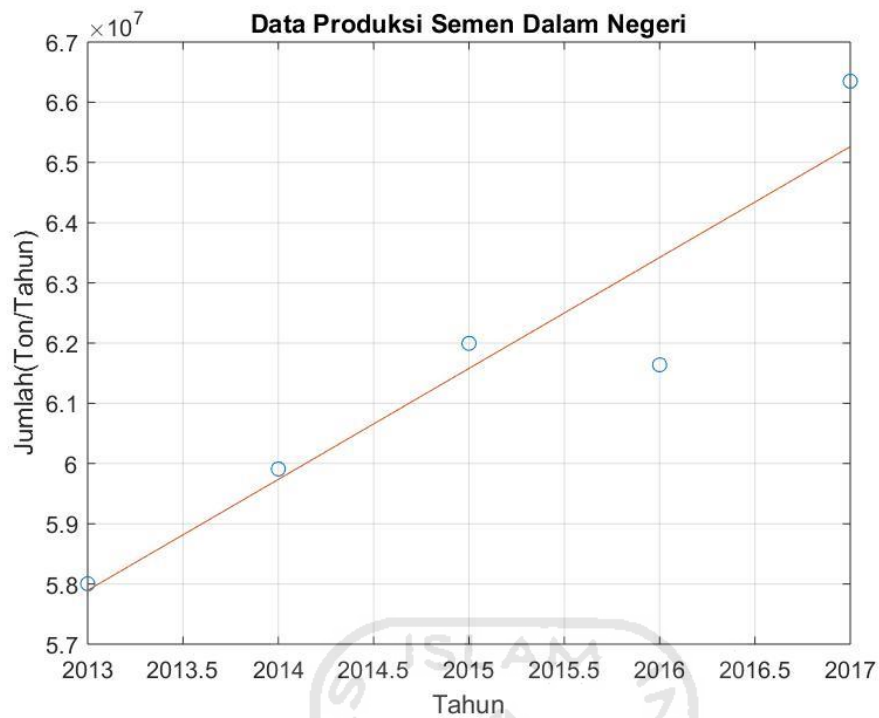
0.0018 -3.6508



```
>> xlabel('Tahun')
```

```
>> ylabel('Jumlah(ton/tahun)')
```

```
>> title('Data Produksi Semen Dalam Negeri')
```

>> persamaanproduksisemendalamnegeri=@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)

persamaanproduksisemendalamnegeri =

function_handle with value:

@(x)ans(1,1)*x+ans(1,2)

>>

produksisemendalamnegeri=persamaanproduksisemendalamnegeri(2025)

produksisemendalamnegeri =

8.0003e+07=80003000

5. Menentukan Supply & Demand

- Supply = produksidalamnegeri+imporsemen=80003000+0=80003000

- Demand =

konsumsisemendalamnegeri+eksporsemen=79280000+7941500=87221500

6. Kapasitas

- kapasitas=30% x (Demand-Supply)=2165550 ton/tahun ~ 2jt ton/tahun

A. Menghitung Proporsi Bahan Baku

Dalam menentukan neraca massa, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan kandungan bahan baku utama yang digunakan untuk membuat produk semen. Kandungan bahan baku biasanya diperoleh dari analisa XRF dan XRD yang dilakukan oleh tim survey kelayakan bahan baku (Data komposisi bahan baku, kami menggunakan data XRF dan XRD dari beberapa jurnal dengan modifikasi yang kami rasa perlu). Raw mix dihitung dengan menggunakan *Three Component Mix Calculation* untuk data LSF dan SR yang diinginkan (Peray, 1979:17-21). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Software Microsoft Excel. Berikut adalah data dan hasil perhitungan yang diperoleh:

	Limestone	clay	copper slag
SiO ₂	0.30	46.82	25.84
Al ₂ O ₃	0.01	17.23	0.22
Fe ₂ O ₃	0.00	6.38	68.29
CaO	54.47	7.00	0.15

MgO	1.50	1.30	0.20
Total	56.28	78.73	94.70
LSF =	0.92		
r=	1.9		

$a_1 = -53.6841$ $c_1b_2 = 52.3400705$
 $b_1 = 144.27582$ $c_2b_1 = -15052.15202$
 $c_1 = -26.6905$ $a_1b_2 = 105.2745201$
 $a_2 = -0.27758$ $a_2b_1 = -40.04808212$
 $b_2 = -1.961$ $a_1c_2 = 5600.808469$
 $c_2 = -104.329$ $a_2c_1 = 7.40874899$

$X = 103.937666$
 $Y = 38.48953731$
 1
total: 143.4272033

$z = 0.697217806$

% material 1 = 72.47
% material 2 = 26.84
% material 3 = 0.70
total = 100 %

Komponen	Limestone	clay	copper slag
SiO ₂	0.22	12.56	0.18

Al ₂ O ₃	0.01	4.62	0.00
Fe ₂ O ₃	0.00	1.71	0.48
CaO	39.47	1.88	0.00
MgO	1.09	0.35	0.00
H ₂ O	28.25	5.70	
Impuritas	3.43	0.01	0.04
total	72.47	26.84	0.70

Sehingga diperoleh perbandingan 72,47:26,84:0,70 untuk batukapur, tanah liat dan copper slag.

B. Menghitung komposisi Raw Mix

Dari perhitungan proporsi bahan baku diatas, tabel dibawah ini merupakan komposisi raw mix dalam silo untuk pabrik dengan kapasitas 2 juta ton/tahun:

Komponen	F (kg/jam)	XF	BM (kmol/kg)	N (kmol/jam)	XN
SiO ₂	48589.483	0.130	60.084	808.699	0.074
Al ₂ O ₃	17357.231	0.046	101.961	170.234	0.015
Fe ₂ O ₃	8216.181	0.022	159.687	51.452	0.005
CaO	155009.216	0.414	56.077	2764.221	0.251
MgO	5387.752	0.014	40.304	133.678	0.012
H ₂ O	127283.578	0.340	18.015	7065.422	0.643
Impuritas	13017.957	0.035			
Total	374861.397	1.000	436.128	10993.706	1.000

Dan tabel berikutnya, merupakan raw mix yang sudah dikeringkan di

Preheater:

Komponen	F (kg/jam)	XF	BM (kmol/kg)	N (kmol/jam)	XN
SiO ₂	48589.483	0.196	60.084	808.699	0.206
Al ₂ O ₃	17357.231	0.070	101.961	170.234	0.043

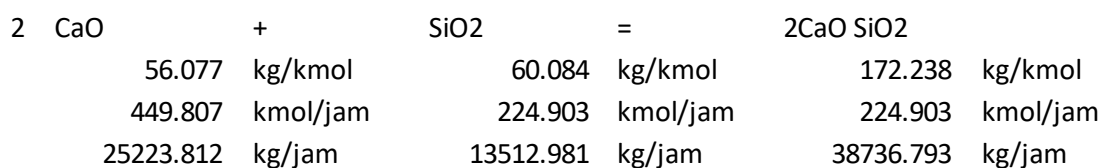
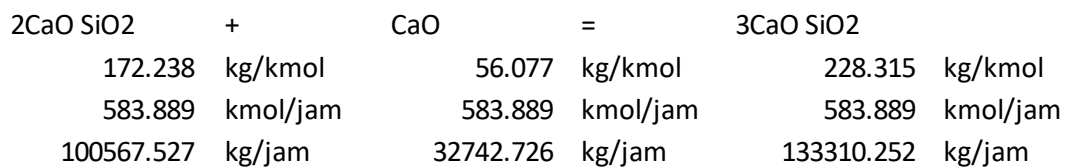
Fe ₂ O ₃	8216.181	0.033	159.687	51.452	0.013
CaO	155009.216	0.626	56.077	2764.221	0.704
MgO	5387.752	0.022	40.304	133.678	0.034
Impuritas	13017.957	0.053			
Total	247577.819	1.000	418.113	3928.284	1.000

