



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KEHALUSAN LIMESTONE
TERHADAP
KUAT TEKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT**

TESIS

MOHAMMAD ZAINUDIN
NPM. 6305002095

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
JAKARTA
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KEHALUSAN LIMESTONE
TERHADAP KUAT TEKAN SEMEN**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Science**

MOCHAMMAD ZAINUDIN
NPM. 6305002095

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
JAKARTA
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Mochammad Zainudin

NPM : 6305002095

Tanda tangan :

Tanggal : 13 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Mochammad Zainudin
NPM : 6305002095
Program Studi : Ilmu Material
Judul Tesis :

PENGARUH KEHALUSAN LIMESTONE TERHADAP KUAT TEKAN SEMEN PORTLAND SEMEN PORTLAND KOMPOSIT

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Science pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Bambang Soegijono (.....)
Penguji : Dr. Muhammad Hikam (.....)
Penguji : Dr. Azwar Manaf, M.Met (.....)
Penguji : Dr. Soehardjo Poertadji (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 13 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Science Program Studi Ilmu Material, pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. DR. Bambang Soegijono, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan tesis ini.
2. DR. Muhammad Hikam, DR. Azwar Manaf M.Met, DR. Soeharjo Poertadji selaku Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji tesis ini.
3. Ayahanda Mubin dan Ibunda (Alm) Surati, yang telah memberikan segalanya yang tak dapat kusebutkan satu persatu.
4. Setyorini Mawarwati dan Zulfa Hamidah Zahirin, Istri dan anakku tercinta yang selalu memberikan semangat dan dukungan serta keceriaan.
5. Dra.Vera Indrawati MSi. yang telah memberi ijin penggunaan fasilitas laboratorium.
6. Bapak Budi Hartono, Bapak Jarot Cahyono, Bapak Indriadi Agus, Bapak Anif Jamaluddin dan Bapak Ogik Giarno yang telah banyak membantu dan teman berdiskusi dalam penyelesaian tesis ini.
7. Staf Pengajar dan administrasi di Program Studi Ilmu Material
8. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu-persatu

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Salemba, Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochammad Zainudin

NPM : 6305002095

Program Studi : Ilmu Material

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGARUH KEHALUSAN LIMESTONE
TERHADAP**

KUAT TEKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 13 Desember 2008

Yang menyatakan

(Mochammad Zainudin)

ABSTRAK :

Nama : Mochammad Zainudin
Program Studi : Ilmu Material
Judul :

PENGARUH KEHALUSAN LIMESTONE TERHADAP KUAT TEKAN SEMEN PORTLAND KOMPOSIT

Batu kapur digunakan sebagai bahan aditif untuk membuat Semen Portlan Komposit, pembuatan dilakukan dengan menggunakan cara penggilingan batukapur yang terpisah dengan penggilingan semen portlan biasa yang digiling bersama sama dengan gypsum. Batu kapur digiling dengan beberapa variasi kehalusan blaine (4000, 6000, 8000 dan 10000 cm²/gr) dan beberapa komposisi batukapur (5%, 10%, 15% dan 20%), untuk kemudian dilihat pengaruh kehalusan batukapur pada berbagai komposisi terhadap kuat tekan semen.

Dari hasil yang didapat tampak bahwa penggunaan batukapur ini akan meningkatkan kuat tekan dengan meningkatkan kehalusan blainenya, hal ini lebih disebabkan limestone berfungsi sebagai bahan pengisi pori pada adukan semen.

Kata kunci : Semen Portlan Komposit, Kehalusan, Batu Kapur, Kuat Tekan.

ABSTRACT :

Nama : Mochammad Zainudin
Study Program : Material Sciences
Judul :

EFFECT OF LIMESTONE FINENESS AS ADDITIVE MATERIAL ON PORTLAND COMPOSITE CEMENT COMPRESSIVE STRENGTH

Limestone used as additive material for portland composite cement, limestone milled separate with Portland cement and gypsum. Limestone milled in different fineness (4000, 6000, 8000, and 10000 cm²/gr) with different composition (5%, 10%, 15% and 20%), and investigate effect of limestone fineness as additive material in different composition on cement compressive strength.

Limestone fineness contribute in composite cement compressive strength, there are fill in porous cement.

Key word : Portland Composite Cement, Fineness, Limestone, Compressive Strength.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Perumusan Masalah	2
BAB 2 STUDI PUSTAKA	3
2.1 Proses Pembuatan Semen	3
2.2 Reaksi Pembentukan Clinker	4
2.3 Fase Clinker	5
2.3.1 Alite (C_3S – Density 3150 kg/m^3)	6
2.3.2 Belite (C_2S – Density 3280 kg/m^3)	6
2.3.3 Aluminate (Density 3030 kg/m^3) dan Ferrite (Density 3770 kg/m^3)	6
2.3.4 Free Lime	7
2.3.5 Periclase	7
2.3.6 Alkali Sulphate	7
2.4 Semen Portland Komposit	7
2.4.1 Blast Furnace slag	8
2.4.2 Silica Fume	8
2.4.3 Natural Pozzolan	8
2.4.4 Natural Calcined Pozzolan	9
2.4.5 Fly Ash	9
2.4.6 Burnt Shale	9
2.4.7 Limestone	10
2.5 Sifat dari Pengerasan Pasta Semen	10
2.5.1 Mikrostruktur dari pengerasan pasta semen	10
2.5.2 Hasil Hidrasi	11
2.5.3 Struktur Pori	12
2.5.4 Pori Larutan	14
2.5.5 Zona Transisi antara Pasta semen dan agregat	15
2.6 Sifat dari Pasta Semen yang telah mengeras	16
2.6.1 Kuat Tekan	16
2.6.2 Permeabilitas Pasta semen	17

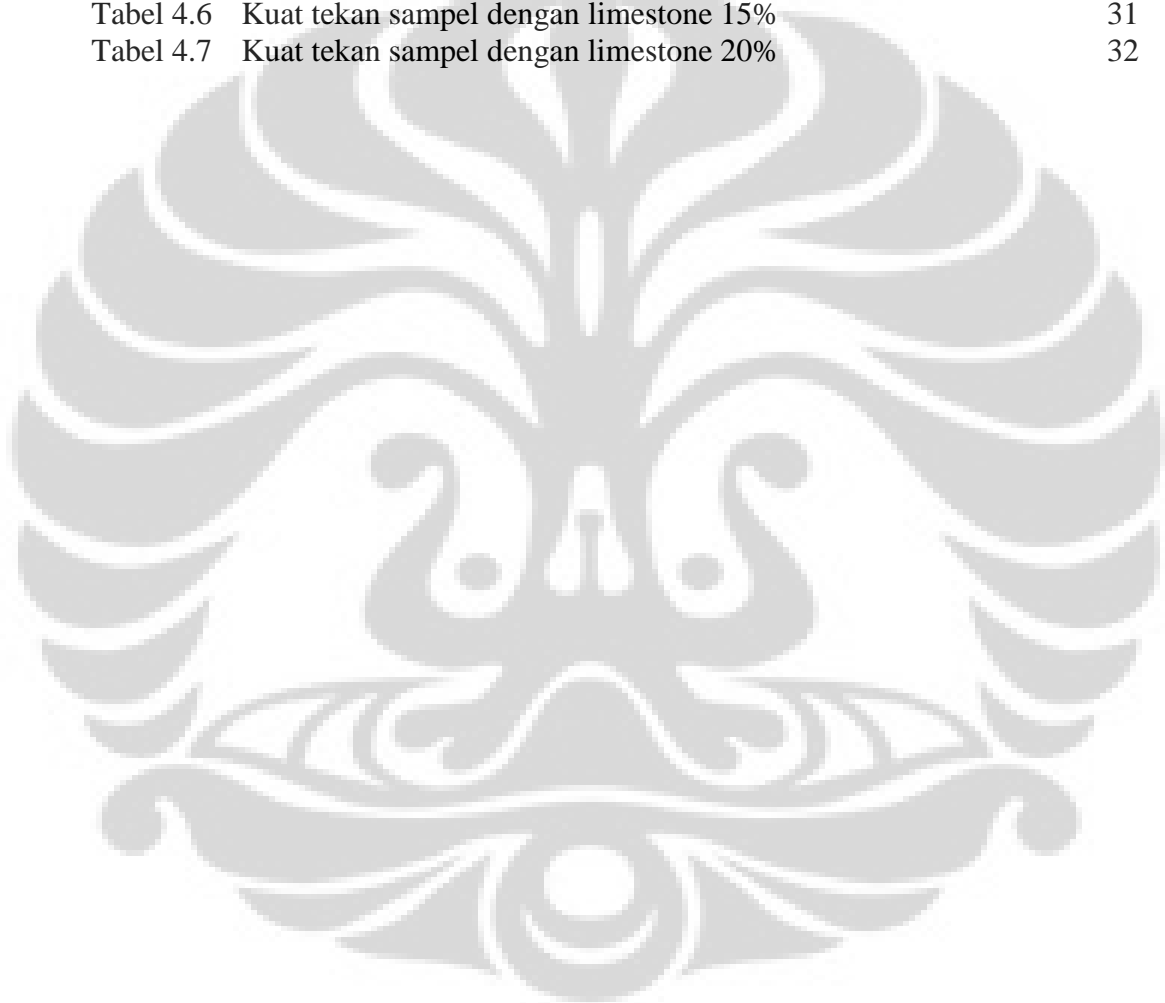
2.6.3 Humiditas Pasta Semen	18
BAB 3 SISTEMATIKA PENELITIAN	19
3.1 Peralatan yang digunakan	19
3.1.1 Peralatan Utama	19
3.2.1.1 Spektrometer Sinar-X	19
3.2.1.2 Difraktometer sinar-X	19
3.2.1.3 Compressive Strength Tester	20
3.1.2 Peralatan Penunjang	21
3.2.1.1 Oven	21
3.2.1.2 Crusher	21
3.2.1.3 Ayakan	21
3.2.1.4 Grinding Mill	21
3.2.1.5 Alat Blaine	21
3.2.1.6 Particle Distribution Sizer	21
3.2.1.7 Mixer	21
3.2.1.8 Cube Mold	22
3.2.1.9 Ring Holder	22
3.2.1.10 Curing Cabinet	22
3.2 Bahan-Bahan (Material)	22
3.2.1 Portland Clinker	22
3.2.2 Gypsum	22
3.2.3 Limestone	22
3.2.4 Pasir Kuarsa	22
3.2.1 Air	23
3.3 Cara Kerja	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Karakterisasi Awal	26
4.1.1 Komposisi Kimia	26
4.1.2 Kandungan Mineral	26
4.1.3 Distribusi Partikel	29
4.2 Hasil Pengujian Sampel	29
4.2.1 Kandungan Mineral	29
4.2.2 Kuat Tekan	30
4.3 Pembahasan	32
BAB 5 KESIMPULAN	35
DAFTAR REFERENSI	36
LAMPIRAN	37

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Proses pembuatan semen	3
Gambar 2.2 Phase reaksi dari raw meal menjadi clinker	5
Gambar 2.3 Ukuran padatan dan pori pori dari pasta semen	12
Gambar 2.4 Ukuran pori pada beton	13
Gambar 2.5 Perkembangan ideal porositas pada pasta semen(w/c=0.60)	14
Gambar 2.6 Pengaruh slag pada pori gel dan pori kapiler pasta (w/c=0.5)	14
Gambar 2.7 Komposisi dari larutan dalam pori pasta semen	15
Gambar 2.8 Zona transisi antara pasta semen dan agregat	16
Gambar 2.9 Hubungan antara porositas kapiler dengan kuat tekan	17
Gambar 2.10 Hubungan w/c rasio, derajat hidrasi & pori kapiler	17
Gambar 2.11 Hubungan w/w rasio dengan permeabilitas pasta	18
Gambar 2.12 Pengaruh humidity terhadap deformasi pasta semen	18
Gambar 3.1 Spektrometer Sinar-X	19
Gambar 3.2 Difraktometer Sinar-X	20
Gambar 3.3 Compressive Strength Tester	20
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4.1 Hasil Pencocokan Rietveld pada kurva batu kapur	26
Gambar 4.2 Hasil Pencocokan Rietveld pada kurva Portland cement	27
Gambar 4.3 Kandungan Total C2S dan C3S	28
Gambar 4.4 Distribusi Ukuram Partikel	29
Gambar 4.5 Kuat tekan sampel dengan limestone 5%	32
Gambar 4.6 Kuat tekan sampel dengan limestone 10%	33
Gambar 4.7 Kuat tekan sampel dengan limestone 15%	33
Gambar 4.8 Kuat tekan sampel dengan limestone 20%	33
Gambar 4.9 Kandungan CSH sampel pada 28 Hari	34

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 3.1 Desain Sampel untuk Penelitian	24
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Sampel	26
Table 4.2 Kandungan Mineral Batukapur	27
Tabel 4.3 Kandungan Mineral Semen Portland	28
Tabel 4.4 Kuat tekan sampel dengan limestone 5%	30
Tabel 4.5 Kuat tekan sampel dengan limestone 10%	31
Tabel 4.6 Kuat tekan sampel dengan limestone 15%	31
Tabel 4.7 Kuat tekan sampel dengan limestone 20%	32



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1. Hasil Pencocokan kurva difraksi pada sampel semen	37
Lampiran 2. Hasil Pencocokan kurva difraksi pada sampel pasta Umur 28 Hari	45



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Semen sebagai salah satu bahan dasar utama konstruksi bangunan, sehingga menjadikan semen sebagai komoditi yang strategis. Pemenuhan kebutuhan pasar yang tinggi ditambah dengan kepekaan konsumen terhadap mutu, membuat produsen harus selalu menempatkan mutu sebagai target utama. Disisi lain mutu produk harus ditunjang dengan proses yang prima. Tantangan yang dihadapi industri semen adalah mengurangi konsumsi energi dengan tetap menghasilkan produk yang bermutu tinggi.

Semen yang umum dikenal adalah semen Portland yang dihasilkan dari pembakaran batu kapur, pasir silika dan tanah liat hingga suhu 1500°C , karena 80% campuran ini adalah batu kapur, maka pembakaran pada suhu tinggi akan menghasilkan CO_2 yang akan diemisikan keudara sebagai pollutan. Untuk mengurangi CO_2 tersebut industri semen melakukan pengurangan terhadap fraksi semen hasil pembakaran dengan cara melakukan substitusi menggunakan bahan lain yang berfungsi sebagai perekat (Cementitious material) tanpa mengurangi kekuatan semen, adapun bahan yang bersifat cementitious tersebut adalah abu terbang (flyash), silica fume, Blast Furnace Slag, diatomaceous earth seperti trass, clay atau shale. Bahan-bahan ini umumnya mengandung komponen silika amorph reaktif, yang pada reaksinya dengan air dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan membentuk senyawa Kalsium Silikat Hidrat, disingkat CSH. Senyawa inilah yang menentukan kekuatan semen.

Reaksi semen Portland dengan air menghasilkan senyawa Kalsium Silikat Hidrat, CSH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau Portlandite. Senyawa CSH ini berupa gel yang akan terus terbentuk selama reaksi hidrasi dan akan mengisi pori diantara air dan semen yang belum terhidrasi. Karena volum air dan semen diasumsikan tetap, maka pada akhir reaksi hidrasi volum pori yang tersisa akan menjadi minimum. Hal ini yang

menjadikan semen bersifat sebagai bahan pengikat (binder) yang mempunyai kekuatan mekanik. Karena bahan tambahan ini bereaksi dengan Ca(OH)_2 dan membentuk CSH, maka fraksi volum CSH akan lebih tinggi dan Ca(OH)_2 lebih kecil dibandingkan pada semen Portland.

Pemakaian bahan tambahan sangat tergantung dari pengaruh positif terhadap sifat semen dan ketersediaan bahan yang dekat dengan lokasi produksi. Penelitian yang berkembang senantiasa diarahkan hasil akhir yaitu kuat tekan semen. Kuat tekan pada semen dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah jenis material yang ditambahkan, persentase penambahan material dan kecepatan reaksi hidrasi dari material.

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari peran material batu kapur sebagai bahan aditif pada semen Portland komposit.
2. Mempelajari pengaruh kehalusan batu kapur terhadap kekuatan mekanik pada semen Portland komposit.

1.3. PERUMUSAN MASALAH

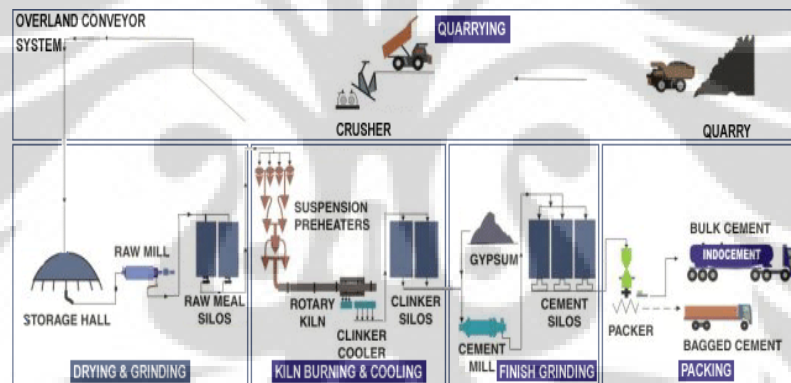
Penelitian ini akan mengkaji pengaruh penambahan limestone (batu kapur) sebagai bahan aditif dengan kehalusan (blaine) terhadap kuat tekan semen, dengan cara menguji kuat tekan mortar semen.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1. Proses Pembuatan Semen

Proses pembuatan semen dimulai dari penambangan bahan atau material baku yaitu tanah liat (Clay) dan batu kapur (limestone). Material ini kemudian dikirim menggunakan belt conveyor ke tempat penyimpanan (storage). Setelah itu tanah liat dan batu kapur dikirim ke penggilingan untuk digiling (milling), kemudian dilakukan pengeringan (drying), dan pencampuran (mixing) dengan proporsi tertentu menjadi raw meal. Pada proses pencampuran, kadang-kadang ditambahkan iron ore, iron sand atau iron slag dengan tujuan untuk mencapai komposisi kimia raw meal yang diinginkan.



Gambar 2.1 Proses Pembuatan Semen Portland

Proses selanjutnya raw meal dipanaskan secara bertahap, pemanasan awal dilakukan dari suhu 250–900⁰C. Pada suhu ini material batu kapur akan terurai menjadi CaO dan CO₂. Proses ini berlangsung pada suspension preheater (SP) sebelum mengalami proses pemanasan lebih lanjut pada tungku putar (Rotary Kiln). Material mengalami proses pemanasan secara bertahap dari suhu 900–1500⁰C sehingga sebagian material meleleh, dan terjadi reaksi unsur-unsur kalsium, besi, alumunium, dan silika. Setelah proses ini, material didinginkan secara mendadak sehingga menghasilkan terak yang dinamakan clinker. Proses selanjutnya clinker dialirkan ke tangki penyimpanan (Clinker Silo).

Pada tahap proses akhir clinker dicampur dengan gypsum kemudian dilakukan proses penggilingan untuk menghasilkan Ordinary Portland Cement (OPC). Untuk menghasilkan semen komposit, Pada clinker ditambahkan material aditif seperti trass dan limestone disamping gypsum. Produk semen ini selanjutnya dialirkan ke silo semen, atau langsung dikemas di bagian pengepakan, dan dikirim ke konsumen dalam bentuk kantong atau curah.

