

**ANALISIS KANDUNGAN KIMIA-MINERALOGI LIMBAH BATU BATA
SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI *POZZOLAN* PADASEMEN
CAMPUR (*BLENDED CEMENT*)**

SKRIPSI

**Oleh :
SITI ARIFATUL AINI
NIM. 17630076**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**ANALISIS KANDUNGAN KIMIA-MINERALOGI LIMBAH BATU BATA
SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI *POZZOLAN* PADA SEMEN
CAMPUR (*BLENDED CEMENT*)**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada :
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh :
SITI ARIFATUL AINI
NIM. 17630076**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**ANALISIS KANDUNGAN KIMIA-MINERALOGI LIMBAH BATU BATA
SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI *POZZOLAN* PADA SEMEN
CAMPUR (*BLENDED CEMENT*)**

SKRIPSI

Oleh :

**SITI ARIFATUL AINI
NIM. 17630076**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal : 17 Desember 2021**

Pembimbing I



**Suci Amalia, M.Sc
NIP. 19821104 200901 2 007**

Pembimbing II



**A. Ghanaim Fasya, M.Si
NIP. 19820616 200604 1 002**

**Mengetahui
Ketua Program Studi,**



**Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010**

**ANALISIS KANDUNGAN KIMIA-MINERALOGI LIMBAH BATU BATA
SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI *POZZOLAN* PADA SEMEN
CAMPUR (*BLENDED CEMENT*)**

SKRIPSI

Oleh :
SITI ARIFATUL AINI
NIM. 17630076

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 17 Desember 2021

Penguji Utama	: Dr. Anton Prasetyo, M.Si NIP. 19770925200604 1 003	
Ketua Penguji	: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc NIP.19900906 20180201 2 239	
Sekretaris Penguji	: Suci Amalia, M.Sc NIP. 19821104 200901 2 007	
Anggota Penguji	: A. Ghanaim Fasya, M.Si NIP. 19820616 200604 1 002	

Mengetahui
Ketua Program Studi,



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Siti Arifatul Aini

NIM : 17630076

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Analisis Kandungan Kimia-Mineralogi Limbah Batu Bata Sebagai Material Pengganti *Pozzolan* pada Semen Campur (*Blended Cement*)

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 17 Desember 2021
Yang membuat pernyataan



Siti Arifatul Aini
NIM. 17630076

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin dengan mengucapkan syukur kepada Allah Swt. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

Bapak dan ibuku yang terbaik, tercinta, tersayang, terhebat dan terkuat Wahyu Nugroho dan Rubiyah Herawati

Terima kasih atas segala doa yang selalu kalian panjatkan, semangat yang selalu kalian berikan, raga yang selalu kalian pasang untuk menenangkan, dukungan dan motivasi yang selalu kalian beri agar tidak mudah menyerah dan selalu semangat menyelesaikan sesuatu yang telah dimulai. Serta lebih banyak lagi pengorbanan yang tidak bisa disebutkan dan tidak bisa membalasnya sampai kapanpun. Semoga proses pendewasaan diri selama proses perkuliahan ini dapat memberikan manfaat untuk ibu dan bapak kedepannya.

Kemudian tidak lupa saya ucapkan terima kasih banyak kepada mbak titis, kak angga, kak ulfa, dek kiki dan semua keluarga yang turut mendukung dan memberi semangat untuk segera menyelesaikan pendidikan S-1 ini.

Dosen-dosen yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan dan banyak hal tentang kehidupan, dosen wali sekaligus pembimbing, dosen penguji dan pembimbing lapangan (karyawan-karyawan bosowa)

Kupersembahkan skripsi ini kepada bapak ibu dosen yang telah memberikan banyak ilmu baru, terkhusus Ibu Suci Amalia, M.Sc selaku dosen wali dan dosen pembimbing skripsi yang disiplin dan sangat sabar dalam mengayomi saya, Bapak Ghanaim Fasya, M.Si selaku dosen pembimbing agama dan pemberi arahan, Bapak Dr. Anton Prasetyo, M.Si dan Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc yang telah sabar membantu saya dalam proses penyusunan dan penulisan naskah menjadi lebih baik. Kepada Bapak Habar Mannang selaku pembimbing lapangan serta karyawan-karyawan bosowa yang selalu membantu dalam proses penelitian ini. Semoga semua arahan, nasehat dan motivasi selama perkuliahan ini dapat menjadi keberkahan dan menjadi ladang amal jariyah bagi bapak dan ibu sekalian, aamiin.

Sahabat-sahabat dan teman-temanku yang tersayang

Kupersembahkan skripsi ini kepada kalian yang selalu perhatian, motivasi, dukungan penuh, nasehat dan memberi semangat untuk terus berjuang. Khusus untuk teman sebimbingan, trio wekwek, Riya' Squad, Shauuma, Kimia B dan Kimia Angkatan 17. Semoga Allah selalu membersamai kita dan menjaga tali silaturahmi ini dalam ketaatan di dunia hingga akhirat, aamiin.

MOTTO

Ketika tujuan hidupmu hanya untuk duniawi maka akan ada banyak kekecewaan yang kau dapati. Tetapi ketika tujuan hidupmu lebih tinggi (pertemuan dengan Allah di akhirat) maka urusan-urusan dunia yang kau jalankan akan jauh terasa lebih ringan.

Janganlah engkau beribadah kepada Allah supaya DIA memberi kepadamu. Namun, sembahlah Allah supaya DIA ridho kepadamu. Karena jika DIA ridho kepadamu maka DIA akan membuatmu bingung dengan segala pemberianNya.
-Syeikh Muthawalli Asy-Sya'rawi-

Semoga Allah tak menjadikan dunia ini sebagai obsesi dan tujuan akhir kita.

Allah is the best planner

مَنْ جَدَّ وَجَدَّ

MAN JADDA WAJADA

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Swt., berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Kandungan Kimia-Mineralogi Limbah Batu Bata sebagai Material Pengganti Pozzolan pada Semen Campur (*Blended Cement*)” selawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Nabi besar Muhammad saw. beserta keluarganya, para sahabatnya, tabi’in dan kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi baik dukungan moral maupun spiritual demi suksesnya penyelesaian skripsi ini, karena tentu saja penulis tidak dapat mengerjakan segala hal tanpa bantuan dari pihak lain. Penulisan skripsi dikerjakan dalam keadaan pandemi covid-19 di Indonesia maupun di negara-negara lainnya. Untuk itu banyak halangan serta rintangan yang harus dilalui. Oleh karena itu, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Wahyu Nugroho dan Rubi Herawati, kakak Titis serta anggota keluarga penulis yang telah memberikan kasih sayang, doa serta dukungannya dalam bentuk moril maupun materil yang tidak dapat tergantikan.
2. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si, Selaku ketua program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ibu Suci Amalia, M.Sc selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi serta saran kepada penulis.
6. Bapak A. Ghanaim Fasya, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan, arahan, nasehat serta semangat kepada penulis.
7. Bapak Dr. Anton Prasetyo, M.Si, selaku penguji utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan arahan dalam penulisan.

8. Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc selaku konsultan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, arahan serta nasihat selama penulisan laporan hasil penelitian ini.
9. Sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan motivasi dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini, khususnya (trio wekwek, shaauma, riya'*squad*, ex-ipm dan kimia B 2017).
10. Untuk Eky, Salma, Happy, Afifah, Kara, Septi, Soy, Habib, Adit, Wildan, Yusril, Holy, Kak Usman dan Mas Nanda yang telah menemani, membantu proses pengerjaan dan memberikan dukungan selama penyusunan skripsi.
11. Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan dan bimbingan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga semua perbuatan baik Bapak/Ibu serta semua pihak yang terlibat dalam proses penyelesaian skripsi ini menjadikan amalan untuk kelancaran dalam segala urusan dunia maupun akhirat. Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang ada dalam penyelesaian skripsi ini, oleh karena itu diperlukan saran dan kritik yang membangun sebagai evaluasi pada perkembangan keilmuan yang akan datang.

Malang, 17 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT	xv
المخلص	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Pozzolan</i>	7
2.2 Batu Bata	8
2.3 Indeks Reaktivitas <i>Pozzolan</i> dan Batu Bata	9
2.4 Limbah Batu Bata	10
2.5 Semen Campur (<i>Blended Cement</i>).....	11
2.6 Pengujian dengan Instrumen XRD dan XRF.....	12
2.7 Analisis Kimia	14
2.8 Kuat Tekan	15
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Pelaksanaan Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.2.1 Alat	19
3.2.2 Bahan.....	19
3.3 Rancangan Penelitian	20
3.4 Tahapan Penelitian.....	21
3.5 Pelaksanaan Penelitian	21
3.5.1 Preparasi Sampel.....	21
3.5.2 Pengujian Fisika dan Kimia.....	21
3.5.3 Preparasi dan Pembuatan Semen	23
3.5.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Kandungan Kimia Batu Bata	28

4.1.1 Indeks Reaktivitas Batu Bata.....	32
4.2 Analisis Kualitas Semen.....	34
4.2.1 Uji Fisika	34
4.2.2 Uji Kimia	34
4.3 Analisis Kuat Tekan.....	48
4.4 Pemanfaatan Limbah Batu Bata dalam Perspektif Islam	50
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan penelitian	62
Lampiran 2 Diagram alir	63
Lampiran 3 Perhitungan.....	68
Lampiran 4 Hasil Karakterisasi InstrumenXRF	85
Lampiran 5 Hasil Karakterisasi Instrumen XRD	86
Lampiran 6 Dokumentasi	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan senyawa dalam batu bata	9
Tabel 2.2 Perbandingan senyawa pada limbah bata dan bata baru	11
Tabel 2.3 Proporsi semen	11
Tabel 2.4 Senyawa komponen utama semen.....	16
Tabel 2.5 Kandungan oksida pada semen dengan <i>pozzolan</i> berbeda	18
Tabel 3.1 Instruksi pembuatan semen mortar	22
Tabel 3.2 Toleransi pembuatan benda uji	27
Tabel 4.1 Kandungan senyawa dalam batu bata.....	29
Tabel 4.2 Data hasil uji kehalusan semen	34
Tabel 4.3 Hasil uji kandungan kimia oksida semen	39
Tabel 3.2.1 Uji indeks reaktifitas.....	68
Tabel 3.4.1 Kandungan senyawa dalam semen.....	72
Tabel 3.5.1 Perhitungan uji kuat tekan	77
Tabel 5.3 Hasil analisis puncak difraktogram batu bata	93
Tabel 5.4 Hasil analisis puncak difraktogram pada semen	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beberapa jenis <i>pozzolan</i>	8
Gambar 2.2 Batu bata	8
Gambar 2.3 Limbah batu bata	10
Gambar 2.4 Hasil XRD pada limbah batu bata	13
Gambar 2.5 Alat <i>compressive strength</i>	16
Gambar 2.6 Grafik uji kuat tekan semen limbah batu bata	17
Gambar 2.7 Grafik uji kuat tekan variasi sampel semen	18
Gambar 4.1 Serbuk batu bata	28
Gambar 4.2 Hasil analisis XRD variasi batu bata	30
Gambar 4.3 Struktur kristal pada batu bata	32
Gambar 4.4 Grafik difraktogram pada semen	40
Gambar 4.5 Struktur kristal pada Semen	42
Gambar 4.6 Struktur ettringit	43
Gambar 4.7 Struktur CSH hasil hidrasi	45
Gambar 4.8 Grafik kuat tekan berdasarkan lama perendaman	48
Gambar L.5.1.1 Difraktogram limbah batu bata 1	87
Gambar L.5.1.2 Difraktogram limbah batu bata 2	88
Gambar L.5.1.3 Difraktogram limbah batu bata 3	90
Gambar L.5.2 Difraktogram semen	91
Gambar L.5.3.1 Analisis difraktogram limbah batu bata 1	92
Gambar L.5.3.2 Analisis difraktogram limbah batu bata 2	92
Gambar L.5.3.3 Analisis difraktogram limbah batu bata 3	93
Gambar L.5.4 Analisis difraktogram semen	95

ABSTRAK

Aini, Siti Arifatul. 2021. Analisis Kandungan Kimia-Mineralogi Limbah Batu Bata sebagai Material Pengganti Pozzolan pada Semen Campur (*Blended Cement*).*Skripsi*. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Suci Amalia, M.Sc.; Pembimbing II: A. Ghanaim Fasya, M.Si.; Konsultan: Habar Mannang; Konsultan: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.

Kata kunci : Limbah Batu Bata, *Pozzolan*, Kuat Tekan Mortar, XRF, XRD.

Batu bata merupakan bahan bangunan yang memiliki kandungan senyawa yang dapat menambah kuat tekan pada suatu bangunan. Limbah batu bata yang jarang dimanfaatkan kemudian digunakan kembali sebagai bahan campuran pembuatan semen. QS. al-Jatsyah Ayat 13 menunjukkan bahwa Allah Swt. menundukkan seluruh ciptaan-Nya yang terdapat di bumi, seperti hewan, tanaman serta benda-benda mati agar semuanya dapat dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah batu bata sebagai bahan pengganti *pozzolan* terhadap pembuatan semen.

Penelitian ini menggunakan limbah batu bata yang diuji indeks reaktivitas seperti material *pozzolan*. Limbah batu bata berasal dari beberapa daerah yang akan dikarakterisasi menggunakan XRD dan dianalisis menggunakan XRF. Pembuatan semen dari material penyusun lainnya dilakukan penggilingan secara *mini ball mill* skala laboratorium. Bubuk semen yang halus kemudian diuji kimia secara gravimetri dan volumetri serta ditentukan nilai kuat tekannya pada benda uji berupa mortar. Benda uji tersebut dirawat dan diuji kuat tekannya sesuai umur yang telah ditentukan. Hasil pengujian dengan nilai kuat tekan optimum akan dikarakterisasi menggunakan XRD.

Hasil karakterisasi instrumen XRD pada ketiga batu bata membuktikan persamaan dari hasil uji XRF yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dengan kandungan senyawa minor antara lain CaO , ZnO , TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , CuO , V_2O_5 , Cr_2O_3 , MnO , SrO , Eu_2O_3 dan Re_2O_7 . Sedangkan BaO hanya dimiliki oleh batu bata pertama dan ketiga, sedangkan PbO hanya dimiliki oleh batu bata pertama saja. Adapun jumlah senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 telah memenuhi syarat mutu sebagai material *pozzolan* (>70%) yaitu 84,20% sampel pertama, 83,70% sampel kedua dan 84,30% sampel ketiga. Pengujian indeks reaktifitas juga memenuhi target (>75%) yaitu 75,60% sampel pertama, 75,00% sampel kedua dan 77,90% sampel ketiga. Semakin banyak, tinggi kadar dan reaktif suatu senyawa oksida dalam limbah batu bata maka berbanding lurus dengan kualitas semen.

ABSTRACT

Aini, Siti Arifatul. 2021. Analysis of Chemical-Mineralogical Content of Brick Waste as a Substitute for Pozzolan in Blended Cement. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, State Islamic Maulana Malik Ibrahim University Malang. Advisor I: Suci Amalia, M.Sc.; Advisor II: A. Ghanaim Fasya, M.Si. ;Consultant: Habar Mannang; Consultant: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc.

Keyword : Waste Brick, Pozzolan, Mortar Compressive Strength, XRF, XRD.

Bricks are building materials that contain compounds that can increase the compressive strength of a building. The brick waste which is rarely used is then reused as a mixture for cement making. QS. al-Jatsyah Verse 13 shows that Allah Swt. being subdues everything that is on earth, such as animals, plants and inanimate objects so that all of them can be utilized. This study aims to utilize brick waste as a substitute for pozzolan for cement production.

This study uses brick waste which is tested for reactivity index such as pozzolanic material. Brick waste comes from several areas that will be characterized using XRD and analyzed using XRF. The manufacture of cement from other constituent materials is milled in a mini ball mill on a laboratory scale. The fine cement powder was then tested chemically gravimetrically and volumetrically and determined the value of its compressive strength on the test object in the form of a mortar. The test object is treated and tested for its compressive strength according to a predetermined age. The test results with the optimum compressive strength will be characterized using XRD.

The results of the XRD instrument characterization on the three bricks proved the similarities of the XRF test results, namely SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 with minor compounds including CaO , ZnO , TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , CuO , V_2O_5 , Cr_2O_3 , MnO , SrO , Eu_2O_3 and Re_2O_7 . While BaO is only owned by the first and third bricks, while PbO is only owned by the first brick. The number of SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 compounds has met the quality requirements as pozzolanic materials (>70%) namely 84.20% of the first sample, 83.70% of the second sample and 84.30% of the third sample. The reactivity index test also met the target (>75%) namely 75.60% of the first sample, 75.00% of the second sample and 77.90% of the third sample. The more, the higher the content and the reactivity of an oxide compound in the waste bricks, it is directly proportional to the quality of the cement.

الملخص

عيني, سيتي عريفاتول. ٢٠٢١. تأثير المحتوى الكيميائي المعدني لزبالات الطوب كمواد بديلة عن البوزولان على قوة الضغط لإسمنت المختلط. البحث العلمي. قسم الكيمياء كلية العلوم والتكنولوجية جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.

المشرفة ١ : سوجي أماليا, الماجستير; المشرف ٢ : أحمد غنائم فشى, الماجستير; المستشار ١ : حبارمانانج, الماجستير; المستشار ٢: لؤلؤة حميداتيوليا, الماجستير. الكلمات المفتاحية: زبالات الطوب, البوزولان, قوة الضغط, (XRF), (XRD).

الطوب هو الموادّ البناء يحتوي على المستحضر الذي يمكن أن يزيد من قوة الضغط للمبني. بين الله في الآية ١٣ من سورة الجاثية أنه يخضع كل مخلوقاته على الأرض من الحيوانات؛ والنباتات والأشياء غير الحية حتى يكون كلها مستفيدة. يقصد هذا البحث إلى استفادة من زبالات الطوب كبديل للبوزولان في صناعة الأسمنت.

يستخدم هذا البحث زبالات الطوب التي تختبر مؤشر التفاعل مثل المواد البوزولانية. تأتي زبالات الطوب من بعض أماكن سيتم تمييزها باستخدام (XRD) وتحليلها باستخدام (XRF) صناعة الأسمنت من المواد المكونة الأخرى عن طريق الطحن باستخدام طاحونة كروية صغيرة على مقياس المعمل. فيختبر مسحوق الأسمنت الناعم كيميائياً من حيث الجاذبية والحجم ويحدد قيمة قوة ضغطه على جسم الاختبار في شكل ملاط. ستميز نتائج الإختبار بنتيجة عالية في أمثل الضغط باستعمال (XRD).

أثبتت نتائج توصيف أداة (XRD) على الطوب الثلاثة أوجه التشابه في نتائج اختبار (XRF) وهي (Al₂O₃), (SiO₂), (Fe₂O₃) مع المركبات الثانوية بما في ذلك (CaO), (ZnO), (TiO₂), (K₂O), (P₂O₅), (CuO), (V₂O₅), (Cr₂O₃), (MnO), (SrO), (Re₂O₇). (Eu₂O₃) في حين أن (BaO) مملوكة فقط للطوب الأول والثالث، في حين أن (PbO) مملوكة فقط للطوب الأول. عدد المركبات (Al₂O₃), (SiO₂) (Fe₂O₃) استوفت متطلبات الجودة كمواد بوزولانية (<70%) وهي (84,20%) للعينة الأولى، (83,70%) للعينة الثانية، (84,30%) للعينة الثالثة. كما حقق اختبار معامل التفاعل الهدف (<75%) وهو (75,60%) للعينة الأولى، (75,00%) للعينة الثانية، (77,90%) للعينة الثالثة. كلما زاد المحتوى والتفاعلية لمركب الأكسيد في طوب النفايات، يتناسب بشكل مباشر مع جودة الأسمنت.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Segala macam potensi alam baik yang terdapat di laut maupun di darat tak ternilai harganya. Tuhan menciptakan segala sesuatu yang ada di muka bumi ini dengan tujuan dan memberikan manfaat serta kebaikan. Salah satunya adalah material bebatuan dan tanah yang dimanfaatkan sebagai bahan pembangunan, sebagaimana firman Allah Swt. dalam QS. ali ‘Imron ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۝ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۝

Artinya:

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, lindungilah kami dari siksa neraka." (QS. ali ‘Imron: 190-191).

Tafsir al Azhar oleh Buya Hamka (2015) menjelaskan bahwa dalam ayat Allah Swt. mengarahkan hamba-Nya untuk merenungkan penciptaan alam, langit, dan bumi serta pergantian siang dan malam. Karena semua itu penuh dengan tanda-tanda kebesaran Allah Swt. orang yang mampu memahami hal tersebut mereka itulah yang disebut ulul albab. Ulul albab adalah orang yang banyak berdzikir dan berpikir. Menurut Shihab, M. Quraish (2001) dalam bukunya yang berjudul Tafsir al-Misbah menjelaskan bahwa seorang mushlih dapat menemukan sesuatu yang hilang atau berkurang nilainya, kemudian dilakukanlah aktivitas yang bersifat perbaikan sehingga yang kurang atau hilang itu dapat menyatu dengan sesuatu itu. Adapun yang tidak atau kurang bermanfaat dijadikannya lebih

baik dan melakukan aktivitas yang dapat menghasilkan nilai tambah bagi sesuatu itu sehingga kualitas dan manfaatnya lebih tinggi dari pada yang semula.