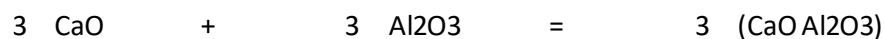
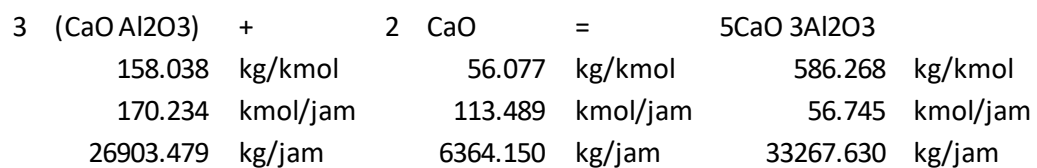
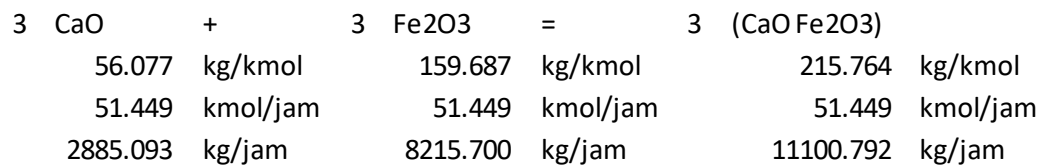
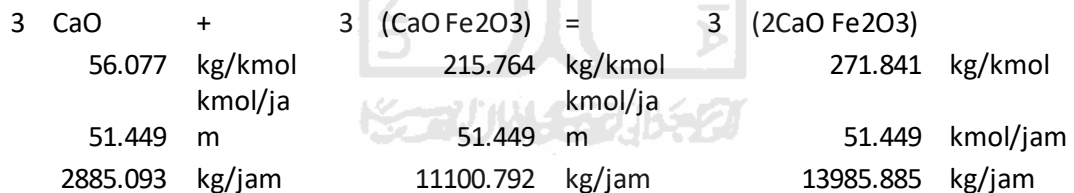
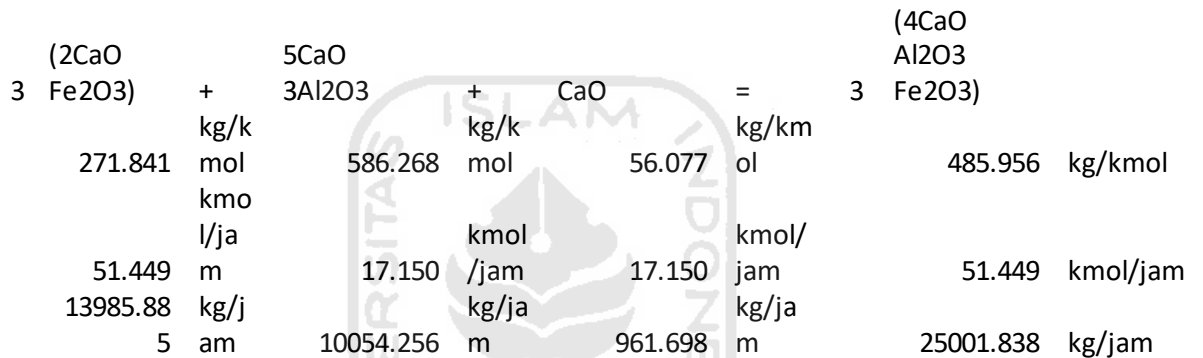
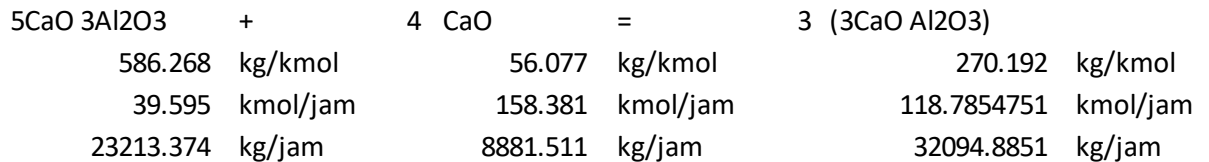
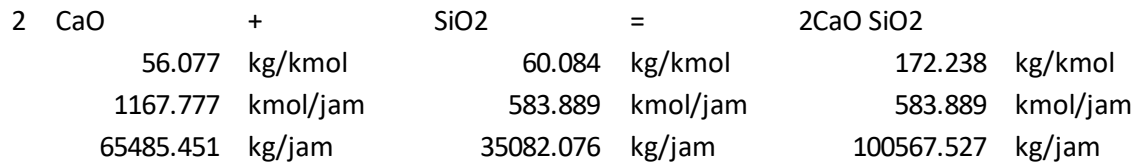
B. Menggunakan Formula *Bogue*

Untuk menghitung komposisi terak, digunakan Formula *Bogue*, seperti yang tertera dalam *Quality Control Formula* di Bab II. Formula *Bogue* dihitung berdasarkan jumlah raw mix yang telah dikeringkan di *Preheater* dan masuk ke dalam *Rotary Kiln*. Tabel dibawah merupakan komposisi terak yang dihitung dengan menggunakan Formula *Bogue*:

Komponen	%massa	massa (kg/jam)
C3S (3CaO SiO ₂)	53.846	133310.3
C2S (2CaO SiO ₂)	15.646	38736.8
C4AF (4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃)	10.099	25001.8
C3A (3CaO Al ₂ O ₃)	12.964	32094.9
MgO	2.176	5387.8
Impuritas	5.258	13018.0
Total	99.989	247549.476

Berdasarkan tabel diatas dan reaksi yang terjadi di *Rotary Kiln*, kami asumsikan hal ini yang terjadi:





56.077	kg/kmol	101.961	kg/kmol	158.038	kg/kmol
	kmol/ja		kmol/ja		
170.234	m	170.234	m	170.234	kmol/jam
9546.226	kg/jam	17357.254	kg/jam	26903.479	kg/jam

Komponen	mula-mula (kg/jam)	Bereaksi (kg/jam)	sisa	konversi (%)
SiO ₂	48589.482694	48595.056635	-5.573941	1.000115
Al ₂ O ₃	17357.231255	17357.253735	-0.022480	1.000001
Fe ₂ O ₃	8216.180689	8215.699526	0.481163	0.999941
CaO	155009.215787	154975.757834	33.457953	0.999784

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diasumsikan semua komponen bereaksi 100% kecuali CaO, sehingga masih terdapat sisa CaO dalam terak dan komponen lain yang tidak bereaksi seperti MgO dan impuritas. Sehingga diperoleh komposisi terak:

Komponen	F (kg/jam)	XF	BM (kmol/kg)	N (kmol/jam)	XN
C ₃ S	133310.252	0.538	228.315	583.889	0.525
C ₂ S	38736.793	0.156	172.238	224.903	0.202
C ₄ AF	25001.838	0.101	485.956	51.449	0.046
C ₃ A	32094.885	0.130	270.192	118.785	0.107
CaO sisa	28.343	0.000	56.077	0.505	0.000
MgO	5387.752	0.022	40.304	133.678	0.120
Impuritas	13017.957	0.053			
Total	247577.819	1.000	1253.081	1113.210	1.000

C. Menghitung Produk Semen OPC (Ordinary Portland Cement)

Produk OPC dalam prarancangan pabrik kami, komposisinya terdiri atas ~96% terak dan ~4% *gypsum* sebagai bahan aditif yang berguna sebagai retarder, agar semen tidak terlalu cepat mengeras sehingga diperoleh kekuatan semen yang sesuai. Tabel dibawah adalah komposisi produk semen OPC yang dihasilkan:

Komponen	F (kg/jam)	XF	BM (kmol/kg)	N (kmol/jam)	XN
C3S	130644.047	0.517	228.315	572.211	0.492
C2S	37962.057	0.150	172.238	220.405	0.189
C4AF	24501.801	0.097	485.956	50.420	0.043
C3A	31452.987	0.125	270.192	116.410	0.100
CaO	27.776	0.000	56.077	0.495	0.000
MgO	5279.997	0.021	40.304	131.004	0.113
CaSO4	9898.990	0.039	136.144	72.710	0.062
Impuritas	12757.598	0.051			
Total	252525.253	1.000	1389.225	1163.655	1.000

D. Perhitungan Alat

Dalam perhitungan kapasitas alat, dilakukan penentuan *safety margin*. *Safety margin* yang digunakan adalah (Deolalkar, 2009: *Chapter 9*, hal. 62-64) :

- untuk *conveyor* 20%
- untuk *rotary kiln* 30%
- untuk *crusher* 20%
- untuk *cement mills* 10%

1. Belt Conveyor

Untuk menghitung kapasitas belt conveyor, laju alir dalam belt conveyor dikalikan dengan *safety margin* ditambah 100%. Setelah kapasitas alat diperoleh, Tabel 21.7 Perry 7th Edition, digunakan sebagai acuan spesifikasi alat.