2.2. Reaksi Pembentukan Clinker

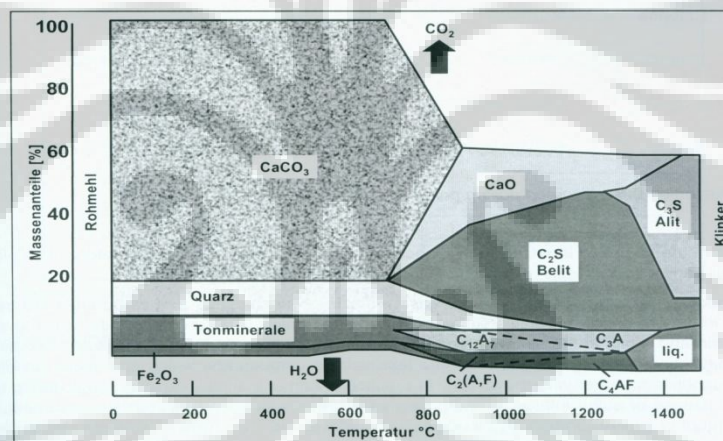
Raw Meal (umpan baku) yang masuk dalam kiln berisi kalsium karbonat, sedikit magnesium karbonat, tanah liat, dan air. Reaksi yang terjadi selama proses pembakaran ini kalau disederhanakan sebagai berikut ^[1]:

- a. Penguapan air bebas
- b. Pelepasan air terikat pada tanah liat
- c. Peruraian magnesium karbonat
- d. Peruraian kalsium karbonat
- e. Reaksi kombinasi dari unsur-unsur yang ada di tanah liat dan batu kapur.

Penguapan air bebas terjadi pada suhu 100°C , tetapi pelepasan air terikat dari tanah liat terjadi di atas 500°C dimana reaksinya berlangsung secara endotermis. Tanah liat tersusun dari air terikat yang menyatu dengan senyawa silika dan senyawa aluminium yang bervariasi dengan perbandingan rasio $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ bergerak dari 2 : 1 sampai 4-5 : 1

Magnesium karbonat akan terurai pada suhu $600-700^{\circ}\text{C}$ tetapi bisa bervariasi dari sumber material yang digunakan. Peruraian kalsium karbonat ketika dipanaskan sendirian terjadi pada suhu 894°C . Reaksi pada tahap ini berlangsung secara endotermis.

Reaksi selanjutnya yaitu reaksi antara senyawa-senyawa oksida yang ada dalam unsur dalam tanah liat dan dalam batu kapur. Tahap reaksi ini dimulai dari pembentukan $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, dan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Reaksi selanjutnya $12 \text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ pada suhu $800 - 900^\circ\text{C}$. Pada suhu $900 - 1100^\circ\text{C}$ terjadi pembentukan senyawa $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ yang sebagian terurai lagi. Pembentukan $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ dan $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ mulai pada suhu ini, dan seluruh CaCO_3 akan terurai sehingga CaO bebas mencapai maksimum. Sebagian besar $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ dan $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ terjadi pada suhu antara $1100 - 1200^\circ\text{C}$. Kandungan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ mencapai kondisi maksimum. Suhu 1260°C mulai awal terbentuknya fase cair. Reaksi selanjutnya yaitu pada suhu $1200 - 1450^\circ\text{C}$ terjadilah pembentukan $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ yang secara cepat yang ditandai penurunan CaO bebas.



Gambar 2.2 Phase Reaksi dari Raw Meal menjadi Klinker [2]

2.3. Phase Klinker

Klinker semen Portland yang dihasilkan dari pembakaran batu kapur, alumina, bijih besi, silika material pada temperature 1450°C . Secara umum ada 4 phase utama clinker sebagaimana yang terurai di bawah ini [2, 3, 4]:

- Alite (Tricalcium silicate, C_3S)
- Belite (Dicalcium silicate , C_2S)
- Aluminate (Tricalcium aluminate, C_3A)
- Ferrite (Brownmillerite, C_4AF)

Disamping itu ada phase sekunder clinker yang terbentuk karena adanya reaksi yang kurang sempurna dalam kiln yaitu free lime (CaO bebas), Periclase (MgO), dan alkali sulphate. Persentase keberadaan phase C_3S dalam clinker antara 50-70%, C_2S antara 4-25%, C_3A antara 1-13%, dan C_4AF antara 1-16%

2.3.1. Alite (C_3S – Density 3150 kg/m^3)

Alite biasanya tidak dalam bentuk senyawa murni, karena adanya penyisipan atau bergabungnya unsur-unsur lain yang berasal dari raw meal dan bahan bakar seperti Mg, Al, S atau Fe. Penyisipan unsur-unsur di atas mempunyai pengaruh terhadap kestabilan susunan kristal. Suhu pembentukan alite yaitu sekitar 1250°C . Jika pendinginan setelah phase ini terbentuk terlalu lambat, maka akan terurai menjadi C_2S dan CaO yang mana ion Fe^{2+} akan bergabung dalam susunan kristal. Struktur kristal alite dijumpai dalam bentuk trigonal, monoclinic, dan triclinic. Substitusi magnesium atau aluminium pada alite akan mengubah struktur kristal dari triclinic pseudotrigonal menjadi monoclinic pseudotrigonal.

2.3.2. Belite (C_2S – Density 3280 kg/m^3)

Belite (C_2S) dibentuk sebagai bentuk awal dari alite pada waktu proses pembakaran. Struktur mikroskopik dari belite menunjukkan kondisi yang dialami clinker ketika pembakaran dan pendinginan. Distribusi belite pada clinker sering menunjukkan kehalusan dan homogenitas dari raw meal. C_2S mempunyai 4 bentuk yang mana bentuk satu akan menjadi bentuk lainnya ketika proses pendinginan lambat. Bentuk – belite terbentuk jika pendinginan berlangsung cepat. Struktur kristal belite dijumpai dalam bentuk bervariasi yaitu trigonal, orthorombik, dan monolitik

2.3.3. Aluminate (Density 3030 kg/m^3) dan Ferrite (Density 3770 kg/m^3)

Phase aluminate dalam clinker mempunyai sifat sangat reaktif dan memiliki panas hidrasi yang terbesar Kandungan aluminate sangat menentukan waktu pengikatan

semen . Struktur kristal dari aluminate ini sering berbentuk kubik atau orthorombik dan sedikit dijumpai dalam bentuk monoclinic. Sifat lain dari aluminate ini yaitu tidak tahan terhadap serangan sulfate. Penyisipan unsur-unsur alkali pada matrik C_3A akan berpengaruh terhadap kereaktifan aluminate. Makin besar kandungan alkali dalam aluminate akan makin besar kereaktifannya. Senyawa ferrite dalam clinker berbentuk $C_4AF - C_2AF$. Penyisipan MgO akan merubah warna coklat menjadi abu-abu hijau. Keberadaan phase ferrite dalam clinker akan mendorong pembentukan alite pada suhu yang lebih rendah. C_4AF sangat tidak reaktif dan daya dukung terhadap kuat tekan lemah.

2.3.4. Free lime

Free lime terbentuk dari pembakaran tidak sempurna pada clinker. Penyebab utama dari free lime yang tinggi karena preparasi yang kurang raw meal dan suhu pembakaran pada kiln yang kurang tinggi. Free lime mempunyai sifat sangat hygroskopik.

2.3.5. Periclase

Keberadaan periclase dalam clinker kelihatan jika kandungan MgO lebih besar 2% dari massa clinker. Kandungan MgO yang tinggi di raw meal karena penggunaan dolomite lime atau clay dapat meningkatkan pembentukan periclase dalam clinker.

2.3.6. Alkali Sulphate

Alkali sulphate yang berbentuk K_2SO_4 , Na_2SO_4 , atau $(CaSO_4)_2K_2SO_4$ dibentuk dari reaksi volatile alkali dari raw meal dengan sulphur dari bahan bakar (batubara atau gas). Pada area kiln yang paling rendah suhunya, sulphate akan berbentuk cair dan bergabung dengan raw meal yang dibakar.

2.4. Semen Portland Komposit

Semen portland komposit termasuk semen campuran, yang merupakan semen Portland yang sudah ditambahkan material yang lain. Penambahan material yang lain

ini untuk memberikan sifat atau karakteristik tertentu yang tidak semen portland biasa. Material yang boleh ditambahkan pada semen portland yaitu granulated blast furnace slag, silika fume, pozzoland natural, pozzoland natural calcined, fly ash, burnt shale dan limestone. Persentase penambahan material pada semen komposit untuk portland composite cement untuk type CEM II/A-M antara 6-20% dan untuk type CEM II/B-M antara 21-35%^[5].

Material Aditif atau Pensubstitusi clinker adalah :

2.4.1. Blast Furnace Slag

Granulated blast furnace slag adalah Latent hydraulic material. Material ini menunjukkan sifat pengikat setelah bercampur dengan air dalam waktu yang panjang. Sifat pengerasan dari material ini bisa diperbaiki dengan cara aktivasi kalsium hidroksida atau sulfat. Granulated blast furnace slag dibuat dengan bijih besi di dalam blast furnace . Minimal dua per tiga dari dari glassy slag memiliki sifat pozzolan yaitu terjadi proses hidrasi ketika ditambahkan air.

2.4.2. Silica Fume

Silica fume adalah limbah dari proses pembuatan campuran ferro-silicon. Material ini terdiri dari butiran-butiran sangat halus dari silica amorphous. Rata-rata diameter butiran 100 kali lebih kecil daripada portland semen dan mempunyai luas spesifik 13000–30000 m²/kg dibanding 300-400 m²/kg untuk semen portland. Silica fume menunjukkan sifat aktivitas pozzolan yang tinggi dan juga sangat efektif sebagai filler. Penambahan silica fume pada semen portland akan menurunkan porositas, permeabilitas dan meningkatkan kuat tekan. Dalam praktek sering ditambahkan material lain dalam rangka untuk mengatur workability dari mortar atau beton baru.

2.4.3. Natural Pozzolan

Natural pozzolan adalah material sedimentasi dari gunung berapi yang merupakan lapisan terpisah atau menyatu dengan komposisi kimia dan mineralogy yang sama

dengan pozzolan pada umumnya. Aktivitas pozzolan material ini berhubungan dengan kandungan silika dan kehalusannya

2.4.4. Natural Calcined Pozzolan

Natural calcined pozzolan merupakan material dari gunung berapi, clay, shale atau hasil sedimentasi bebatuan.

2.4.5. Fly Ash

Fly ash diperoleh dengan pemisahan debu secara elektrostatis atau mekanik dari residu hasil pembakaran batubara. Di alam fly ash dijumpai sebagai siliceous dan calcareous. Dalam pemakaian fly ash yang dipakai tidak boleh memiliki Loss on Ignition (LOI) lebih dari 5%. Fly ash dengan LOI 5%-7% masih dapat diterima, asal partikelnya memenuhi durability terutama terhadap pembekuan dan sesuai dengan sebagaimana yang dipersyaratkan dalam regulasi mortar atau beton.

Siliceous fly ash berupa serbuk halus dan memiliki sifat pozzolan. Material ini terdiri dari silika oksida reaktif dan aluminium oksida. Proporsi dari kalsium oksida tidak kurang dari 10% berat, dan kandungan kalsium oksida bebas tidak boleh lebih dari 1% berat (EN 451-1). Fly ash yang mengandung CaO antara 1–2.5% berat masih diperkenankan dipakai dengan syarat hasil pengujian ekspansi tidak lebih dari 10 mm menurut EN 196-3, yang diperoleh dari campuran 30% fly ash dan 70% semen portland.

Calcareous fly ash berbentuk serbuk halus yang memiliki sifat hidraulik dan atau pozzolanik. Senyawa penyusun material ini terdiri dari kalsium oksida reaktif, silika oksida reaktif, dan aluminium oksida. Proporsi kalsium oksida reaktif tidak boleh kurang dari 10,0% berat. Calcareous fly ash mengandung 10-15% kalsium oksida reaktif dan tidak kurang 25% berat silika oksida reaktif.

2.4.6. Burnt Shale

Burnt shale dihasilkan melalui proses pembakaran dalam tanur pada suhu sekitar 800°C. Komponen penyusun utama material ini dikalsium silikat dan kalsium aluminat. Proporsi lain yang cukup besar adalah silika dioksida aktif, dan juga dijumpai dalam persentase yang kecil kalsium oksida bebas dan kalsium sulfat. Burnt shale dalam bentuk halus bersifat hidrolis seperti semen portland dan bersifat pozzolan. Kuat tekan yang dihasilkan pada umur 28 hari minimal 25,0 MPA ketika diuji dengan standar EN 196-1. Ekspansi burnt shale tidak boleh lebih dari 10 mm ketika diuji dengan standar EN 196-3 dengan menggunakan proporsi campuran 30% burnt shale dan 70% semen portland.

2.4.7. Limestone

Limestone yang dipakai sebagai material semen komposit harus memenuhi ketentuan kandungan CaCO_3 dengan test methylene blue, dan kandungan material organik ketika ditest dengan EN 136-9 tidak boleh lebih 20%.

2.5. Sifat dari Pengerasan Pasta Semen

Bentuk struktur pengerasan semen dari hasil hidrasi umumnya dinyatakan sebagai pengerasan pasta semen. Pengerasan pasta semen dipengaruhi beberapa hal diantaranya adalah mikrostruktur, hidrasi, pori serta adanya zona transisi antara pasta semen dan agregat.

2.5.1. Mikrostruktur dari Pengerasan Pasta Semen

Pengerasan pasta semen adalah bentuk campuran semen dan air yang mengeras yang bebas agregat. Pasta semen yang mengeras yang ditambahkan dengan agregat dibagi menjadi 2 kelompok. Disebut Mortar jika agregat yang ditambahkan berukuran < 4 mm, dan disebut Beton jika ukuran agregat yang ditambahkan > 4 mm Struktur dari pasta semen yang mengeras secara prinsip dasar dapat dikelompokkan menjadi beberapa phase :

- Produk hidrasi yang meningkat karena reaksi kimia
- Rongga di antara phase-phase padat contohnya pori-pori diantara hasil hidrasi.
- Cairan yang seluruhnya atau sebagian mengisi struktur pori yang bisa pori-pori air atau larutan.
- Zona transisi yang terletak diantara pasta semen yang mengeras dan butiran agregat.

2.5.2. Hasil Hidrasi

Hasil utama hidrasi semen dari semen portland yang memiliki ukuran nano adalah kalsium silikat hidrat. Karena variasi komposisi yang sangat beragam kalsium silikat hidrat ini dikenal sebagai phase CSH. Segera setelah reaksi dimulai, kristal yang sangat halus ini membentuk jaringan secara simultan mengisi pori-pori yang ada. Proses ini menentukan kuat tekan dan permeabilitas dari pasta semen yang mengeras.

Hasil lain yang dihasilkan dari reaksi air dengan semen adalah kalsium aluminat hidrat, kalsium sulfoaluminat hidrat yang secara umum kurang berpengaruh terhadap kualitas pasta semen akhir, tetapi memberi pengaruh terhadap pembentukan ettringite. Ettringite ini memiliki peran pada proses workability dan setting time pada pasta semen.

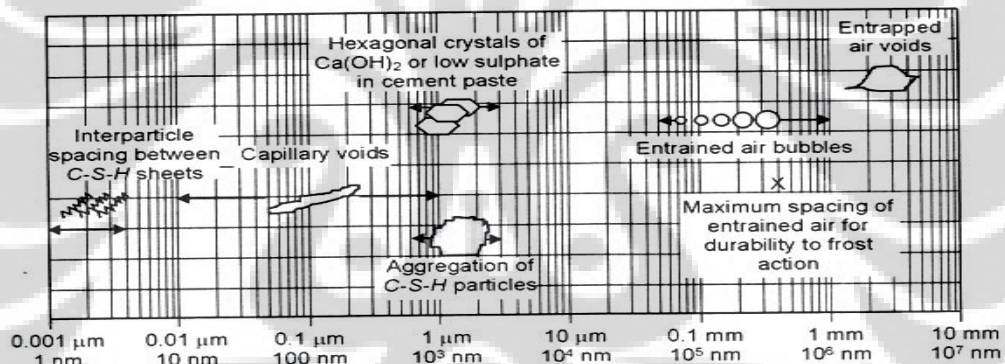
Selain produk CSH, reaksi semen dengan air juga menghasilkan produk kalsium hidroksida Ca(OH)_2 yang biasanya memiliki kristal berbentuk heksagonal yang dikenal dengan phase portlandite. Walaupun portlandite tidak memberi dukungan terhadap perbaikan kuat tekan, tetapi memiliki peran yang sangat penting terhadap serangan korosi karena akan menaikkan PH alkalin sampai 13,5 dalam pori-pori phase cair.

Satu nilai penting yang menentukan kualitas mortar atau beton adalah ratio molekul CaO/SiO_2 . Jika nilai ratio ini turun akan berpengaruh pada luas permukaan spesifik dari phase CSH yang meningkat. Hasil ini akan meningkatkan kapasitas CSH untuk

menyerap difusi ion-ion sehingga meningkatkan proses hidrasi, Tetapi disisi yang lain akan berpengaruh terhadap durabilitas dari mortar atau beton yang menurun. Nilai CaO/SiO_2 memiliki batas antara 0,5 sampai 2.0 tergantung komposisi semen, water/semen rasio, derajat hidrasi, sumber material, dan metode pengukuran yang digunakan^[2].

2.5.3. Struktur Pori

Adukan semen yang terbentuk dari reaksi-reaksi hidrasi selalu mengandung pori pori dengan ukuran yang berbeda. Ukuran pori tersebut bisa beragam dari 10^{-9} m sampai 0,2 mm. Rentang ukuran unsur padat dan pori-pori pada pasta semen tercantum dalam gambar di bawah ini ^[5] :



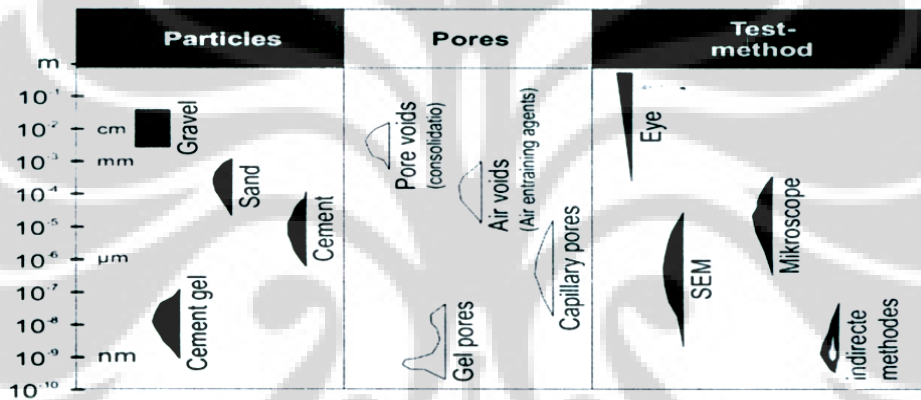
Gambar 2.3 Ukuran padatan dan pori-pori dari pasta semen

Secara umum jenis –jenis pori berdasarkan penyebabnya dapat dibagi :

- Gel pores : Pori terkecil yang secara otomatis terbentuk diantara hasil hidrasi semen atau lapisan diantara phase hidrasi semen. Proporsi pori ini akan meningkat sebanding dengan derajat hidrasi semen.
- Capillary pores : Ruang sisa yang ditinggalkan oleh air dan tidak terisi oleh hasil hidrasi.
- Compacting pores : Pori yang dihasilkan dari proses pemadatan yang kurang sempurna.

- **Cemical Shrinkage** : Hasil hidrasi perlu ruang yang lebih sedikit daripada volume yang ditempati air dan semen. Setelah reaksi hidrasi ada ruang kosong tersisa (Shrinkage pores). Bagian pori ini di beton proportional dengan derajat hidrasi. Tidak diketahui secara pasti berapa ukuran Shrinkage pores. Shrinkage pores sering dikelompokkan sebagai capillary pores, dan sering juga dikelompokkan sebagai gel pores.

Ukuran jenis-jenis pori yang ditemukan dibeton diuraikan gambar 2.4. ^[2].



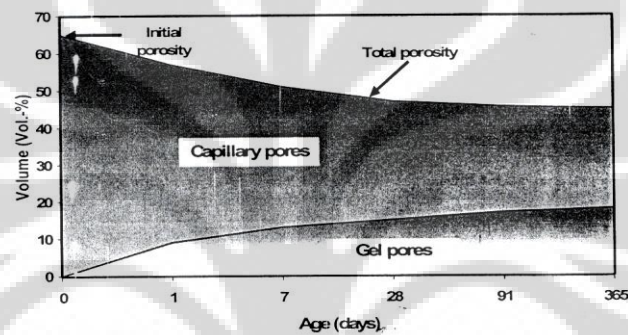
Gambar 2.4 Ukuran pori pada beton

Pada tahap atau phase awal semua ruang diisi oleh air, dan dinyatakan sebagai porositas awal. Volume air ini bisa menempati 65% dari volume total semen - air. Untuk water / cement rasio 0,38–0.40 pada mortar atau beton, secara teori tidak akan ada pori kapiler karena setelah reaksi hidrasi lengkap seluruh air akan terikat secara kimia di dalam hidrat. Tetapi alam prakteknya beton sering memakai water/ cement rasio lebih tinggi, yang secara otomatis akan menaikkan pori kapiler. Tujuan pemakaian ini untuk durabilitas yang lebih baik dan kelanjutan dari sistim kapiler.