Dunia industri saat ini sedang berkembang seiring majunya teknologi yang serba canggih. Kemajuan teknologi di bidang industri semakin mengoptimalkan produksinya baik dalam upaya meningkatkan kualitas mutu yang baik, biaya produksi yang relatif rendah dan meminimalisasi dampak limbah terhadap lingkungan sekitar. Salah satu industri yang berdampak terhadap lingkungan yaitu industri pembuatan batu bata. Dampak negatif yang ditimbulkan berasal dari limbah batu bata merah sisa pembakaran dan pecahan batu bata atau genteng yang rusak pada proses pembangunan.

Penggunaan kembali limbah keramik sebagai bahan pengganti *pozzolan* semen dapat mengurangi pencemaran lingkungan karena dapat mengurangi konsumsi sumber daya alam dan emisi CO₂ terkait dengan produksi semen *portland*, sekaligus meningkatkan nilai bahan limbah dengan periode biodegradasi yang lama (Pitarch, dkk., 2021). Konsumsi energi selama pembuatan dan pengangkutan material secara langsung berkaitan dengan emisi gas rumah kaca (GRK) (Syngros, dkk., 2017). Menurut Ali, dkk. (2019) industri harus bertanggung jawab atas 12-15% dari total konsumsi energi dalam industri dan sekitar 6-8% dari karbon dioksida global emisi. Limbah konstruksi besar-besaran tersebut ikut tertimbun ke dalam tanah dan mencemari lingkungan (Zhao, dkk., 2020). Oleh karena itu dengan pemanfaatan limbah batu bata tanah liat dapat mengurangi lebih dari 50% limbah konstruksi yang dapat merusak lingkungan sekitar (Cheng, 2016).

Batu bata tanah liat yang bagus sebagian besar berasal dari pasir (silika) dan tanah lempung (alumina) yang nantinya akan dicampur dengan perbandingan

tertentu sehingga bila diberi sedikit air menjadi plastis kemudian akan melalui proses pembakaran (Sonata, 2018). Kedua unsur tersebut ialah unsur utama di dalam batu bata yang diperoleh dari hasil perpaduan antara tanah liat serta pasir. Bahan dari pembuatan batu bata ini berasal dari lempung (tanah liat) 50-60%, pasir berkisar 35-50% pasir serta air seperlunya. Komposisi kimia dari limbah batu bata terdiri dari 54-61% silika oksida(SiO_2) dan 22-32% alumina oksida(Al_2O_3) (Sonata, 2018).

Material *pozzolan* ialah material tambahan yang ada dalam semen. *Pozzolan* ialah bahan yang memiliki senyawa silika serta alumina yang apabila bentuk halusya dengan ditambahkan air bisa menjadi material yang memadat. Kandungan senyawa silika yang tinggi bisa membentuk ikatan yang kuat sehingga akan memberikan kekuatan yang besar pula, demikian juga sebaliknya(Ratmaya, 2017).

Potensi penggunaan limbah bata sebagai pengganti *pozzolan* pada mortar semen portland telah diselidiki. Lin, dkk. (2010) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 pada limbah batu bata secara berturut-turut adalah 63,21; 16,41; dan 6,05% dapat meningkatkan nilai kuat tekan semen pada substitusi *pozzolan* 10% pada beton dari 71,20 MPa menjadi 75,10 MPa pada 28 hari. Menurut penelitian Nalobile, dkk. (2019) menjelaskan bahwa penggantian *pozzolan* menggunakan limbah batu bata pada mortar semen dengan kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 secara berturut-turut adalah 64; 84; 21,54; dan 7,87% menghasilkan nilai kuat tekan 6 MPa pada 7 hari dan 8 MPa pada 28 hari. Penelitian lain yang dilakukan oleh Naceri & Hamina (2009) juga menjelaskan bahwa kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 pada limbah batu bata secara berturut-turut adalah 66,52; 14,20; dan 5,45% digunakan sebagai material pengganti

pozzolan yang menghasilkan nilai kuat tekan mortar 30 MPa pada 3 hari, 44,50 MPa pada 7 hari dan 50,50 MPa pada 28 hari. Menurut penelitian Turanli, dkk. (2003) menyatakan bahwa penggantian *pozzolan* dengan limbah batu bata sebesar 20% mendapat hasil kuat tekan pada 7 hari dan 28 hari sebesar 32 MPa dan 41,70MPa. Adapun limbah batu yang digunakan mengandung senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 secara berturut-turut adalah 64,54; 16,88; dan 6,62%.

Limbah batu bata merupakan material yang berasal dari proses pembakaran tanah liat yang kaya akan kandungan aluminosilika. Proses pembakaran dengan suhu yang tinggi akan berpengaruh terhadap struktur suatu senyawa. Struktur kristal mineral tanah liat hancur menjadi amorf atau terbentuk struktur aluminosilika yang tidak teratur. Ikatan silika amorf mempunyai reaktifitas lebih tinggi daripada ikatan kristal karena kristal memiliki keteraturan susunan atom yang teratur berkala dengan pola tertentu sehingga memberikan ikatan yang lebih kuat antar atom dan molekul didalamnya. Sebaliknya, amorf mempunyai susunan atom dengan pola tidak menentu, sehingga antar atom dan molekulnya mempunyai ikatan yang lemah. Ikatan amorf yang besar akan memberikan kuat tekan yang besar pula, begitupun sebaliknya (Khatib & Wild, 1996). Kandungan aluminosilikat dengan proses pembakaran yang tinggi pada limbah batu bata dapat dievaluasi indeks reaktifitasnya sebagai material pengganti *pozzolan* dalam produksi mortar maupun beton pada semen Portland (Goncalves, dkk., 2009). Nilai kuat tekan mortar semen dapat diperoleh dari reaksi hidrasi komponensenyawa utama material klinker dengan air yang menghasilkan kalsium silika hidrat. Produk samping hasil reaksi hidrasi berupa kalsium hidroksida akan bereaksi dengan aluminosilkat dari *pozzolan* untuk membentuk senyawa kalsium

silika hirat yang dapat menambah nilai kuat tekan mortar (Firdous & Dietmar, 2019).

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini akan dilakukan pengujian kandungan kimia limbah batu bata sebagai material tambahan pengganti *pozzolan* terhadap nilai kuat tekan semen campur (*blended cement*). Metode pertama yaitu pengujian indeks reaktivitas untuk mengetahui limbah batu bata dapat digunakan sebagai bahan pengganti *pozzolan*. Selanjutnya yaitu karakterisasi menggunakan instrumen *X-ray diffraction* (XRD) dan analisis kandungan senyawa kimia variasi limbah batu bata dengan instrumen *X-ray fluorescence* (XRF). Tahap selanjutnya yaitu pembuatan dan uji kuat tekan benda uji mortar sesuai lama pendiaman. Hasil kuat tekan paling optimum akan dilakukan uji XRD untuk mengetahui bagaimana reaksi yang terjadi di dalam semen. Berdasarkan pertimbangan tersebut dapat membuka peluang untuk melakukan penelitian berdasarkan beberapa alasan dengan judul analisis kandungan kimia-mineralogi limbah batu bata sebagai material pengganti *pozzolan* terhadap kuat tekan semen campur (*blended cement*).

1.2 Rumusan Masalah

- a) Bagaimana hasil analisis kandungan kimia pada limbah batu bata?
- b) Bagaimana hasil analisis kandungan kimia semen yang telah ditambahkan dengan limbah batu bata?
- c) Bagaimana hasil kuat tekan pada semen mortar?

1.3 Tujuan Penelitian

- a) Mengetahui kandungan kimia pada limbah batu bata.

- b) Mengetahuikandungan kimia semen yang telah ditambahkan dengan limbah batu bata.
- c) Mengetahui hasil kuat tekan pada semen mortar.

1.4 Batasan Masalah

- a) Ayakan yang digunakan berukuran 170 mesh.
- b) Limbah batu bata berasal dari 3kecamatan yang berbeda (Blimbingsari, Banyuwangi dan Kabat).
- c) Mesin *mini bal mill* berskala laboratorium digunakan sebagai alat penggilingan semen sehingga Standar Nasional Indonesia (SNI) semen tidak dapat digunakan sebagai acuan.
- d) Luas bidang sampel diukur pada ketelitian 0,1 cm.
- e) Semen yang termodifikasi limbah batu bata diaplikasikan dalam bentuk benda uji berupa semen mortar..
- f) Lama perendaman sampel batu bata pada umur uji 1 hari, 3 hari, 7 hari dan 28 hari.
- g) *Compressive strength* dengan ketelitian 100 kN digunakan sebagai alat uji kuat tekan mortar semen di laboratorium PT. Semen BOSOWA.

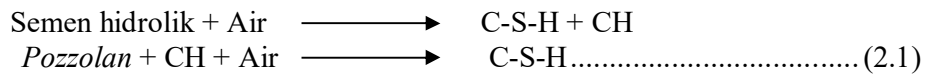
1.5 Manfaat Penelitian

Riset ini nantinya diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat ataupun kalangan akademik berupa pemanfaatan limbah batu bata yang dapat diolah kembali menjadi bahan pembuatan semen.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Pozzolan*

Nama *pozzolan* berasal dari salah satu nama kota di Italia yaitu “Pozzuoli”. Berdasarkan teori KEBS Kenya Bureau of Standards (1993) *pozzolan* merupakan material tambahan yang berasal dari alam dan batuan (SNI 0302, 2004) yang memiliki senyawa silika serta alumina yang reaktif. Menurut standar *american society for testing and material* (ASTM) C-618 (1993), mencampurkan bahan *pozzolan* dalam jumlah yang tepat dengan semen, unsur aktif SiO₂ yang ada di dalamnya akan bereaksi secara sekunder dengan Ca(OH)₂ sehingga akan menghasilkan kalsium hidrosilikat. Reaksi *pozzolan* ditampilkan pada persamaan 2.1.



Berdasarkan ASTM C-593 (1991) apabila dilihat dari proses pembentukannya, material *pozzolan* dapat dibedakan menjadi 2 yaitu *pozzolan* alam dan *pozzolan* buatan. *Pozzolan* alam merupakan bahan alam hasil dari tumpukan atau bahan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung senyawa silika reaktif. *Pozzolan* buatan berasal dari tungku atau hasil pemanfaatan limbah hasil proses pembakaran untuk mendapatkan kandungan silika yang reaktif, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*) dan mikro silika (*silica fume*) atau batu bata yang berasal dari hasil pembakaran tanah liat. Beberapa jenis *pozzolan* ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Beberapa jenis *pozzolan*

2.2 Batu Bata

Batu bata adalah salah satu material yang digunakan sebagai bahan pembuat dinding. Pembuatan batu bata berasal dari tanah liat yang melalui proses pembakaran pada suhu tinggi hingga menjadi warna kemerah-merahan (Rojas, dkk., 2006). Bentuk batu bata dapat ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Batu bata (Solechan & Kiswanto, 2018)

Kualifikasi material batu bata yang baik yaitu mengandung pasir (silika) dan tanah liat (alumina) yang dicampur dengan perbandingan tertentu dan ditambah sedikit air sehingga bersifat plastis. Batu bata baru pada umumnya memiliki kandungan senyawa silika oksida (SiO_2) berkisar 55-65% dan alumina oksida (Al_2O_3) berkisar 10-25% (Suseno, 2010). Sedangkan komposisi kimia dari limbah batu bata terdiri dari 54-61% silika oksida (SiO_2) dan 22-32% alumina

oksida(Al_2O_3) (Castro, dkk., 2009).Kandungan senyawa kimia batu bata dirangkum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan senyawa dalam batu bata

No.	Kandungan senyawa oksida	Berat sampel %
1	CaO	0,46
2	SiO ₂	64,84
3	Al ₂ O ₃	21,54
4	Fe ₂ O ₃	7,87
5	SO ₃	0,23
6	MgO	1,94
7	LOI	0,88
8	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	94,07

Sumber : Nalobile, dkk., 2019.

2.3 Indeks Reaktivitas *Pozzolan* Batu Bata

Lea (1970) menyatakan bahwa peningkatan kandungan SiO₂ atau SiO₂ + Al₂O₃ akan meningkatkan reaksi *pozzolan*. Menentukan silika reaktif yang terdapat dalam suatu material dilakukan dengan cara uji indeks reaktivitas *pozzolan* dengan cara pengujian kuat tekan sampai umur 28 hari yang mana material *pozzolan* yang akan digunakan terlebih dahulu ditentukan spesifik gravitasi yang mana data tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan jumlah *pozzolan* yang digunakan.

Standar dari *strength activity index*(SAI) atau biasa disebut indeks reaktivitas yaitu memiliki nilai rata-rata hasil perhitungan sebesar 75%(ASTM C-618, 1993). Menurut penelitian Turanli, dkk (2003) menjelaskan bahwa indeks reaktivitas pada limbah batu bata dengan umur uji 28 hari menunjukkan hasil 78%. Apabila hasil pengujian batu bata menghasilkan nilai indeks reaktivitas yang sama dengan *pozzolan* maka batu bata tersebut tergolong kedalam *pozzolan*.

2.4 Limbah Batu Bata

Keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/Kep/7/1997 Pasal I tentang prosedur impor limbah, menyatakan bahwa limbah adalah bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya. Limbah batu bata merupakan salah satu limbah industri yang banyak ditemukan di lingkungan sekitar yang dapat diperoleh dari bongkahan rumah yang telah hancur ataupun berasal dari pembuatan batu bata yang tidak sempurna. Limbah batu bata secara umum ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Limbah batu bata (Ahsani, dkk., 2016)

Produksi batu bata di negara China menyumbang limbah sekitar 0,40 miliar ton per tahun (Li, dkk., 2016) sedangkan di Taiwan menghasilkan 0,24 juta ton limbah batu bata (Lin, dkk., 2010). Pemanfaatan sisa bata dalam bentuk bubuk secara parsial dapat digunakan sebagai penggantian semen *portland* dengan manfaat lingkungan yang substansial dan konsekuensi negatif yang terbatas (Jan fort, 2020).

Komposisi kimia yang nyaman dari batu bata bekas memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 yang tinggi dan kandungan CaO yang agak lebih rendah membuat prasyarat yang baik untuk aplikasi mereka sebagai pelengkap bahan yang mengandung semen jika distribusi ukuran butirnya mencukupi nilai

kehalusannya (Afshinnia & Poursae, 2015). Perbandingan senyawa antara limbah bata dan bata baru dirangkum pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan senyawa pada limbah bata dan bata baru

No.	Kandungan senyawa oksida	Berat sampel Limbah Batu Bata (%)	Berat sampel Batu Bata Baru (%)
1	CaO	1,20	2,60
2	SiO ₂	56,40	60,60
3	Al ₂ O ₃	27,40	19,20
4	Fe ₂ O ₃	7,20	8,10

Sumber : Nurlina, dkk. (2014)

2.5 Semen Campur (*Blended Cement*)

Semen campur (*blended cement*) dibuat karena membutuhkan sifat khusus yang tidak dimiliki oleh semen *portland* pada umumnya. Sifat khusus yang dimaksud yaitu adanya penambahan bahan anorganik yang mengandung SiO₂ sehingga reaksi yang berlangsung secara terus menerus akan menghilangkan Ca(OH)₂ sehingga ini lah yang membuat semen campur tahan terhadap air laut.

Banyaknya senyawa yang terkandung di dalam semen bergantung dari komposisi bahan bakunya (klinker, gipsum, dan *pozzolan*). Proporsi bahan baku pembuatan semen dirangkum pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Proporsi semen

No.	Semen limbah batu bata	Proporsi (%)
1	Klinker	75
2	Gipsum	4
3	<i>Pozzolan</i>	21

Sumber : SNI 0302 (2004)

2.6 Pengujian dengan Instrumen XRD dan XRF

a) *X-Ray Diffraction* (XRD)

XRD merupakan salah satu metode karakteristik material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Beiser, 1992).

Prinsip kerja XRD secara umum adalah XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar- X , tempat obyek sampel dan detektor sinar- X yang berisi katoda yang memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki obyek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar- X .

Proses ini dikenal sebagai proses bremsstrahlung. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar- X . Detektor merekam dan memproses sinyal sinar- X dan mengolahnya dalam bentuk grafik. Komposisi mineral dari pembakaran batu bata dapat dilihat dari pengujian difraksi sinar- X . Mineral ditentukan dengan analisis difraksi sinar- X menggunakan difraktometer. Terdapat difraksi berbentuk pita kecil dengan jelas mulai dari 20° dan 30° yang menunjukkan adanya bahan berbentuk amorf (Chakchouk, dkk., 2009).

Menurut difraksi sinar- X datanya, tanah liat mengandung mineral kristal lemah dan amorf fase dalam limbah bata. Fase kristal yang terlihat dari intensitas puncak XRD pada batu bata tampaknya lebih rendah. Adapun difraktogram hasil uji XRD limbah batu bata ditampilkan pada Gambar 2.4 (Alderton, 2020).

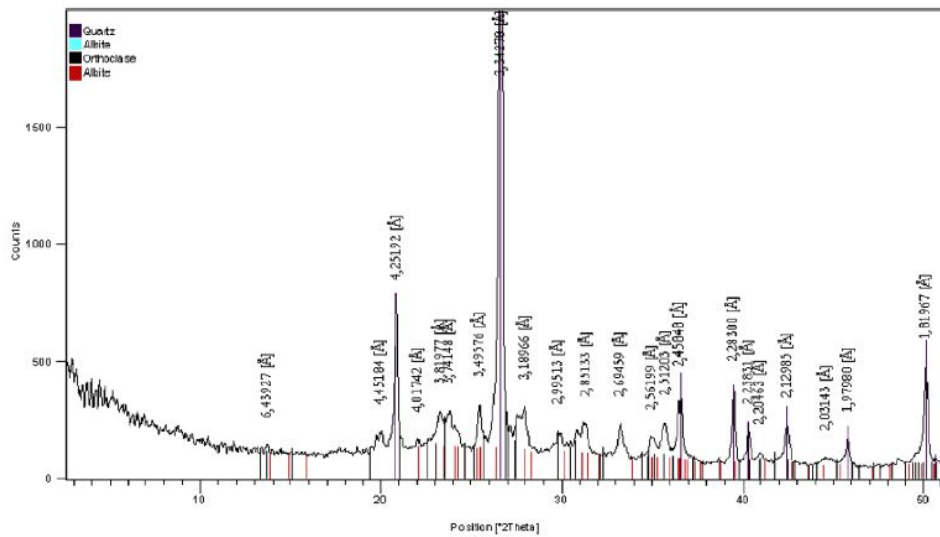


Fig. 1. X-ray diffraction of waste brick.

Gambar 2.4 Hasil XRD pada limbah batu bata

b) XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF adalah alat untuk menganalisis konsentrasi komposisi kimia yang terkandung dalam suatu sampel menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisis unsur dalam mineral atau batuan. Keuntungan dari penggunaan XRF yaitu tidak merusak sampel walaupun banyak elemen yang identifikasinya dan pencacahan sinar- X karakteristiknya berasal dari peristiwa efek fotolistrik.

Prinsip metode XRF yaitu adanya bantuan sinar- X primer dari tabung sinar- X (*X-Ray Tube*) yang dibangkitkan oleh energi listrik dari sumber tegangan sebesar 1200 Volt. Ketika radiasi dari tabung sinar- X mengenai suatu material maka elektron dalam material tersebut akan tereksitasi tingkat energi yang lebih rendah, sambil memancarkan sinar- X karakteristik. Sinar- X karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah kedalam sinyal tegangan 9 Voltage yang kemudian diperkuat oleh preamp dan dimasukkan ke *analyzer* untuk diolah datanya. Energi maksimum dari sinar- X prime (keV) bergantung pada tegangan listrik (kVolt) dan kuat arus

(Ampere). Fluorescence sinar- X yang diperoleh kemudian dapat dideteksi oleh detector Silikon Lithium (SiLi). Salah satu fungsi metode XRF yaitu dapat digunakan untuk menentukan komposisi kimia yang terdapat pada limbah padat baja (Zhou, dkk., 2020).

2.7 Analisis Kimia

a) Gravimetri

Metode analisis gravimetri yaitu metode analisis secara kuantitatif yang berdasarkan proses isolasi serta penimbangan suatu unsur atau suatu senyawa tertentu berdasarkan unsur murninya. Seberapa besar penetapan-penetapan pada analisis gravimetri menyangkut perubahan unsur yang dapat dengan mudah diubah menjadi satu bentuk yang sesuai untuk ditimbang (Basset J & Mendham, 1994).

- Pengujian SO_3

Penentuan SO_3 bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa sulfat dalam semen. Senyawa sulfat akan larut dalam pelarut asam yaitu menggunakan HCl dan diendapkan dengan mereaksikan sulfat dengan $BaCl_2$ dan endapan dipijarkan. Adanya SO_3 dalam semen adalah untuk memperbaiki pengikatan mortar (sebagai retarder) namun bila terlalu banyak akan menimbulkan kerugian pada sifat ekspansi dan penurunan kuat tekan. Namun apabila jumlah SO_3 optimum akan meningkatkan kuat tekan dan laju perkembangannya.