Contoh:

Menghitung *Belt Conveyor* dari penampungan batu kapur ke *Hammer Crusher* batu kapur:

Laju alir massa = 277,196 ton/jam

Kapasitas desain = 120% x 277,196 Ton/jam = 332,635 Ton/jam

Kapasitas alat terdekat yang tersedia = 330 Ton/jam

Sehingga spesifikasi alat yang digunakan:

Kapasitas: 330 Ton/jam

Lebar: 42 inch

Cross sectional area of load: 1,09 ft²

Kecepatan: 100 ft/menit

Daya/10 ft *lift*: 3,5 hp

Daya/10 ft *centers*: 2,28 hp

Dan seterusnya untuk *belt conveyer* yang lain.

2. *Hammer crusher*

Menentukan *Hamer Crusher* mirip dengan cara menentukan *belt conveyer*.

Pertama menentukan laju alir massa, kedua kalikan dengan *safety margin+100%* dan ketiga cek spesifikasi alat yang tersedia di Tabel 20.14

Perry 7th Editions.

Contoh:

Menghitung *Hammer Crusher* sebagai alat penghancur batu kapur:

Laju alir massa = 277,195 Ton/jam

Kapasitas desain = 277,195 x 120% = 332,635 Ton/jam

Kapasitas alat terdekat yang tersedia: 330 Ton/jam

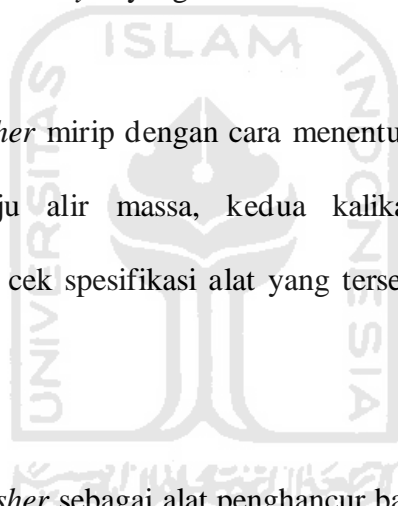
Sehingga spesifikasi alat yang digunakan:

Model: 815

Kapasitas: 330 Ton/jam

Rotor dimension: 48 x 90 in

Maximum feed size: 10 in



Daya = 900 hp

Dan seterusnya untuk *clay cutter*, karena *clay cutter* juga termasuk ke dalam *hammer crusher*.

3. *Apron conveyor*

Untuk menghitung kapasitas belt conveyor, laju alir dalam belt conveyor dikalikan dengan *safety margin* ditambah 100%. Setelah kapasitas alat diperoleh, Tabel 21.11 Perry 7th Edition, digunakan sebagai acuan spesifikasi alat.

Menghitung *apron conveyor* untuk mengangkut batu kapur dari screen ke silo:

Laju alir massa = 271,652 Ton/jam

Sehingga spesifikasi alat yang digunakan:

Lebar: 54 in

Kecepatan: 100 ft/menit

Sudut inklinasi = 20°

Faktor baham = 1,2

$$\begin{aligned} H \text{ (jarak horizontal)} &= \text{tinggi silo} / \text{TAN}(\text{sudut inklinasi}) \\ &= 28,631 \text{ m} / \text{TAN}(20^\circ) = 12,798 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang conveyor} &= 28,631 \text{ m} / \sin(\text{sudut inklinasi}) \\ &= 28,631 \text{ m} / \sin(20^\circ) = 47,84 \text{ m} \end{aligned}$$

$P = \text{Laju alir massa (dalam Ton/jam)} \times (\text{H} \times 0,002 + \text{Tinggi silo} \times 0,001) \times$
faktor bahan

$$\begin{aligned} &= 271,652 \text{ Ton/jam} \times (12,798 \text{ m} \times 0,002 + 28,631 \text{ m} \times 0,001) \times 1,2 \\ &= 17,677 \text{ hp} \end{aligned}$$



4. *Screw Conveyor*

Screw Conveyor juga mirip cara perhitungannya dengan alat-alat sebelumnya, hanya saja tabel yang digunakan sebagai acuan alat adalah Tabel 21.6 masih di buku yang sama.

Contoh:

Menghitung *Screw Conveyor* untuk mengangkut dari *screen* batu kapur ke penampungan batu kapur.

Laju alir massa = 5,544 Ton/jam

Kapasitas desain = 5,544 Ton/jam x 120% = 6,653 Ton/jam

Kapasitas alat terdekat yang tersedia = 10 Ton/jam

Sehingga spesifikasi alat yang digunakan:

Kapasitas: 10 Ton/jam

Diameter of flight: 10 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of flight: 2 in

Kecepatan: 55 rpm

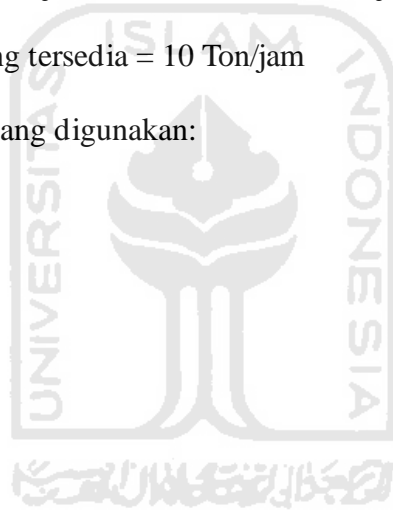
Panjang: 15 ft

Daya motor: 0,85 hp

Dan seterusnya untuk *screw conveyor* yang lain kecuali untuk *screw conveyor copper slag* ke *silo*.

Menghitung *screw conveyor* yang mengangkut *copper slag* dari *screen* ke *silo* karena untuk *screw conveyor* dari *copper slag* ke *silo*, *screw conveyor* miring untuk mencapai tinggi *silo*:

Laju alir massa = 2,614 Ton/jam



Kapasitas desain = 2,614 Ton/jam x 120% = 3,137 Ton/jam

Spesifikasi alat yang digunakan:

Kapasitas: 5 Ton/jam

Diameter of flight: 9 in

Diameter of pipe: 2,5 in

Diameter of flight: 2 in

Kecepatan: 40 rpm

Menghitung panjang *conveyor*:

Sudut inklinasi = 20°

$$\begin{aligned} \text{Panjang screw conveyor} &= \text{tinggi silo yang dituju} / \text{SIN}(\text{diameter of pipe}) \\ &= 28,631 \text{ m} / \sin (2,5) = 47,84 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H (jarak horizontal)} &= \text{tinggi silo yang dituju} / \text{TAN}(\text{sudut inklinasi}) \\ &= 28,631 \text{ m} / \text{TAN} (20^\circ) = 12,798 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P (daya motor)} &= \text{Panjang conveyor} / (\text{ft/hp}) \\ &= 12,798 \text{ m} \times 3,281 / (15/0,43) \end{aligned}$$

5. *Bucket Elevator*

Untuk menghitung *bucket elevator*, Tabel 21.8 Perry 7th Edition digunakan sebagai acuan ketersediaan alat.

Menghitung *Bucket Elevator silo* ke *preheater*:

Laju alir massa = 374,861 Ton/jam

Karena di Tabel 21.8 Perry 7th Edition tidak ada alat dengan kapasitas yang diinginkan, maka alat yang digunakan ada 3.