Pori gel akan meningkat selama proses hidrasi semen. Variasi model pori gel menyatakan berukuran nano yang terletak diantara phase-phase gel. Dengan tanpa mempertimbangkan nilai w/c, volume pori gel diperkirakan mencapai 28% dari

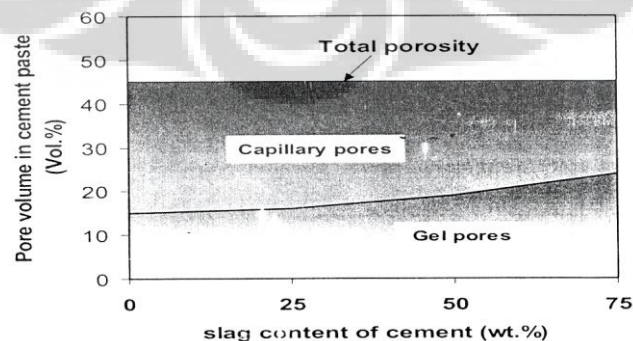
volume gel total (Volume pori gel + Volume hasil hidrasi). Porositas ini tidak dapat dicegah dan akan berlanjut sampai proses hidrasi pasta semen lengkap. Sampai saat ini, tidak ada pernyataan yang pasti berapa diameter dari pori gel, tetapi kebanyakan hasil penelitian menyatakan berukuran 5–30 nm.

Bagaimanapun, komposisi dari clinker semen mempunyai pengaruh yang menentukan terhadap struktur dari sistim pori. Pertumbuhan pori seperti terlihat pada gambar 2.5 tergantung pada derajat hidrasi semen.



Gambar 2.5 Perkembangan ideal porositas pada pasta semen ($w/c = 0.60$)

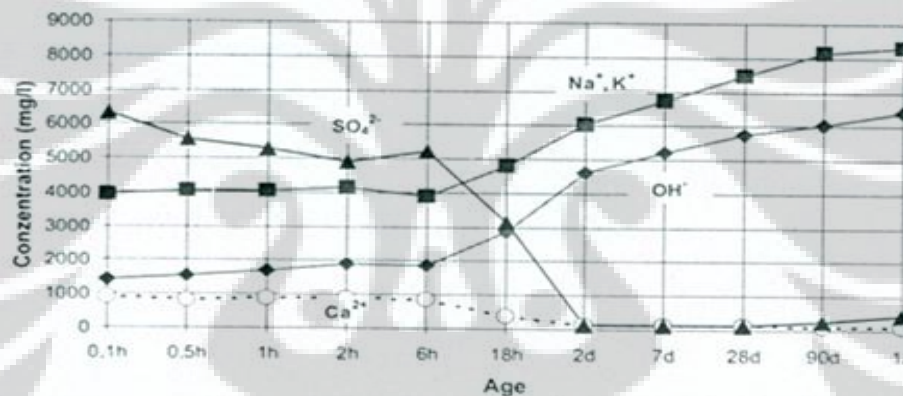
Faktor lain yang sangat penting adalah tipe dari semen. Semen yang berisi slag atau pozzolan lebih besar penurunan pori kapiler dibanding dengan semen portland. Penyebabnya adalah terbentuknya phase CSH dan secara simultan mengurangi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Jumlah dari pori gel akan meningkat seperti terlihat pada gambar 2.6. Hal ini tergantung curing yang cukup, sebagaimana reaksi cuma terjadi ketika beton mencapai umur akhir, dan jika kondisi kelembaban tercapai.



Gambar 2.6 Pengaruh slag pada pori gel dan pori kapiler pasta ($w/c = 0.5$)

2.5.4. Pori Larutan

Larutan yang ditemukan dalam pori selama proses pengerasan pasta semen menyatakan kondisi tetap larutan, yang merupakan hasil phase padat yang berasal dari semen yang tidak bereaksi sebelumnya dan hasil hidrasi baru. Komposisi larutan mempunyai pengaruh yang besar pada reaksi (sebagai agent reaksi, sebagai zat terlarut, atau sebagai media untuk perjalanan sejumlah reaksi). Larutan ini juga mempunyai pengaruh pada sifat pengerasan pada beton. Pada awalnya phase cair ini terdiri dari larutan kalsium hidroksida dan sulphat. Konsentrasi larutan cuma mengalami sedikit perubahan pada 6 jam awal (gambar 2.7), dengan PH berkisar antara 12.7 – 12.9.



Gambar 2.7 : Komposisi dari larutan dalam pori pasta semen

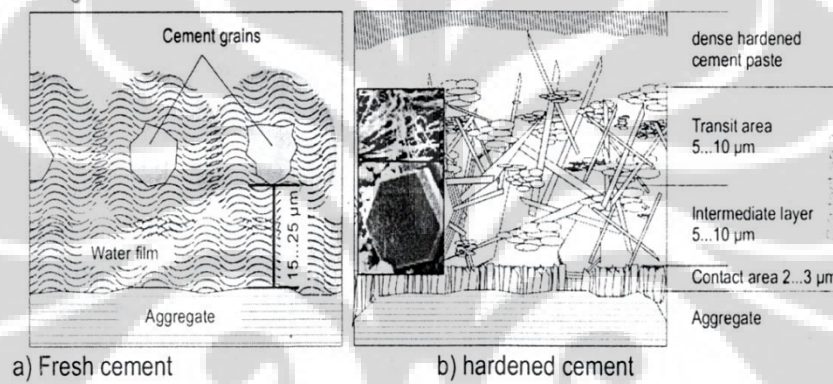
Pada tahap selanjutnya (6 jam – 2 hari), ion sulphat dan kalsium akan tidak tampak, karena terikat pada reaksi hidrasi sebagai beton yang mengeras, cuma sebagian kecil saja yang tinggal. Kebalikannya ion alkali tetap berada dalam larutan sebagai hidroksida sehingga menaikkan PH larutan sampai diatas 13.

2.5.5. Zona Transisi antara Pasta Semen dan Agregat

Ketika mencampur semen dengan air, partikel agregat diselimuti dengan lapisan air (Gambar 2.8). Partikel semen akan didorong dari permukaan agregat ke luar. Ketebalan lapisan air ini diperkirakan 10–

ruang diantara partikel semen yang terdekat dengan agregat. Ruang yang ditempati dua kali lebih besar dari jarak antara partikel semen. Disebabkan perbedaan konsentrasi selama proses pengerasan, Ca(OH)_2 terlarut akan berpindah ke permukaan, kemudian menjadi padat dan keluar (muncul) dari larutan. Lapisan kontak yang rapat dengan ukuran 2-

yaitu Kristal Ca(OH)_2 yang tersusun secara vertical pada permukaan agregat. Padahal lapisan padat dari bentuk hasil hidrasi sekitar partikel semen, lapisan air yang menutupi partikel agregat menjadi berkisi-kisi dengan ukuran yang lebih besar.



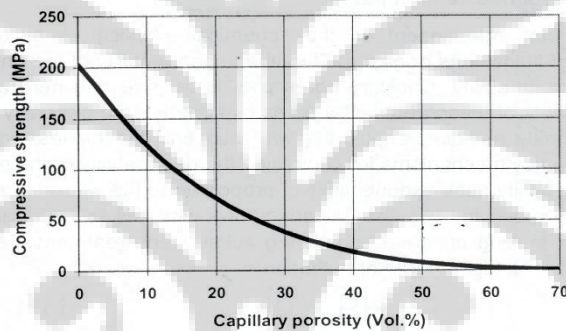
Gambar 2.8 Zona Transisi antara pasta semen dan agregat

Bagaimanapun ruang yang ditinggalkan berukuran 5- memiliki ketebalan lapisan yang serupa. Nilai penting dari zona transisi di dalam beton untuk tujuan konstruksi diantara fungsinya adalah pengikat agregat dan pasta semen yang mengeras. Sebagai tambahan, porositas yang lebih tinggi pada zona ini akan membuat transport material lebih sesuai untuk cairan atau gas yang mana dapat mengurangi ketahanan beton. Pengalaman di lapangan menunjukkan penggunaan slag atau pozzolan dapat meningkatkan kedekatan dari zona kontak ini. Silika fume sebagian berpikir dapat meningkatkan kuat tekan secara signifikan, khususnya beton kuat tekan tinggi, dengan cara merubah sebagian besar kristal Ca(OH)_2 (Portlandite) dalam zona ini menjadi phase CSH tambahan.

2.6. Sifat dari Pasta Semen yang telah mengeras

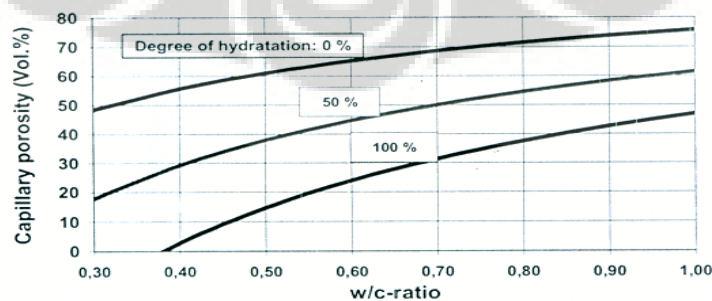
2.6.1. Kuat Tekan

Kuat tekan dari pasta semen adalah produk dari hasil jaringan phase hidrat yang mengisi ruang kosong. Makin banyak perkembangan jaringan ini, atau makin besar derajat hidrasi sehingga pori-pori terisi dengan hasil hidrasi, maka akan makin besar kekuatan dari pasta semen. Sebaliknya untuk memperkecil pori gel, pori kapiler berperan menentukan sebagai yang bertanggungjawab terhadap sifat mudah patah dari beton . Gambar 2.9 menunjukkan hubungan antara kuat tekan dan porositas kapiler.



Gambar 2.9 Hubungan antara porositas kapiler dengan kuat tekan

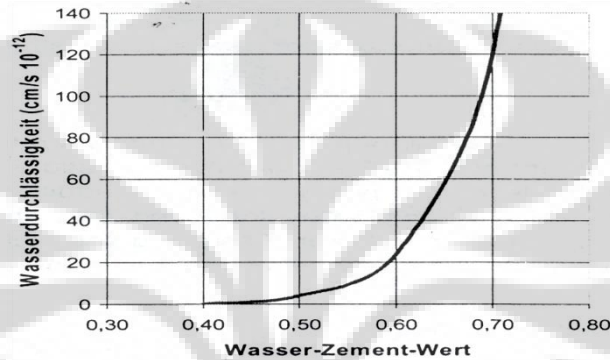
Faktor utama yang mempunyai pengaruh terhadap porositas adalah W/C ratio dari beton, derajat hidrasi dari semen (gambar 2.10). Makin rendah w/c rasio, dan makin lanjut tahapan hidrasi semen, makin rendah porositas kapiler. Sebagai tambahan untuk derajat kehalusan semen, kecepatan perkembangan kuat tekan, dan derajat hidrasi ditentukan komposisi mineral clinker.



Gambar 2.10 Hubungan w/c rasio, derajat hidrasi, & pori kapiler

2.6.2. Permeabilitas Pasta Semen

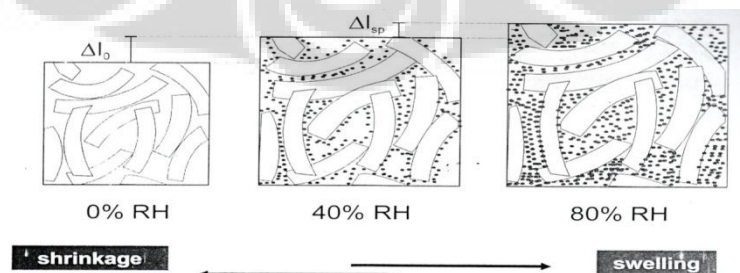
Permeabilitas dari struktur fisik adalah hal yang kritis dan penting untuk ketahanan beton. Pori kapiler memainkan peranan sebagai sarana transportasi utama melalui jaringan dari pori-pori ini. Sebaliknya gel pori dianggap berlaku kedap. Untuk kuat tekan, w/c rasio dan derajat hidrasi yang tinggi adalah mekanisme kunci untuk mengontrol permeabilitas dari hasil beton.



Gambar 2.11 Hubungan w/c rasio dengan permeabilitas pasta

2.6.3. Humiditas Pasta Semen

Kenaikan humiditas pada pasta semen akan menyebabkan air terserap pada permukaan partikel. Tegangan permukaan akan menjadi jenuh dan selanjutnya melemah karena lapisan air yang mengelilingi partikel menjadi lebih tebal. Sebagai konsekuensinya phase gel akan mengembang tetapi tanpa merubah komposisi pasta. Kejadian semacam ini dinamakan swelling. Kejadian sebaliknya pasta semen terlalu kering sehingga phase gel akan lebih mengumpul yang mengakibatkan pasta semen mengkerut.



Gambar 2.12 : Pengaruh humidity terhadap deformasi pasta semen

BAB 3

SISTEMATIKA PENELITIAN

3.1. Cara Kerja

Penelitian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan peralatan-peralatan seperti Laser Particle Size Analyzer, XRF, XRD dan pengujian mortar semen sesuai mengacu pada standar nasional SNI dan standar internasional EN (Eropa). Adapun tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah seperti ditunjukkan gambar 3.4, yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Persiapan material, dilakukan pengambilan terak semen (Clinker), Gypsum dan Batu Kapur (Limestone), kemudian dilakukan pemanasan pada temperature 100°C selama 24 jam didalam oven pemanas.
2. Penggilingan Clinker, Clinker dihaluskan dengan digiling secara bersama-sama untuk seluruh clinker yang dibutuhkan menggunakan tube mill (rotary mill). Penggilingan dilakukan dengan menggiling terlebih dahulu clinker hingga mencapai kehalusan sekitar $2000\text{ cm}^2/\text{gr}$, kemudian dilakukan pencampuran dengan gypsum, kemudian penggilingan dilanjutkan hingga mencapai kehalusan $4000\text{ cm}^2/\text{gr}$ (Blaine).
3. Penggilingan Limestone, Pada limestone juga dilakukan dengan dengan cara yang sama yaitu dengan digiling secara bersama-sama pada tube mill (Rotary mill). Penggilingan dilakukan hingga mencapai kehalusan $4000\text{ cm}^2/\text{gr}$, dilakukan pengambilan sampel secukupnya, selebihnya digiling kembali hingga kehalusan seperti pada desain sampel.
4. Selama proses penggilingan dilakukan pengamatan kehalusan material yang digiling dengan cara menghentikan sementara mill, mengambil sampel untuk diukur tingkat kehalusannya menggunakan blaine meter.
5. Pada campuran clinker dan gypsum kehalusan yang diperlukan untuk keperluan sampel adalah pada kehalusan $4000\text{ cm}^2/\text{gr}$, sedangkan pada limestone adalah

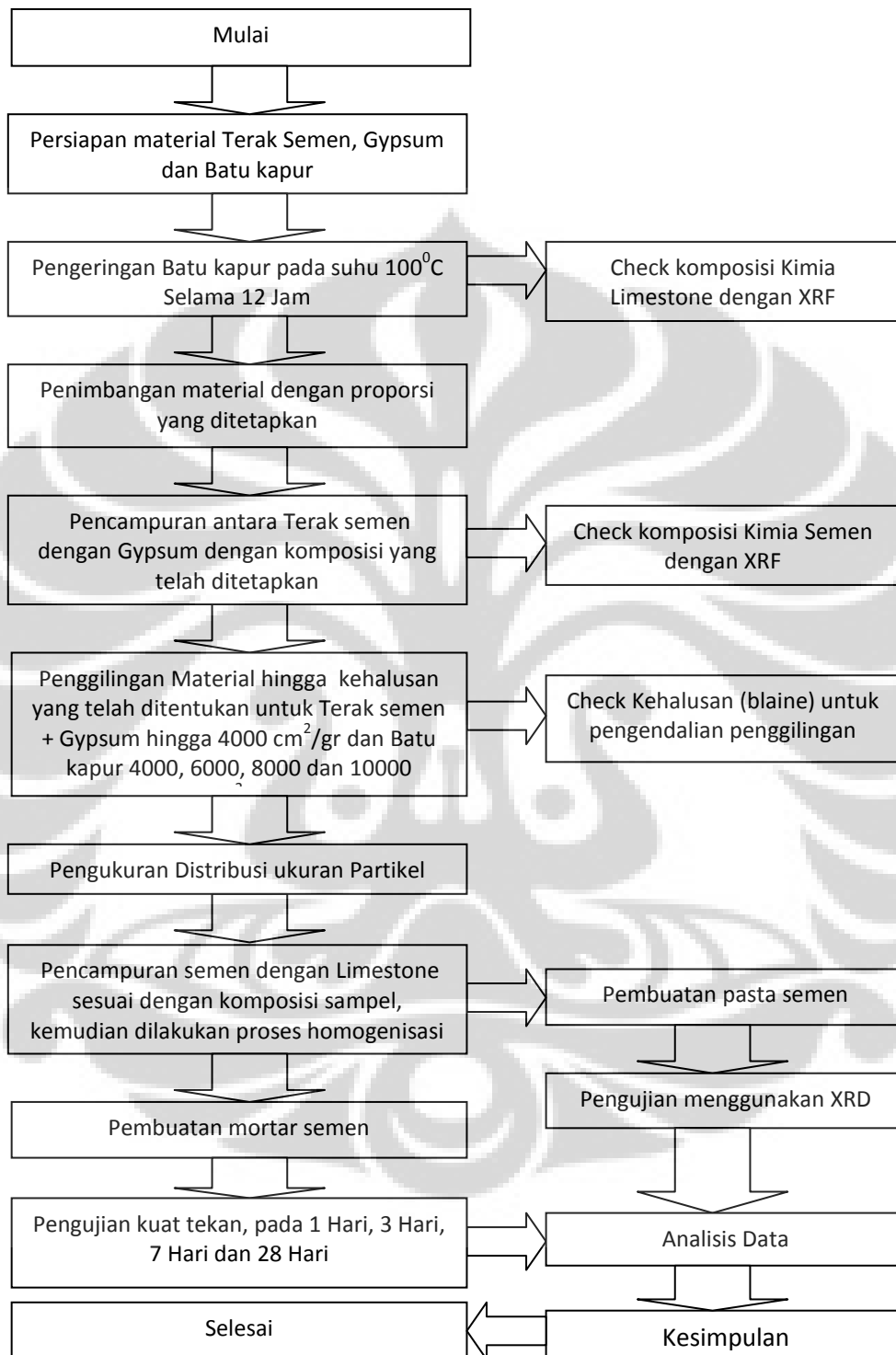
pada kehalusan 4000 cm²/gr, 6000 cm²/gram, 8000 cm²/gr dan 10000 cm²/gr. Untuk kemudian dilakukan karakterisasi awal yaitu pengukuran Particle Size Distributions, Chemical Compositions menggunakan XRF dan Diffraction Pattern menggunakan XRD.