- Pengujian SiO_2

Metode uji ini didasarkan pada peleburan natrium karbonat diikuti dengan penguapan berulang larutan asam klorida sampai kering untuk merubah bentuk silika menjadi bentuk tak larut. Larutan disaring dan endapan silika

tak larut dipijarkan dan ditimbang. SiO_2 diuapkan dengan HF, kemudian dipijarkan dan ditimbang. Pengujian kandungan silika digunakan sebagai senyawa yang dapat mengurangi ekspansi ketika semen bereaksi dengan air.

b) Volumetri

Metode analisis volumetri yaitu metode analisis secara kuantitatif berdasarkan pada pengukuran volume. Analisis volumetri juga disebut sebagai analisis titrimetri atau titrasi yang berdasarkan banyaknya volume larutan titran (larutan standar yang diketahui konsentrasinya) yang dapat bereaksi sempurna dengan sejumlah titer (analit) atau sejumlah berat zat yang akan ditentukan (Day & Underwood, 2001).

- Penentuan CaO

Dalam metode uji ini, mangan dihilangkan dari filtrat setelah penetapan SiO_2 dan golongan ammonium hidroksida. Pada reaksi hidrasi kapur bebas akan membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang mempunyai volume besar dari pada kapur bebas sehingga menyebabkan ekspansi semen dan menimbulkan *cracking*.

- Pengujian Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)

Kadar Fe_2O_3 semen ditetapkan dari contoh tersendiri dengan mereduksi besi(III) menjadi besi(II) dengan timah(II) klorida (SnCl_2) dan dititrasi dengan larutan baku kalium bikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) Penetapan ini tidak dipengaruhi oleh

titanium dan vanadium yang mungkin ada dalam semen.

2.8 Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan suatu benda. Kuat tekan semen dipengaruhi oleh komposisi mineral utama

antara lain C_2S , C_3S dan C_3A . Adapun C_2S akan memberikan kontribusi pada perkembangan kuat tekan awal, C_3S memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama rentang umur 3-7 hari sedangkan C_3A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil dan relatif konstan nilainya. Adapun senyawa komponen utama semen dapat dirangkum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Senyawa komponen utama semen (Barron & Johnson. 2008).

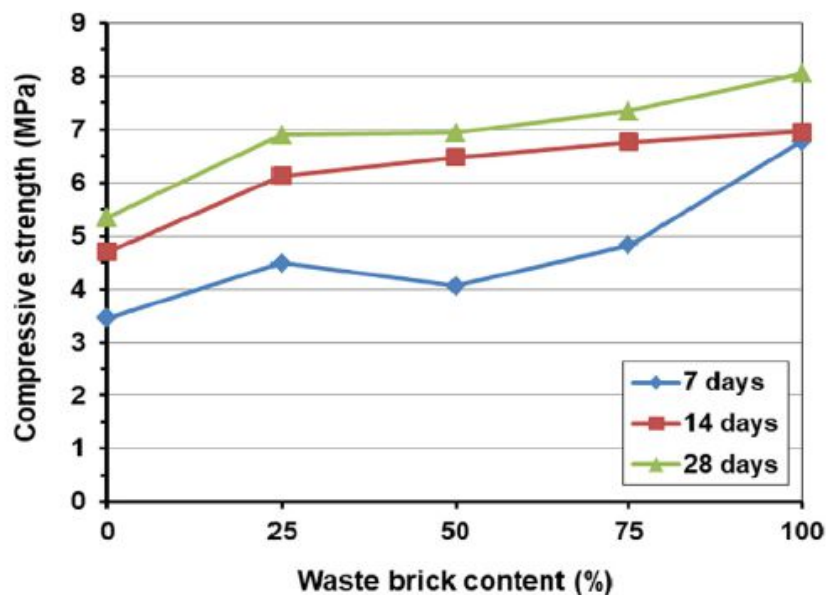
Mineral	Nama Senyawa	Komposisi oksida	Singkatan senyawa
Trikalsium silikat (Alite)	$Ca_3.SiO_5$	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dikalsium silikat (Belite)	$Ca_2.SiO_4$	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Trikalsium Aluminat	$Ca_3Al_2O_6$	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalsium Aluminoforit	$Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	$4CaO.Al_2Fe_2O_6$	C_4AF

Umur mortar berpengaruh terhadap kuat tekan mortar dengan benda uji berupa cetakan berbentuk kubus dengan ukuran sisi masing-masing 5 cm, benda uji ini kemudian diuji kuat tekannya menggunakan mesin penekan (*compressive strength*) sampai benda uji tersebut pecah. Adapun faktor yang mempengaruhi kuat tekan pada mortar yaitu kualitas semen berupa nilai kehalusan dan komposisi semen berupa material penyusunnya. Alat *compressive strength* ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Alat *compressive strength*

Menurut Beldjilali, dkk. (2020) menjelaskan bahwa penambahan limbah batu bata dengan kandungan SiO_2 , Al_2O_3 dan CaO secara berturut turut menunjukkan angka 39,55; 15,71; dan 12,88% dapat menambah kuat tekan seperti diagram 2.6 dengan sumbu x merupakan banyaknya limbah batu bata yang ditambahkan sedangkan sumbu y menunjukkan nilai kuat tekan yang diperoleh. Grafik uji kuat tekan semen limbah batu bata ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik uji kuat tekan semen limbah batu bata

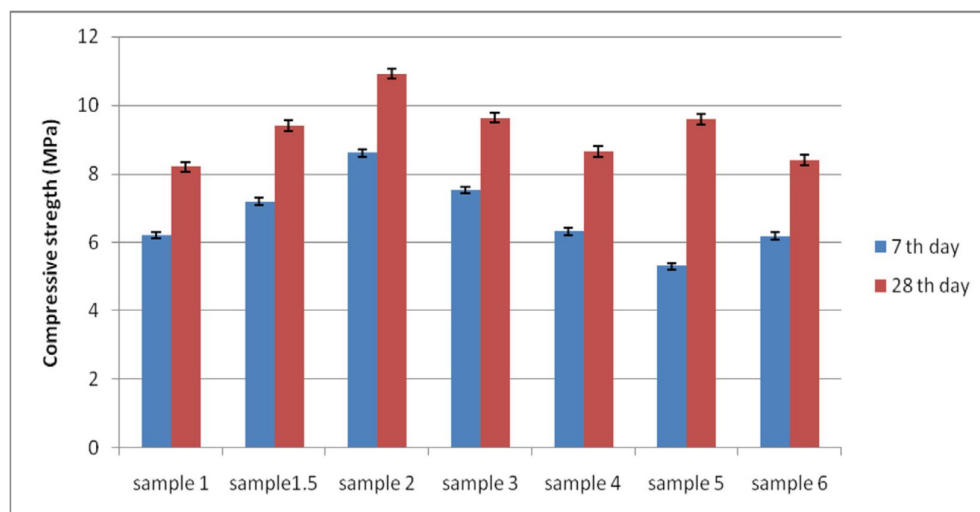
Menurut penelitian Nalobile, dkk. (2019) menjelaskan bahwa sampel *pozzolan* yang berbeda dapat dirangkum pada Tabel 2.5 memiliki kandungan yang berbeda juga. Kandungan oksida dalam material akan berpengaruh terhadap kuat tekannya. Hasil kuat tekan dari sampel dengan kandungan yang berbeda pada tabel di atas dapat dipadukan dengan grafik peningkatan kuat tekan pada Gambar 2.7.

Tabel 2.5 Kadungan oksida pada sampel semen dengan *pozzolan* berbeda

Oksida	Berat (%)						
	S.1 (OPC)	S.1,5	S.2	S.3	S.4	S.5	S.6
CaO		0,87	0,65	0,55	0,45	3,03	2,01
SiO ₂		74,30	80,50	81,20	82,50	76,90	75,92
Al ₂ O ₃		7,68	7,80	7,92	8,00	6,73	6,04
Fe ₂ O ₃		6,80	6,90	7,90	3,67	4,50	3,98
SO ₃		0,31	0,13	0,12	0,30	0,12	0,52
MgO		1,70	1,90	1,74	1,70	1,72	2,24

*OPC = *Ordinary Portland Cement*

*S = Kode sampel (campuran sekam padi, tanah bekas pemutihan dan batu bata pecah)



Gambar 2.7 Grafik uji kuat tekan variasi sampel semen

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dengan judul “Pengaruh Kandungan Kimia-Mineralogi Limbah Batu Bata sebagai Material Pengganti Pozzolan terhadap Kuat Tekan Semen Campur (*Blended Cement*)” dilaksanakan pada bulan Maret-Mei 2021 dan bertempat di dua Laboratorium. Pertama di Laboratorium Kimia dan Fisika PT. Semen BOSOWA Banyuwangi, kedua di Laboratorium Kimia Universitas Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan antara lain cawan platina, oven, *furnace*, *stopwatch*, botol material, gelas kimia, gelas ukur, spatula, desikator, neraca analitik, *waterbath*, *hotplate*, labu *le chatelier*, batang pengaduk, kaca arloji, botol semprot, corong kaca, penjepit cawan, pipet tetes, batu api, penumbuk besi, ayakan, *tray* (nampan), cetok, alat vikat, cincin vikat, *cement mini ball mill*, kuas, pengaduk karet, pengaduk mekanik, penjepit cawan, *blaine apparatus*, cetakan kubus mortar, *wet box*, *curing*, *compressive strengt*, XRF, XRD.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan antara lain limbah batu bata, klinker, gips, aquades (H_2O), minyak tanah, asam klorida pekat (HCl), asam klorida 33%, asam klorida 16%, asam klorida 5%, asam klorida 1%, asam nitrat (HNO_3), asam sulfat 10% (H_2SO_4), asam sulfat 50%, asam fosfat (H_3PO_4) 50%, ammonium nitrat (NH_4NO_3), ammonium hidroksida (NH_4OH), ammonium hidroksida 50%,

larutan diamonium hidrogen fosfat ((NH₄)₂HPO₃), larutan baku kalium dikromat (K₂Cr₂O₇), larutan timah (II) klorida (SnCl₂), ammonium hidroksida 16%, ammonium klorida (NH₄Cl), ammonium asetat (CH₃COONH₄), ammonium oksalat ((NH₄)₂C₂O₄.H₂O), barium klorida (BaCl₂), indikator merah metil (C₁₅H₁₅N₃O₂), indikator bariumdifenilamin sulfonat (C₂₄H₂₀BaN₂O₆S₂), larutan baku kalium permanganat (KMNO₄), larutan jenuh merkuri(ii) klorida (HgCl₂), solven (gliserol:etanol = 1:3), kalsium karbonat (CaCO₃), stronsium dinitrat (Sr(NO₃)), semen, pasir silika, air, kertas saring no. 41 dan no. 42.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan pengujian limbah batu bata sebagai material pengganti *pozzolan* pada semen. Preparasi sampel dilakukan dengan mengeringkan batu bata dan menghaluskannya menggunakan *jaw crusher*. Kemudian dilanjutkan dengan menggrinding sampel dan diayak dengan ayakan 170 mesh. Sampel limbah batu bata tersebut kemudian diuji indeks reaktivitas dengan lama pendiaman hingga 28 hari kemudian di uji kuat tekannya. Apabila limbah batu bata memenuhi syarat uji dari material *pozzolan* maka dilakukan pengambilan sampel di beberapa titik untuk dianalisis kandungan kimianya menggunakan XRF dan dikarakterisasi senyawa menggunakan instrumen XRD. Tahapan selanjutnya yaitu preparasi dan pembuatan semen dari beberapa material menggunakan alat *mini ball mill*.

Semen tersebut kemudian diuji secara kimia menggunakan metode gravimetri dan volumetri dan diuji secara fisika berupa nilai kehalusan menggunakan *blaine apparatus*. Selanjutnya dilakukan pembuatan dan perawatan benda uji mortar di dalam *curing* untuk diuji kuat

tekannya menggunakan alat *compressive strength*. Hasil pengujian semen dengan nilai kuat tekan optimum akan dikarakterisasi menggunakan XRD.

3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a) Limbah batu bata dilakukan preparasi
- b) Sampel limbah batu bata diuji indeks reaktivitas
- c) Pengambilan beberapa sampel limbah batu bata dan dilakukan preparasi
- d) Limbah batu bata dianalisis kandungan kimia menggunakan instrumen XRF
- e) Limbah batu bata dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD
- f) Material penyusun semen digiling menggunakan alat *mini ball mill*
- g) Bubuk semen hasil penggilingan diuji secara kimia dan fisika
- h) Mortar yang telah dibuat kemudian dirawat didalam *curing*
- i) Pengujian kuat tekan mortar semen dengan alat *compressive strength*
- j) Semen batu bata dengan nilai optimum dikarakterisasi menggunakan XRD.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Preparasi Sampel

Sampel limbah batu bata yang masih basah terlebih dahulu dikeringkan didalam oven hingga berkurang kadar airnya, selanjutnya dihancurkan dengan alat *grinding* untuk menghasilkan serbuk batu bata. Serbuk batu bata kemudian diayak dengan ayakan berukuran 170 mesh.

3.5.2 Pengujian Fisika dan Kimia

a) Uji Fisika berupa Indeks Reaktivitas (ASTM C-114, 2007)

Pembuatan benda uji berupa kubus mortar *pozzolan* sama dengan langkah kerja pada pembuatan kubus mortar semen. Penyimpanan sampel mortar hanya

dilakukan pada 1 hari pengujian yaitu pada umur 28 hari menggunakan mesin kuat tekan (compressive strength). Instruksi kerja pembuatan mortar ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Instruksi kerja pembuatan mortar

Bahan-bahan	Control Mix	Test Mix
Semen (gr)	250	162,5
Graded Sand (gr)	687,5	687,5

b) Karakterisasi Senyawa dengan XRD

Mengambil bubuk limbah batu bata/ semen batu batasebanyak satu sendok teh, kemudian bubuk limbah batu bata tersebut dimasukkan ke dalam plat aluminium berukuran 2×2 cm. Selanjutnya plat aluminium yang berisi sampel limbah batu bata dikarakterisasi menggunakan XRD dengan sumber Cu-K α_1 , yang memiliki panjang gelombang 1,54 Å. Kemudian mengatur besarnya tegangan dan arus yang akan digunakan. Selanjutnya pengambilan data dalam rentang sudut difraksi 2θ dengan kecepatan baca waktu per detik. Menembakkan sinar-X menuju sampel sehingga akan membuat detektor berputar sesuai dengan rentang sudut difraksi 2θ yang digunakan. Selanjutnya setelah ditembakkan maka nilai terbaca pada monitor atau layar komputer grafik difraktogram yaitu grafik hubungan intensitas dengan 2θ . Interpretasi grafik menggunakan *Software Match* untuk memberikan informasi struktur kristal pada sampel limbah batu bata.

c) Analisis menggunakan XRF

Penentuan senyawa kimia yang ada didalam limbah batu bata dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan instrumen XRF. Adapun cara untuk pengujian ini yaitu dengan ditimbang sebanyak 10 gram bubuk limbah batu bata (sampel uji), kemudian dimasukkan kedalam mesin preparasi (*Grinding*). Setelah

itu ditambahkan 2 pcs pallet pada sampel agar sampel melekat dengan cincin ketika di *press*. Kemudian ditambahkan 1 tetes larutan anti *coating*. Bahan-bahan tersebut kemudian dihaluskan dan di cetak di cincin *X-Ray* yang selanjutnya di uji pada mesin XRF. Hasil data yang diperoleh kemudian dianalisis.

3.5.3 Preparasi dan Pembuatan Semen

Sebelum pembuatan semen terlebih dahulu dilakukan proses sampling yang mana pengambilan material dilakukan di *storage*. Adapun tahap preparasi yang dilakukan yaitu dengan mengambil material berupa gipsum, limbah batu batuan klinker. Kemudian diperkecil ukuran dan klinker pada alat *jaw crusher*. Empat material penyusun semen kemudian ditimbang sesuai proporsi yang telah ditentukan.

Penggilingan material kedalam mesin *mini ball mill*. Setelah didapatkan semen selanjutnya diuji kehalusannya dengan alat *blaine apparatus*. Penentuan kehalusan ini dapat ditentukan dengan mengatur lama waktu proses penggilingan material di dalam mesin *miniball mill*. Semen yang dihasilkan kemudian akan diuji secara kimia dengan menggunakan metode gravimetri dan volumetri sesuai dengan Standar Nasional Indonesia:

- Pengujian SO_3

Semen batu bata ditimbang 1 gram kedalam gelas kimia 250 ml. Semen tersebut kemudian dilarutkan dalam 25 ml aquades dan 5 ml larutan HCl pekat. Sampel diaduk dan dihancurkan hingga tercampur. Campuran tersebut kemudaindilarutkan dalam 25 ml aquades dan dididihkan diatas *hotplate*. Setelah itu campuran disaring menggunakan kertas saring ukuran medium kedalam 400 ml gelas kimia. Kemudian campuran ditambahkan 100 ml larutan NaOH panas kedalam gelas kimia 250 ml semula dan

dipanaskan kembali. Campuran semen ditambahkan beberapa tetes indikator metil merah dan beberapa tetes HCl pekat hingga warna menjadi merah muda. Campuran kemudian disaring dan dicuci menggunakan NH_4NO_3 panas. Filtrat yang didapat kemudian diencerkan sampai 250 mL dan dididihkan. Setelah itu filtrat ditambahkan 10 mL BaCl_2 dan dididihkan hingga terbentuk endapan. Larutan tersebut kemudian dididiges selama 12-24 jam pada suhu hampir mendidih. Larutan disaring menggunakan kertas saring no.42 dan dicuci menggunakan aquades panas. Kertas saring dan endapan dipijarkan pada suhu $\pm 900^\circ\text{C}$ selama 30 menit. Hasil pembakaran residu kemudian ditimbang dan dihitung rendemennya.

- Pengujian SiO_2

Limbah batu bata sebanyak 0,50 gram ditimbang. Kemudian larutan NH_4Cl sebanyak 0,50 gr ditambahkan dalam gelas kimia 100 mL. Gelas kimia tersebut ditutupi dengan kaca arloji. Larutan HCl sebanyak 5 mL dituangkan perlahan dalam tepi gelas kimia. Kaca arloji diangkat dan larutan HNO_3 ditambahkan 1-2 tetes. Kemudian campuran tersebut diaduk dengan batang pengaduk dan diletakkan di atas pemanas selama 30 menit. Larutan kemudian disaring dengan kertas saring no.41 dan dibilas gelas kimia dengan HCl 16% panas. Kemudian endapan tersebut dicuci dengan air panas 10-12 kali. Kertas saring dan endapan dipijarkan pada suhu $\pm 1000^\circ\text{C}$ selama 30 menit. Hasil pembakaran residu kemudian ditimbang dan dihitung rendemennya.

- Penentuan CaO

Filtrat SiO_2 sebanyak ± 200 mL diasamkan dengan HCl 10-15 mL dan ditambahkan 2 tetes indikator metil merah dan dipanaskan hingga mendidih. Larutan NH_4OH 50% kemudian dituangkan hingga larutan berwarna kuning dan terbentuk endapan. Larutan tersebut kemudian *didigest* selama 10 menit atau dipanaskan selama 1 menit. Endapan yang telah turun kemudian disaring menggunakan kertas saring no.41. Selanjutnya larutan ammonium nitrat panas (NH_4NO_3) ditambahkan sebagai larutan pencuci dengan maksimal 4 kali pencucian.

Filtrat tersebut diasamkan dengan 5 mL HCl kemudian larutan diuapkan hingga 200 mL. Larutan tersebut kemudian ditambahkan indikator metal merah dan ammonium oksalat panas sebanyak 30 mL. Kemudian larutan akan dipanaskan hingga suhu mencapai $70-80^\circ\text{C}$ dan ditambahkan NH_4OH 50%. Endapan putih akan turun sekitar 1 jam. Endapan yang didapat kemudiandicuci menggunakan aquades panas hingga bebas klorida dengan ditetesi AgNO_3 . Kemudian endapan akan dititrasi dengan larutan kalium permanganat K_2MnO_4 dan dicatat volume pentiter.

- Pengujian Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)

Semen sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL, kemudian bubuk semen ditambah air 40 mL dan HCl 10 mL. Larutan kemudian dipanaskan dan dihancurkan dengan batang pengaduk kaca sampai semua semen terurai. Kemudian larutan tersebut dididihkan dan larutan SnCl_2 ditambahkan sedikit demi sedikit hingga larutan tidak berwarna. Bagian dalam yang terdapat sisa larutan dibilas menggunakan aquades. Dinding bagian dalam gelas dibilas dengan aquades. Setelah itu larutan merkuri klorida (HgCl_2) sebanyak 10 mL ditambahkan. Kemudian larutan tersebut

diaduk cepat selama 1 menit. Larutan 10 mL asam fosfat (H_3PO_4) 50% dan 2 tetes indikator barium difenil amin sulfonat ditambahkan secara bersamaan. Senyawa yang digunakan untuk membakukan larutan pada titrasi ini yaitu kalium dikromat. Kemudian larutan $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai peniter hingga warna sampel menjadi warna merah lembayung.

3.5.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

a) Pembuatan Mortar dan Uji Kuat Tekan

Pembuatan benda uji mortar yaitu dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dari mortar. Pengujian ini dilakukan pada umur 1, 3, 7 dan 28 hari. Adapun tahap pembuatan mortar yaitu dengan menimbang semen sebanyak 740 gram. Kemudian semen dimasukkan ke mangkok pengaduk yang telah berisi air. Pengaduk semen dijalankan dengan kecepatan rendah selama 30 detik. Kemudian 2035 gr pasir ditambahkan perlahan dalam waktu 30 detik. Selanjutnya pengaduk dijalankan dengan kecepatan tinggi selama 30 detik. Setelah semen bercampur, pengaduk dihentikan selama 90 detik, pada selang waktu 15 detik mortar di dinding mangkok dikumpulkan dan pengaduk dijalankan kembali dalam kecepatan tinggi selama 60 detik.