Laju alir massa per alat = 374,861 Ton/jam / 3 = 124,954 Ton/jam

Sehingga spesifikasi alat yang digunakan:

Kapasitas : 150 Ton/jam

Lebar *bucket*: 16 in

Proyeksi *bucket*: 8 in

Kedalaman: 8,5 in

Jarak antar *bucket*: 18 in

Kecepatan desain: 91,4 m/menit

Daya per kepala sumbu: 8,5 hp

Daya per 1ft: 1,165 hp

Diameter *pulley*

Head: 20 in

Tail: 20 in

Lebar *belt*: 18 in

Kecepatan desain = (Laju alir massa / kapasitas desain) x kecepatan desain

$$= (124,954 \text{ Ton/jam} / 150 \text{ Ton/jam}) \times 91,4 \text{ m/menit}$$

$$= 76,139 \text{ m/menit}$$

Tinggi *elevator* = Tinggi preheater x 102% x 39,3701 in

$$= 1168,583 \text{ in}$$

Panjang *belt* = 2 x tinggi *elevator* + Diameter *Head pulley*

$$= 2 \times 1168,583 \text{ in} + 20 \text{ in}$$

$$= 2367,167 \text{ in}$$

Jumlah *bucket* = panjang *belt* x (1/16)

$$= 2367,167 \text{ in} \times (1/16)$$

$$= 147,948 \sim 148 \text{ buah}$$

P = Daya pada kepala sumbu + (0.14 x tinggi *elevator* x 0.08333)

$$= 8,5 \text{ hp} \times (0.14 \times 1168,583 \text{ in} \times 0.08333)$$

$$= 22,133 \text{ hp}$$

$$P (\text{efisiensi motor } 80\%) = 80\% \times 22,133 \text{ hp} = 27,666 \text{ hp}$$

$$\text{Total daya 3 alat} = 27,666 \text{ hp} \times 3 = 82,998 \text{ hp}$$

Dan seterusnya untuk *bucket elevator* lainnya.

6. Preheater

$$\text{Laju alir massa} = 374,861 \text{ Ton/jam} = 374,861 \text{ Ton/jam} \times 24 = 8.496,996$$

Ton/hari

Spesifikasi alat yang digunakan (Duda, Ed.3, 1985: 501):

Kapasitas: 8500 Ton/hari

Cyclone 1, 2, 3, 4: 9,5 m ; 6,2 m ; 8,3 m ; 5,1 m

7. Rotary Kiln

$$\text{Laju alir massa} = 130\% \times 247.577,819 \text{ kg/jam} / 3600 = 89,403 \text{ kg/s}$$

V_g , Volume gas keluar *rotary kiln* per ton terak pada proses kering (Duda, Ed.3, 1985: 413) = 1,086 m³/kg

v (*gas velocity in the discharge end*) = 4 m/s

$$D = \sqrt{\frac{Q \times V_g}{2,826 \times v}}$$
$$= \sqrt{\frac{89,403 \times 1,086}{2,826 \times 4}}$$

$$= 2,931 \text{ m}$$

$$L/D (\text{Duda, Ed.3, 1985: 441}) = 16$$

$$L = 16 \times D = 16 \times 2,931 \text{ m} = 46,892 \text{ m}$$

$$N, \text{ Figure 19.5 (Duda, Ed.3, 1985: 388)} = 2,3 \text{ rpm}$$

$$\text{Percent Slope (Duda, Ed.3, 1985: 386)} = 4$$

Corresponding kiln load, Tabel 19.1. (Duda, Ed.3, 1985: 385). = 10%

Slope of kiln (slope of degree) (Alsop, Ed.3, 2001: 245) = 2,4

T (kiln retention time) (Alsop, Ed.3, 2001: 245) = 11,2L/NDs

= 11,2 x 2,931/2,3 x 46,892 x 2,4 = 32,464 menit

kW (Alsop, Ed.3, 2001: 246) = 3,14 x L x (D/2)² /4.7

$$= 3,14 \times 46,892 \times (2,931/2)^2 / 4,7$$

$$= 67,269$$

v (velocity in burner nozzle), Figure 19.20. (Duda, Ed.3, 1985: 404) = 58 m/s

w (coal dust required to burn 1 kg clinker) = Heat consumption (Ditentukan dari Figure 18.1 (Duda, Ed.3, 1985: 348)) / LHV Bahan bakar = 6615,46 kJ/kg / 24242,73 kJ/kg = 0,273 kg/kg terak

V' (udara yang dibutuhkan untuk membakar 1kg terak) = (Total kebutuhan udara / kebutuhan batu bara)/1,1644 = (954.293, 842 kg/jam / 67.560,096 kg/jam)/1,1644 = 12,131 m³/kg

V (primary air) = V' x w x Laju alir massa kiln setelah dikali safety margin x 20/(3600 x 100) (Duda, Ed.3, 1985: 403) = 59,190 m³/detik

d (diameter of coal dust burner) (Duda, Ed.3, 1985: 403) =

$$1000 \times \sqrt{1,3 \times \frac{V}{v}}$$

$$= 1000 \times \sqrt{1,3 \times \frac{59,190}{58}}$$

$$= 1151,816 \text{ mm}$$

Panjang burner nozzle, Figure 19.30 (Duda, Ed.3, 1985: 416) = 4d = 4 x

$$1151,816 = 4607,264 \text{ mm}$$

$$\text{Burning zone} = 5D = 5 \times 2,931 \text{ m} = 14,654 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan } \textit{burning zone} &= 2 \times 3,14 \times r \times \textit{burning zone} \\ &= 2 \times 3,14 \times (2,931 \text{ m} / 2) \times 14,654 \text{ m} \\ &= 134,85 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Magnesite brick:

$$\text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tebal} = 230 \times 114 \times 65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan } \textit{magnesite brick} &= (\text{Panjang} \times \text{lebar}) / 1000000 \\ &= (230 \text{ mm} \times 114 \text{ mm}) / 1000000 \\ &= 0,026 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Magnesite brick yang dibutuhkan = luas permukaan *burning zone* / luas permukaan *magnesite brick* = $134,85 \text{ m}^2 / 0,026 \text{ m}^2 = 5413,008 \sim 5413$ buah

$$\text{Luas permukaan } \textit{rotary kiln} - \text{luas permukaan } \textit{burning zone} = (2 \times 3,14 \times r \times L) - 0,026 \text{ m}^2 = 296.669 \text{ m}^2$$

High Alumina Brick

$$\text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tebal} = 230 \times 114 \times 65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan } \textit{brick} &= (\text{Panjang} \times \text{lebar}) / 1000000 \\ &= (230 \text{ mm} \times 114 \text{ mm}) / 1000000 \\ &= 0,026 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{High Alumina brick yang dibutuhkan} &= 296.669 \text{ m}^2 / 0,026 \text{ m}^2 \\ &= 11.314,618 \sim 11.315 \text{ buah}\end{aligned}$$

8. Grate Cooler

$$\text{Jumlah terak/30 menit} = \text{Laju alir massa} \times 30/60 = 123.788,91 \text{ kg}$$

$$\text{Bulk density terak} = 1521,749 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume desain} = \text{jumlah terak per 30 menit} / \text{bulk density terak}$$

$$= 123.788,91 \text{ kg} / 1521,749 \text{ kg/m}^3$$

$$= 81,347 \text{ m}^3$$

$$P = 7,757 \text{ m}$$

$$L = 5,766 \text{ m}$$

$$T = \sqrt{\frac{\text{Volume desain}}{24}} = \sqrt{\frac{81,347}{24}} = 1,841 \text{ m}$$

Kebutuhan udara (Duda, Ed.3, 1985: 546) = 2,4 m³/kg terak

Kapasitas blower (Duda, Ed.3, 1985: 546) = 3,4 m³/kg terak

Jumlah blower = 16

Q_i = Total kebutuhan udar di *Grate Cooler* / (densitas udara suhu 30°C x jumlah blower)

$$= 187.262,711 \text{ kg/menit} / (1,168 \times 16) = 10.020,479 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$V_i = Q_i / (T \times L) = 10.020,479 \text{ m}^3/\text{menit} / (1,841 \text{ m} \times 5,766 \text{ m})$$

$$= 943,952 \text{ m/menit} = 3.096,957 \text{ ft/menit}$$

$$P_v \text{ (velocity Pressure)} = (\text{densitas udara suhu } 30^\circ\text{C} \times V_i^2) / 1,203 \times 10^6$$

$$= 0,582 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$P_s = 3 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$\text{Tekanan total sistem} = P_v + P_s = 3,582 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$\text{Daya Output fan} = 0.000157 \times \text{tekanan total sistem} \times Q_i$$

$$= 5,635 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi fan } 80\% = \text{Daya Output fan} / 0,8 = 7,044 \text{ hp}$$