6. Persiapan sampel, dibuat 16 buah sampel dengan variasi komposisi limestone 5%, 10%, 15% dan 20% dan variasi kehalusan blaine 4000 cm²/gr, 6000 cm²/gr, 8000 cm²/gr dan 10000 cm²/gr, Seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Desain sampel untuk penelitian

Sampel	Clinker		Gypsum		Limestone		Sampel	Clinker		Gypsum		Limestone	
	%	Cm ² /gr	%	Cm ² /gr	%	Cm ² /gr		%	Cm ² /gr	%	Cm ² /gr	%	Cm ² /gr
1	91.5	4000	3.5	4000	5	4000	9	76.5	4000	3.5	4000	5	8000
2	86.5	4000	3.5	4000	10	4000	10	76.5	4000	3.5	4000	10	8000
3	81.5	4000	3.5	4000	15	4000	11	76.5	4000	3.5	4000	15	8000
4	76.5	4000	3.5	4000	20	4000	12	76.5	4000	3.5	4000	20	8000
5	76.5	4000	3.5	4000	5	6000	13	76.5	4000	3.5	4000	5	10000
6	76.5	4000	3.5	4000	10	6000	14	76.5	4000	3.5	4000	10	10000
7	76.5	4000	3.5	4000	15	6000	15	76.5	4000	3.5	4000	15	10000
8	76.5	4000	3.5	4000	20	6000	16	76.5	4000	3.5	4000	20	10000

7. Untuk keperluan pengujian kuat tekan setiap Nomor Sampel dibuat mortar (adukan semen, pasir dan air) sebanyak 8 buah sampel yaitu untuk pengujian pada 1 Hari, 3 Hari, 7 Hari dan 28 Hari, yang masing masing dilakukan 3 kali.
8. Sedangkan untuk keperluan pengujian menggunakan XRF dan XRD dibuat pasta (adukan semen dengan air) yang hanya satu sampel untuk tiap-tiap komposisi dan kehalusan.



Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian

3.2. Peralatan yang Digunakan.

3.2.1. Spektrometer Sinar- X (XRF).

Spektrometer Sinar-X (XRF), digunakan untuk mengetahui unsur-unsur pembentuk material, Spektrometer Sinar-X yang digunakan dalam penelitian ini adalah Merk ThermoARL, Tipe 8480, Buatan Swiss.



Gambar 3.1. Spektrometer Sinar-X

3.2. 2. Difraktometer Sinar-X (XRD).

Difraktometer Sinar-X (XRD) digunakan untuk mengetahui senyawa-senyawa pembentuk semen beserta komposisinya. Adapun Pesawat Difraktometer Sinar-X yang digunakan untuk penelitian ini adalah, Merk Bruker AXS GmbH, Tipe D4 ENDEAVOR, Buatan Jerman.



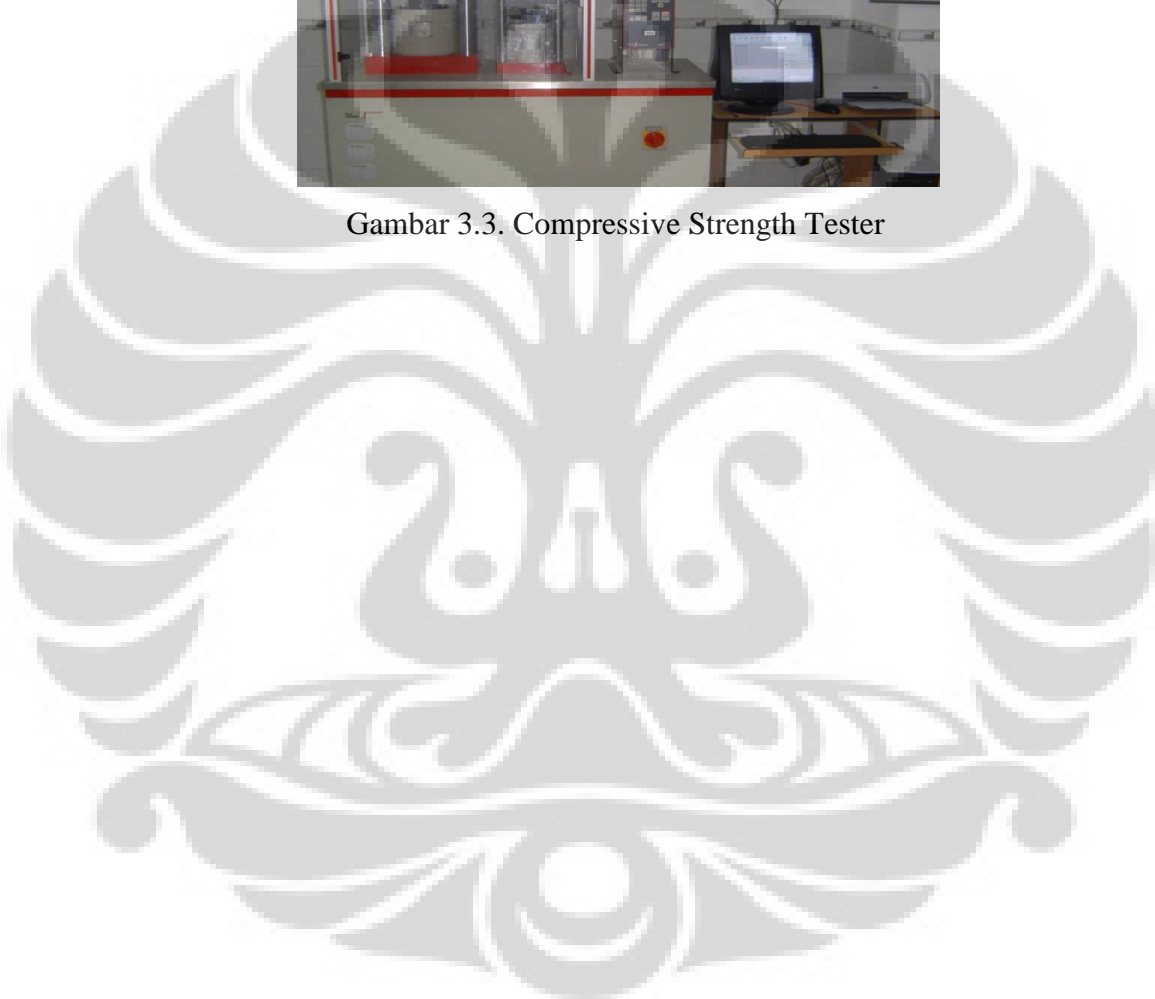
Gambar 3.2. Difraktometer sinar-X

3.2.3. Compressive Strength Tester

Compressive Strength Tester, digunakan untuk mengukur kuat tekan mortar, adapun Compressive Strength Tester yang digunakan pada penelitian ini adalah merk Maruto.



Gambar 3.3. Compressive Strength Tester



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Awal

4.1.1. Komposisi kimia

Komposisi kimia dianalisa menggunakan XRF merk ARL type 8480, didapat hasil seperti tabel 4.1.

Tabel 4.1. Komposisi Kimia Sampel

Sampel	Komposisi Kimia (%)							
	LOI	IR	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Cement	0.50	0.31	20.83	4.78	3.48	64.65	2.66	1.85
Limestone	-	-	2.92	1.35	0.29	51.01	1.91	-

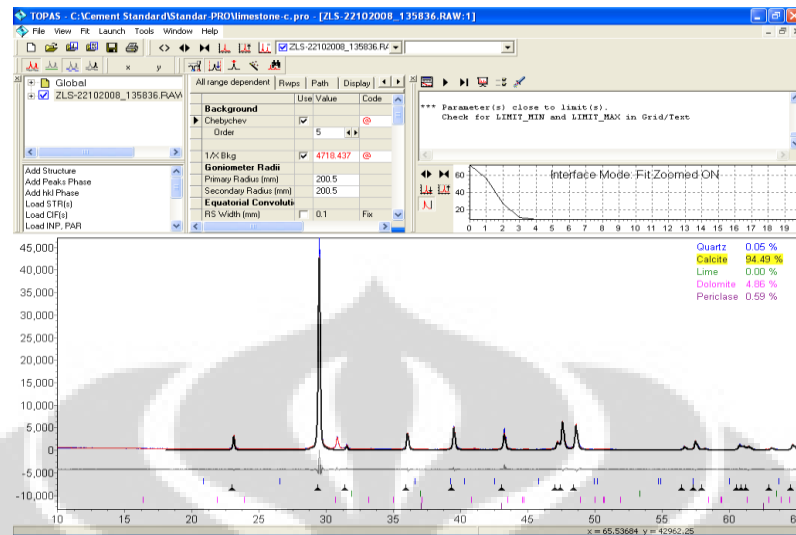
Semen Portland yang digunakan untuk penelitian mempunyai kandungan CaO yang mencapai 64.65%, sedangkan pada limestone kandungan CaO mencapai 51.01%.

Sedangkan kandungan SiO₂ pada semen mencapai 20.83%, sementara pada limestone hanya 2.92%.

4.1.2. Kandungan Mineral

Analisa Kandungan mineral dilakukan menggunakan XRD Merk Bruker AXS type D4 Endeavor, kemudian dilakukan pencocokan kurva hasil XRD menggunakan metoda Rietveld dengan bantuan Program Topas V3.3 buatan Bruker AXS.

Dari Pencocokan kurva difraksi sinar-X yang dilakukan menggunakan metoda rietveld didapat hasil kandungan mineral pada batu kapur yang digunakan seperti pada table 4.1.

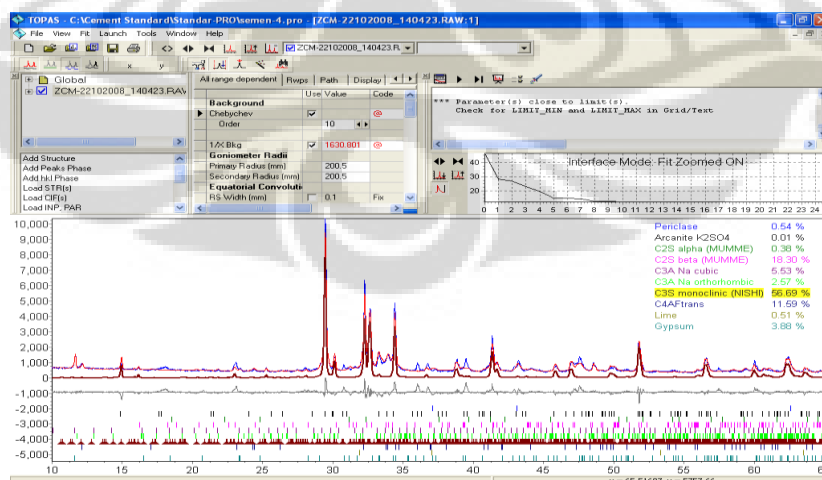


Gambar 4.1. Hasil Pencocokan Rietveld pada kurva Batukapur

Tabel 4.2. Kandungan Mineral Batukapur

Mineral	Quartz	Calcite	Dolomite	Periclase
Kandungan (%)	0.05	94.49	4.86	0.59

Terlihat bahwa limestone yang digunakan hampir seluruhnya dalam bentuk Calcite yaitu mencapai 94.49%, sementara Dolomite hanya mencapai 4.86%, sedangkan yang tak kalah pentingnya adalah kandungan Quartz yang hanya mencapai 0.05%.



Gambar 4.2. Hasil Pencocokan Rietveld pada kurva Semen Portland

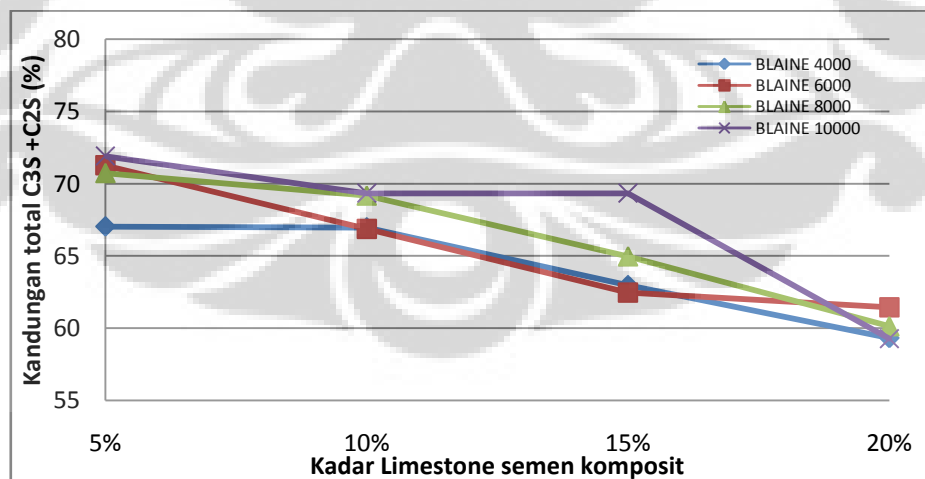
Selain itu juga dilakukan pencocokan kurva metoda rietveld pada kurva difraksi sinar-X semen Portland, didapat hasil seperti gambar 4.2. dan tabel 4.2.

Tabel 4.3. Kandungan Mineral Semen Portland

Mineral	Periclase	Arcanite	C2S Alpha	C2S Beta	C3A Na Cubic
Kandungan (%)	0.54	0.01	0.38	18.30	5.53

Mineral	C3A Na Orthorhombic	C3S Monoclinic	C3AF trans	Lime	Gypsum
Kandungan (%)	2.57	56.69	11.59	0.51	3.88

Dari pencocokan kurva rietveld terlihat puncak tertinggi yaitu pada sudut 29.54° , 32.25° , 32.65° dan 34.41° merupakan puncak dari C3S Monoclinic. C3S dalam sampel semen Portland ini memiliki kandungan yang cukup tinggi yaitu mencapai 56.69%, hal ini sangat bagus karena C3S ini akan bereaksi dengan air membentuk mineral Calcium Silicate Hidrate (CSH) yang akan sangat mempengaruhi kuat tekan dari mortar ataupun beton. Selain C3S terdapat pula C2S yang juga jika bereaksi dengan air akan membentuk CSH, yang juga akan berpengaruh terhadap kuat tekan. Pada bahan terdapat kandungan C2S dalam format C2S Alpha (0.38%) dan C2S Beta (18.30%) yang cukup besar yaitu mencapai 18.68%.

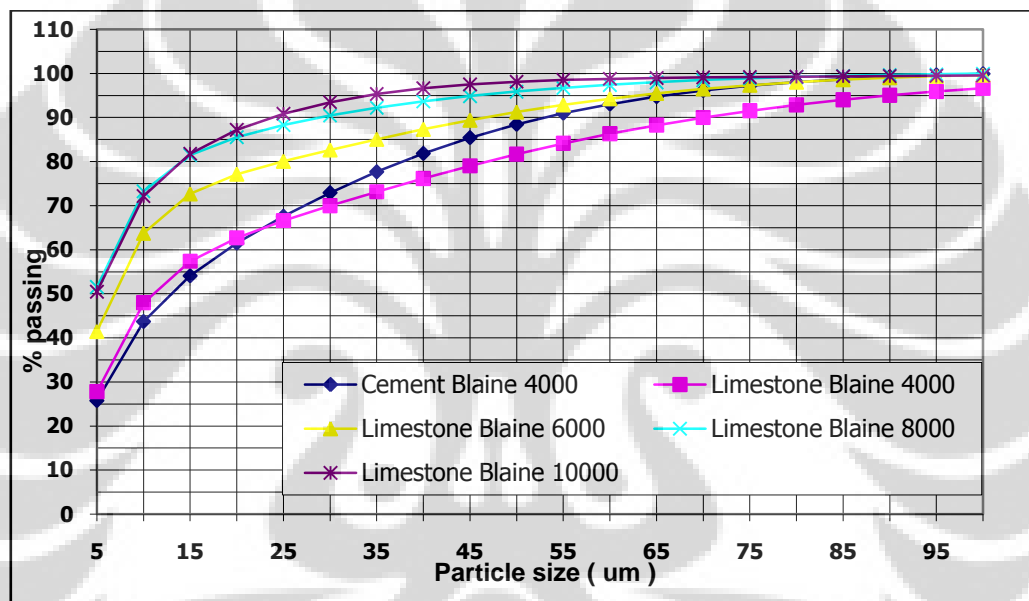


Gambar 4.3. Kandungan total C2S dan C3S

Dari gambar 4.3. terlihat bahwa pada sampel bahwa dengan penambahan kadar limestone, maka prosentase kandungan total C3S dan C2S ada kecenderungan turun.

4.1.3. Distribusi Partikel

Pada sampel yang telah digiling, kemudian dilakukan pengukuran distribusi ukuran partikel menggunakan particle distribution sizer. Pengukuran dilakukan pada masing masing sampel, didapatkan hasil seperti gambar 4.4.



Gambar 4.4. Distribusi Ukuran Partikel

4.2. Hasil Pengujian sampel

4.2.1. Kandungan Mineral

Kandungan mineral sampel diukur menggunakan difraktometer sinar-X, kemudian dilakukan pencocokan kurva hasil difraksi menggunakan program TOPAS V3.3. buatan Bruker AXS, untuk mengetahui perubahan kandungan mineral ataupun perubahan mineral pada sampel selama penelitian berlangsung.

Pengamatan ditujukan pada keberadaan dan perilaku mineral-mineral yang ditengarai mempunyai sumbangan terhadap kuat tekan mortar. Adapun mineral-

mineral yang ditengarai mempunyai sumbangan terhadap kuat tekan mortar adalah adanya mineral Calcium Silicate Hidrate (CSH).

Hasil Pengukuran kandungan mineral dan hasil pencocokan kurva untuk masing masing sampel pada umur 28 Hari adalah seperti terlihat pada Lampiran 2.

4.2.2. Kuat Tekan

Kuat tekan diukur pada sampel mortar menggunakan mesin Compressive Strength Tester Merk Maruto, pada 1 hari, 3 hari, 7 hari dan 28 hari.