Mortar kemudian dimasukkan ke cetakan hingga memenuhi setengah ditumbuk sebanyak 20 kali, pengisian dilanjutkan hingga penuh dan ditumbuk lagi sebanyak 20 kali. Permukaan mortar diratakan dan meja alir dijalankan dengan ketinggian 12,70 mm sebanyak 25 ketukan dalam waktu 15 detik. Penyebaran mortar semen diukur 4 kali menggunakan penggaris untuk mengetahui persentase aliran. Adonan kemudian dikembalikan ke mangkok pengaduk, lalu dijalankan pada kecepatan sedang selama 15 detik. Setelah itu adonan dituang setengah dari cetakan mortar dan ditumbuk sebanyak 4x8 dalam

waktu 10 detik, selanjutnya ditambahkan secara penuh dan ditumbuk lagi sebanyak 4x8. Mortar semen dimasukkan ke dalam *wet box* selama 20-24 jam, kemudian dibuka mortar dan direndam dalam bak rendaman (*curing*) sampai umur pengujian. Toleransi umur benda uji 1 hari, 3 hari, 7 hari dan 28 hari ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Toleransi umur pengujian

Umur Pengujian	Toleransi yang diperbolehkan
24 jam	± 0,50 jam
3 hari	± 1,00 jam
7 hari	± 3,00 jam
28 hari	± 12,00 jam

Sumber : SNI 2049 (2004)

Pengujian kuat tekan mortar menggunakan alat *compressive strength*. Menghidupkan mesin dengan menekannya tombol *measure* ditekan hingga indikator lampu berada pada posisi 100%. Katup oli diputar ke posisi *close* untuk menaikkan plat penekan. Sedangkan katup kecepatan diputar ke posisi *slow*. Setelah selesai pengujian, katup oli diputar ke posisi *open* dan katup kecepatan diputar ke posisi *fast*. Hasil pengujian yang tertera di layar *display* kemudian dicatat dengan satuan Kg/cm². Adapun julat maksimum yang diperbolehkan adalah nilai rata-rata saat 3 kubus mewakili suatu umur pengujian 8,70% dan nilai rata-rata saat 2 kubus mewakili suatu umur pengujian 7,60%.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kandungan Kimia Batu Bata

Sampel yang digunakan merupakan limbah batu bata dari tiga daerah berbeda. Limbah batu bata yang masih basah dikeringkan menggunakan oven dan dihancurkan dalam mesin *grinding*. Batu bata yang telah menjadi serbuk ditampilkan pada Gambar 4.1. Serbuk batu bata dianalisis dengan XRF untuk mengetahui kelayakan kandungan kimia sebagai bahan pengganti *pozzolan* pada semen. Adapun kandungan senyawa yang telah tersaji pada data uji limbah batu bata telah dirangkum dalam Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Serbuk batu bata

Hasil analisis kandungan senyawa dalam XRF diselaraskan dengan hasil karakterisasi XRD berdasarkan posisi puncak dan intensitas pada hasil difraktogram. Analisis XRD dilakukan secara kualitatif untuk mengidentifikasi fase kristalnya. Pembacaan grafik difraktogram menggunakan aplikasi *Match!* dengan basis data *Powder Diffraction File* (PDF) yang bersumber dari *Crystallography Open Database* (COD). Puncak dan intensitas kristal yang terdeteksi seperti pada lampiran Tabel 5.3 menunjukkan kemiripan struktur pada ketiga sampel yang ditampilkan pada Gambar 4.2.

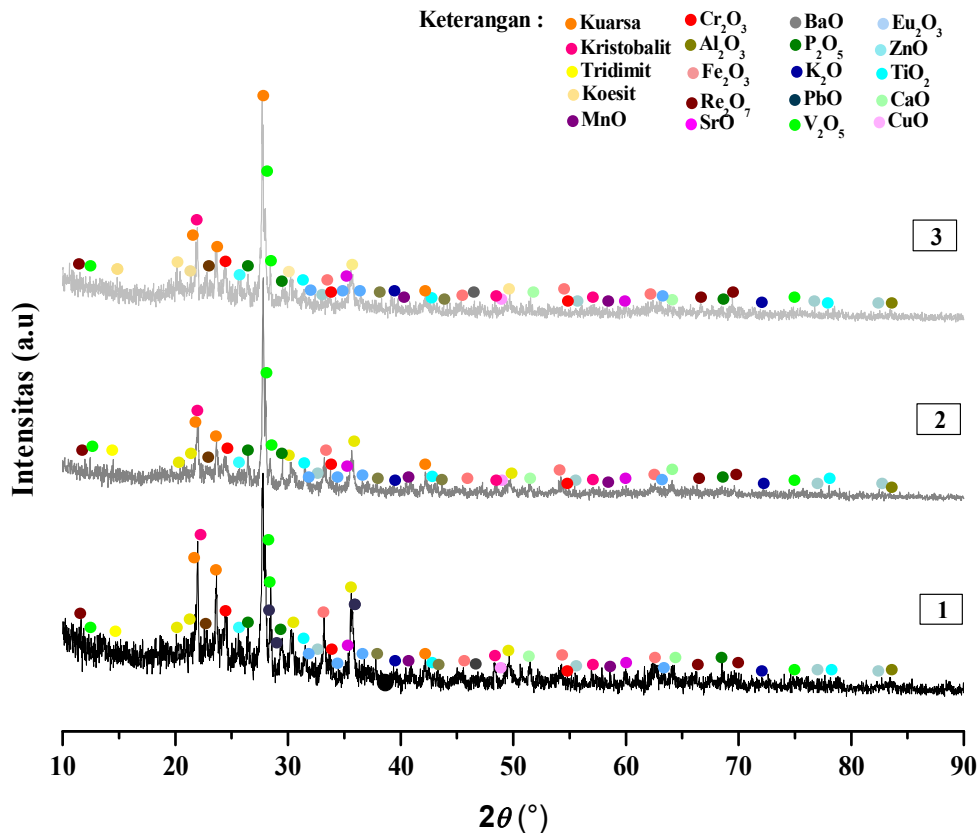
Tabel 4.1 Kandungan senyawa dalam batu bata

No.	Kandungan senyawa oksida	Berat sampel (%)		
		Batu bata 1	Batu bata 2	Batu bata 3
1	SiO ₂	49,10	49,80	48,80
2	Al ₂ O ₃	14	13	14
3	Fe ₂ O ₃	21,10	20,90	21,50
4	CaO	9,00	9,10	8,40
5	ZnO	0,03	0,058	0,03
6	TiO ₂	1,77	1,77	1,54
7	K ₂ O	2,51	2,63	2,52
8	P ₂ O ₅	0,96	1,10	1,10
9	CuO	0,084	0,087	0,092
10	V ₂ O ₅	0,05	0,05	0,05
11	Cr ₂ O ₃	0,047	0,087	0,049
12	MnO	0,44	0,45	0,46
13	SrO	0,34	0,34	0,29
14	Eu ₂ O ₃	0,26	0,32	0,35
15	Re ₂ O ₇	0,1	0,1	0,1
16	BaO	0,1	-	0,1
17	PbO	0,13	-	-
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃		84,20	83,70	84,30

Hasil analisis XRF pada tiga sampel batu bata menghasilkan jumlah persentase yang berbeda. Senyawa SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ terdeteksi sebagai senyawa mayor karena menghasilkan kadar dengan persentase yang tinggi. Adapun kandungan senyawa minor pada ketiga sampel memiliki sedikit perbedaan. Senyawa minor yang terdeteksi pada ketiga batu bata antara lain CaO, ZnO, TiO₂, K₂O, P₂O₅, CuO, V₂O₅, Cr₂O₃, MnO, SrO, Eu₂O₃ dan Re₂O₇. Senyawa BaO hanya dimiliki oleh batu bata pertama dan ketiga, sedangkan PbO hanya dimiliki oleh sampel batu bata yang pertama.

Hasil penelitian menunjukkan kandungan batu bata pertama, batu bata kedua dan batu bata ketiga secara berturut-turut yaitu 84,20, 83,70, 84,30%. Penelitian tersebut memenuhi syarat *pozzolan* menurut teori KEBS *Kenya Bureau of Standards* (1993) *pozzolan* memiliki standar kualitas dengan jumlah oksida

aluminium, silikon dan besi minimal 70%. ASTM *American Society for Testing and Materials* C-618 juga menyatakan bahwa penjumlahan dari senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 dalam *pozzolan* tidak boleh kurang dari 70%. Menurut penelitian Cheng, dkk. (2018) kandungan oksida SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 secara berturut-turut sebesar 43,56; 13,85; dan 12,63%, sehingga jumlah SAF ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang diperoleh sebesar 70,04%.



Gambar 4.2 Hasil analisis XRD variasi batu bata

Difraktogram pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tiga sampel batu bata memiliki posisi puncak yang hampir sama. Adapun intensitas tertinggi yang terdeteksi merupakan senyawa SiO_2 fasa kuarsa kemudian diikuti dengan senyawa lain seperti V_2O_5 , SiO_2 (fasa kristobalit, tridimit dan koesit), hematit dan senyawa lainnya. Tinggi rendahnya intensitas menunjukkan tingkat kekrystalannya,

semakin tinggi intensitas maka tingkat kekristalan meningkat (Haslinawati, 2011). Hal ini memiliki kemiripan dengan hasil analisis penelitian Wild, dkk. (1997) kristal utama fase yang terbentuk adalah fase kuarsa pada silika (SiO_2). Selain itu, terdapat beberapa senyawa lain dibawah puncak seperti oksida besi dalam bentuk mineral hematit.

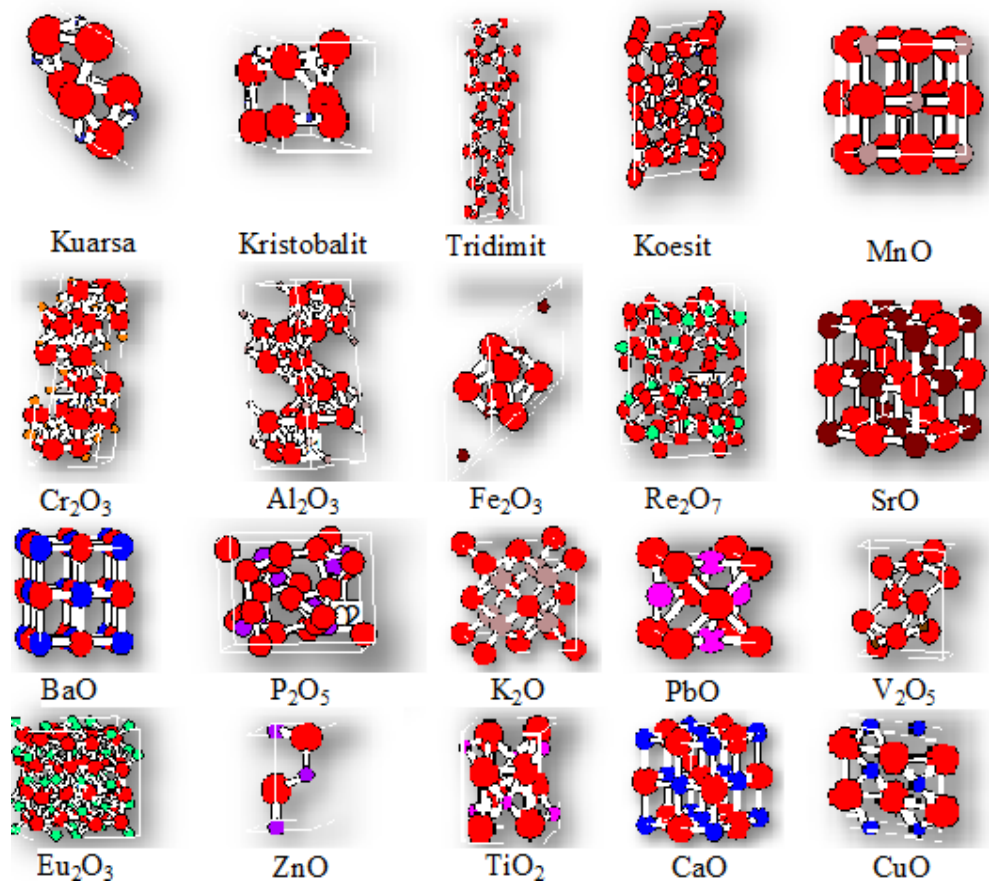
Berdasarkan hasil analisis difraktogram XRD, batu bata pertama dan batu bata kedua memiliki fasa kuarsa, tridimit dan kristobalit, sedangkan batu bata ketiga memiliki fasa kuarsa, kristobalit dan koesit. Perbedaan fasa pada senyawa dipengaruhi oleh perbedaan suhu saat pembakaran batu bata. Semakin tinggi suhu yang dikenakan pada sampel maka tingkat kristalinitasnya akan semakin rendah. Kuarsa merupakan fasa silika dengan tingkat kristalin yang tinggi dan memiliki susunan yang teratur.

Pembentukan fasa kristobalit dan tridimit terjadi pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan fasa kuarsa sehingga susunan atomnya lebih tidak teratur dan memungkinkan tingkat penggabungan unsur lain ke dalam strukturnya lebih mudah (Drees, dkk., 1989). Adapun fasa koesit merupakan jenis fase yang terbentuk pada suhu dan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan kuarsa, kristobalit dan tridimit sehingga menurut Deer, dkk. (1992) koesit memiliki bentuk yang lebih tidak beratur, ikatannya lebih renggang dan lebih mudah bergabung dengan senyawa yang lain (Ramachandran, 1995).

Perbedaan fasa senyawa silika pada sampel batu bata ketiga menjelaskan bahwa ia memiliki kereaktifan yang paling tinggi dibandingkan batu bata pertama dan kedua. Perbedaan banyaknya kontribusi sampel terhadap kualitas semen antara sampel pertama dan kedua yaitu berdasarkan pada senyawa minor yang terdeteksi. Kedua sampel memiliki dua belas senyawa oksida minor (CaO , ZnO ,

TiO₂,K₂O, P₂O₅,CuO, V₂O₅,Cr₂O₃,MnO, SrO, Eu₂O₃ danRe₂O₇)dengan kadar yang hampir sama.

Kelebihan pada sampel pertama memiliki dua jenis senyawa yang tidak terdapat pada sampel kedua yaitu senyawa PbO dan BaO, sehingga dimungkinkan dengan adanya dua jenis senyawa tersebut dapat berpengaruh terhadap kualitas semen. Struktur fasa senyawa yang terdeteksi pada difraktogram hasil karakterisasi batu bata dapat ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Struktur kristal pada batu bata (*Inorganic Crystal Structure Database*)

4.1.1 Indeks Reaktivitas Batu Bata

Pengujian kandungan senyawa kimia dalam batu bata berupa SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ (SAF) belum dapat dijadikan penentu bahwasannya material tersebut

dapat digunakan sebagai bahan pengganti *pozzolan*. Uji lanjut material *pozzolan* adalah indeks reaktifitas yang berfungsi untuk mengetahui kereaktifan dari suatu material. Tahapan ini sama dengan pembuatan benda uji berupa kubus mortar semen melalui proses pengadukan, pencetakan, perawatan dan pemecahan sampel seperti yang tertera pada bab tiga tahap pembuatan semen 3.5.4.

Pengujian indeks reaktifitas berdasarkan persentase dari hasil pembagian nilai kuat tekan alami sebagai blanko dengan kuat tekan batu bata yang dapat dilihat pada lampiran Tabel L.3.2.1 dengan perolehan hasil pada ketiga sampel sebesar 75,60; 75; dan 77,90%. Menurut penelitian Turanli, dkk. (2003) hasil indeks reaktifitas pada limbah batu bata selama 28 hari sebesar 78%. Hal ini menunjukkan bahwa batu bata memiliki persentase nilai yang memenuhi syarat sebagai bahan yang tergolong material *pozzolan* pada semen. Menurut ASTM C 618 (1993) standar dari indeks reaktifitas yaitu memiliki nilai rata-rata hasil perhitungan sebesar 75%.

Pengujian indeks reaktifitas dapat dihubungkan dengan hasil karakterisasi XRD sampel limbah batu bata. Urutan kereaktifan ketiga sampel dari tinggi ke rendah yaitu sampel ketiga, sampel pertama dan sampel kedua. Pernyataan tersebut sama dengan pembahasan hasil karakterisasi XRD bahwa sampel ketiga memiliki fasa yang lebih reaktif. Adapun sampel pertama lebih tinggi nilai indeks reaktifitasnya daripada sampel kedua dimungkinkan adanya senyawa minor yang tidak dimiliki sampel kedua membantu kontribusi pada proses hidrasi semen. Berdasarkan tingginya kadar persentase senyawa, banyaknya jumlah senyawa minor yang terdeteksi dan tingginya indeks reaktifitas dari ketiga sampel limbah batu bata dapat dinyatakan bahwa sampel limbah batu bata ketiga

memiliki kualitas terbaik kemudian diikuti dengan sampel pertama dan sampel kedua.

4.2 Analisis Kualitas Semen

Material klinker, gipsum dan batu bata digiling ke mesin mini *ball mill* hingga menjadi semen dalam waktu tertentu. Pengujian kualitas semen dilakukan melalui 2 tahapan yaitu secara fisika dan kimia.

4.2.1 Uji Fisika

Semen yang telah melalui proses penggilingan kemudian diuji kehalusan berdasarkan uji *blaine apparatus*. Kehalusan material dari semen mini *ball mill* umumnya dilakukan dengan memantau luas permukaan material. Standar yang telah ditetapkan berdasarkan SNI 0302 (2004) uji kehalusan pada *blended cement* adalah minimal 2800 cm²/gr. Rentang nilai 5000 cm²/gr dipilih untuk memaksimalkan kualitas semen.

Berdasarkan teori Xue, dkk. (2020) luas permukaan spesifik memiliki pengaruh terhadap kekuatan mortar semen, semakin besar luas permukaan spesifik akan meningkatkan kecepatan hidrasi sehingga dapat mempercepat proses pengikatan dan pengerasan semen. Adapun data hasil uji kehalusan semen dapat dirangkum seperti Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil uji kehalusan semen

No.	Hasil Uji	<i>Blended Cement</i>		
		Batu Bata 1	Batu Bata 2	Batu Bata 3
1	Nama Sampel			
2	Kehalusan (cm ² /gr)	5008	5033	5052

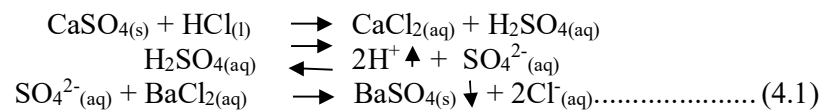
4.2.2 Uji Kimia

Pengujian senyawa kimia yang terdapat dalam semen dilakukan dengan cara mengambil bubuk semen yang telah halus kemudian di uji kandungan kimianya

dengan beberapa parameter untuk menentukan kualitas pada semen.

a) Penetapan SO₃ (Sulfur Trioksida)

Senyawa sulfur trioksida pada semen berasal dari material gipsum yang kaya akan senyawa sulfat. Senyawa sulfat akan larut dalam pelarut asam klorida (HCl) kemudian dapat diendapkan dengan mereaksikan sulfat dengan BaCl₂. Hasil endapan dipijarkan sehingga ditimbang sebagai barium sulfat. Berikut reaksi SO₃ dapat ditampilkan pada persamaan 4.1 (Sharma, 2006) dan (Basset J & Mendham, 1994).



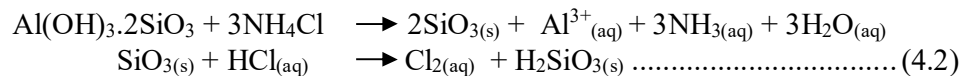
Endapan semen yang tertinggal pada kertas saring dipijarkan sehingga kadar senyawa SO₃ pada 3 batu bata adalah 2; 2,10; dan 2,10%. Bektas, dkk (2012) dalam penelitiannya menjelaskan jumlah kandungan oksida SO₃ pada semen sebesar 3,01%. Senyawa SO₃ tidak terdapat pada hasil uji XRF dan XRD batu bata dikarenakan senyawa tersebut berasal dari material gipsum.

Hasil penelitian telah memenuhi standar kandungan oksida pada semen portland. Menurut standar IQS Iraqi Specification No.5 (1984) menyatakan bahwa persentase minimal kandungan SO₃ pada Semen Portland adalah kurang dari 5%. Sedangkan standar yang ditetapkan di Indonesia pada semen portland jenis *pozzolan* batas maksimal kandungan SO₃ pada semen sebesar 4% (SNI 0302, 2004).

b) Penetapan SiO₂ (Silikon Dioksida) dan Al₂O₃ (Alumunium Oksida)

Senyawa silikon dioksida pada semen berasal dari material batu bata dan klinker. Penentuan SiO₂ dilakukan dengan menambahkan NH₄Cl agar Si dapat terpisah dari Al. Proses ini menghasilkan endapan silika berbentuk kristal dan

larutan berwarna kekuningan yang mengandung endapan silika yang tidak larut. Adapun reaksi SiO_2 dapat ditampilkan pada persamaan 4.2 (Basset J & Mendham, 1994) dan (Sharma, 2006).



filtrat dari penetapan SiO_2 digunakan sebagai penentuan Al(OH)_2 dan Fe(OH)_3 . Reaksi yang terjadi pada endapan dapat ditampilkan pada persamaan 4.3 (Basset J & Mendham, 1994).