9. Cyclone Separator

$$\text{Laju alir massa} = 257,679 \text{ Ton/jam}$$

$$\text{Jumlah cyclone separator} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju alir massa tiap cyclone separator} &= 257,679 \text{ Ton/jam} / 2 \\ &= 128,839 \text{ Ton/jam} \end{aligned}$$

$$D \text{ (diameter), Tabel 15.6. (Duda, Ed.3, 1985: 276)} = 5,6 \text{ m}$$

$$\text{Kebutuhan udara} = 120000 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Densitas udara suhu } 30^\circ\text{C} = 1,168 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densitas partikel} = 1513,205 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Laju alir volume partikel masuk} = \text{laju alir massa/densitas}$$

$$\begin{aligned} &= 257.679,829 \text{ kg/jam} / 1513,205 \text{ kg/m}^3 \\ &= 170,287 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$Q \text{ (Total laju alir masuk)} = \text{kebutuhan udara} + \text{Laju alir volume partikel}$$

$$= 120000 \text{ m}^3/\text{jam} + 170,287 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 120.170,287 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Bc \text{ (lebar pipa masuk)} = D/4 = 1,4 \text{ m}$$

$$De \text{ (diameter pipa gas keluar)} = D/2 = 2,8 \text{ m}$$

$$Hc \text{ (tinggi pipa udara masuk)} = D/2 = 2,8 \text{ m}$$

$$Lc \text{ (tinggi silinder)} = 2D = 11,2 \text{ m}$$

$$Zc \text{ (tinggi konis)} = 2D = 11,2 \text{ m}$$

$$Jc \text{ (diameter pipa dust output)} = D/4 = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Total tinggi cyclone} = Zc+Lc = 22,4 \text{ m}$$

$$\text{Kapasitas desain, Tabel 15.6.3.(Duda, Ed. 3, 1985: 278)} = 130$$

$$\text{Putaran rotor} = 120 \text{ rpm}$$

$$\text{Power rotor} = 65 \text{ kW}$$

$$\text{Blower power input} = 221 \text{ kW}$$

$$\text{Total power input} = (221+65)\text{kW} \times 1,314 \text{ hp} = 375,833 \text{ hp}$$

10. *Dust Collector*

Laju alir massa = 128,839 Ton/jam

Jumlah *cyclone separator* = 2

Laju alir massa tiap *cyclone separator* = 128,839 Ton/jam / 3
= 42,947 Ton/jam

D (diameter), Tabel 15.6. Duda, Ed.3, 1985: 276) = 3,35 m

Kebutuhan udara = 45000 m³/jam

Densitas udara suhu 30°C = 1,168 kg/m³

Densitas partikel = 1513,205 kg/m³

Laju alir volume partikel masuk = laju alir massa/densitas

$$= 252.525,253 \text{ kg/jam} / 1513,205 \text{ kg/m}^3$$

$$= 166.881 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Q (Total laju alir masuk) = kebutuhan udara + Laju alir volume partikel

$$= 120000 \text{ m}^3/\text{jam} + 170,287 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 45.166,881 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Bc (lebar pipa masuk) = D/4 = 0,838 m

De (diameter pipa gas keluar) = D/2 = 1,675 m

Hc (tinggi pipa udara masuk) = D/2 = 1,675 m

Lc (tinggi silinder) = 2D = 6,7 m

Zc (tinggi konis) = 2D = 6,7 m

Jc (diameter pipa *dust output*) = D/4 = 0,838 m

Total tinggi *cyclone* = Zc+Lc = 13,4 m

Kapasitas desain, Tabel 15.6.3. (Duda, Ed. 3, 1985: 278) = 130

Putaran *rotor* = 120 rpm

Power rotor = 65 kW

Blower power input = 221 kW

Total power input = (221+65)kW x 1,314 hp = 375,833 hp

11. Silo

Fungsi = tempat penampungan raw mix dan homogenisasi selama 12 jam

a. Menghitung volume silinder dan volume konis

Laju alir massa = 374861,3969 kg/jam

Bulk density raw mix = 1520,333 kg/m³

Volume = (laju alir massa/bulk density) x 12 = 2958,784 m³

Terisi 80%, maka V silo = 2958,784 m³/0,8 = 3698,48 m³

b. Mengitung volume silinder (Vs)

Direncanakan ho = 1,5 Do

$V_s = 3,14/4 \times D_o^2 \times 1,5D_o$

$V_s = 1,178 D_o^3$

Menghitung volume konis (Vk)

Ditetapkan diameter bukaan (db) = 80 cm = 0,8 m

$V_k = (3,14/12) \times \text{tg}(45/2) \times (D_o^3 - 0,8^3)$

$V_k = 0,131(D_o^3 - 0,512 \text{ m}^3)$

$V = V_s + V_k$

$3698,48 \text{ m}^3 = 1,178D_o^3 + 0,131D_o^3 - 0,067\text{m}^3$

$3698,48 \text{ m}^3 = 1,309 D_o^3$

$D_o^3 = 2825,475 \text{ m}^3$

$D_o = 14,13 \text{ m}$

$V_s = 1,178 \times 12,393 \text{ m}^3 = 6643,813 \text{ m}^3$

$$V_k = 369,504 \text{ m}^3$$

$$h_1 = \text{TAN}(45/2) \times (D_o - d_b) = 7,436 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi silo} = h_o + h_1 = 28,631 \text{ m}$$

$$t = \frac{14,7 \times 14,13 \times \frac{1}{2} \times 39,3701}{(17500 \times 0,7) - (0,6 \times 14,7)} + 0,125$$

$$= 0,459 \text{ in}$$

Dan seterusnya untuk *silo* lainnya.

12. *Blower*

Fungsi: memompa udara pembakar batu bara

$$\text{Densitas udara suhu } 30^\circ\text{C} = 1,168 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kebutuhan udara pembakar} = 954.293,842 \text{ kg/jam}$$

$$T \text{ udara masuk} = 30^\circ\text{C} = 303,18 \text{ K}$$

$$R = 8314,3 \text{ J/kmol K}$$

$$\text{BM udara} = 28,84 \text{ kg/kmol}$$

$$P_1 = 101,33 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 151,995 \text{ kPa}$$

Dari Persamaan 3.3-12 (Geankoplis, 1993: 139)

$$-W_s = \frac{2,3026 \times R \times T_1}{M} \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$-W_s = \frac{2,3026 \times 8.314,3 \times 303,18}{28,84} \log \left(\frac{151,995}{101,33} \right)$$

$$-W_s = 35439,475 \text{ J/kg}$$

$$\text{Efisiensi} = 80\%$$

$$\text{BHP, Persamaan 3.3-2 (Geankoplis, 1993: 134)} = (-W_s \times m) / (\eta \times 550)$$

$$\text{BHP} = 2351,893 \text{ J/detik}$$

$$1 \text{ J/s} = 0,0013 \text{ hp}$$



$$\text{BHP} = 2351,893 \text{ J/detik} \times 0,0013 \text{ hp}$$

$$\text{BHP} = 3,058 \text{ hp}$$

Dan seterusnya untuk *Blower* lainnya.