Tabel 4.4. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 5%

No	Clinker		Gypsum		Limestone		Strength Kg/cm ²				
	%	Blaine	%	Blaine	%	Blaine	1 Days	3 Days	7 Days	28 Days	
1	91.5	4000	3.5	4000	5.0	4000	1	124	236	313	408
							2	121	232	318	405
							3	132	241	322	402
							AVG	125.7	236.3	317.7	405.0
							Stdev	11.4	9.0	9.0	6.0
2	91.5	4000	3.5	4000	5.0	6000	1	122	230	309	407
							2	126	228	314	416
							3	116	236	311	408
							AVG	121.3	231.3	311.3	410.3
							Stdev	10.1	8.3	5.0	9.9
3	91.5	4000	3.5	4000	5.0	8000	1	126	232	319	430
							2	120	230	311	425
							3	126	226	309	421
							AVG	124.0	229.3	313.0	425.3
							Stdev	6.9	6.1	10.6	9.0
4	91.5	4000	3.5	4000	5.0	10000	1	132	242	320	430
							2	138	248	318	436
							3	128	240	323	426
							AVG	132.7	243.3	320.3	430.7
							Stdev	10.1	8.3	5.0	10.1

Tabel 4.5. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 10%

No	Clinker		Gypsum		Limestone			Strength Kg/cm ²			
	%	Blaine	%	Blaine	%	Blaine		1 Days	3 Days	7 Days	28 Days
1	91.5	4000	3.5	4000	5.0	4000	1	112	225	306	408
							2	116	218	301	400
							3	119	216	308	403
							AVG	115.7	219.7	305.0	403.7
							Stdev	3.5	4.7	3.6	4.0
2	91.5	4000	3.5	4000	5.0	6000	1	114	228	307	416
							2	120	219	301	406
							3	109	215	309	409
							AVG	114.3	220.7	305.7	410.3
							Stdev	5.5	6.7	4.2	5.1
3	91.5	4000	3.5	4000	5.0	8000	1	118	220	311	420
							2	111	222	301	414
							3	121	228	307	414
							AVG	116.7	223.3	306.3	416.0
							Stdev	5.1	4.2	5.0	3.5
4	91.5	4000	3.5	4000	5.0	10000	1	133	233	314	420
							2	125	240	311	418
							3	131	231	319	415
							AVG	129.7	234.7	314.7	417.7
							Stdev	4.2	4.7	4.0	2.5

Tabel 4.6. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 15%

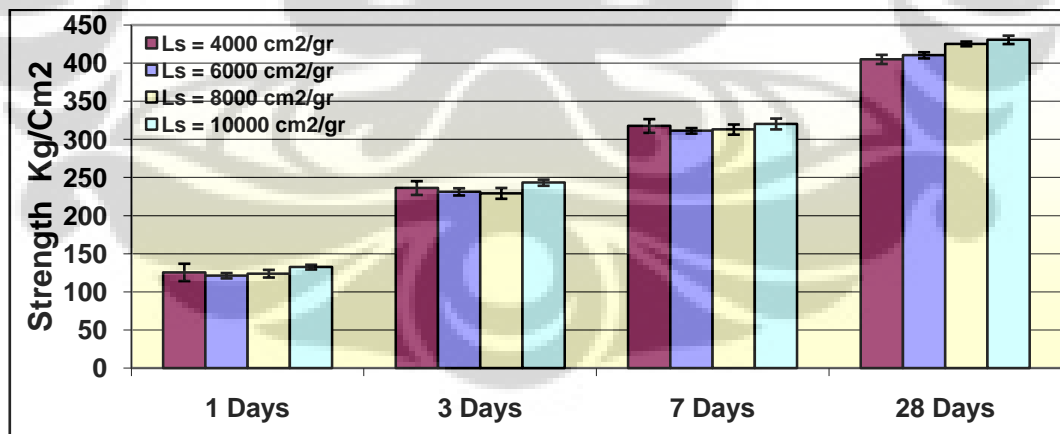
No	Clinker		Gypsum		Limestone			Strength Kg/cm ²			
	%	Blaine	%	Blaine	%	Blaine		1 Days	3 Days	7 Days	28 Days
1	91.5	4000	3.5	4000	5.0	4000	1	110	220	288	376
							2	105	211	287	374
							3	115	225	299	380
							AVG	110.0	218.7	291.3	376.7
							Stdev	5.0	7.1	6.7	3.1
2	91.5	4000	3.5	4000	5.0	6000	1	108	218	290	387
							2	105	214	289	380
							3	106	224	302	396
							AVG	106.3	218.7	293.7	387.7
							Stdev	1.5	5.0	7.2	8.0
3	91.5	4000	3.5	4000	5.0	8000	1	110	216	298	396
							2	108	220	296	401
							3	106	211	299	400
							AVG	108.0	215.7	297.7	399.0
							Stdev	2.0	4.5	1.5	2.6
4	91.5	4000	3.5	4000	5.0	10000	1	118	221	300	401
							2	110	218	302	406
							3	114	210	309	407
							AVG	114.0	216.3	303.7	404.7
							Stdev	4.0	5.7	4.7	3.2

Tabel 4.7. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 20%

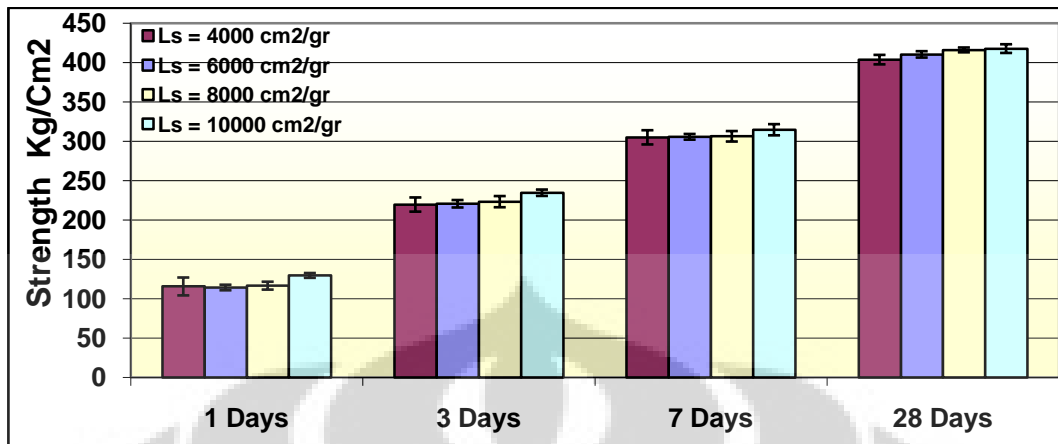
No	Clinker		Gypsum		Limestone		Strength Kg/Cm2				
	%	Blaine	%	Blaine	%	Blaine	1 Days	3 Days	7 Days	28 Days	
1	91.5	4000	3.5	4000	5.0	4000	1	110	218	277	370
							2	114	210	282	365
							3	108	215	291	376
							AVG	110.7	214.3	283.3	370.3
							Stdev	3.1	4.0	7.1	5.5
2	91.5	4000	3.5	4000	5.0	6000	1	108	219	287	381
							2	108	212	280	374
							3	96	214	294	380
							AVG	104.0	215.0	287.0	378.3
							Stdev	6.9	3.6	7.0	3.8
3	91.5	4000	3.5	4000	5.0	8000	1	109	210	296	399
							2	106	208	290	400
							3	100	214	291	390
							AVG	105.0	210.7	292.3	396.3
							Stdev	4.6	3.1	3.2	5.5
4	91.5	4000	3.5	4000	5.0	10000	1	115	220	296	405
							2	109	217	299	400
							3	118	216	295	399
							AVG	114.0	217.7	296.7	401.3
							Stdev	4.6	2.1	2.1	3.2

4.3. Pembahasan

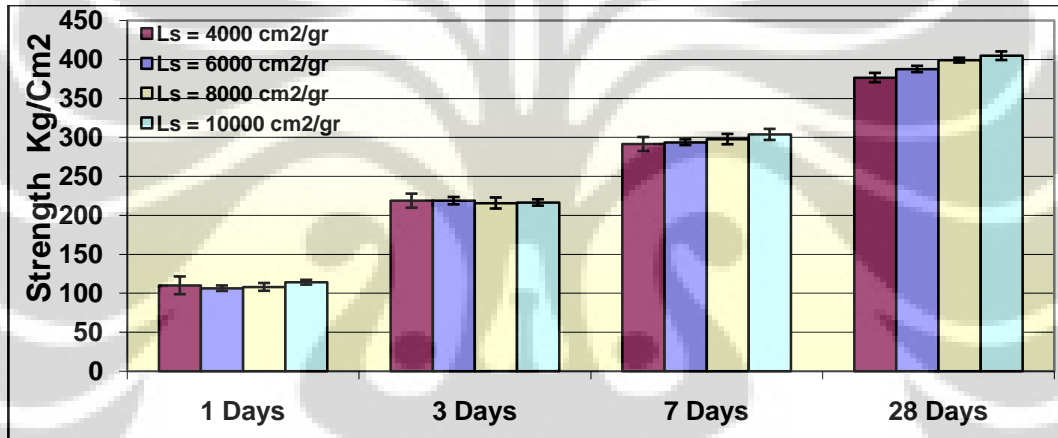
Hasil dari uji kuat tekan jika diplot, didapat hasil seperti gambar 4.5 untuk limestone 5%, gambar 4.6. untuk limestone 10%, gambar 4.7. untuk limestone 15% dan gambar 4.8 untuk limestone 20%.



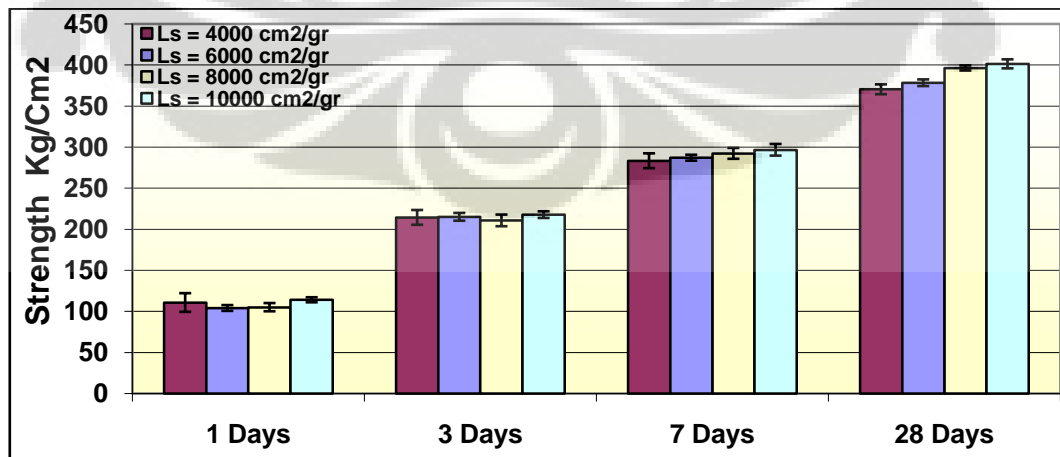
Gambar 4.5. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 5%



Gambar 4.6. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 10%

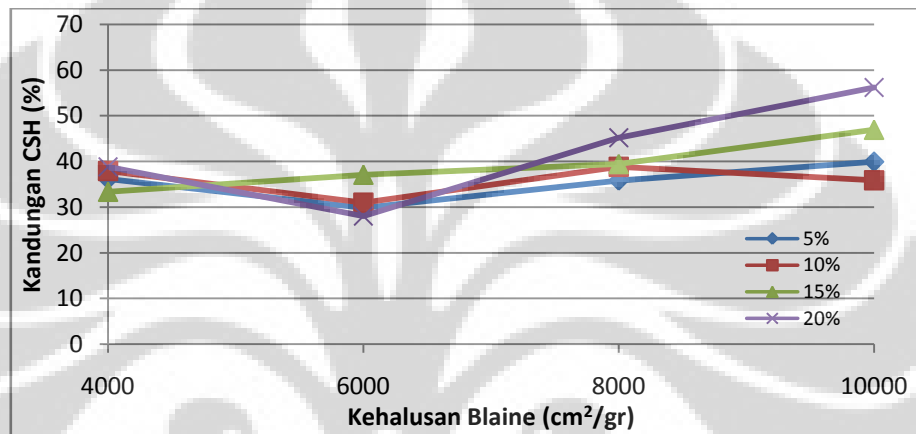


Gambar 4.7. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 15%



Gambar 4.5. Kuat Tekan Sampel dengan Limestone 20%

Tampak bahwa pada pengukuran kuat tekan 1 hari, 3 hari dan 7 hari kehalusan tidak menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan, akan tetapi pada hari ke 28 terlihat pengaruh yang cukup signifikan, hal ini bisa dilihat dari perbedaan hasil pengukuran pada sampel dengan limestone 20%. Perbedaan kuat tekan yang terjadi antara limestone dengan kehalusan blaine 4000 dan 10000 mencapai 31 Kg/cm².



Gambar 4.6. Kandungan CSH pada Sampel pada 28 Hari

Hasil XRD (lampiran 2) mengindikasikan bahwa CSH yang terbentuk pada 28 hari menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, dan terdapat kecenderungan bahwa pada kehalusan blaine yang lebih tinggi, CSH yang terbentuk juga lebih tinggi.

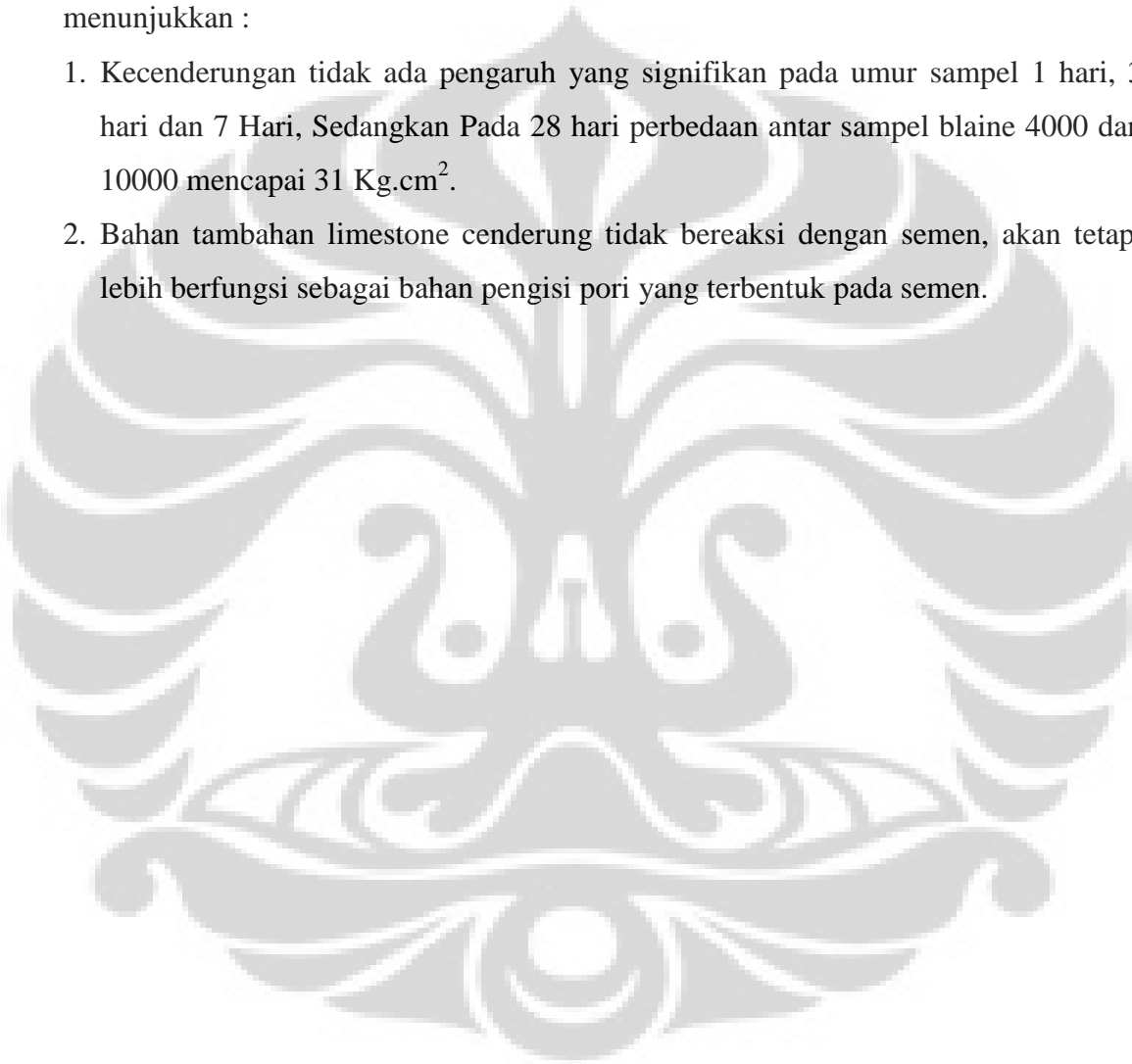
Akan tetapi perbedaan jumlah CSH antara kehalusan blaine 4000 cm²/gr, hingga 10000 cm²/gr tidak menunjukkan perbedaan nilai yang mencolok (cenderung linear), hal ini disebabkan penambahan limestone pada semen Portland ini lebih bersifat mengisi pori, dan tidak menunjukkan adanya reaksi kimia yang dapat mendorong jumlah CSH yang terbentuk.

BAB 5

KESIMPULAN

Pengujian kuat tekan dengan beberapa perbedaan kehalusan blaine pada penelitian ini menunjukkan :

1. Kecenderungan tidak ada pengaruh yang signifikan pada umur sampel 1 hari, 3 hari dan 7 Hari, Sedangkan Pada 28 hari perbedaan antar sampel blaine 4000 dan 10000 mencapai 31 Kg.cm².
2. Bahan tambahan limestone cenderung tidak bereaksi dengan semen, akan tetapi lebih berfungsi sebagai bahan pengisi pori yang terbentuk pada semen.



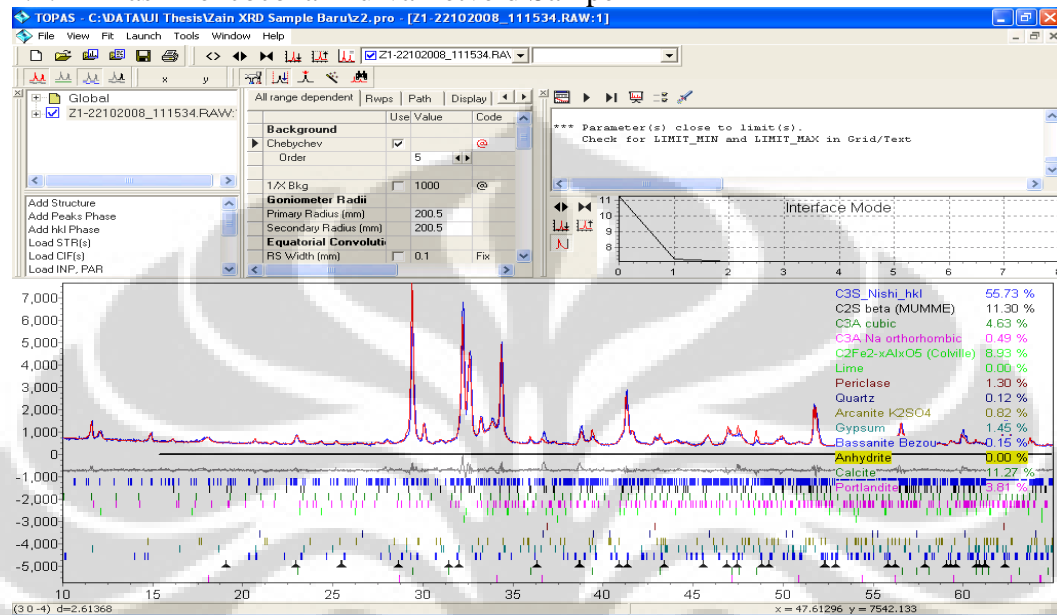
DAFTAR REFERENSI

1. Arnold, E. (Pub), The Chemistry of Cement and Concrete, The Gresham Press, London, Ed. 3, 1970
2. Dienemann, W., Technical Seminar Clinker Mineralogy and Cement Chemistry, Heidelberg Technology Center, Ed. 10, 2007
3. Donald, H. Campbell, Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker, Construction Technology Laboratories, USA, 1986
4. Bye, G.C., Portland Cement, Composition, Production, and Properties, Pergamon Press, Ed. 1, 1983
5. Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., and Rob P. Polder, Corrosion of steel in Concrete, Verlag GmbH & Co. KGaA, Part I Properties of Cementitious Material, Weinheim, 2004
6. Indrawati, V., Pengaruh Substitusi Cementitious Material Fly Ash, Trass, dan Limestone dalam Semen Portland terhadap Mekanisme Reaksi Hidrasi, FMIPA UI, Tesis, 2006
7. ASTM C 150-
International, USA, Vol 04.01, 2005
8. DIN 1164-1, Cement Composition and Requirement, Deutsche Norm, 1994
9. ASTM C 109/C 109M - 02, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, ASTM International, USA, Vol 04.01, 2005
10. ASTM C 305, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, USA, Vol 04.01, 2005
11. ASTM C 187-04, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, USA, Vol 04.01, 2005