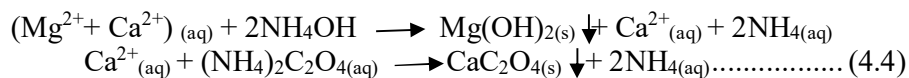
Kadar SiO_2 pada 3 semen adalah 17,94; 18,21; dan 17,74%. Bektas, dkk. (2012) dalam penelitiannya menjelaskan jumlah kandungan oksida SiO_2 dalam semen batu bata sebesar 20,58%. Kadar senyawa SiO_2 dalam semen lebih sedikit dari hasil XRF batu bata dikarenakan adanya kandungan SiO_2 batu bata yang bergabung dengan senyawa dari material lain. Hal tersebut dibuktikan berdasarkan hasil difraktogram batu bata dengan semen yang menunjukkan kesamaan posisi puncak antara SiO_2 dengan C_3S dan C_2S . Terdapat perbedaan kandungan oksida pada masing-masing semen dikarenakan perbedaan pada material penyusunnya. Pada pengujian SiO_2 tidak ditetapkan standar banyaknya kandungan yang terdapat dalam semen.

Kadar alumina tidak ditentukan berdasarkan uji senyawa dalam semen tetapi dihitung berdasarkan perbedaan. Endapan Ammonium hidroksida dalam semen diasumsikan terdiri dari Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , dan residu SiO_2 . Perhitungan Al_2O_3 dilakukan dengan mengurangi presentase (Al(OH)_2 dan Fe(OH)_3) dengan Fe_2O_3 . Adapun hasil kadar Al_2O_3 pada 3 semen adalah 3,59; 3,43; dan 3,51%. Menurut Bektas, dkk. (2012) dalam penelitiannya menjelaskan jumlah kandungan

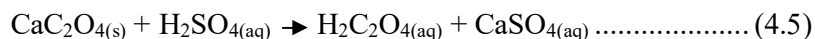
oksida Al_2O_3 dalam semen sebesar 5,38%. Kadar senyawa Al_2O_3 dalam semen lebih sedikit dari hasil XRF batu bata dikarenakan adanya kandungan Al_2O_3 batu bata yang bergabung dengan senyawa dari material lain. Hal tersebut dibuktikan berdasarkan hasil difraktogram batu bata dengan semen yang menunjukkan kesamaan posisi puncak antara Al_2O_3 dengan C_3A . Kandungan oksida Al_2O_3 pada semen juga tidak memiliki standar. Penentuan pada uji kandungan oksida SiO_2 dapat dilihat dari penelitian sebelumnya.

c) Penetapan CaO

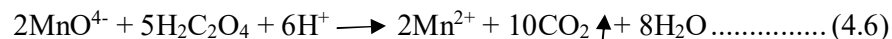
Filtrat dari penetapan SiO_2 dibasakan dengan NH_4OH untuk mengendapkan Mg^+ sebagai hidroksida. Kemudian Ca^{2+} ditambahkan dengan Ammonium oksalat sehingga membentuk endapan putih. Reaksi CaO dapat ditampilkan pada persamaan 4.4 (Basset J & Mendham, 1994).



setelah terjadi endapan, maka ditambahkan H_2SO_4 yang nantinya akan larut membentuk asam oksalat yang bersifat reduktor yang jumlahnya setara dengan Ca^{2+} . Reaksi yang terjadi dapat ditampilkan pada persamaan 4.5 (Sharma, 2006).



kemudian asam oksalat yang terbentuk dititrasi dengan KMnO_4 sampai terbentuk larutan merah muda. Reaksi titrasi permanganometri dapat ditampilkan pada persamaan 4.6 (Sharma, 2006).

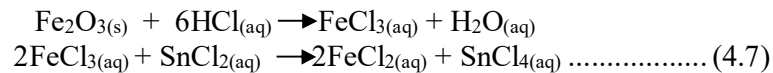


Volume yang dihasilkan dari hasil titrasi dicatat dan digunakan untuk menentukan kadar CaO yang terdapat dalam semen. Kadar CaO pada 3 semen adalah 56,50; 56,03; dan 56,91%. Kadar senyawa CaO dalam semen lebih banyak

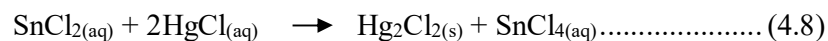
dari hasil XRF batu bata dikarenakan bertambahnya kandungan CaO dari material klinker dan gipsum. Selain itu senyawa CaO juga bereaksi dengan senyawa lain seperti C_2S dan C_4AF yang ditampilkan pada kesamaan posisi puncak difraktogram antara batu bata dengan semen.

d) Penetapan Fe_2O_3

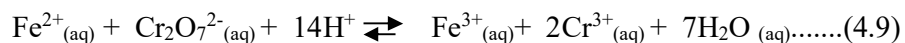
Prinsip analisis dalam Fe_2O_3 dalam semen yaitu mereduksi besi(III) menjadi besi(II) dengan timah(II) klorida ($SnCl_2$). Reduksi besi(III) menjadi besi(II) menggunakan pelarut $SnCl_2$, berikut adalah reaksi yang terjadi dapat ditampilkan pada persamaan 4.7 (Patnaik, 2002).



penambahan $HgCl_2$ karena Sn^{2+} akan di oksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$ maka Sn^{2+} harus diubah kedalam Sn^{4+} . $HgCl_2$ merupakan agen pengoksidasi yang kuat sehingga membentuk endapan putih, reaksi yang terjadi dapat ditampilkan pada persamaan 4.8 (Green, 1996):



menghitung kadar Fe_2O_3 dalam semen dibantu dengan titrasi $K_2Cr_2O_7$. Adapun reaksi yang terjadi dapat ditampilkan pada persamaan 4.9 (Bozdoğan, dkk., 2018):



warna yang dihasilkan adalah merah lembayung dan hasil kadar Fe_2O_3 dalam 3 semen adalah 4,49; 4,34; dan 4,58%. Bektas, dkk (2012) dalam penelitiannya menjelaskan jumlah kandungan oksida Fe_2O_3 dalam semen sebesar 2,14%. Kadar senyawa Fe_2O_3 dalam semen lebih sedikit dari hasil XRF batu bata dikarenakan adanya kandungan Fe_2O_3 batu bata yang bergabung dengan senyawa dari material lain. Hal tersebut dibuktikan berdasarkan hasil difraktogram batu bata dengan

semen yang menunjukkan kesamaan posisi puncak antara Fe_2O_3 dengan C_4AF . Senyawa Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO akan membentuk senyawa kalsium alumina ferrit (C_4AF) yang akan dapat mempengaruhi warna pada semen (Barron & Johnson, 2008). Adapun hasil pengujian kandungan kimia semen dapat dirangkum seperti pada Tabel 4.3.

Hasil kandungan kimia oksida yang terdapat dalam semen memiliki selisih yang cukup signifikan terhadap hasil analisis batu bata. Hal ini disebabkan oleh pengaruh penambahan material penyusun semen lainnya seperti klinker dan gipsum. Penentuan senyawa komponen utama semen berupa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF didapatkan berdasarkan hasil perhitungan kandungan kimia oksida yang telah ditentukan oleh standar nasional Indonesia.

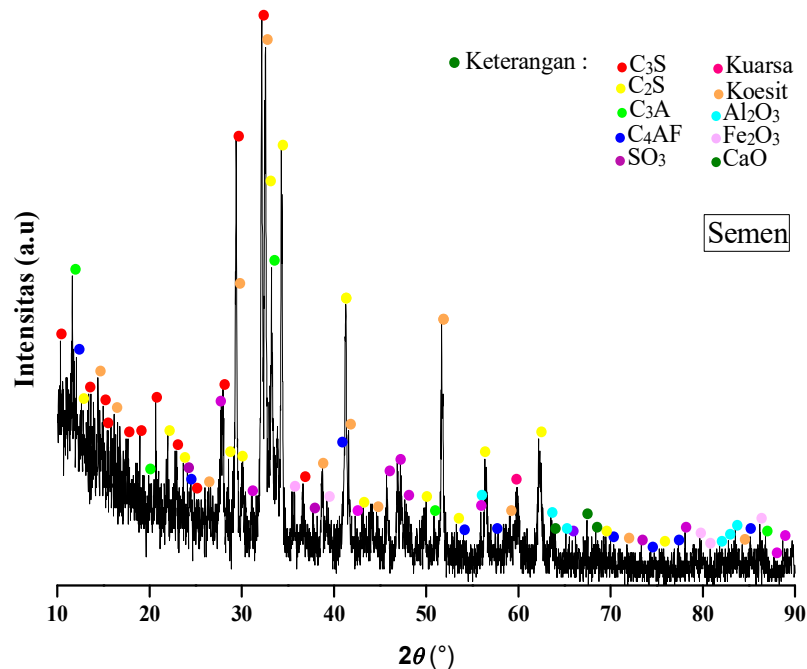
Tabel 4.3 Hasil uji kandungan kimia oksida semen

No.	Kandungan senyawa oksida	Berat sampel (%)		
		Semen 1	Semen 2	Semen 3
1	SO_3	2	2,10	2,10
2	SiO_2	17,94	17,74	18,21
3	Al_2O_3	3,59	3,51	3,43
4	Fe_2O_3	4,49	4,58	4,34
5	CaO	56,50	56,03	56,91
	C_3S (Alite)	57,43	57,16	59,05
	C_2S (Belite)	8,10	7,74	8,42
	C_3A	1,92	1,55	1,75
	C_4AF (Ferite)	13,66	13,94	13,20

Hubungan hasil uji XRF dan XRD berdasarkan penjelasan pada masing-masing pengujian senyawa oksida semen menunjukkan adanya pengaruh kontribusi senyawa dalam batu bata terhadap semen. Hal tersebut terlihat pada posisi puncak yang sama maupun terdapat sedikit pergeseran pada hasil difraktogram antara batu bata dengan semen. Menurut SNI 2049 (2004) apabila hasil pembagian $\% \text{Al}_2\text{O}_3$ dengan $\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ melebihi 0,64 maka penentuan nilai C_3S ,

C₂S, C₃A dan C₄AF menggunakan perhitungan seperti yang tertera pada lampiran L.3.4. Senyawa komponen utama semen berpengaruh terhadap kualitas kubus mortar. Pembacaan grafik difraktogram menggunakan aplikasi *Match!* dengan basis data PDF yang bersumber dari COD. Puncak dan intensitas kristal yang terdeteksi seperti pada lampiran Tabel 5.4 dapat ditampilkan pada Gambar 4.4

Berdasarkan hasil analisis karakterisasi pada setiap puncak difraktogram Gambar 4.4 diperoleh beberapa senyawa yang terdeteksi dalam semen campuran limbah batu bata. Beberapa posisi puncak yang terdapat dalam batu bata tidak mengalami perubahan struktur senyawa, hal ini dimungkinkan tidak terjadinya reaksi antara senyawa tersebut dengan senyawa lain.



Gambar 4.4 Grafik difraktogram pada semen

Senyawa koesit pada sudut yang sama (14,41) tidak mengalami perubahan dalam material batu bata dan semen. Senyawa Al₂O₃ tidak mengalami perubahan senyawa namun mengalami pergeseran posisi puncak dari 83,59 pada batu bata ke

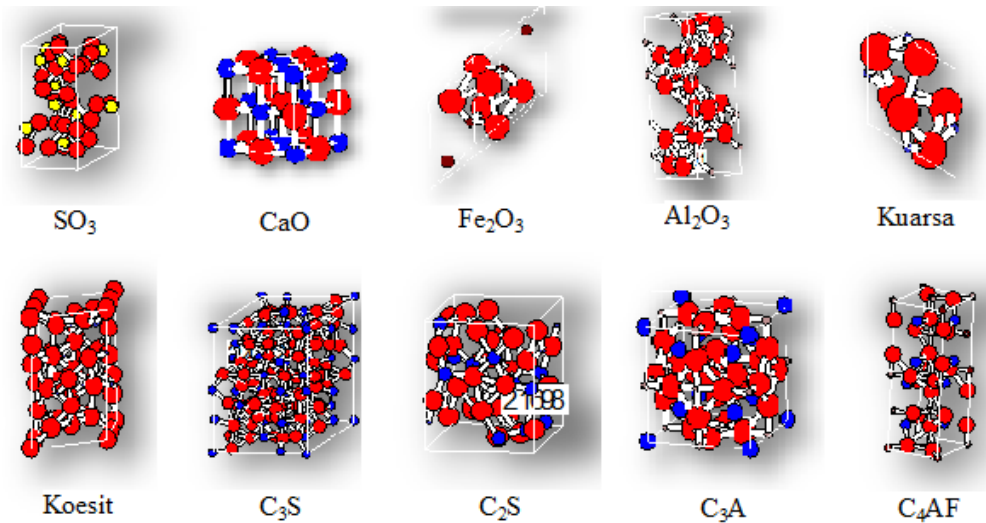
83,53 pada semen. Begitu juga dengan senyawa Fe_2O_3 hanya mengalami pergeseran puncak dari 33,1 pada batu bata menjadi 33,25 pada semen.

Selain ketetapan senyawa pada posisi puncak yang sama, terdapat juga perbedaan antara senyawa yang menempati puncak difraktogram limbah batu bata dengan semen. Hal ini disebabkan oleh terdistribusinya beberapa senyawa limbah batu bata pada senyawa dari material lain seperti senyawa C_3S (alite), senyawa C_2S (belite), C_3A dan C_4AF .

Posisi puncak yang sama 27,69 senyawa yang sebelumnya pada limbah batu bata terdeteksi sebagai senyawa SiO_2 berfasa kuarsa berubah menjadi senyawa gabungan trikalsium silikat (C_3S). Posisi puncak 20,49 senyawa yang sebelumnya pada limbah batu bata terdeteksi sebagai senyawa SiO_2 berfasa koesit berubah menjadi senyawa gabungan trikalsium silikat (C_3S). Posisi puncak 21,89 senyawa SiO_2 berfasa kristobalit bergabung menjadi senyawa trikalsium silikat (C_3S) pada puncak 21,91.

Senyawa lainnya seperti Fe_2O_3 pada posisi puncak 54,05 bergabung menjadi senyawa C_4AF dalam semen. Begitu juga dengan senyawa CaO pada posisi puncak 64,35 bergabung menjadi senyawa C_4AF dalam semen. Senyawa CaO pada posisi puncak 51,53 bergabung menjadi senyawa C_2S dalam semen dan senyawa Al_2O_3 pada posisi puncak 74,63 bergabung menjadi senyawa C_3A pada posisi puncak 74,65.

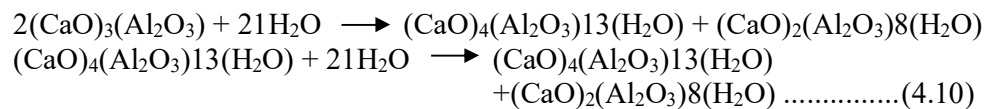
Hal ini dimungkinkan adanya reaksi yang terjadi pada senyawa-senyawa batu bata yang berkontribusi pada perkembangan kuat tekan semen dengan bergabungnya senyawa tersebut dengan senyawa dari material lain. Adapun sistem kristal yang terbentuk dalam semen dapat ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Struktur kristal pada semen (*Inorganic Crystal Structure Database*)

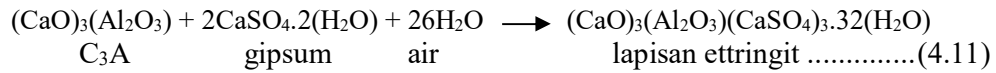
e) **Trikalsium Aluminat dan Tetrakalsium Aluminoforit**

Adapun senyawa yang berkontribusi pada kualitas waktu pengikatan pada semen yaitu senyawa trikalsium aluminat (C₃A). Hasil perhitungan berdasarkan penelitian diperoleh kandungan C₃A pada semen sebesar adalah 1,92; 1,55; dan 1,75%. Kandungan C₃A yang lebih rendah dapat meningkatkan ketahanan terhadap sulfat (Taylor, 1997). Sehingga semen yang memiliki ketahanan terhadap sulfat yang lebih optimum adalah semen kedua dengan nilai 1,55%. Namun semua semen pada penelitian ini tidak melebihi ambang batas minimum dari standar kualitas semen. Reaksi yang terjadi ditampilkan pada persamaan 4.10 (Barron & Johnson, 2008).

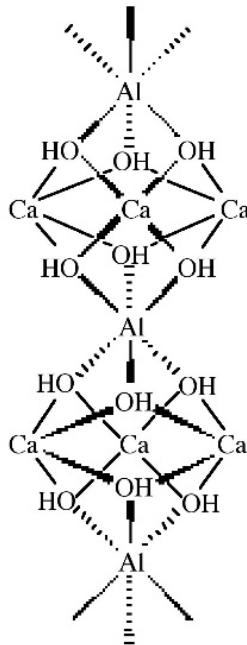


Hidrasi C₃A yang eksotermik akan berlangsung sangat cepat sehingga pengikatan terjadi terlalu cepat dan semen tidak dapat mengembangkan kekuatan. Oleh karena itu, perlu ditambahkan gipsum (CaSO₄·2(H₂O)) untuk memperlambat hidrasi C₃A. Reaksi antara gipsum dengan C₃A akan membentuk lapisan ettringit

$(\text{Ca}_3\text{Al}(\text{OH})_6 \cdot 12(\text{H}_2\text{O}))_2 \cdot (\text{SO}_4)_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$, yang juga dapat ditulis sebagai $\text{C}_3\text{A} \cdot 3(\text{CaSO}_4) \cdot 32(\text{H}_2\text{O})$. (Barron & Johnson. 2008).



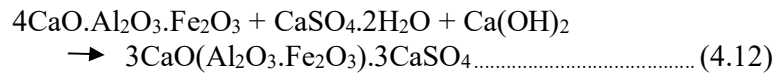
Ettringite tumbuh sebagai kolom kalsium, aluminium dan oksigen yang dikelilingi oleh ion air dan sulfat, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.6. Adanya peristiwa osmosis lapisan, ettringite seperti Gambar 4.6 akan pecah dan reaksi hidrasi C_3A terjadi lagi. Proses tersebut akan terus berlangsung hingga senyawa pada gipsium habis bereaksi. Proses inilah yang nantinya akan menghasilkan perpanjangan waktu (Barry & Glasser, 1999).



Gambar 4.6 Struktur ettringit

Senyawa C_4AF berkaitan dengan warna semen yang dihasilkan. Hasil perhitungan berdasarkan penelitian diperoleh kandungan C_4AF sebesar pada semen adalah 13,66; 13,20; dan 13,94%. Jumlah ferit yang lebih tinggi

menyebabkan warna semen semakin pekat (Bye, G.C.,1999). Sehingga pada penelitian ini yang memiliki warna yang lebih pekat adalah semen ketiga dengan kandungan ferit 13,20%. Fase ferit menyebabkan warna abu-abu kecoklatan pada semen, sehingga semen putih (yang rendah kandungan C_4AF) sering digunakan untuk tujuan estetika (Bye, G.C.,1999). Tahap awal fase ferit bereaksi dengan gipsum dan $Ca(OH)_2$ untuk menghasilkan kristal seperti jarum dari larutan padat yang terdiri dari sulfat tinggi sulfoaluminat dan sulfoferit. Persamaan reaksi hidrasi yang terjadi ketika fase ferit menjadi C_4AF dapat ditampilkan pada persamaan 4.12 (Stein & Stevels,1964).



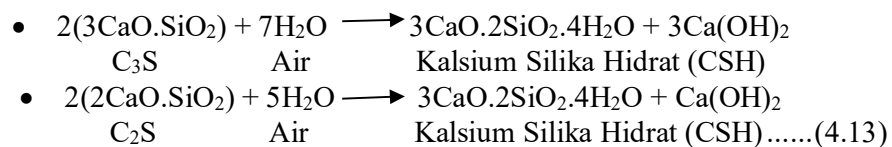
seperti yang terjadi pada ettringit, larutan padat yang dihasilkan berubah ketika ion sulfat habis yaitu menjadi padatan aluminoferit sulfat.

f) **Trikalsium Silikat dan Dikalsium Silikat**

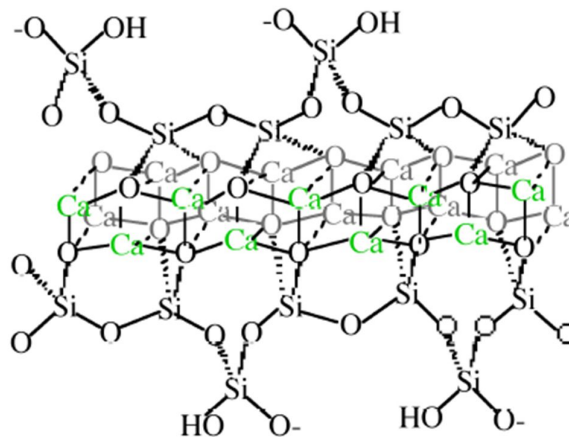
C_3S adalah fase paling penting dalam semen untuk pengembangan kekuatan selama fase pertama, sementara C_2S bereaksi jauh lebih lambat dan berkontribusi pada kekuatan semen jangka panjang. Berdasarkan hasil perhitungan C_3S dari kandungan senyawa dalam semen pada penelitian adalah 57,43; 58,05; dan 57,16%. Sedangkan hasil perhitungan C_2S pada semen adalah 8,10; 8,42; dan 7,74%.