13. Pompa

Fungsi: mengalirkan air sungai ke tangki penampungan air sungai

$$\text{Laju alir massa} = 2691676,971 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ (densitas air)} = 996,8 \text{ kg/m}^3 = 62,2 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ air (viskositas air)} = 0,7972 \text{ cp}$$

$$Q_f \text{ (laju alir volume)} = \text{Laju alir massa} / \rho \text{ (densitas air)}$$

$$= 2691676,971 \text{ kg/jam} / 996,8 \text{ kg/m}^3$$

$$= 2970,35 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 29,138 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Asumsi aliran turbulen (Peters dan Timmerhaus, 1991: 496) :

$$D_{i,opt} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

$$= 30,428 \text{ in}$$

Di dibagi 2 instalasi pipa menjadi: 15,21 in

Dari buku Kern, Tabel 11 hal.844, dipilih pipa dengan spesifikasi:

$$\text{Diameter nominal} = 18 \text{ in} = 1,5 \text{ ft}$$

$$\text{OD (Outside diameter)} = 18 \text{ in} = 1,5 \text{ ft}$$

$$\text{ID (Inside diameter)} = 17,25 \text{ in} = 1,437 \text{ ft}$$

$$\text{Schedule number} = 60$$

$$\text{Inside sectional area (A)} = 3,14 \times (\text{ID}^2/4) = 0,518 \text{ ft}^2$$

$$V \text{ (kecepatan linear fluida)} = Q_f / A = 56,272 \text{ ft/detik}$$

$$\text{NRE (bilangan Reynold)} = (\rho \times V \times \text{ID})/\mu$$

$$= (62,2 \text{ lb/ft}^3 \times 56,272 \text{ ft/detik} \times 1,437 \text{ ft}) \times$$

$$(0,7972 \text{ cp} \times 6,7197 \times 10^{-4} \text{ lbm/ft detik})$$

$$= 1499691,38 \text{ (aliran turbulen, sesuai asumsi)}$$

Menentukan faktor friksi dalam pipa:

Bahan konstruksi *commercial steel*, Figure 14-1 (Peters dan Timmerhaus, 1991: 482):

$$\varepsilon \text{ (equivalent of roughness)} = 0,00015 \text{ ft}$$

$$\varepsilon / D = 0,00010439$$

$$f \text{ (fanning friction factor)} = 0,0035$$

Menghitung instalasi pipa:

Pipa lurus, 6 buah (L) = (500m+tinggi tangki penampung air sungai+1m+3m) x 2

$$= 1049,041\text{m} = 3441,737 \text{ ft}$$

Elbow 90°, 3 buah (L/Di = 32) = 275,89 ft

Gate valve fully open, 2 buah (L/Di=7) = 40,234 ft

Sharp edge exit (k=1), 1 buah (L/Di=57) = 163,81 ft

Sharp edge entrance (k=0.5), 1 buah (L/Di=28) = 80,468 ft

Le (totalpanjang ekuivalen) = 1720,868 ft + 137,945 ft + 20,117 ft + 81,905 ft + 40,234 ft = 4002,137 ft

Mengitung daya pompa tiap instalasi pipa:

$$g_c = 32,17 \text{ lb.ft/lb.m.s}^2$$

$$\Sigma f \text{ (gesekan karena aliran melewati pipa dan fitting)} = (2 \times f \times V^2 \times L_e) / (ID \times g_c)$$

$$= 48,965 \text{ lb.ft/lb.m}$$

$$\Sigma f \text{ (gesekan karena orifice pada sistem control pipa)} = (0,4 \times V^2) / (2 \times g_c)$$

$$= 0,502 \text{ lb.ft/lb.m}$$

$$\text{Total } \Sigma f = 48,965 \text{ lb.ft/lb.m} + 0,502 \text{ lb.ft/lb.m} = 49,468 \text{ lb.ft/lb.m}$$

$$\text{Static head } (\Delta z) = (\text{Tinggi air di dalam tangki penampung air sungai} - \text{tinggi air sungai}) * g / g_c = (19,31 \text{ m} - 0) * 9,8 / 32,17 = 5,883 \text{ lb.ft/lb.m}$$

$$\text{Velocity head} = 0$$

$$\text{Pressure head} = 0$$

$$W_s = \text{Total } \Sigma f + \text{Static head} + \text{Velocity head} + \text{Pressure head}$$

$$W_s = 55,35 \text{ lb.ft/lb.m}$$

$$P_{\text{teoritis}} = Q_f \times \rho \times W_s$$

$$= 182,394 \text{ hp}$$

$$Q_f (\text{laju alir volume}) = 13078,052 \text{ gal/menit}$$

Karena dari fig 14-37 Peter & Timmerhaus 4th Edition hal 520, tidak ditemukan pompa dengan Q_f 13078,052 gal/menit, maka digunakan 3 pompa dengan kapasitas 4359,3501 gal/menit

$$\text{Efisiensi pompa} = 92\%$$

$$P_{\text{aktual}} = P_{\text{teoritis}} / 92\% = 198,254 \text{ hp}$$

Dan seterusnya untuk menghitung pompa yang lainnya, kecuali pompa yang diunakan untuk mengangkut larutan tawas ke *clarifier* yang menggunakan asumsi aliran laminar.

14. Tangki Penampung Air Sungai

Fungsi: tempat penyimpanan air yang akan diolah untuk keperluan Utilitas.

$$F (\text{laju alir massa}) = 2691676,971 \text{ kg/jam}$$

$$\rho (\text{densitas air}) = 996,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Waktu penyimpanan} = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air dalam tangki} &= (F/\rho) \times \text{waktu penyimpanan} \\ &= (2691676,971 \text{ kg/jam} / 996,8 \text{ kg/m}^3) \times 24 \text{ jam} \\ &= 64807,632 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= 120\% \times \text{volume air dalam tangki} \\ &= 120\% \times 64807,632 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 77769,158 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= P \times L \times T \\ &= 3H \times 3H \times H \end{aligned}$$

$$\text{Volume tangki} = 9H$$

$$77769,158 \text{ m}^3/\text{hari} = 9H$$

$$H = 20,521 \text{ m}$$

$$P = 61,56 \text{ m}$$

$$L = 61,56 \text{ m}$$

$$T = 20,521 \text{ m}$$

Tinggi air di dalam tangki (Dihitung dengan cara yang sama dengan cara menentukan tinggi air, dengan mengganti nilai volume tangki dengan volume air di dalam tangki) = 19,31 m

15. Bar Screen

Fungsi: Menyaring kotoran berukuran besar dari air sungai.

$$F \text{ (laju alir massa)} = 2691676,971 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ (densitas air)} = 996,8 \text{ kg/m}^3$$

$$Q \text{ (Laju alir volume)} = F/\rho = 0,9$$

Ukuran bar standar :

$$\text{Lebar bar} = 5 \text{ mm}$$



Tebal bar = 20 mm

Bar clear spacing = 20 mm

Slope = 30°

Direncanakan ukuran screening:

Panjang screen = 5 m

Lebar screen = 5 m

Misalkan, Jumlah bar = x, maka:

$$20x + 20(x + 1) = 5000$$

$$40x = 4980$$

$$x = 124,5 \sim 125 \text{ buah}$$

Luas bukaan,

$$A_2 = 20 \times (125 + 1) \times 5000$$

$$= 12.600.000 \text{ mm}^2$$

$$= 12,60 \text{ m}^2$$

Asumsi, $C_d = 0,6$ dan 30% screen tersumbat, maka :

$$\text{Head loss } (\Delta h) = \frac{Q^2}{2gC_d^2 A_2^2}$$

$$= 103,321 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$= 1,033 \text{ mm}$$

16. Tangki Pelarut Tawas

Fungsi = Tempat pelarutan tawas yang akan digunakan sebagai koagulan.

Jumlah alat = 1

Dosis tawas = 20 ppm = 0,002%

Laju alir = 3230012,366 kg/jam

Kebutuhan tawas = Dosis tawas x Laju alir = 64,6 kg/jam



$$\rho \text{ (densitas tawas)} = 1363 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Waktu penyimpanan} = 30 \text{ hari} = 720 \text{ jam}$$

$$\text{Tawas yang digunakan} = \text{Kebutuhan tawas}/0,3 = 215,334 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Volume tangki} = \text{Tawas yang digunakan}/\rho = 113,75 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki total} &= 120\% \times \text{Volume tangki} \\ &= 136,499 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume silinder} = 3,14/4 D_s^3$$

$$136,499 \text{ m}^3 = 0,785 D_s^3$$

$$D_s = 5,582 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi cairan di dalam tangki} &= (\text{Volume tangki} / \text{Volume tangki total}) \times \rho \\ &= 4,651 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung tebal dinding tangki:

$$\begin{aligned} \text{Tekanan hidrostatik, } P &= \rho \times g \times h \\ &= (1.363 \times 9,8 \times 4,651)/101325 \\ &= 0,613 \text{ atm} \end{aligned}$$

$$\text{Tekanan awal (P}_0\text{)} = 1 \text{ atm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan desain (P)} &= \text{Tek.hidrostatik} + \text{Tek. awal} \\ &= 0,613 + 1 \\ &= 1,613 \text{ atm} \\ &= 23,707 \text{ psi} \end{aligned}$$

Untuk faktor keamanan (ditambahkan 10% dari P.design awal) jadi tekanan design yaitu 26,078 psi.