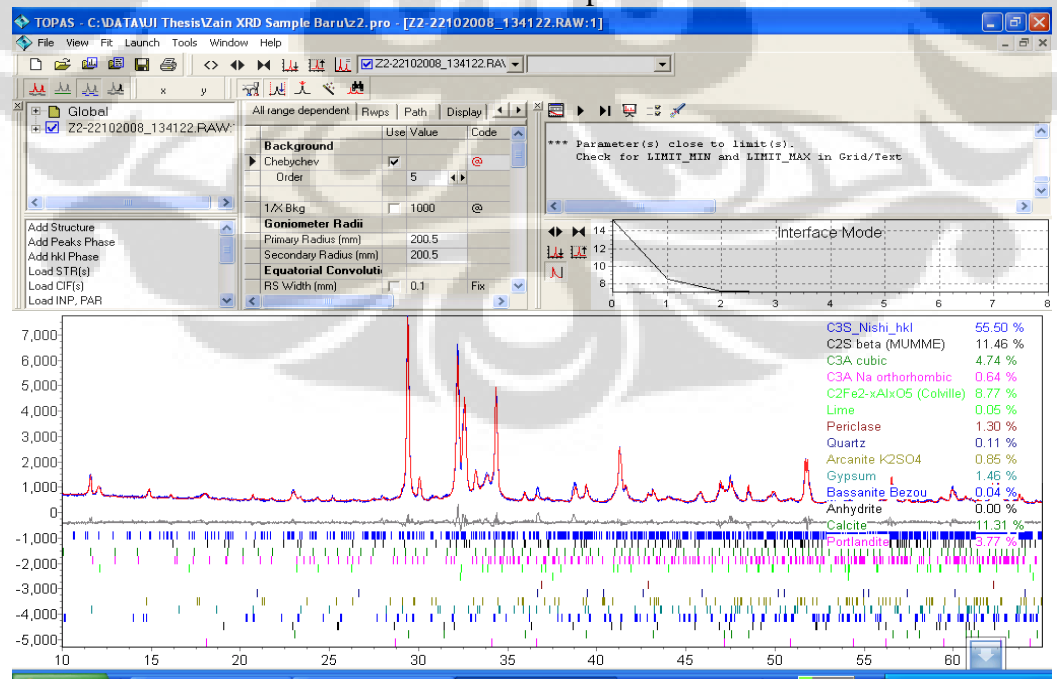
LAMPIRAN 1

HASIL PENCOCOKAN KURVA DIFRAKSI PADA SAMPEL SEMEN

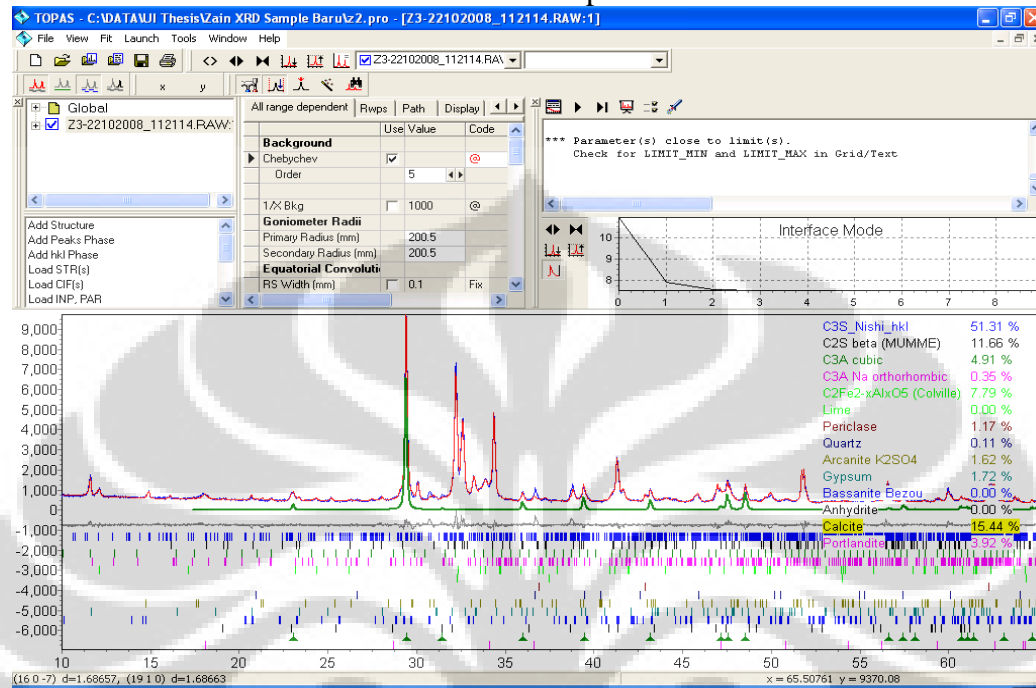
1.1. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 1



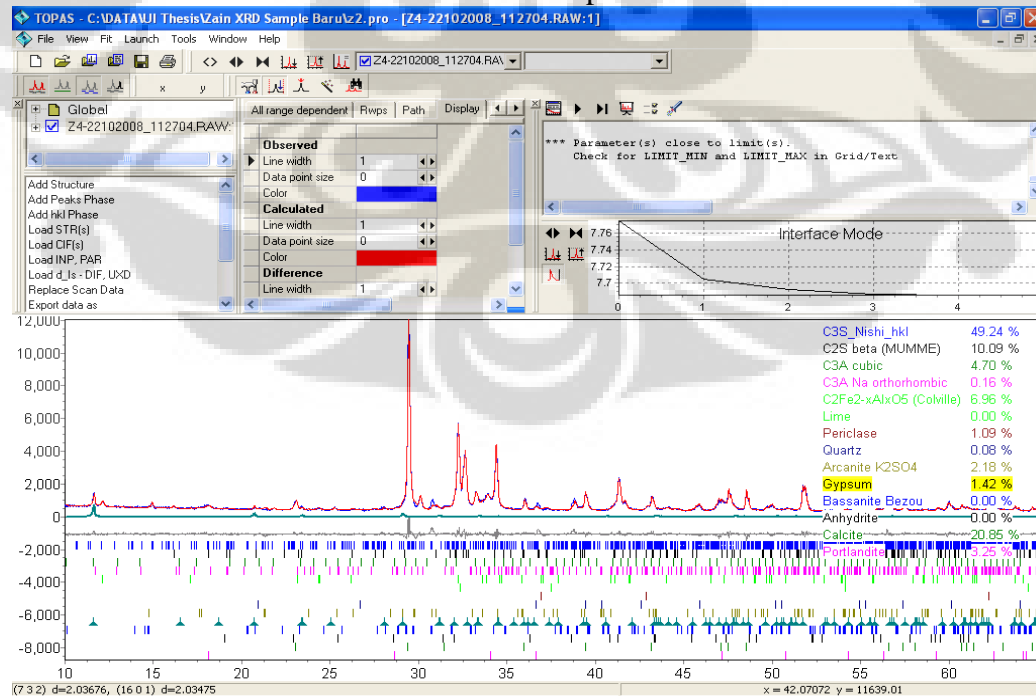
1.2. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 2



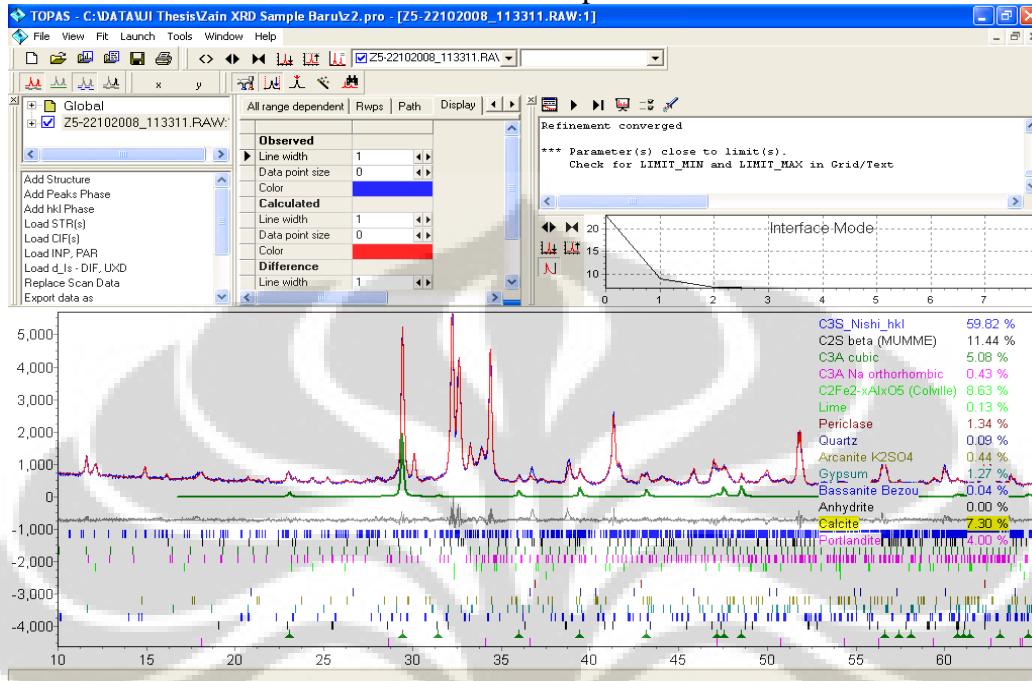
1.3. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 3



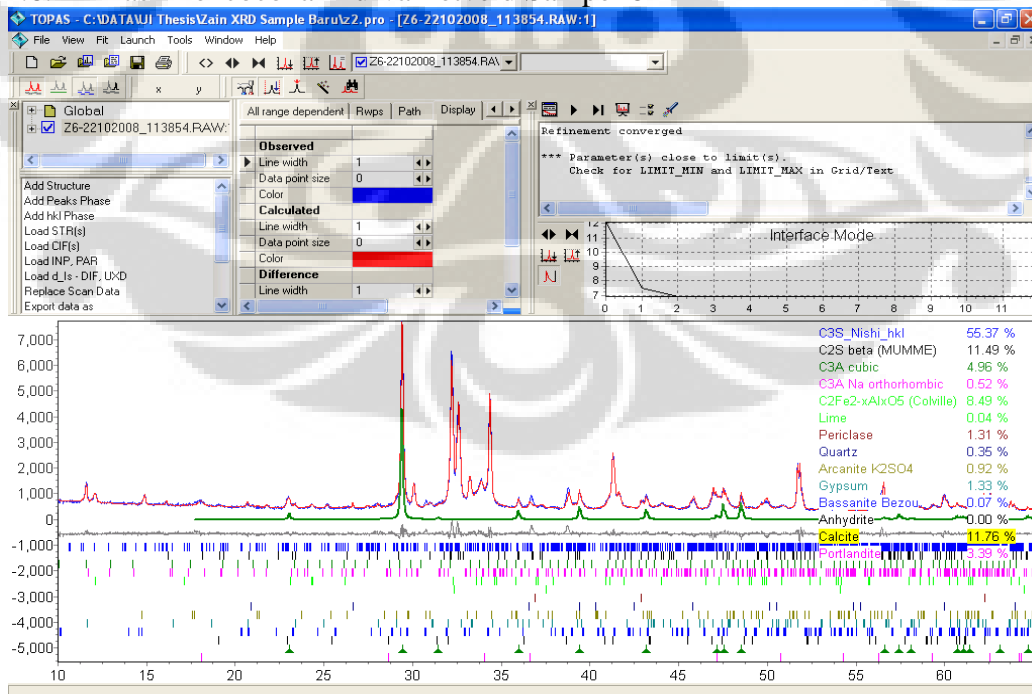
1.4. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 4



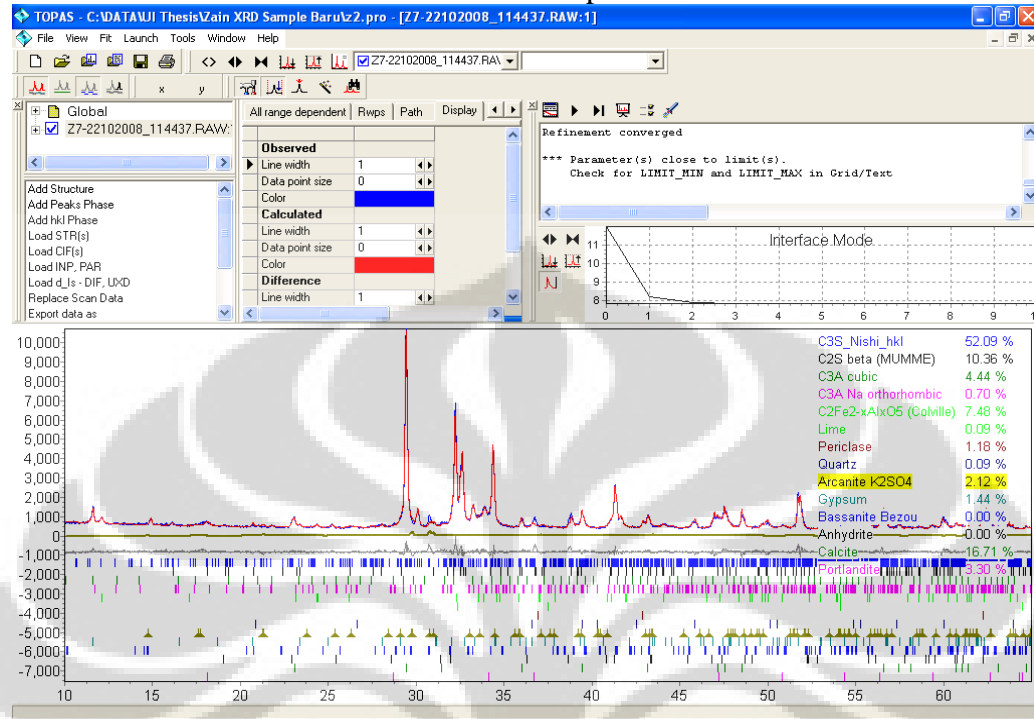
1.5. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 5



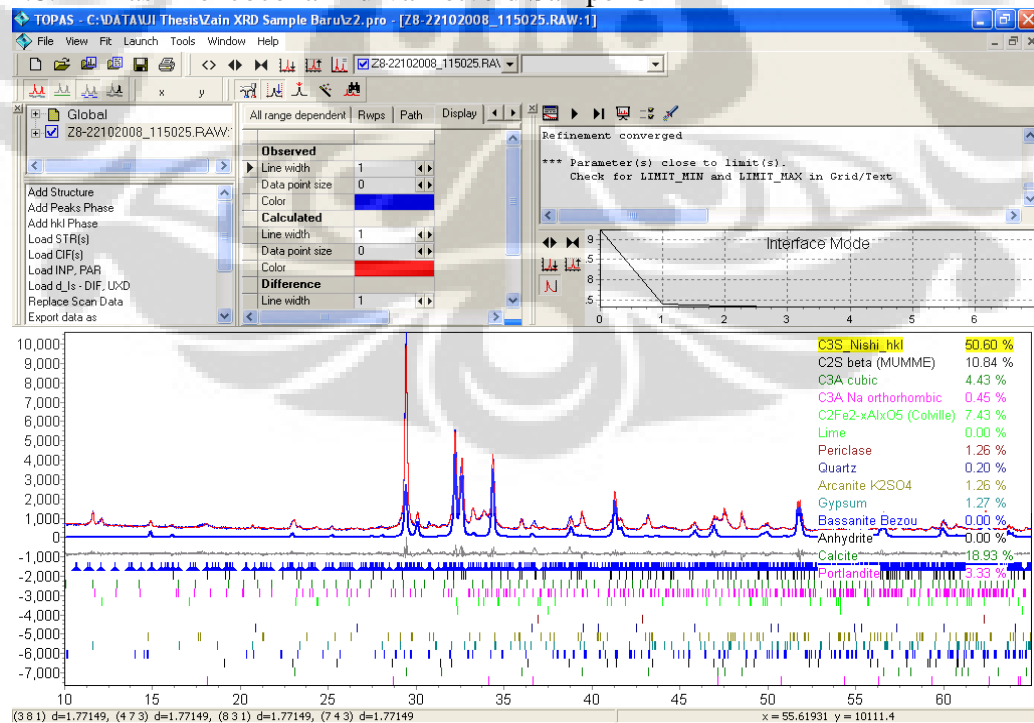
1.6. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 6



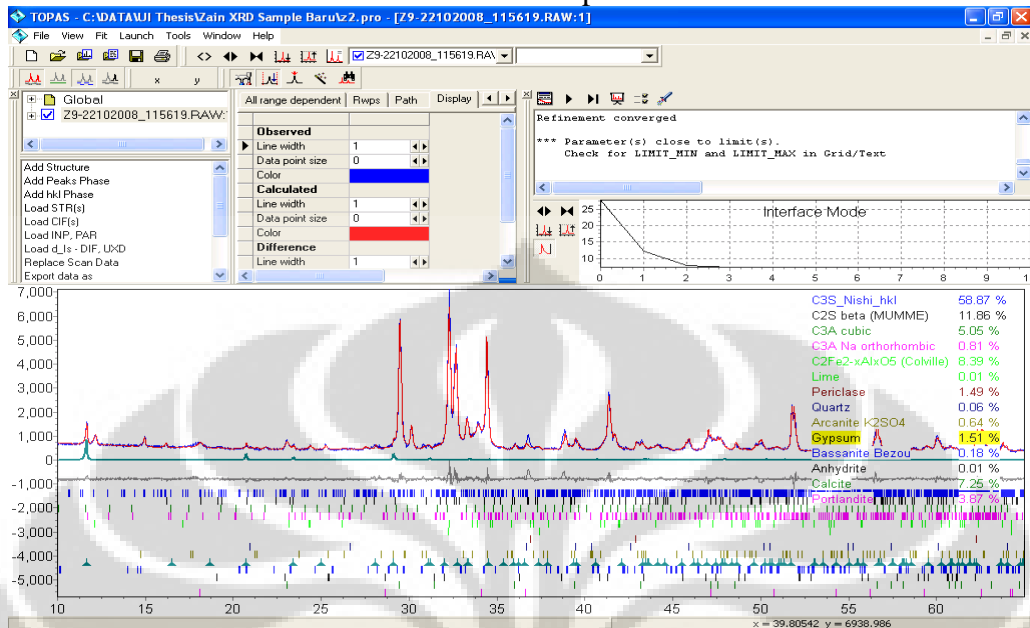
1.7. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 7



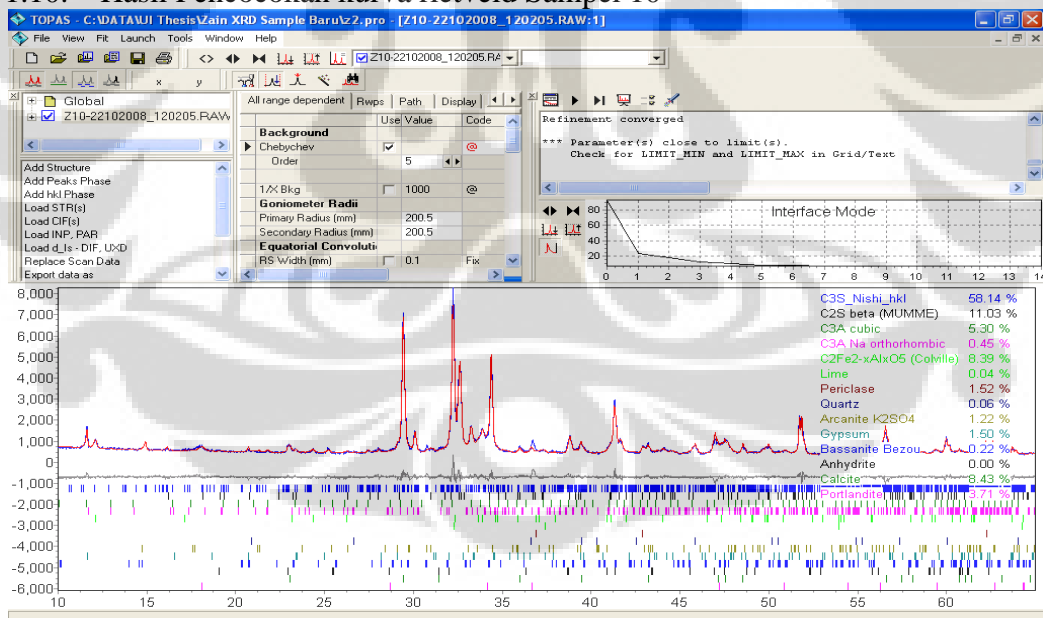
1.8. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 8



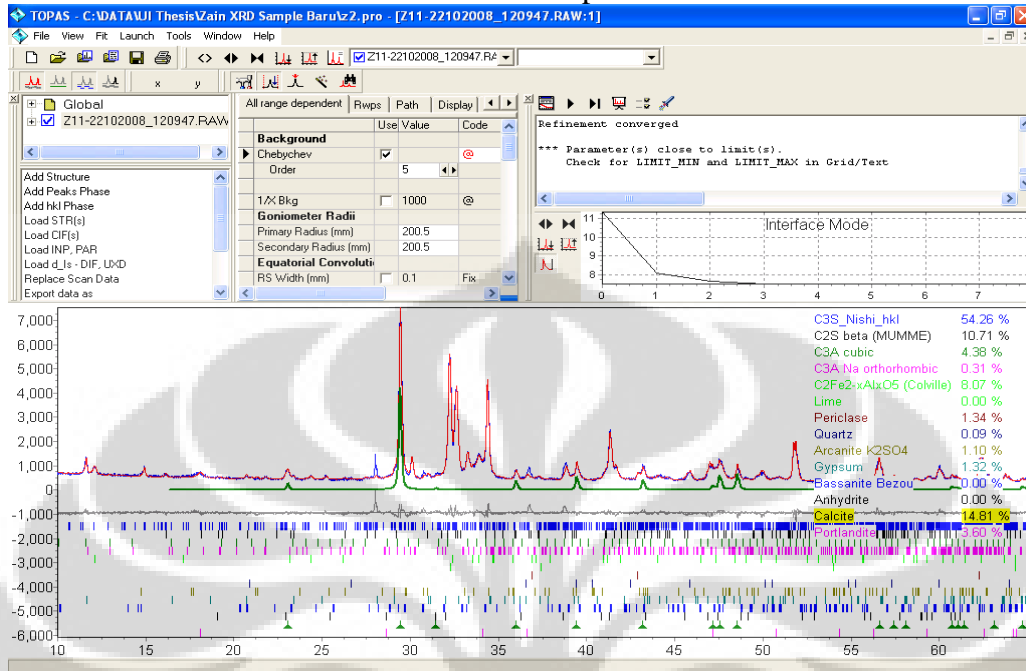
1.9. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 9