Reaksi senyawa $3CaO \cdot SiO_2$ (C_3S) dan $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S) dengan air pada proses hidrasi menghasilkan kalsium silika hidrat (CSH). CSH merupakan senyawa kimia yang menentukan nilai kuat tekan mortar. CSH akan mengisi rongga celah menghasilkan kekakuan. Hal ini sesuai dengan teori menurut Pachipala (2017) yang menjelaskan peningkatan kekuatan ini disebabkan karena

terbentuknya kalsium silika hidrat (CSH) akibat reaksi antara trikalsium silika hidrat (C_3S) dalam air menghasilkan yang ada dalam semen. Ini adalah reaksi ganda karena CSH sudah terbentuk dalam hidrasi semen yang merupakan karakteristik bahan *pozzolan*. Kedua fase silikat bereaksi dengan air seperti yang ditunjukkan di bawah ini untuk membentuk kalsium hidroksida dan kalsium silikat yang kaku gel hidrat. Reaksi yang terjadi dapat ditampilkan pada persamaan 4.13 (Barron & Johnson, 2008).



Struktur rinci CSH tidak sepenuhnya diketahui, namun umumnya disepakati bahwa CSH terdiri dari tetrahedral silikat yang terkondensasi dari berbagi atom oksigen pada kalsium hidroksida. Menurut Taylor, dkk. (1997) struktur CSH paling mirip dengan tobermorite seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Struktur CSH hasil hidrasi (Barron & Johnson, 2008)

Reaksi pozzolanik awal melibatkan pemutusan Si-O-Si dan Si-ikatan O-Al oleh ion hidroksil yang secara skematis dapat diwakili oleh $\text{Si-O-Si} + 2\text{OH} \rightarrow \text{Si-O} + \text{O-Si} + \text{H}_2\text{O}$. Proses polimerisasi hidrasi semen dalam gel silika pada pH rendah

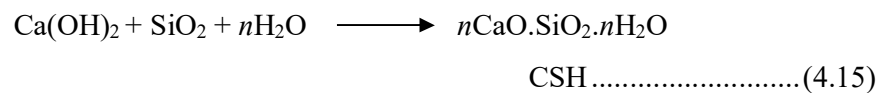
menyebabkan gugus hidroksil permukaan terdeprotonasi (titik muatan nol kira-kira pH 2 untuk gugus Si-OH permukaan dan kira-kira pH 9 untuk gugus Al-OH permukaan) (Taylor, 1997).

Reaksi hidrasi ketika semen bereaksi dengan air menghasilkan reaksi samping berupa senyawa Ca(OH)_2 . Jika senyawa Ca(OH)_2 yang dihasilkan tinggi maka akan berpengaruh terhadap keretakan pada semen. Hal ini disebabkan oleh sifat Ca(OH)_2 yang peka terhadap serangan sulfat (MgSO_4) yang bersumber dari air laut. Senyawa Ca(OH)_2 yang menjadi hasil reaksi samping dari proses hidrasi tersebut merupakan senyawa basa yang peka terhadap sulfat (asam). Reaksi yang terjadi dapat ditampilkan pada persamaan 4.14 (Mastai, 2012).



salah satu material yang diperlukan untuk mengurangi keretakan akibat serangan sulfat yaitu material *pozzolan* yang melalui proses pembakaran. Bahan lempung yang dibakar pada suhu antara 600 dan 900 °C dan dalam bentuk bubuk yang sesuai sangat reaktif dengan semen. Reaktivitas batu bata tanah liat yang dibakar disebabkan oleh hilangnya kristalinitas mineral lempung yang kemudian berubah menjadi sifat meta-stabil atau amorf (Baronia,dkk.,1997).

Silika yang terkandung dalam material *pozzolan* dapat mudah bereaksi dengan senyawa basa Ca(OH)_2 . Reaksi yang terbentuk dari kedua senyawa ini yaitu senyawa CSH yang berfungsi untuk menambah nilai kuat tekan pada semen. Reaksi *pozzolan* dapat ditampilkan pada persamaan 4.15(Mastai, 2012).



Bedako, dkk. (2016) menyebutkan bahwa pencapaian kekuatan maksimum diperoleh ketika kandungan SiO_2 dalam *pozzolan* cukup untuk mengubah produk

hidrasi semen yaitu kalsium hidroksida menjadi kalsium silikat dan aluminat hidrat yang meningkatkan sifat kekuatannya.

Penambahan CaO pada reaksi pembentukan kalsium silikat hidrat bersifat eksotermis (mengeluarkan panas) yang menyebabkan meningkatnya suhu reaksi. Penambahan CaO pada semen dengan jumlah yang lebih tinggi mengakibatkan kandungan senyawa $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ didalam semen meningkat sehingga kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen ketika semen bereaksi dengan air juga mengakibatkan peningkatan kuat tekannya. CaO dan SiO_2 dapat membentuk ikatan kalsium silikat hidrat (CSH) yang merupakan senyawa penyusun beton yang berfungsi sebagai perekat. Semakin banyak jumlah perekat ini, semakin tinggi juga kekuatan beton yang dihasilkan (Bogue, 1995).

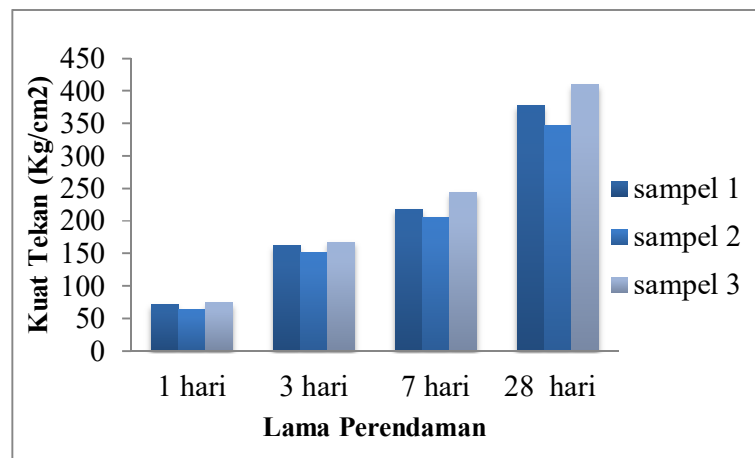
Gel semen merupakan bahan kompleks yang terdiri dari beberapa jenis konstituen. Sebagian besar konstituen padat berupa yaitu Afm (aluminata ferrit), kalsium ferit, dan hidrotalsit (magnesium alumina). Fase AFm memiliki struktur lapisan yang diturunkan dari CH dengan urutan penggantian satu ion Ca^{2+} menjadi tiga oleh Al^{3+} atau Fe^{3+} .

Lapisan-lapisan utama dapat bergantian dengan lapisan yang mengandung X anion untuk menyeimbangkan muatan, dan molekul H_2O . Pergantian ion Ca^{2+} oleh ion Al^{3+} atau Fe^{3+} berpengaruh kecil pada distorsi struktur utama lapisan. Komposisi gel kalsium ferit dapat mengakomodasi bentuk oktahedral Al^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} dan Mn^{3+} yang terkonsentrasi pada fase ferit klinker. Fase tipe hidrotalsit yang terbentuk dari Mg^{2+} dan Al^{3+} yang ada di alite atau belite bisa dicampur dengan CSH dalam bentuk fase AFm. Sulfat yang ada dalam gel dapat diakomodasi sebagai anion interlayer bersama lapisan Afm (Odler & Gasser, 1988).

Kation dari unsur alkali yang terkandung didalam material semen turut berkontribusi pada hidrasi semen sebagai sulfat atau fase klinker yang cenderung didominasi oleh ion OH⁻. Alkali sulfat dari kandungan gipsum yang optimal dapat meningkatkan fraksi C₃S dan berpengaruh terhadap kuat tekan awal dan akhir (Menetrier dkk., 1980).

4.3 Analisis Hasil Kuat Tekan Semen Mortar

Penentuan kualitas semen dilakukan dengan mengaplikasikan semen melalui benda uji berupa kubus mortar yang di uji nilai kuat tekannya. Kubus mortar merupakan benda uji dengan volume 5 x 5 x 5 cm³ pada analisis kuat tekan. Semen yang telah diaduk menjadi pasta mortar kemudian dicetak dan dirawat dalam bak rendaman (*curing*). Perendaman dalam air akan membantu mempercepat hidrasi dan meningkatkan reaksi *pozzolan* pada semen (Soroka, 1979). Nilai yang diperoleh akan dikonversikan menjadi satuan dari kN menjadi Kg/cm² seperti yang telah dirangkum pada Lampiran Tabel L.3.5.1 serta grafik hasil pengujian kuat tekan masing-masing sampel berdasarkan lama perendamannya ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik kuat tekan berdasarkan lama perendaman

Berdasarkan Grafik 4.8 menunjukkan bahwa kurva lama perendaman berbanding lurus terhadap nilai kuat tekan masing-masing sampel pada hari ke-1, 3, 7 dan 28. Semakin lama perendaman di dalam *curing* maka akan membantu memaksimalkan proses hidrasi sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekannya (Thomas & Birchall, 1983). Analisis hasil uji kuat tekan mortar semen (dalam Kg/cm^2) dengan lama perendaman 1 hari pada semen batu bata pertama, kedua dan ketigasecara berurutan sebesar 72, 64 dan 74.

Nilai uji kuat tekan mortar semen (dalam Kg/cm^2) dengan lama pendiaman 3 hari pada semen batu bata pertama, kedua dan ketiga secara berurutan sebesar 162, 151 dan 168. Nilai uji kuat tekan mortar semen (dalam Kg/cm^2) dengan lama pendiaman 7 hari pada semen batu bata pertama, kedua dan ketiga secara berurutan sebesar 218, 206 dan 243. Nilai uji kuat tekan mortar semen (dalam Kg/cm^2) dengan lama pendiaman 28 hari pada semen batu bata pertama, kedua dan ketiga secara berurutan sebesar 378, 347 dan 410.

Berdasarkan perolehan hasil nilai kuat tekan pada masing-masing lama perendamannya, sampel ketiga memiliki nilai kuat tekan tertinggi kemudian sampel pertama dan sampel kedua. Hasil uji nilai kuat tekan ini sesuai dengan analisis kualitas ketiga sampel limbah batu bata yaitu semakin tinggi kadar senyawa yang terkandung dalam batu bata, semakin tinggi indeks reaktifitas senyawa didalamnya dan semakin banyak senyawa minor yang berkontribusi terhadap perkembangan semen maka akan meningkatkan kualitas semen berupa nilai kuat tekan semen mortar. Analisis tersebut sesuai dengan penelitian Setina, dkk. (2013) Banyaknya kandungan senyawa silika oksida, alumina oksida, besi oksida dan alkali lain pada material *pozzolan* akan berpengaruh terhadap reaksi hidrasi semen. Reaksi hidrasi tersebut dihasilkan berdasarkan kereaktifan senyawa

pozzolan sebagai penentu kualitas semen berupa perkembangan semen mortar (Joice & Lintong, 2017).

4.4 Pemanfaatan Limbah Batu Bata dalam Perspektif Islam

Penelitian ini menggunakan limbah batu bata yang digunakan sebagai bahan tambahan pembuatan semen. Batu bata terbuat dari tanah liat yang mengandung kandungan mineral yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang salah satunya dalam pembangunan. Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa bahan dasar dalam pembuatan batu bata yaitu menggunakan tanah liat. Dalam hal ini dijelaskan pada QS al-Qashas ayat 38:

وَقَالَ فِرْعَوْنُ يَا أَيُّهَا الْمَلَأُ مَا عَلِمْتُ لَكُمْ مِنْ إِلَهٍ غَيْرِي فَأَوْقِدْ لِي يَهُمَّنُ عَلَى الطِّينِ فَاجْعَلْ لِي صَرْحًا لَعَلِّي أَطَّلِعُ إِلَى إِلَهِ مُوسَى وَإِنِّي لَأَظُنُّهُ مِنَ الْكٰذِبِينَ

Artinya:

Dan Fir'aun berkata, "Wahai para pembesar kaumku, aku tidak mengetahui ada Tuhan bagimu selain aku. Maka bakarlah tanah liat untukku wahai Hamas, kemudian buatlah bangunan yang tinggi untukku agar aku dapat naik melihat Tuhannya Musa, dan aku yakin bahwa dia termasuk pendusta" (Kementerian Agama, 2015).

Di dalam tafsir Ibnu Katsir dijelaskan bahwa:

فَأَوْقِدْ لِي يَهُمَّنُ عَلَى الطِّينِ فَاجْعَلْ لِي صَرْحًا لَعَلِّي أَطَّلِعُ إِلَى إِلَهِ مُوسَى

Maka bakarlah hai Haman untukku tanah liat, kemudian buatlah untukku bangunan yang tinggi supaya aku dapat melihat *Ilah-Nya* Musa yaitu ia memerintahkan kepada Haman, penata rakyat dan penasehat kerajaannya, untuk membakar tanah liat, yakni membuat batu bata untuk membangun *ash-Sharh*, yaitu sebuah istana megah yang tinggi menjulang. Hal itu disebabkan karena Fir'aun membangun sebuah istana megah yang belum pernah ada di dunia

bangunan yang lebih tinggi dari bangunannya guna membuktikan kepada rakyatnya tentang kedustaan Musa yang mendakwahkan adanya *Ilah* lain selain Fir'aun (Ibnu Katsir, 2001).

Berdasarkan penelitian ini dapat dijelaskan bahwa batu bata memiliki kandungan untuk menambah nilai guna terhadap semen. Banyaknya penggunaan batu bata dalam konstruksi bangunan tidak terlepas dari limbah berupa pecahan atau sisa-sisa pembakaran yang gagal. Penggunaan limbah batu bata sebagai bahan tambahan semen berdasarkan hasil perenungan manusia mengenai ayat-ayat yang menjelaskan bahwa Allah Swt. tidak menciptakan dunia dan isinya kecuali memberi kebermanfaatannya bagi makhluknya sebagaimana firman Allah Swt. dalam QS. al Baqarah ayat 30:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya:

Dan (ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah di bumi. “Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah disana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sungguh, Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui.”

Kata khalifah dalam ayat tersebut menunjukkan bahwa setiap manusia mengemban tugas dalam merawat, mengelola dan menjaga bumi yang Allah Swt. ciptakan (Asy-Shiddieqy,2000). Allah Swt. tidak menciptakan segala sesuatu dalam keadaan bathil dan senda gurau, melainkan karena perkara besar yakni pahala, siksa, perhitungan dan pembalasan. Hanya orang-orang kafir yang beranggapan bahwa jagat raya diciptakan tanpa hikmah, padahal Allah Swt. telah menegaskan bahwa manusia tidak dibiarkan sia-sia. Segala amal perbuatan baik besar maupun kecil, banyak maupun sedikit akan diperhitungkan dan dibalas

sesuai ganjarannya (al-Maraghi, 1974). Maka salah satu orang yang beruntung adalah orang yang *ulul albab*, yaitu orang-orang mukmin yang senantiasa bertafakur terhadap ciptaan Allah Swt. dalam segala kondisi.

Adapun cara untuk mengelola bumi dapat dilakukan secara 3R, “Reduce, Ruse, Recycle”. Program 3R ini merupakan teknik mengola limbah menjadi sesuatu yang bermanfaat sehingga dapat mengurangi pencemaran yang terjadi di lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengelola limbah batu bata menjadi sesuatu yang mempunyai nilai tambah ketika dicampurkan pada bahan bangunan.

BAB IV

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a) Hasil karakterisasi instrumen XRD pada ketiga batu bata menghasilkan senyawa antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , ZnO , TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , CuO , V_2O_5 , Cr_2O_3 , MnO , SrO , Eu_2O_3 dan Re_2O_7 . Sedangkan BaO hanya dimiliki oleh batu bata pertama dan ketiga, sedangkan PbO hanya dimiliki oleh batu bata pertama. Senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 memenuhi syarat mutu *pozzolan* (>70%) yaitu 84,20; 83,70; dan 84,30%. Sedangkan uji indeks reaktifitas juga memenuhi target (>75%) yaitu 75,60; 75,00; dan 77,90%.
- b) Hasil analisis kimiadalam semen yang teridentifikasi antara lain SO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 . Perbandingan hasil uji XRD batu batadengansemen menunjukkan adanya reaksi beberapa senyawa batu bata dengan material lainmembentuk senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF .
- c) Berdasarkan perolehan hasil nilai kuat tekan pada masing-masing lama perendamannya, sampel ketiga memiliki nilai kuat tekan tertinggi kemudian sampel pertama dan sampel kedua.

5.2 Saran

Proses identifikasi kandungan kimia pada semen juga dapat dilakukan menggunakan insrumen XRF untuk mengefisiensi waktu. Selain itu perlu dilakukan pengujian lainnya untuk menentukan kualitas semen yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afshinnia, K. & Poursae. 2015. The Potential of Ground Clay Brick to Mitigate Alkali-Silica Reaction in Mortar Prepared with Highly Reactive Aggregate. *Journal Construction Building Material*. 95, 164–170.
- Ahsani, M. S., Mufida, H. N., Masturi, M., & Yulianti, I. 2016. Proses Pendinginan Air dengan Limbah Batu Bata. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) Snf UNJ*.
- Alderton, David. 2020. *XRD X-Ray Diffraction*. London: Royal Holloway, Department of Earth Sciences, Egham, United Kingdom.
- Ali, H., Eldrup, N. H., Normann, F., Skagestad, R., & Qi, L. E. 2019. Cost Estimation of CO₂ Absorption Plants for CO₂ Mitigation – Method and Assumptions. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 88, 10-23.
- Al-Maraghi, Ahmad Musthafa. 1969. *Tafsir al-Maraghi Jilid IV*. Mesir: Mushthafa al-Bab al-Halabi.widojoko.
- Al Qarni, A. 2007. *Tafsir Muyassar*. Jakarta: Qisthi Press.
- ASTM C-114. 2007. *Standard Test Methods of Chemical Analysis of Hydraulic-Cement. P 1-32, Current Edition Approved*. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- ASTM C-593. 1991. *Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime for Soil Stabilization*. Annual Books of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- ASTM C-618. 1993. *Standard Specification for Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete*. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- ASTM C-618-15. 2015. *Standard Test for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Annual Books of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken PA.

- Ash-Shiddieqy, Hasbi. 2000. *Tafsir Al-Qur'anul majid An-Nur, Jilid 2. Cetakan Kedua. Edisi Kedua*. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozzolan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-7064-2014 Semen Portland Komposit*. Jakarta.
- Baronia, G., L. Binda, N. Lombardini. 1997. The role of brick pebble sand dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. *Construction Building Material*. 11, 33–40.
- Barron & Johnson. 2008. *Portland Cement in the Energy Industry*. Texas : Connexions Press.
- Barry, T.I. & Glasser, F.P. 1999. Calculations of Portland cement clinkering reactions. *Advances in Cement Research*, at press.
- Basset J. & Mendham. 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: Buku kedokteran EGC.
- Bediako, M., S.K. Gawu, A.A. Adjaottor, J.S. Ankrah, & E. Atiemo. 2016. Analysis of co-fired clay and palm kernel shells as a cementitious material in Ghana. *Case Study Construction Materials* 5, 46–52.
- Beiser, Arthur. 1992. *Modern Technical Physics*. Malang: Erlangga.
- Bektas, O. O., Hurmuzlu, F., & Eren, D. 2012. Effect of the Composite Curing Light Mode on Polymerization Shrinkage of Resin Composite. *Cumhuriyet Dent Journal*.
- Beldjilali, Said., Abdelkader Bougara, Jose Aguiar, Nasr Eddine Bouhamou, & Rawia Dabbebi. 2020. Properties of a New Material Based on a Gypsum Matrix Incorporating Waste Brick. *Journal Construction and Building Materials*. 259.

- Bogue, R. H. 1995. *The Chemistry of Portland Cement (2nd Ed)*. Reinhold, New York.
- Bozdoğan, A. E., Yücel Ş., İkbāl K., Güzin A., Sezgin B., Hüsnü C., Bürge A., Sevgi K., Özlem A., Fatma T., Gülten, Türkan B., Özlem Y., Şule D., Özge K., Sezin E. 2018. *Analytical Chemistry Laboratory Manual*. Istanbul: Yildiz.
- Bye, G.C & Thomas Telford Limited 1999. *Portland Cement, Composition, Production and Properties. 2nd edition*. London : Thomas Telford Publishing, E14 4JD.
- Castro, Fernando., Jacques E. Moser, Carlos FO Graeff, Frank Nuesch, Roland Hany. 2009. Photoinduced Hole Transfer in Semiconducting Polymer/Low-Bandgap Cyanine Dye Blends: Evidence for Unit Charge Separation Quantum Yield. *Journal Physical Chemistry Chemical Physics*. 39, 8886-8894.
- Chakchouk, A., Trifi, L., Samet, B., Bouaziz, S., 2009. Formulation of Blended Cement: Effect of Process Variables on Clay Pozzolanic Activity. *Journal Construction and Building Materials*. 23, 1365–1373.
- Cheng, H. 2016. Reuse Research Progress on Waste Clay Brick. *Procedia Environmental Sciences*. 31, 218-226.
- Cheng, Y., Shuang Wang, Jun Li, Xiaoming Huang, Chang Li & Jingke Wu. 2018. Engineering and mineralogical properties of stabilized expansive soil compositing lime and natural pozzolans. *Journal Construction and Building Materials*. 187 (2018) 1031–1038.
- Day, R.A. & Al Underwood., 2001, *Analisis Kimia Kuantitatif edisi kelima*, Erlangga: Jakarta.
- Deer, Howie & Zussman. 1992. *An Introduction to the Rock Forming Mineral. 2nd Edition*. Longman Scientific and Technical.
- Drees, L. Richard, Larry P. W., Neil E. S. & Abu L. S. 1989. Silica in Soils: Quartz and Disordered Silica Polymorphs. *Journal B. Dixon, S. B. Weed*.