Untuk bahan konstruksi Carbon steel SA-129 grade A

Diketahui :

$$S \text{ (allowable stress)} = 10.000 \text{ psi}$$

$$E \text{ (welded-Point efficiency)} = 0,85$$

$$c \text{ (corrosion allow)} = 0,125 \text{ in}$$

$$P \text{ (Tekanan desain)} = 19,229 \text{ psi}$$

$$r \text{ (Jari-Jari dalam tangki)} = D_s / 2$$

$$= (5,582 \times 39,3701) / 2$$

$$= 109,873 \text{ in}$$

$$t = \frac{PXR}{SxE-0,4xP} + c$$

$$t = 0,463 \text{ in}$$

Rancangan Pengaduk:

$$\text{Viskositas campuran } (\mu) = \mu \text{ tawas} + \mu \text{ air}$$

$$= 0,0019 + 0,0007972$$

$$= 0,00198 \text{ Pa.s}$$

$$\text{Densitas campuran} = \rho \text{ tawas} + \rho \text{ air}$$

$$= 1363 + 996,8$$

$$= 2359,8 \text{ kg/m}^3$$

$$N \text{ (putaran)} = 100 \text{ rpm} = 1,667 \text{ rps}$$

$$D_a \text{ (diameter impeler)}, \text{ Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)} = (1/3) \times D_s$$

$$= 1,861 \text{ m}$$

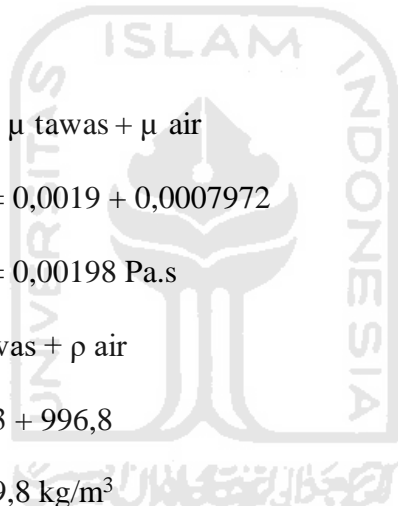
$$H \text{ (tinggi Baffle)}, \text{ Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)} = D_s = 5,582 \text{ m}$$

$$E \text{ (Jarak pengaduk dari dasar tangki)}, \text{ Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)}$$

$$= D_a = 1,861 \text{ m}$$

$$L \text{ (panjang daun pengaduk)}, \text{ Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)} = (1/4) \times$$

$$D_a = 0,465 \text{ m}$$



W (lebar pengaduk), Untuk *flat six blade turbin with disk*, $Da/W=5$.

Geankoplis, 1993: 145) = $(1/5) \times Da = 0,372 \text{ m}$

J (lebar *baffle*), Untuk *flat six blade turbin with disk* $Ds/J=12$ (Geankoplis,

1993: 145) = $(1/12) \times Ds = 0,465 \text{ m}$

NRE (bilangan Reynold) (Geankoplis dan Christie, 1993: 145)

$$\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu \text{ campuran}}$$

= 687677,957, aliran turbulen.

$Np = 5$ (*curve 1* untuk *flat six blade turbine with disk*. *Figure 3.4-4*

Geankoplis 1993 hal 145)

P (Daya) (Geankoplis dan Christie, 1993: 146) = $Np \times \rho \text{ campuran} \times N^3 \times$

$Da^5 = 121737 \text{ J/detik} = 1632,986 \text{ hp}$

Perhitungan yang sama digunakan untuk merancang tangki pelarut

desinfektan, desinfektan yang digunakan adalah sodium hipoklorit.

17. Clarifier

Laju alir = 3230227,7 kg/jam

$\rho \text{ tawas} = 1363 \text{ kg/m}^3$

$\rho \text{ air} = 996,8 \text{ kg/m}^3$

$\rho \text{ campuran} = \rho \text{ tawas} + \rho \text{ air}$

= 1363 + 996,8

= 2359,8 kg/m^3

Volume larutan = laju alir / $\rho \text{ campuran} = 1368,857 \text{ m}^3$

Viskositas campuran (μ) = $\mu \text{ tawas} + \mu \text{ air}$

= 0,0019 + 0,0007972

= 0,00198 Pa.s

$$\text{Volume tangki} = 120\% \times \text{volume larutan} = 1642,628 \text{ m}^3$$

$$L_s \text{ (tinggi silinder) / } D_i \text{ (diameter bejana)} = 0,75$$

$$\text{Volume silinder} = 0,25 \times 3,14 \times D_i^2 \times L_s$$

$$\text{Volume silinder} = 0,25 \times 3,14 \times D_i^2 \times 0,75 D_i$$

$$1642,628 \text{ m}^3 = 0589 D_i^3$$

$$D_i = 12,99 \text{ m}$$

Tabel 3.3 Brownell & Young hal 43, tidak ditemukan kapasitas tangki

sebesar $1642,628 \text{ m}^3 = 10331,819 \text{ bbl}$, maka digunakan 4 tangki

berkapasitas $3000 \text{ bbl} = 477 \text{ m}^3$ dengan spesifikasi:

$$OD = 29 \text{ ft} = 8,845 \text{ m}$$

$$L_s = 0,75 \times OD = 6,634 \text{ m}$$

$$L_{ha} \text{ (tinggi } dish \text{ head)} = 0,169 \times OD = 1,495 \text{ m}$$

$$a = 60^\circ$$

$$L_{hb} \text{ (tinggi konis)} = OD / (2 \times \tan (1/2 a)) = 2,553 \text{ m}$$

$$V_{conical} \text{ (volume tutup bawah)} = 0,076 D_i^3 = 165,611 \text{ m}^3$$

$$V_{dish} \text{ (volume tutup atas)} = 0,0847 D_i^3 = 185,696 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam silinder} = (\text{volume larutan} / 4) - V_{dish} = 156,518 \text{ m}^3$$

$$L L_s \text{ (tinggi larutan dalam silinder)} = \text{Volume larutan dalam silinder} / (3,14/4 \times OD^2) = 2,549 \text{ m}$$

$$L \text{ total (tinggi larutan dalam tangki)} = L L_s + L_{ha} = 4,043 \text{ m}$$

Menentukan tekanan desain:

$$P_{hidrostatik} = \rho \text{ campuran} \times g \times h = 13,562 \text{ psi}$$

$$P_{awal} = 1 \text{ atm} = 14,696 \text{ psi}$$

$$P_{desain} = 31,084 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi = *low carbon steel SA 226, butt welded*

Spesifikasi (Brownell & Young hal 335):

$$S \text{ (allowable stress)} = 10.000 \text{ psi}$$

$$E \text{ (joint efficiencies)} = 60\%$$

$$c \text{ (corrosion allow)} = 0,125 \text{ in}$$

$$t \text{ (tebal plat silinder)} = (P_{\text{desain}} \times OD / (2 \times f \times E + 0,4 P_{\text{desain}})) + c$$
$$= 1,025 \text{ on}$$

$$t \text{ silinder standar} = 1.08 \text{ in (Brownell \& Young hal. 347)}$$

Rancangan Pengaduk:

$$\text{Viskositas campuran } (\mu) = \mu \text{ tawas} + \mu \text{ air}$$

$$= 0,0019 + 0,0007972$$

$$= 0,00198 \text{ Pa.s}$$

$$\text{Densitas campuran} = \rho \text{ tawas} + \rho \text{ air}$$

$$= 1363 + 996,8$$

$$= 2359,8 \text{ kg/m}^3$$

$$N \text{ (putaran)} = 80 \text{ rpm} = 1,333 \text{ rps}$$

$$D_a \text{ (diameter impeler), Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)}$$

$$= (1/3) \times OD$$

$$= 2,948 \text{ m}$$

$$H \text{ (tinggi Baffle) , Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)} = D_s = 8,845 \text{ m}$$

$$E \text{ (Jarak pengaduk dari dasar tangki), Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)} =$$

$$D_a = 2,948 \text{ m}$$

$$L \text{ (panjang daun pengaduk), Tabel 3.4-1 (Geankoplis, 1993: 144)} = (1/4) \times$$

$$D_a = 0,738 \text{ m}$$

W (lebar pengaduk), Untuk *flat six blade turbin with disk* $Da/W=5$

(Geankoplis, 1993: 145) $= (1/5) \times Da = 0,59 \text{ m}$

J (lebar *baffle*), Untuk *flat six blade turbin with disk* $Ds/J=12$ (Geankoplis,

1993: 145) $= (1/12) \times OD = 0,0,738 \text{ m}$

NRE (bilangan Reynold) (Geankoplis, 1993: 145) $= \frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu \text{ campuran}}$

$= 1381539,568$, aliran turbulen.