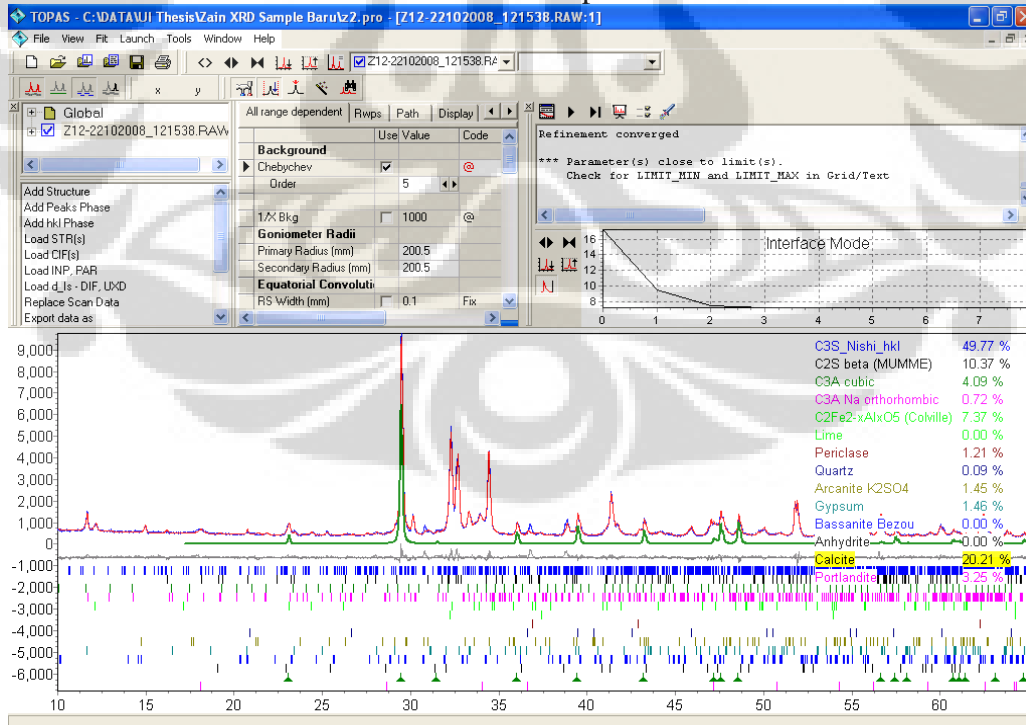
1.10. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 10



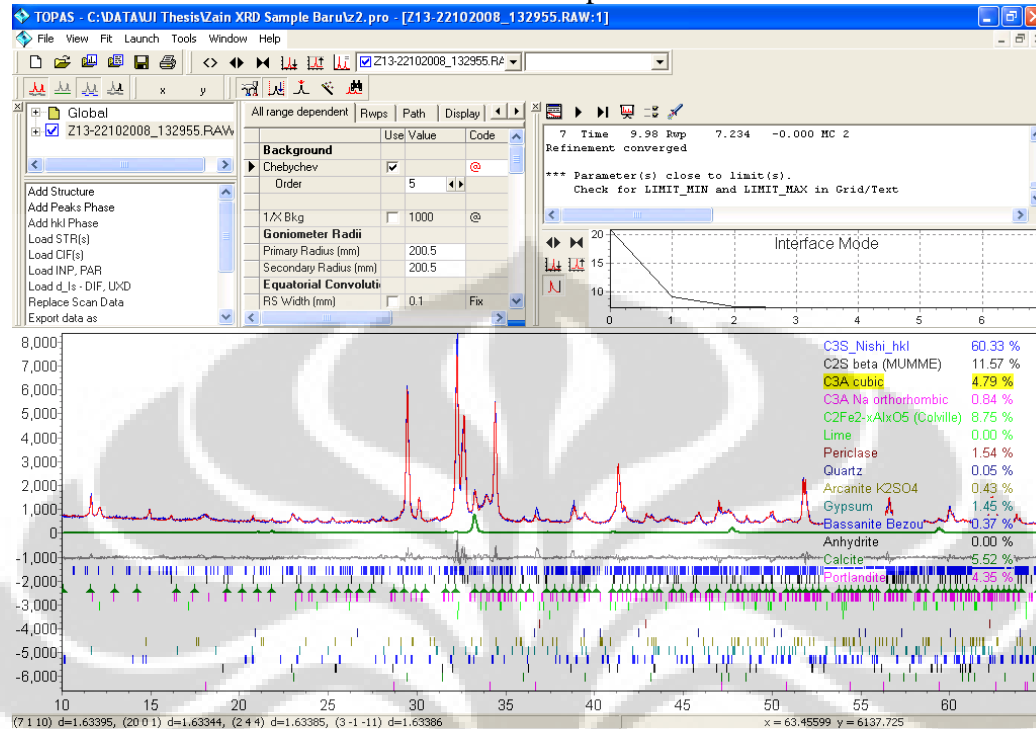
1.11. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 11



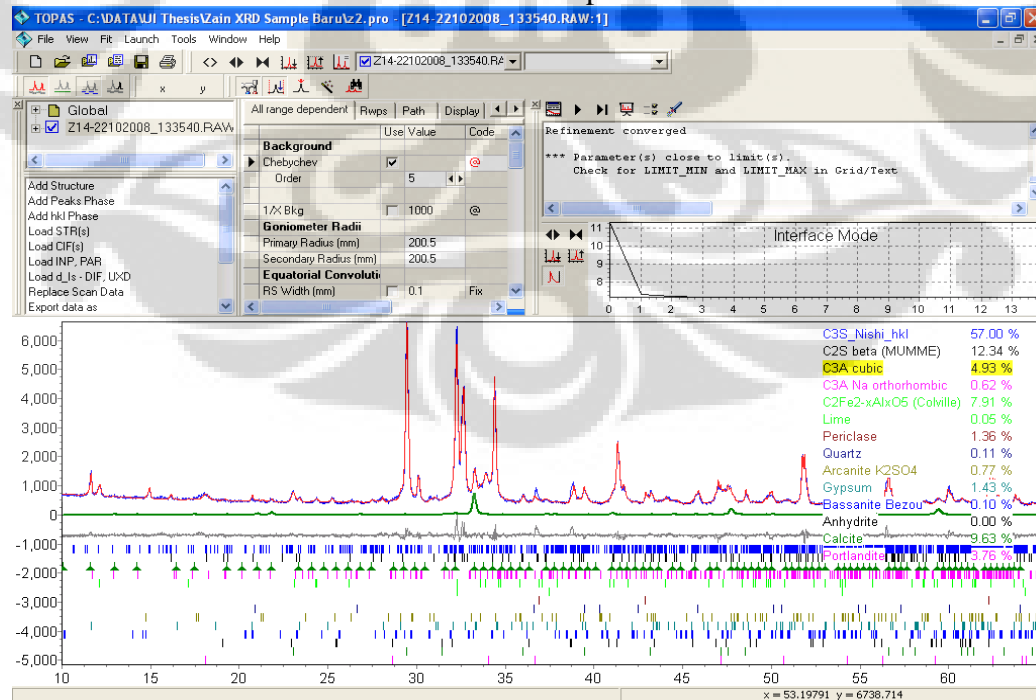
1.12. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 12



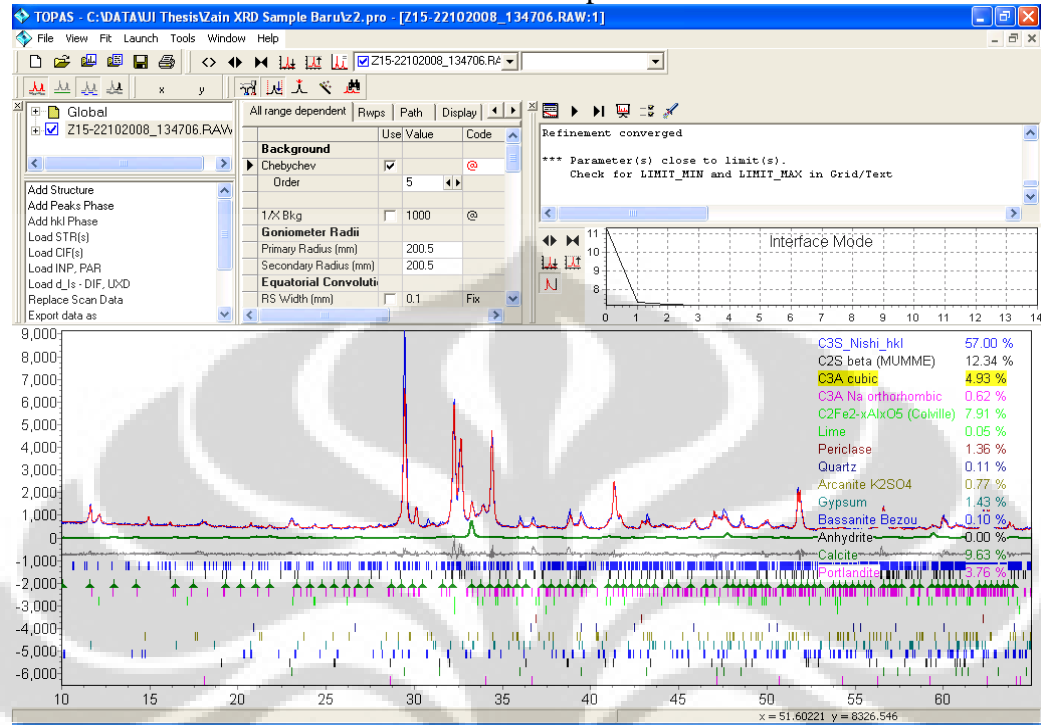
1.13. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 13



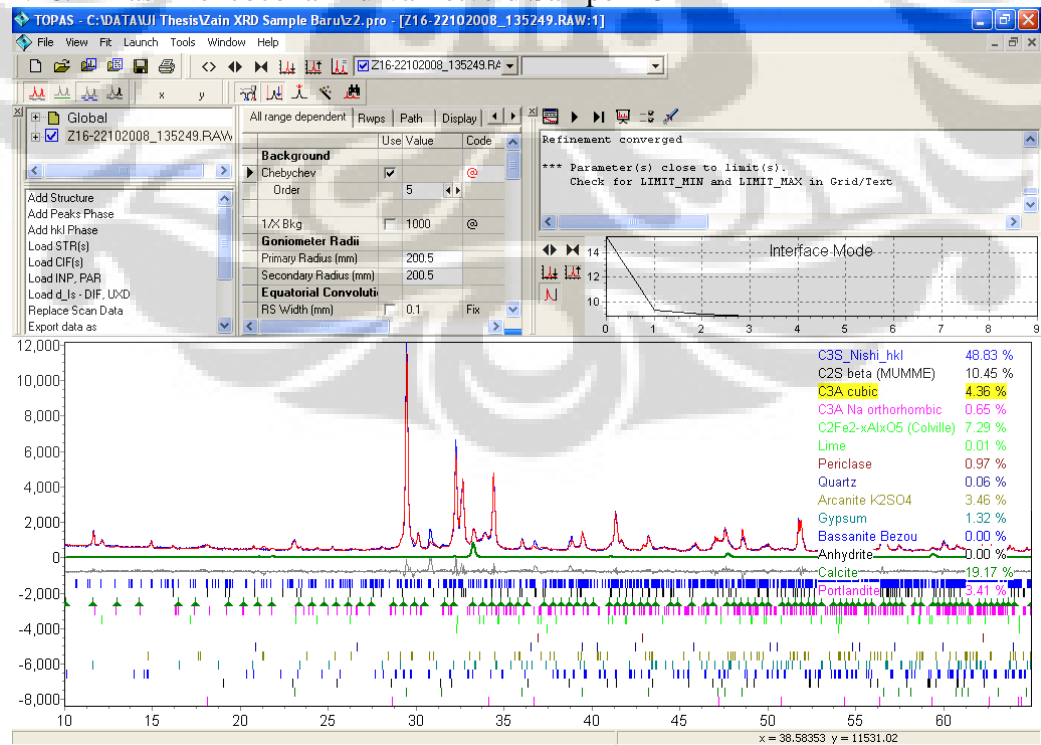
1.14. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 14



1.15. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 15

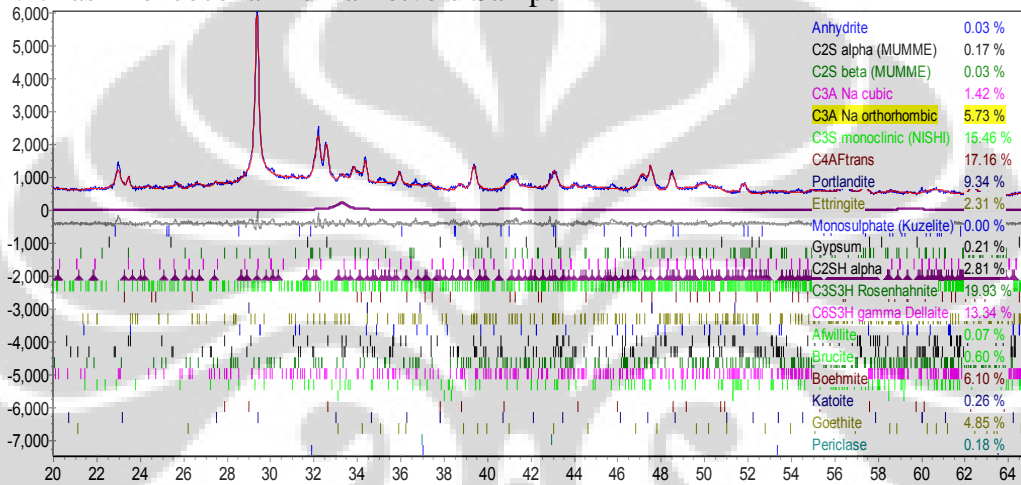


1.16. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 16

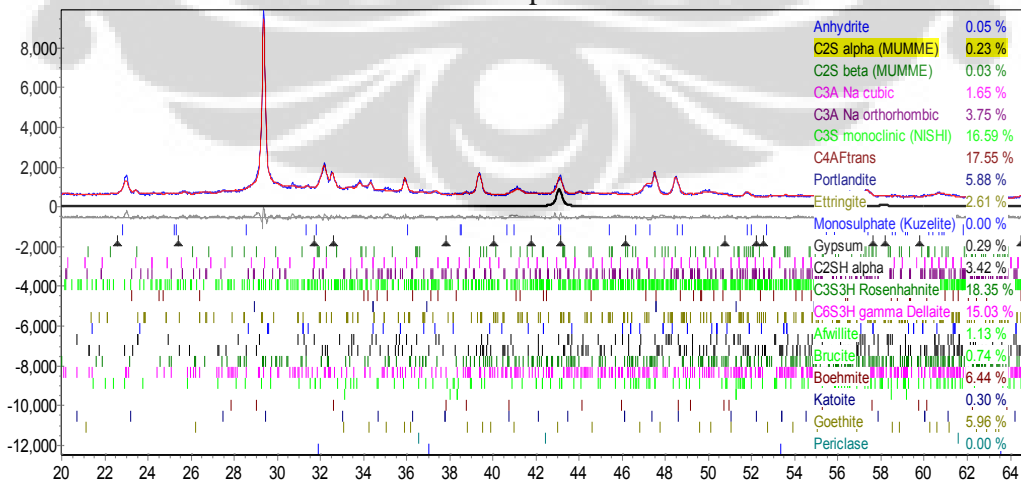


LAMPIRAN 2
HASIL PENCOCOKAN KURVA DIFRAKSI PADA
SAMPEL PASTA UMUR 28 HARI

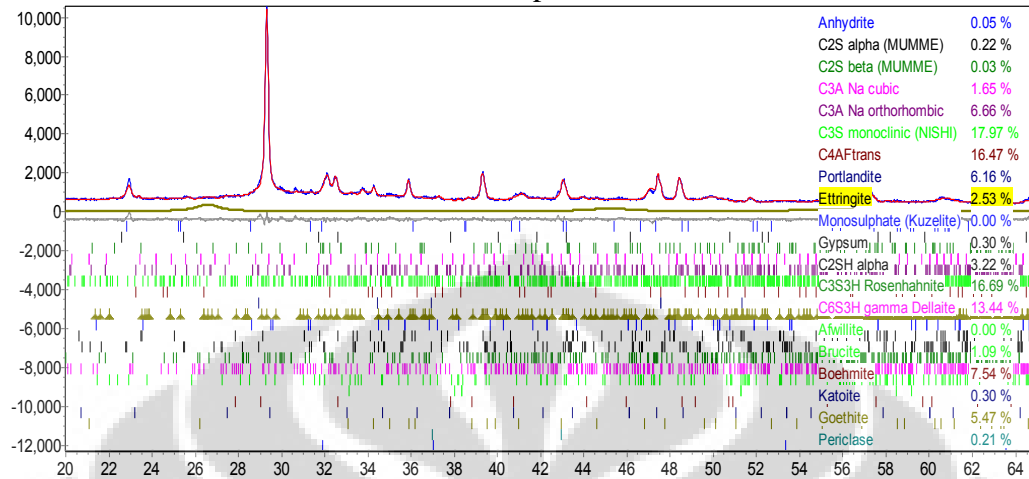
2.1. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 1



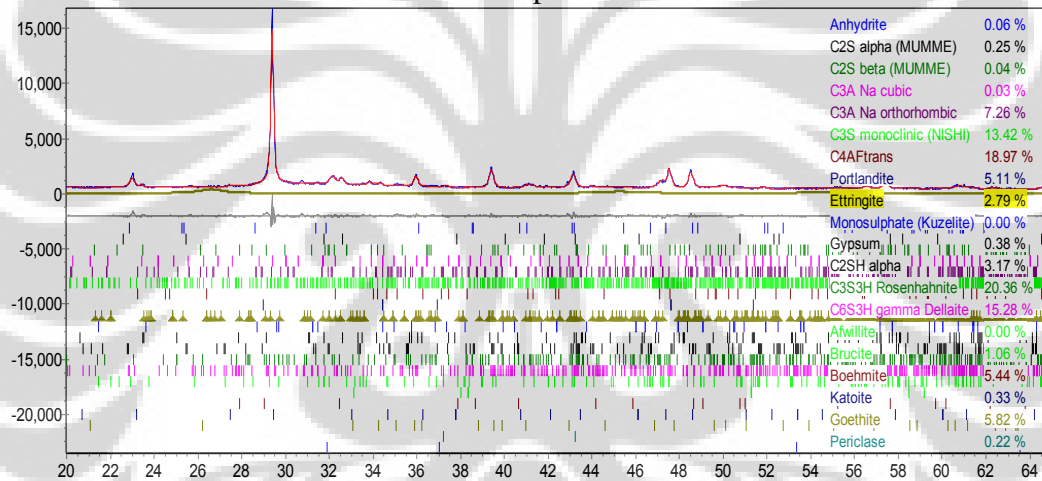
2.2. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 2