- Firdous, R. & Dietmar Stephan. 2019. Effect of Silica Modulus on The Geopolymerization Activity of NaturalPozzolans. *Construction and Building Materials*. 219, 31–43.
- Fort, Jan and Robert Cerny. 2020. Transition to Circular Economy in The Construction Industry:Environmental Aspects of Waste Brick Recycling Scenarios. *Journal Waste Management*. 118, 510–520.
- Goncalves, J. P., L. M. Tavares, R. D. Toledo Filho, and E. M. R. Fairbairn. 2009. Performance Evaluation of Cement Mortars Modified with Metakaolin or Ground Brick. *JournalConstruction and Building Materials* 23 (5): 1971–1979.
- Green, David B. 1996. Quantitative Chemistry and Instrumental Analysis. *Natural Science Division*, Pepperdine University.
- Hamka. 2015. *Tafsir Al-Azhar, Jilid 1*. Jakarta : Gema insan.
- Haslinawati, M.M., K.A. Matori., Z.A., Wahab, H.A., Sidek., & A. T. Zainal. 2011. Effect of Temperature on Ceramic from Rice Husk Ash. *International Journal of Basic and Applied Science*, Vol. 9, No. 9, pp. 22 25.
- Iraqi Specification No.5. 1984. *Standard Specification For Portland Cement COSQC*. Iraq.
- Joice Elfrida W. & Lintong Elisabeth. 2017. Substitusi Material Pozolan Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. *Jurnal teknik sipil*ISSN 0853-2982
- Kenya Bureau of Standards. 1993. *Specifications for Portland Pozzolana Cements, KS 021263*, Nairobi.
- Keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/Kep/7/1997. Tentang *Prosedur Impor Limbah*.
- Katsir, Ibnu. 2001. *Tafsir Ibn Katsir Terjemahan Bahrn Abu Bakar*. Bandung: Sinar Baru Algesindo.

- Khatib, J. M., & S. Wild. 1996. Pore size Distribution of Metakaolin Paste. *Cement and Concrete Research* 26 (10): 1545–1553.
- Lea, F.M.1970. The Chemistry of Cement and Concrete (3rd Edition). New York: *Chemical Publishing Co. Inc.*
- Li, H., L. Dong, Z. Jiang, X. Yang, Z. Yang. 2016. Study on Utilization of Red Brick Waste Powder in the Production of Cement Based Red Decorative Plaster for Walls. *Journal Cleaner Prod.* 133, 1017-1026.
- Lin, K., Wu, H., Shie, J., Hwang, C., & Cheng, A. 2010. Recycling Waste Brick from Construction and Demolition of Buildings as Pozzolanic Materials. *Waste Management & Research.* 28 (7), 653-659.
- Mastai, Yitzak. 2012. Advances in Crystallization Processes. *Intech, Janeza Tridine 9, 51000 Rijeka, Croatia.*
- Menetrier, Jawed I., and Skalny, J. 1980. *Silicates Ind.* 45. 243.
- Naceri, A., & Hamina, M. C. 2009. Use of Waste Brick as a Partial Replacement of Cement in Mortar. *Waste Management.* 29(8), 2378-2384.
- Nalobile, P., Wachira, J. M., Thiong'o, J. K., & Marangu, J. M. 2019. Pyroprocessing and The Optimum Mix Ratio of Rice Husks, Broken Bricks and Spent Bleaching Earth to Make Pozzolanic Cement. *Heliyon.* 5(9).
- Nurlina, Siti., Taufik Hidayat, Hendro Suseno, Estetika Matra Kharisma. 2014. Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata sebagai Semen Merah terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mortar. *Jurnal Rekayasa Sipil.* Vol. 8, No.2 ISSN 1978 – 5658.
- Odler, I. and Gasser, M. 1988. . Ceramic S. *Journal Am.* 71 101 5.
- Pachipala, Sravani. 2017. A Study on Mechanical Properties of Concrete Using Silica Sand as Partial Replacement of Cement. *SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG- IJCE)* Vol. 4 Issue 5.

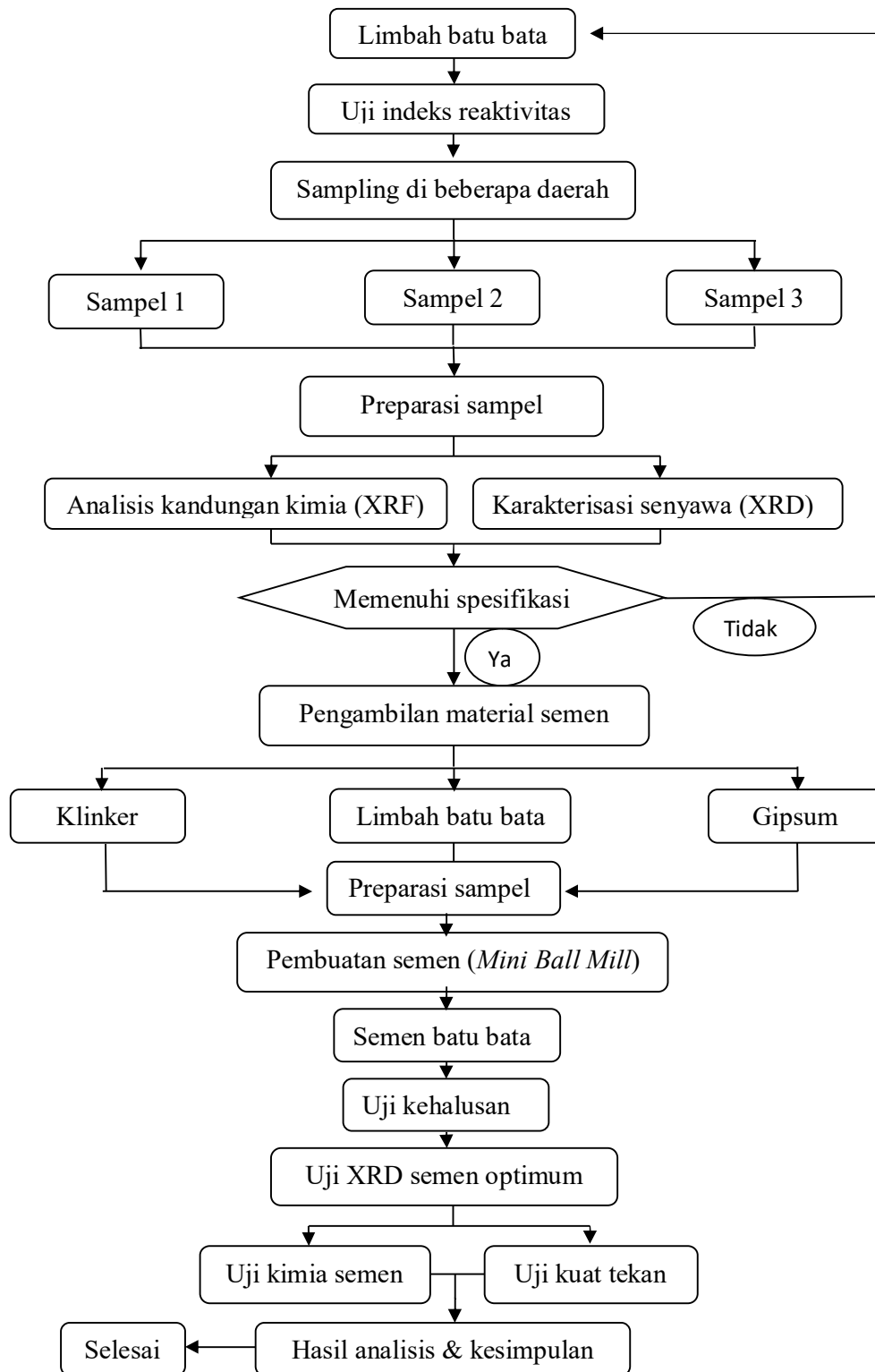
- Patnaik, Pradyot. 2002. *Handbook of Inorganic Chemicals*. United States of America : McGraw-Hill.
- Pitarch, A., Reig, L., Tomás, A., Forcada, G., Soriano, L., Borrachero, M., Monzó, J. 2021. Pozzolanic Activity of Tiles, Bricks and Ceramic Sanitary-Ware in Eco-Friendly Portland Blended Cements. *Journal of Cleaner Production*. 279, 123713.
- Ratmaya. 2017. *Artikel Susunan Semen*. Gresik: PT. Semen Indonesia Persero, Tbk.
- Raini, I., Jabrane, R., Mesrar, L., & Akdim, M. 2020. Evaluation of Mortar Properties by Combining Concrete and Brick Wastes as Fine Aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 13.
- Ramachandran, V.S. 1995. *Concrete Admixtures Handbook, Properties, Science, and Technology 2nd ed*. Noyes Publications : New Jersey, USA.
- Rojas, M. I., Marín, F., Rivera, J., & Frías, M. 2006. Morphology and Properties in Blended Cements with Ceramic Wastes as a Pozzolanic Material. *Journal of the American Ceramic Society*. 89(12), 3701-3705.
- Setina, J., Alona G & Inna J. 2013. Effect of Pozzolanic Additives on Structure and Chemical Durability of Concrete. *Procedia Engineering* 57,1005 – 1012.
- Sharma, B.K. 2006. *Industrial Chemistry*. Department of Chemistry : B-Tech. Student of All Indian Universities 263-15.
- Shihab, Muhammad Quraish. 2001. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian al-Qur'an*, Jakarta: Lentera Hati.
- Solechan, S., & Kiswanto, A. 2018. Peningkatan Mesin Cetak dan Kekuatan Mekanik Batu Bata Press Menggunakan Mesin Cetak Kapasitas 1000 Buah/Jam pada Usaha Keluarga di Desa Kalipucang Kulon. *Jurnal Surya Masyarakat*. 1(1), 40.

- Sonata, Herix. 2018. Pengaruh Campuran Kapur dengan Tanah Liat Sebagai Bahan Untuk Pembuatan Batu Bata Tanpa Dibakar. *Jurnal Momentum e-ISSN : 2581-091X*.
- Soroka, Itzhak. 1979. *Portland Cement Paste and Concrete*. London: The Macmillan Press Ltd.
- Stein H. N. & J. Stevels. 1964. *Journal Application Chemistry*. 14, 338
- Suseno, Hendro. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- Syngros, G., Balaras, C. A., & Koubogiannis, D. G. 2017. Embodied CO₂ Emissions in Building Construction Materials of Hellenic Dwellings. *Procedia Environmental Sciences*. 38, 500-508.
- Taylor, H. F. W. 1997. *Cement Chemistry 2nd Ed*. London : Academic Press.
- Thomas, N. & J. Birchall. 1983. *Cement and Concrete Research*. 13, 830.
- Turanli, L., F. Bektas, P.J.M. Monteiro. 2003. Use of Ground Clay Brick as a Pozzolanic Material to Reduce The Alkali-Silica Reaction. *Cement and Concrete Research*. 33, 1539-1542.
- Wild, S., J.M. Khatib, M. O'Farrell. 1997. Sulphate resistance of mortar, containing ground brick clay calcined at different temperatures. *Cement Concrete Research*. 27 (5) 697- 709.
- Xue, Cuizhen, Hongxia Qiao, Hui Cao, Qiong Feng, & Qiong Li. 2020. Analysis on the Strength of Cement Mortar Mixed with Construction Waste Brick Powder. *Hindawi, Advances in Civil Engineering Research*.
- Zhao, Y., Gao, J., Liu, C., Chen, X., & Xu, Z. 2020. The Particle-Size Effect of Waste Clay Brick Powder on Its Pozzolanic Activity and Properties of Blended Cement. *Journal of Cleaner Production*. 242, 118521.
- Zhou, P., Liu, Z., Ma, X., Meng, Z., Xiang, Z., Wang, X., Li, Y. 2020. Depth-sensitive analysis of metals to investigate the corrosion process in oil

pipelines by confocal 3D-XRF and SEM-EDS. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 464, 111-116.

LAMPIRAN

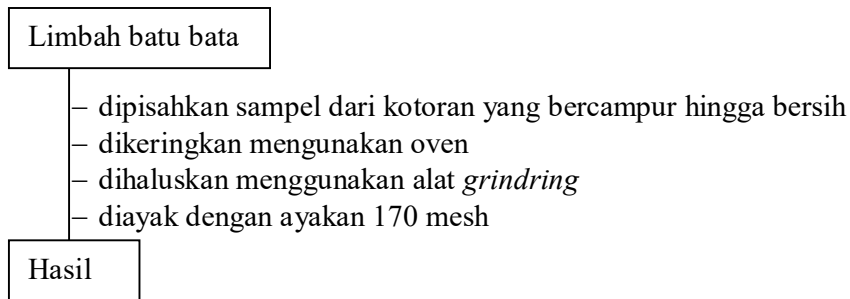
Lampiran 1. Rancangan penelitian



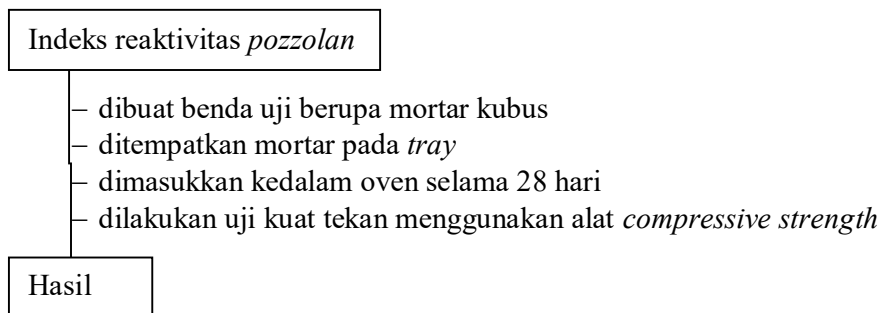
Lampiran 2 : Diagram alir

Preparasi Pengujian Kimia pada Semen

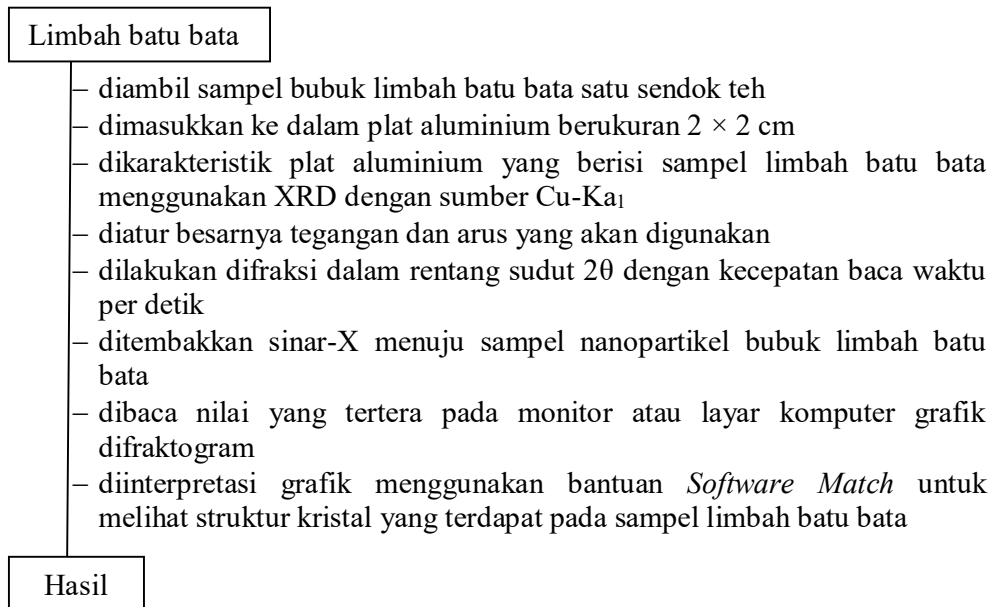
L.2.1 Preparasi Sampel



L.2.2 Pengujian Indeks Reaktivitas (ASTM C-114)



L.2.3 Karakterisasi senyawa kimia dengan XRD



L.2.4 Instrumen XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Limbah batu bata

- ditimbang 10 gram sampel semen
- dimasukkan kedalam mesin preparasi
- ditambahkan 2 *pieces* pallet (agar sampel melekat dengan cincin cetakan).
- ditambahkan 1 tetes larutan *anticoating*.
- dihaluskan dan dicetak kedalam cincin x-ray.

Hasil

L.2.5 Pembuatan Semen Limbah Batu Bata

Sampel semen

- ditimbang material sesuai dengan proporsinya
- dihaluskan material dengan menggunakan alat *jaw crusher*
- dimasukkan material kedalam mesin penggilingan *mini ball mill*
- dilakukan penggilingan material kedalam mesin *mini ball mill* dengan menekan tombol *on*
- diatur waktunya sesuai dengan kehalusan yang ingin dicapai
- ditekan tombol *off* untuk menghentikan mesin, didapatkan semen

Hasil

L.2.6 Pengujian Kimia

a) Pengujian SO_3

Semen

- Semen batu bata ditimbang 1 gram kedalam gelas kimia 250 ml
- Semen tersebut dilarutkan dalam 25 ml aquades dan 5 ml larutan HCl pekat
- Sampel diaduk dan dihancurkan hingga tercampur
- Campuran tersebut kemudian dilarutkan dalam 25 ml aquades dan dididihkan diatas *hotplate*
- Setelah itu campuran disaring menggunakan kertas saring ukuran medium kedalam 400 ml gelas kimia
- Campuran ditambahkan 100 ml larutan NaOH panas kedalam gelas kimia 250 ml semula dan dipanaskan kembali
- Campuran semen ditambahkan beberapa tetes indikator metil merah dan beberapa tetes HCl pekat hingga warna menjadi merah muda
- Campuran kemudian disaring dan dicuci menggunakan NH_4NO_3 panas
- Filtrat yang didapat kemudian diencerkan sampai 250 mL dan dididihkan
- Setelah itu filtrat ditambahkan 10 mL BaCl_2 dan dididihkan hingga terbentuk endapan
- Larutan dididiges selama 12-24 jam pada suhu hampir mendidih

- Larutan disaring menggunakan kertas saring no.42 dan dicuci menggunakan aquades panas
- Kertas saring dan endapan dipijarkan pada suhu $\pm 900^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit
- Hasil pembakaran residu kemudian ditimbang dan dihitung rendemennya.