$Np = 5$, *curve 1* untuk *flat six blade turbine with disk*. *Figure 3.4-4*

(Geankoplis, 1993: 145)

P (Daya) (Geankoplis, 1993: 146) $= Np \times \rho \text{ campuran} \times N^3 \times Da^5$

$= 6230807,351 \text{ J/detik} = 8355,513 \text{ hp}$

P (Daya) untuk 4 tangki $= 8355,513 \text{ hp} \times 4 = 33422,051 \text{ hp}$

18. Bak Penampung Air Bersih

$\rho \text{ air} = 996,8 \text{ kg/m}^3$

Q (laju volume alir total) = laju alir volume + kebutuhan desinfektan

$= 3240,606 \text{ m}^3/\text{jam}$

Waktu tinggal = 24 jam

Volume air dalam bak = Q x waktu tinggal = 77774, 537 m^3

Volume bak = 120% x Volume air dalam bak = 93329,445 m^3

Panjang = 3H

Lebar = 3H

Tinggi = H

Volume bak = Panjang x Lebar x Tinggi

Volume bak = 3H x 3H x H

$H^3 = 10369,939 \text{ m}^3$

$$H = 21,807 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = 65,42 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 65,42 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 21,807 \text{ m}$$

19. Screen

Fungsi: menyaring batu kapur sesuai ukuran

$$Ct \text{ (laju alir massa)} = 277195,435 \text{ kg/jam} = 611110,6 \text{ lb/jam}$$

Ukuran yang diinginkan = 90 micron

Karena di tabel 19.6 Perry 7th Edition tidak ada ukuran 90 micron, maka dipilih ukuran standar 105 micron.

$$a \text{ (Sieve opening)} = 0,105 \text{ mm} = 0,004 \text{ in}$$

$$d \text{ (Nominal wire diameter)} = 0,004 \text{ mm} = 0,0001 \text{ in}$$

Foa (open are factor), Persamaan 21-5 untuk *square opening* (Perry, *et al.*,

$$\begin{aligned} \text{Ed.7, 1997: Fig. 19-22)} &= 100 \times (a/(a+d))^2 \\ &= 92,625 \end{aligned}$$

$$Cu \text{ (unit capacity)} \text{ (Perry, } et al., \text{ Ed.7, 1997: Fig. 19-22)} = 0,35$$

$$Fs \text{ (slotted opening factor)} \text{ (Perry, } et al., \text{ Ed.7, 1997: Tabel. 19-7)} = 1$$

$$\begin{aligned} A \text{ (screen area)} \text{ (Perry, } et al., \text{ Ed.7, 1997: Pers. 19-7)} &= 0,4 \times Ct / (Cu \times Foa \\ &\times Fs) \end{aligned}$$

$$= 2792,238 \text{ ft}^2$$

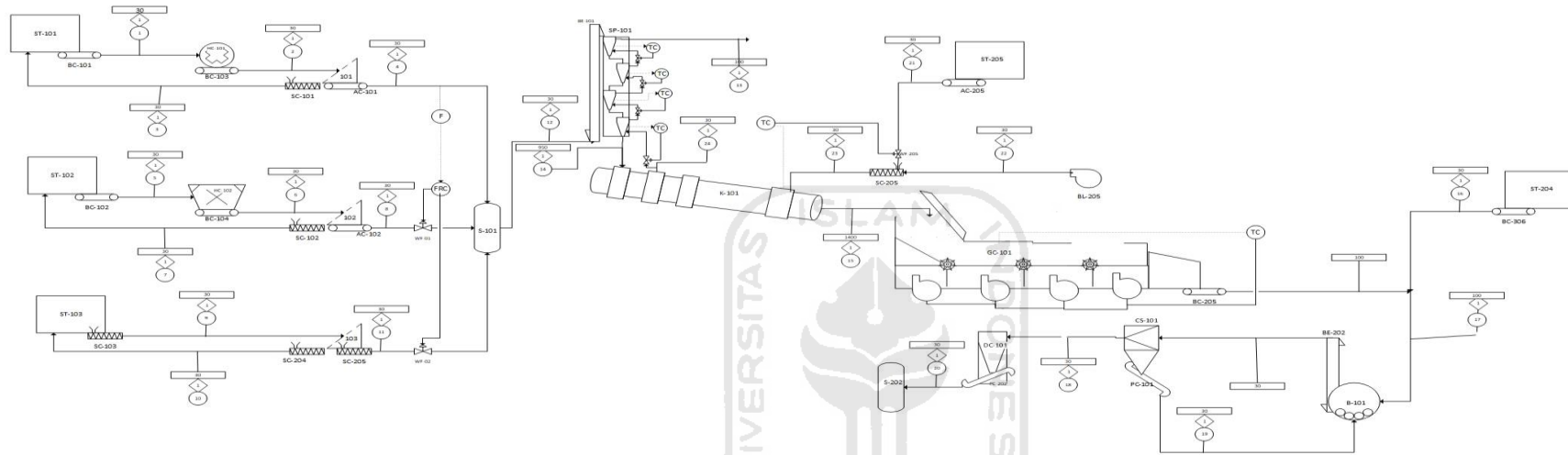
$$A \text{ (+overdesign 20\%)} = 120\% \times 2792,238 \text{ ft}^2$$

$$= 3350,685 \text{ ft}^2$$

Dan seterusnya untuk menghitung screen lainnya.



E. PEFD



Komponen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Nomor Arus	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO2	831.59	831.59	16.63	814.95	48060.38	47099.17	96.1.21	47099.17	689.14	13.78	675.35	48589.48		48589.48											
Al2O3	19.13	19.13	0.38	18.74	17686.47	17332.74	353.73	17332.74	5.87	0.12	5.75	17357.23		17357.23											
Fe2O3	13.58	13.58	0.27	13.31	6549.02	6418.04	130.98	6418.04	1821.25	36.43	1784.83	8216.38		8216.38											
CaO	150988.35	150988.35	3019.77	147968.59	7180.32	7036.71	143.61	7036.71	4.00	0.08	3.92	155009.22		155009.22											
MgO	4157.93	4157.93	83.16	4074.77	1334.44	1307.75	26.69	1307.75	5.33	0.11	5.23	5387.75		5387.75											
H2O	108078.50	108078.50	2161.57	105916.93	21802.70	21366.65	436.05	21366.65	0.00	0.00	0.00	127283.58		159626.77											
Impuritas	13106.35	13106.35	262.13	12844.23	35.93	35.21	0.72	35.21	141.35	2.83	138.52	13017.96		13017.96											
SO2														1936.15										101.88	101.88
O2														44142.34											
N2														752689.57											
ZNO														2576.16											
CO2														186772.03											
H2SO4														178.33											
Batu Bara																									
C3S															26707.21		26707.21	26707.21	534.14		26173.07				
C2S															7760.48		7760.48	7760.48	155.21		7605.27				
CAAF															5008.84		5008.84	5008.84	100.18		4908.66				
C3A															6429.85		6429.85	6429.85	128.60		6301.25				
CaSO4																									
Total	277195.43	277195.43	5543.91	271651.53	102649.26	100596.27	2052.99	100596.27	2666.94	53.34	2613.60	374861.40	1147921.34	1235795.94	247577.82	10101.01	257678.83	253719.15	5153.58	252525.25	67560.10	954293.84	988218.12	988218.12	

Kode Alat	Keterangan
ST	Stockpile
HC	Hammer Crusher
101, 102, 103	Screen
S	Silo
CS	Cyclone Separator
B	Ball Mill
BC	Belt Conveyor
SC	Screw Conveyor
PC	Pneumatic Conveyor
BE	Bucket Elevator
SP	Suspension Preheater
K	Rotary Kiln
GC	Grate Cooler
DC	Dust Collector
WF	Weight Feeder