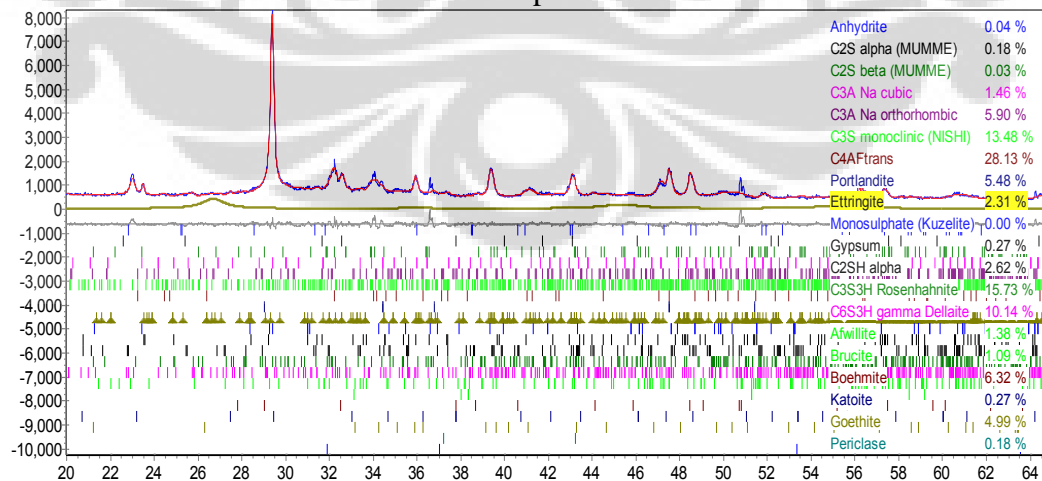
2.3. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 3



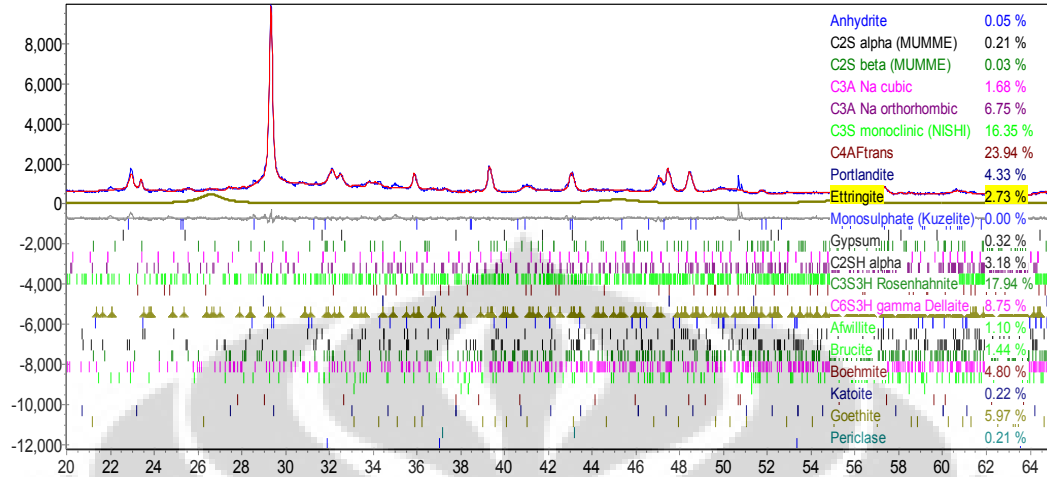
2.4. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 4



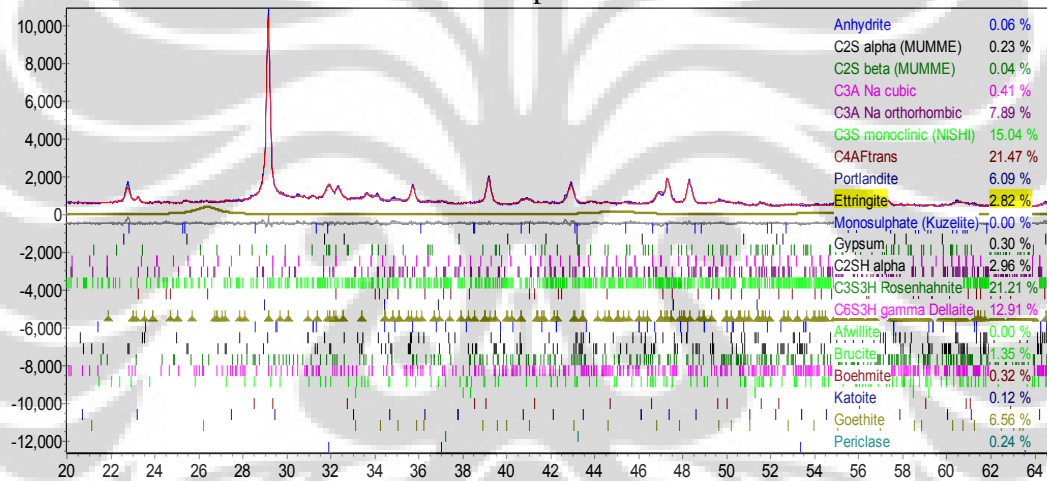
2.5. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 5



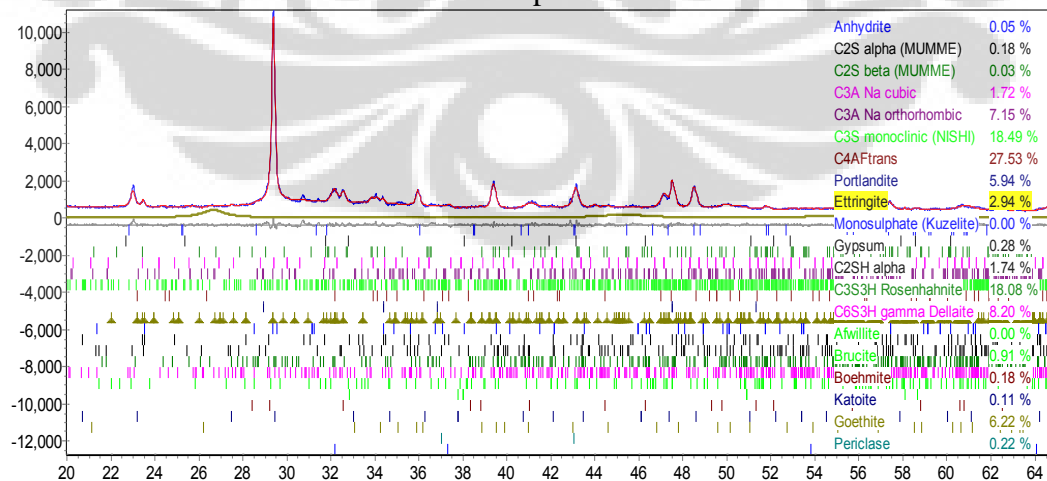
2.6. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 6



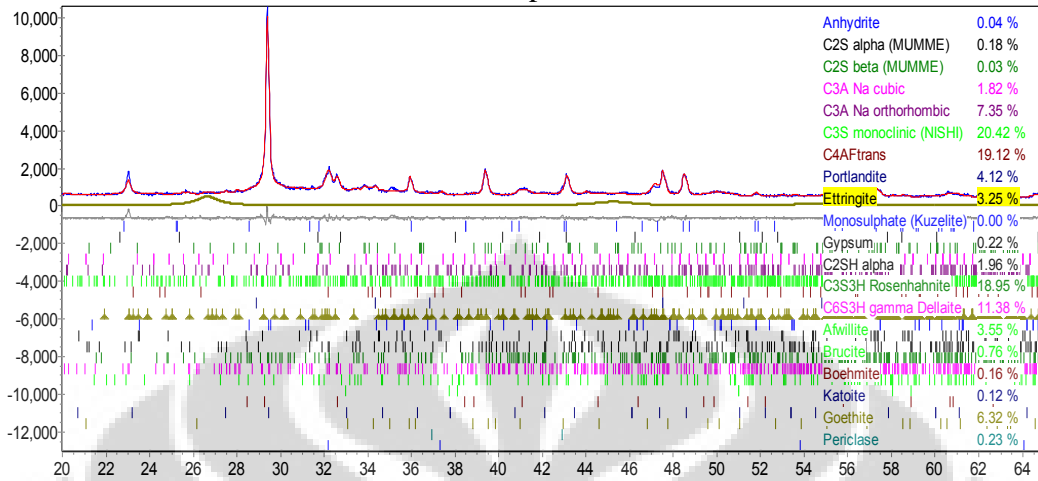
2.7. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 7



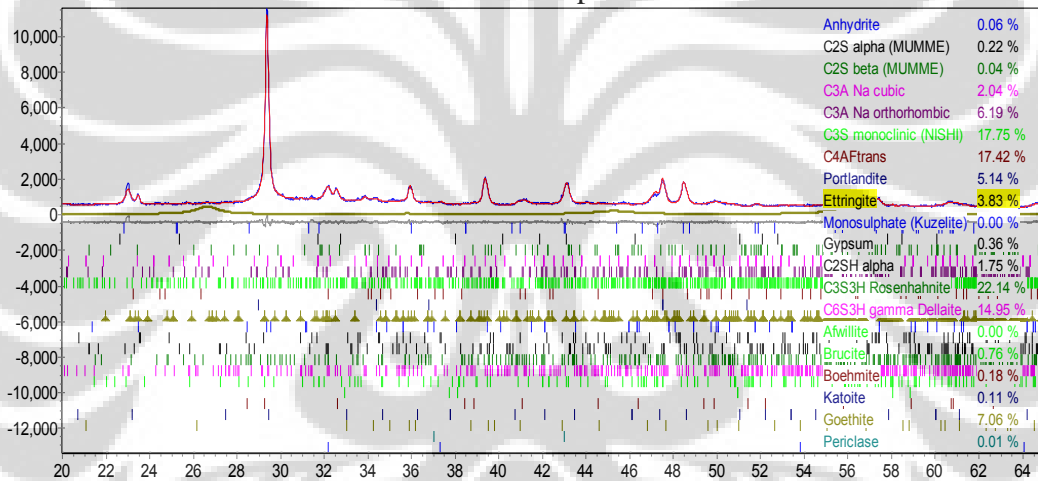
2.8. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 8



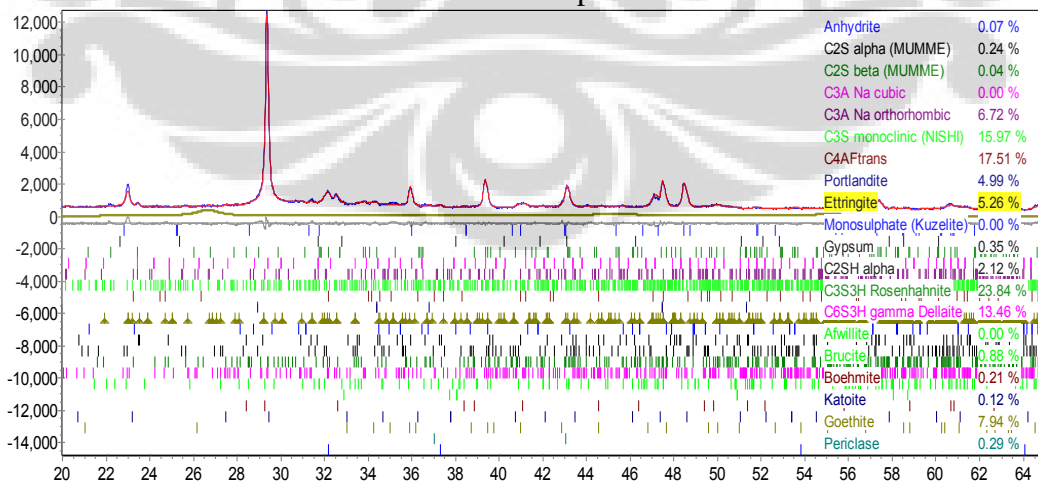
2.9. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 9



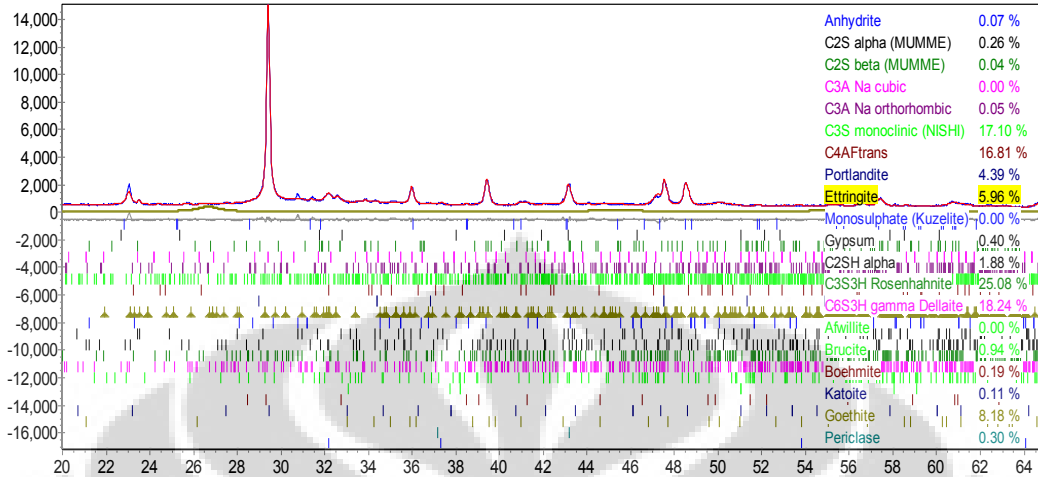
2.10. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 10



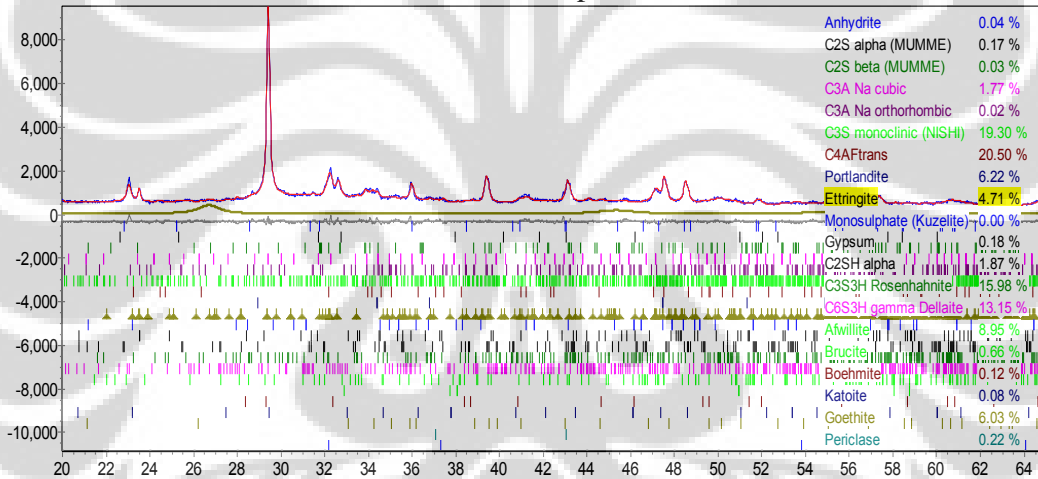
2.11. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 11



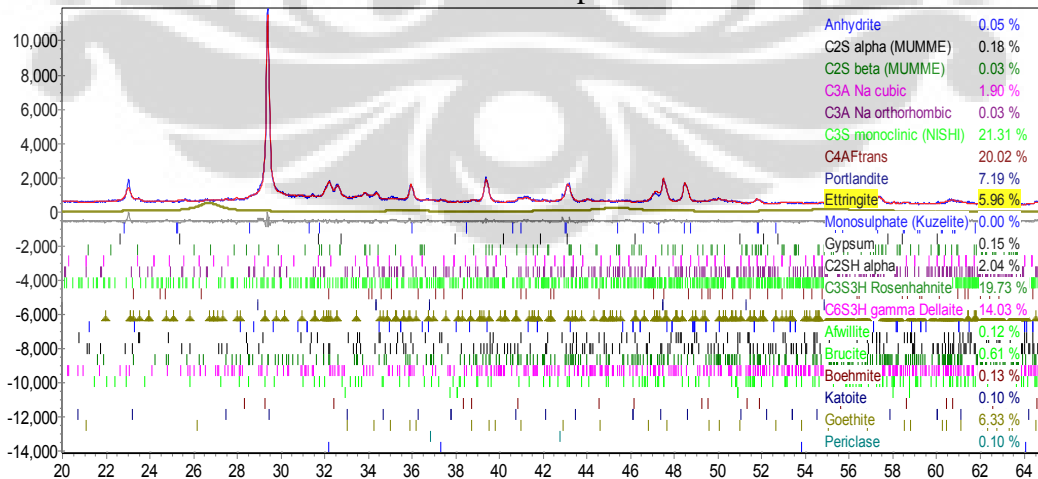
2.12. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 12



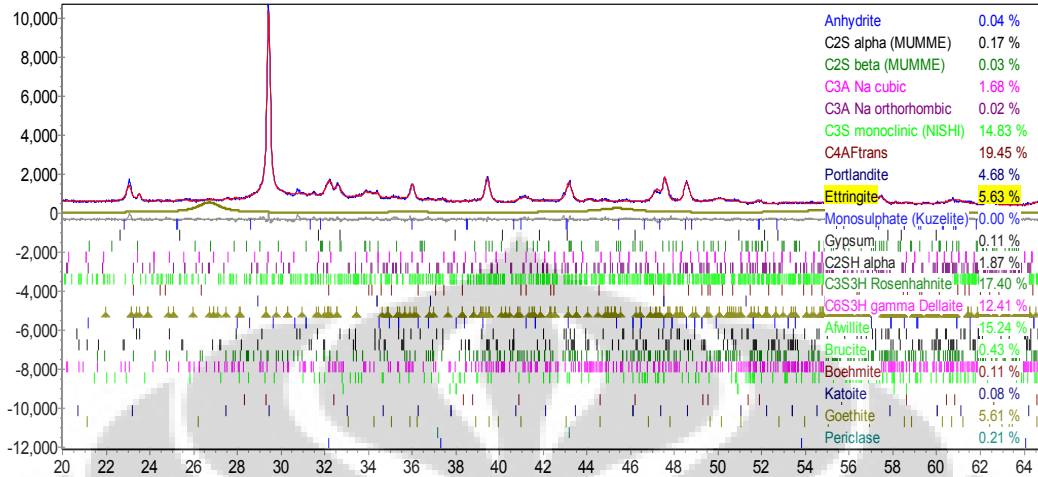
2.13. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 13



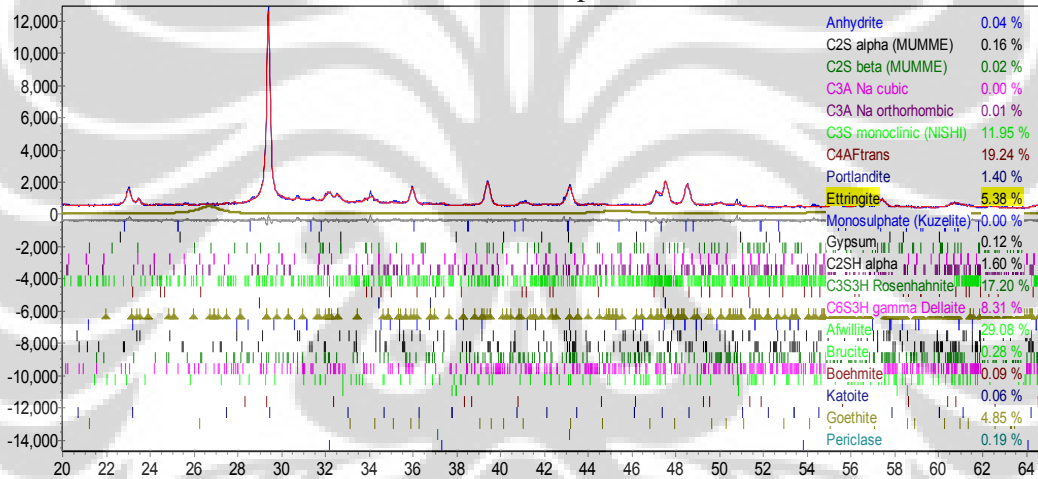
2.14. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 14



2.15. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 15



2.16. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel 16



2.17. Hasil Pencocokan kurva rietveld Sampel semen