Hasil

b) Pengujian SiO_2

Semen

- ditimbang 0.5 gr semen
- ditambahkan NH_4Cl sebanyak 1 gram dan diaduk
- dilarutkan dengan 5 mL HCl pekat dan ditutup dengan cawan gelas
- *didigest* dalam lemari asam ± 30 menit dan sekali kali diaduk
- disaring kedalam kertas saring no.41 pada gelas kimia 400 mL
- dibilas dengan HCl (0,01%) hingga larut, dicuci endapan dengan air panas
- ditambahkan 1-2 tetes AgNO_3 pada saringan filtrat yang terakhir, jika terjadi perubahan warna menjadi putih berarti belum bebas klorida
- ditampung filtrat dalam gelas kimia 400 mL untuk penetapan $\text{Al}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$.
- dipindahkan kedua kertas saring tersebut dalam cawan yang telah diketahui beratnya (W1)
- dipijarkan pada suhu 1000°C selama 30 menit
- didinginkan dalam desikator dan timbang (W2)

Hasil

c) Penentuan CaO

Filtrat SiO_2

- diasamkan dengan HCl 10-15 mL
- ditambahkan 2 tetes indikator metil merah
- dipanaskan hingga mendidih
- dituang NH_4OH 50% hingga larutan berwarna kuning dan terbentuk endapan
- *didigest* selama 10 menit atau dipanaskan selama 1 menit
- disaring menggunakan kertas saring no.41
- dicuci dengan larutan ammonium nitrat panas (NH_4NO_3) dicuci maksimal 4 kali
- dipindahkan endapan dan kertas saring ke dalam gelas kimia semula untuk pengendapan
- dilarutkan endapan dengan 10 mL HCl 33% panas
- diaduk sampai kertas saring hancur
- diencerkan dengan 100 mL air mendidih
- diendapkan lagi dan diulangi perlakuan dari menetes indikator metilmerah

- dipijarkan kertas saring dan endapan pada suhu $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit
- diasamkan dengan 5 mL HCl
- diuapkan hingga 200 mL
- ditambahkan indikator metil merah
- ditambahkan 30 mL ammonium oksalat panas
- dipanaskan hingga suhu mencapai $70-80^{\circ}\text{C}$
- ditambahkan NH_4OH 50%
- ditunggu endapan putih turun sekitar 1 jam
- disaring filtratnya
- dicuci endapan putih dengan aquades panas hingga bebas klorida dengan ditetesi AgNO_3
- dititrasi dengan larutan kalium permanganat K_2MnO_4
- dicatat volume peniter

Hasil

d) Pengujian Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)

Semen

- ditimbang 1 gram kedalam gelas kimia 250 mL
- ditambahkan 40 mL air
- ditambahkan 10 mL HCl dan diaduk
- dipanaskan larutan dan dihancurkan semen dengan batang pengaduk kaca sampai semua semen terurai
- dididihkan larutan dan ditambahkan larutan SnCl_2 dengan diaduk hingga larutan tidak berwarna
- dibilas bagian dalam gelas kimia dengan aquades
- ditambahkan 10 mL merkuri klorida (HgCl_2)
- diaduk larutan dengan cepat selama 1 menit
- ditambahkan 10 mL asam fosfat H_3PO_4 50% serta 2 tetes indikator barium difenil amin sulfonat
- ditambahkan air destilasi dengan larutan baku kalium dikromat
- dititrasi dengan larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ hingga warna sampel menjadi warna merah lembayung

Hasil

L.2.7 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan Mortar dan Uji Kuat Tekan

Semen

- ditimbang sebanyak 740 gram
- dimasukkan ke mangkok pengaduk yang telah berisi air
- dijalankan pengaduk dalam kecepatan rendah selama 30 detik
- ditambahkan pasir sebanyak 2035 gr perlahan dalam waktu 30 detik
- dijalankan pengaduk pada kecepatan tinggi selama 30 detik

- dihentikan pengaduk selama 90 detik, pada selang waktu 15 detik digunakan untuk mengumpulkan mortar di dinding mangkok
- dijalankan pengaduk dalam kecepatan tinggi selama 60 detik
- dimasukkan mortar ke cetakan hingga memenuhi setengah daripada cetakan diatas meja alir
- ditumbuk sebanyak 20 kali dan pengisian dilanjutkan hingga penuh
- ditumbuk lagi sebanyak 20 kali
- diratakan bagian atas cetakan dengan pisau segitiga dengan gerakan dua arah yang saling tegak lurus
- dibersihkan dan dikeringkan permukaan meja alir
- diangkat cetakan dari mortar satu menit setelah selesai pengerjaan.
- dijalankan meja alir dan diketukkan dengan ketinggian 12,7 mm sebanyak 25 ketukan dalam waktu 15 detik
- diukur penyebaran yang terjadi dengan menggunakan penggaris dari 4 kali pengukuran pada yang berlainan untuk mengetahui persentase aliran
- dikembalikan adukan ke mangkok pengaduk
- dijalankan pengaduk pada kecepatan sedang selama 15 detik
- dicetak paling lambat 2,5 menit setelah pengadukan
- dituang hingga memenuhi setengah dari cetakan mortar
- ditumbuk sebanyak 4x8 dalam waktu 10 detik
- dituang penuh mortar pada cetakan mortar
- ditumbuk lagi sebanyak 4x8, dikembalikan adukan yang keluar dari cetakan dengan tangan
- diratakan permukaan cetakan mortar dan dibersihkan
- disimpan dalam *wet box* selama 20-24 jam
- dibuka cetakan mortar setelah 20-24 jam
- direndam dalam bak rendaman sampai umur pengujian
- dikeluarkan dan dilindungi dengan kain basah atau rendam dalam air
- diseka masing-masing benda uji dengan kain basah
- ditentukan kuat tekan masing-masing benda uji

Hasil

L.2.8 Pengujian benda uji

Semen Kubus

- dihidupkan mesin kuat tekan
- diposisikan sampel pada plat penekan
- ditekan *on* untuk menghidupkan motor lalu tekan *zero*
- ditekan *measure range* hingga indikator lampu berada pada posisi 100%
- diputar katup oli ke posisi *close* untuk menaikkan plat penekan
- diputar katup kecepatan ke posisi *slow*
- ditunggu hingga benda uji hancur. Putar katup ole ke posisi *open*
- diputar katup kecepatan ke posisi *fast*
- dicatat hasil pengujian yang tertera dilayar *display*
- dikeluarkan dan bersihkan sisa benda uji dari plat penekan

dicatat hasil kuat tekan dengan satuan Kg/cm²

Hasil

Lampiran 3. Perhitungan

L.3.1 Preparasi beberapa material

- 1) Klinker
 - $\frac{75}{100} \times 4000 \text{ gram} = 3000 \text{ gram}$
- 2) Gypsum
 - $\frac{4}{100} \times 4000 \text{ gram} = 160 \text{ gram}$
- 3) Batu bata
 - $\frac{21}{100} \times 4000 \text{ gram} = 840 \text{ gram}$

L.3.2 Uji indeks reaktivitas *pozzolan*

L.3.2.1 Tabel Uji indeks reaktivitas

No.	Material	kN	Kg/cm ²
1	Control mix (blanko)	81,03	331
		85,32	348
		90,00	367
		340	
2	Teks mix (Batu bata 1)	60,16	246
		65,89	268
		63,29	258
		257	
3	Teks mix (Batu bata 2)	62,43	255
		61,92	253
		63,01	257
		255	
4	Teks mix (Batu bata 3)	64,92	265
		65,18	262
		65,91	269
		265	

a. Blanko

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = 81,03 kN

Konversi satuan = $\frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$

$$= \frac{81,03 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{81,03 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 331 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 85,32 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{85,32 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 348 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 90 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{90 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 367 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

b. Batu Bata 1

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 60,16 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{60,16 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 246 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 65,89 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{65,89 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} = 268 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 63,29 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{63,29 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 258 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

c. Batu Bata 2

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

$$\text{Nilai kuat tekan} = 62,43 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{62,43 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 255 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 61,92 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{61,92 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 253 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 63,01 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{63,01 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 257 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

d. Batu Bata 3

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

$$\text{Nilai kuat tekan} = 64,92 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{64,92 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 265 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

$$\text{Nilai kuat tekan} = 65,18 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{65,18 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 262 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 65,91 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{65,91 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 269 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\circ \text{ Indeks reaktivitas batu bata 1} = \frac{\text{Kuat tekan test mix}}{\text{Kuat tekan control mix}} \times 100\%$$

$$= \frac{257 \text{ Kg/cm}^2}{340 \text{ Kg/cm}^2} \times 100\%$$

$$= 75,60\%$$

$$\circ \text{ Indeks reaktivitas batu bata 2} = \frac{\text{Kuat tekan test mix}}{\text{Kuat tekan control mix}} \times 100\%$$

$$= \frac{255 \text{ Kg/cm}^2}{340 \text{ Kg/cm}^2} \times 100\%$$

$$= 75,00\%$$

$$\circ \text{ Indeks reaktivitas batu bata 3} = \frac{\text{Kuat tekan test mix}}{\text{Kuat tekan control mix}} \times 100\%$$

$$= \frac{265 \text{ Kg/cm}^2}{340 \text{ Kg/cm}^2} \times 100\%$$

$$= 77,90\%$$

L.3.3 Perhitungan uji nilai kehalusan

- 1) Nilai kehalusan 5000

Waktu Alir = 101,88 menit

Faktor = 496,15

$$\text{Rumus Nilai kehalusan} = \sqrt{\text{Waktu Alir}} \times \text{Faktor}$$

$$= \sqrt{101,88} \times 496,15$$

$$= 5008 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

- 2) Nilai kehalusan 5000

Waktu Alir = 102,90 menit

Faktor = 496,15

$$\text{Rumus Nilai kehalusan} = \sqrt{\text{Waktu Alir}} \times \text{Faktor}$$

$$= \sqrt{102,90} \times 496,15$$

$$= 5033 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

- 3) Nilai kehalusan 5000

Waktu Alir = 103,68 menit

Faktor = 496,15

$$\text{Rumus Nilai kehalusan} = \sqrt{\text{Waktu Alir}} \times \text{Faktor}$$

$$= \sqrt{103,68} \times 496,15$$

$$= 5052 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

L.3.4 Uji kimia semen menurut SNI 2049 (2004)

Tabel L.3.4.1 Kandungan senyawa dalam semen

No.	Kandungan senyawa oksida	% Berat sampel								
		Semen 1			Semen 2			Semen 3		
1	SO ₃	2,10	1,90	2	2,10	2,10	2,10	2,20	2	2,10
2	SiO ₂	17,97	17,91	17,94	17,82	17,66	17,74	18,31	18,11	18,21
3	Al ₂ O ₃	3,61	3,57	3,59	3,53	3,49	3,51	3,52	3,34	3,43
4	Fe ₂ O ₃	4,58	4,40	4,49	4,67	4,49	4,58	4,47	4,21	4,34

5	CaO	56,8 0	56, 20	56,50	56,1 5	55,9 1	56,0 3	56,9 9	56,8 3	56,9 1
6	C ₃ S			57,43			57,1 6			59,0 5
7	C ₂ S			8,10			7,74			8,42
8	C ₃ A			1,92			1,55			1,75
9	C ₄ AF			13,66			13,9 4			13,2

a. Semen 1

1) Sulfur Oksida (SO₃)

- $\%SO_3 = (W_2 - W_1) \times 34,4 = (26,5639 - 26,5027) \times 34,30 = 2,10\%$
- $\%SO_3 = (W_2 - W_1) \times 34,4 = (25,2857 - 25,2303) \times 34,30 = 1,90\%$

*34,3 merupakan perbandingan molekul SO₃ terhadap BaSO₄ (0,343) dikalikan 100.

2) Silikon Dioksida (SiO₂)

- $\%SiO_2 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\% = \frac{25,6623 - 25,5727}{0,5 \text{ gram}} \times 100\% = 17,91\%$
- $\%SiO_2 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\% = \frac{26,5911 - 26,5012}{0,5 \text{ gram}} \times 100\% = 17,97\%$

3) Besi (III) Oksida (Fe₂O₃)

- $Fe_2O_3 = V \times Faktor = 11 \times 0,40 = 4,40\%$
- $Fe_2O_3 = V \times Faktor = 11,45 \times 0,40 = 4,58\%$

* Rumus kadar Fe₂O₃ yaitu

$$\%Fe_2O_3 = E \times (V - B) \times \frac{100}{W}$$

Keterangan :

E merupakan kesetaraan Fe₂O₃ terhadap larutan K₂Cr₂O₇, gram/mL; V adalah militer K₂CrO₇ yang diperlukan pada penetapan contoh; B adalah militer K₂CrO₇ yang diperlukan pada penetapan blanko; W adalah berat contoh dengan ketelitian 0,1 miligram.

4) Kalsium Oksida (CaO)

Penetapan senyawa (Al(OH)₂ dan Fe(OH)₃)

- $\%Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\%$

$$= \frac{25,3485 - 25,3485}{0,50 \text{ gram}} \times 100\% = 8,04\%$$
- $\%Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\%$

$$= \frac{25,3892 - 25,3485}{0,50 \text{ gram}} \times 100\% = 8,15\%$$

Mencari kadar CaO

- $\text{CaO} = V \times \text{Faktor} = 66,51 \text{ mL} \times 0,8540 = 56,80\%$
- $\text{CaO} = V \times \text{Faktor} = 65,81 \text{ mL} \times 0,8540 = 56,20\%$

*Faktor pada CaO diperoleh dari kesetaraan CaO terhadap larutan KO_4 dalam % CaO/ mL didasarkan pada 0,50 gram contoh semen.

5) Al_2O_3

- $\text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{Al(OH)}_2 \text{ dan } \text{Fe(OH)}_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 = 8,04\% - 4,40\% = 3,64\%$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{Al(OH)}_2 \text{ dan } \text{Fe(OH)}_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 = 8,15\% - 4,58\% = 3,57\%$

6) C_3S

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{S} &= (4,071 \times \% \text{CaO}) - (7,6 \times \% \text{SiO}_2) - (6,718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,43 \times \\ &\quad \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3) \\ &= (4,071 \times 56,5\%) - (7,6 \times 17,94\%) - (6,718 \times 3,59\%) - (1,43 \times 4,49\%) \\ &\quad - (2,852 \times 2\%) \\ &= 57,43\% \end{aligned}$$

7) C_2S

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{S} &= (2,867 \times \% \text{SiO}_2) - (0,7544 \times \% \text{C}_3\text{S}) \\ &= (2,867 \times 17,94\%) - (0,7544 \times 57,43\%) \\ &= 8,10\% \end{aligned}$$

8) C_3A

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{A} &= (2,650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) \\ &= (2,650 \times 3,59\%) - (1,692 \times 4,49\%) \\ &= 41,92\% \end{aligned}$$

9) $\text{C}_4\text{AF} (4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$

$$\begin{aligned} \text{C}_4\text{AF} &= (3,043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) \\ &= (3,043 \times 4,49\%) \\ &= 13,66\% \end{aligned}$$

b. Semen 2

1) Sulfur Oksida (SO_3)

- $\% \text{SO}_3 = (W_2 - W_1) \times 34,30 = (25,4004 - 25,3372) \times 34,3 = 2,17\%$
- $\% \text{SO}_3 = (W_2 - W_1) \times 34,30 = (25,4779 - 25,4156) \times 34,3 = 2,14\%$

2) Silikon Dioksida (SiO₂)

- $\%SiO_2 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\% = \frac{25,4376 - 25,3485}{0,50 \text{ gram}} \times 100\% = 17,82 \%$
- $\%SiO_2 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\% = \frac{26,6850 - 26,5967}{0,50 \text{ gram}} \times 100\% = 17,66 \%$

3) Kalsium Oksida (CaO)

Penetapan senyawa (Al(OH)₂ dan Fe(OH)₃)

- $\%Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\%$
 $= \frac{25,3809 - 25,3485}{0,50 \text{ gram}} \times 100\% = 6,49\%$
- $\%Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3 = \frac{W_2 - W_1}{W \text{ sampel}} \times 100\%$
 $= \frac{25,3807 - 25,3485}{0,50 \text{ gram}} \times 100\% = 6,45\%$

Mencari kadar CaO

- $CaO = V \times Faktor = 65,75 \text{ mL} \times 0,8540 = 56,15\%$
- $CaO = V \times Faktor = 65,47 \text{ mL} \times 0,8540 = 55,91\%$

4) Besi (III) Oksida (Fe₂O₃)

- $Fe_2O_3 = V \times Faktor = 11,68 \times 0,40 = 4,67\%$
- $Fe_2O_3 = V \times Faktor = 11,23 \times 0,40 = 4,49\%$

5) Al₂O₃

- $Al_2O_3 = (Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3) - Fe_2O_3 = 6,49\% - 2,96\% = 3,53\%$
- $Al_2O_3 = (Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3) - Fe_2O_3 = 6,45\% - 2,96\% = 3,49\%$

6) C₃S

$$\begin{aligned} C_3S &= (4,071 \times \%CaO) - (76,00 \times \%SiO_2) - (6,718 \times \%Al_2O_3) - (1,43 \times \\ &\quad \%Fe_2O_3) - (2,852 \times \%SO_3) \\ &= (4,071 \times 56,03\%) - (76,00 \times 17,74\%) - (6,718 \times 3,51\%) - (1,43 \times \\ &\quad 4,58\%) - (2,852 \times 2,1\%) \\ &= 57,16\% \end{aligned}$$

7) C₂S

$$\begin{aligned} C_2S &= (2,867 \times \%SiO_2) - (0,7544 \times \%C_3S) \\ &= (2,867 \times 17,74\%) - (0,7544 \times 57,16\%) \\ &= 7,74\% \end{aligned}$$

8) C3A

$$\begin{aligned} C3A &= (2,650 \times \%Al_2O_3) - (1,692 \times \%Fe_2O_3) \\ &= (2,650 \times 3,51\%) - (1,692 \times 4,58\%) \\ &= 1,55\% \end{aligned}$$

9) C4AF (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃)

$$\begin{aligned} C4AF &= (3,043 \times \%Fe_2O_3) \\ &= (3,043 \times 4,58\%) \\ &= 13,94\% \end{aligned}$$

c. Semen 3

1) Sulfur Oksida (SO₃)

- $\%SO_3 = (W_2 - W_1) \times 34,4 = (25,3429 - 25,2791) \times 34,3 = 2,19\%$
- $\%SO_3 = (W_2 - W_1) \times 34,4 = (25,6174 - 26,5571) \times 34,3 = 2,07\%$

2) Silikon Dioksida (SiO₂)

- $\%SiO_2 = \frac{W_2 - W_1}{W_{sampel}} \times 100\% = \frac{25,7243 - 25,6327}{0,5 \text{ gram}} \times 100\% = 18,31\%$
- $\%SiO_2 = \frac{W_2 - W_1}{W_{sampel}} \times 100\% = \frac{26,4213 - 26,3307}{0,5 \text{ gram}} \times 100\% = 18,11\%$

3) Kalsium Oksida (CaO)

Penetapan Al(OH)₂ dan Fe(OH)₃

- $\%Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3 = \frac{W_2 - W_1}{W_{sampel}} \times 100\%$

$$= \frac{25,3809 - 25,3485}{0,5 \text{ gram}} \times 100\% = 6,48\%$$
- $\%Al(OH)_2 \text{ dan } Fe(OH)_3 = \frac{W_2 - W_1}{W_{sampel}} \times 100\%$

$$= \frac{25,3800 - 25,3485}{0,5 \text{ gram}} \times 100\% = 6,30\%$$

Mencari kadar CaO

- $CaO = V \times Faktor = 66,73 \text{ mL} \times 0,8540 = 56,99\%$
- $CaO = V \times Faktor = 66,55 \text{ mL} \times 0,8540 = 56,83\%$

4) Besi (III) Oksida (Fe₂O₃)

- $Fe_2O_3 = V \times Faktor = 11,18 \times 0,4 = 4,47\%$
- $Fe_2O_3 = V \times Faktor = 10,53 \times 0,4 = 7,96\%$

5) Al_2O_3

- $\text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{Al}(\text{OH})_2 \text{ dan } \text{Fe}(\text{OH})_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,48\% - 2,96\% = 3,52\%$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{Al}(\text{OH})_2 \text{ dan } \text{Fe}(\text{OH})_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,30\% - 2,96\% = 3,34\%$

6) C_3S

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{S} &= (4,071 \times \% \text{CaO}) - (76,00 \times \% \text{SiO}_2) - (6,718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,43 \times \\ &\quad \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3) \\ &= (4,071 \times 56,91\%) - (76,00 \times 18,21\%) - (6,718 \times 3,43\%) - (1,43 \times \\ &\quad 4,34\%) - (2,852 \times 2,1\%) = 59,05\% \end{aligned}$$

7) C_2S

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{S} &= (2,867 \times \% \text{SiO}_2) - (0,7544 \times \% \text{C}_3\text{S}) \\ &= (2,867 \times 18,21\%) - (0,7544 \times 59,05\%) \\ &= 8,42\% \end{aligned}$$

8) C_3A

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{A} &= (2,650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) \\ &= (2,650 \times 3,43\%) - (1,692 \times 4,34\%) \\ &= 1,75\% \end{aligned}$$

9) $\text{C}_4\text{AF} (4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$

$$\begin{aligned} \text{C}_4\text{AF} &= (3,043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) \\ &= (3,043 \times 4,34\%) = 13,20 \end{aligned}$$

L.3.5 Perhitungan uji kuat tekan

L.3.5.1 Tabel perhitungan uji kuat tekan

Kode Sampel	1 Hari		3 Hari		7 Hari		28 Hari	
	kN	Kg/cm ²	kN	Kg/cm ²	kN	Kg/cm ²	kN	Kg/cm ²
Batu Bata 1	17,68	72	39,12	160	55,40	226	92,45	377
			39,88	163	52,66	215	93,61	382
		72		162		218		378
Batu Bata 2	15,56	64	36,15	148	50,26	205	84,35	344
			37,60	153	50,19	205	86,00	351
		64		151		206		347
Batu Bata 3	18,22	74	40,79	166	59,17	242	99,93	408
			41,72	170	59,76	244	102,93	420
		74		168		243		410

1) Uji kuat tekan semen batu bata 1

a. Umur uji 1 hari

Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = 17,68 kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{17,68 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 72 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

b. Umur uji 3 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = 39,12 kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{39,12 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 160 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = 39,88 kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{39,88 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 163 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

c. Umur uji 7 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = 55,40 kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \end{aligned}$$

$$= \frac{55,40 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 226 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 52,66 \text{ kN}$$

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{52,66 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 215 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 52,18 \text{ kN}$$

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{52,18 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 213 \text{ Kg/cm}^2$$

d. Umur uji 28 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = \text{kN}$$

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{92,45 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 377 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = \text{kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{93,61 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 382 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = \text{kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{91,80 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 375 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

1) Uji kuat tekan semen bata bata 2

a. Umur uji 1 hari

Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 15,56 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{15,56 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 64 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

b. Umur uji 3 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN

$$\text{Nilai kuat tekan} = 36,15 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{36,15 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 148 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 37,60 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{37,60 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{37,60 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 153 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

c. Umur uji 7 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 50,26 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{50,26 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 205 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 50,19 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{50,19 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 205 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 50,97 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{50,97 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 208 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

d. Umur uji 28 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{84,35 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 344 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{86,00 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 351 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{84,60 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 345 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2) Uji kuat tekan semen batu bata 3

a. Umur uji 1 hari

Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = 18,22 kN

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{18,22 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 74 \text{ Kg/cm}^2$$

b. Umur uji 3 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 40,79 \text{ kN}$$

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{40,79 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 166 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 41,72 \text{ kN}$$

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{41,72 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 170 \text{ Kg/cm}^2$$

c. Umur uji 7 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 59,17 \text{ kN}$$

$$\text{Konversi satuan} = \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= \frac{59,17 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2}$$

$$= 242 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm^2 menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 59,76 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{59,76 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 244 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = 62,30 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{62,30 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 254 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

d. Umur uji 28 hari

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = \text{kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{99,93 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 408 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

$$\text{Nilai kuat tekan} = \text{kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= \frac{102,93 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\
 &= 420 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai kuat tekan yang diperoleh dari alat compressive strenght yaitu kN
Sehingga jika dikonversikan ke dalam Kg/cm² menjadi

Nilai kuat tekan = kN

$$\begin{aligned} \text{Konversi satuan} &= \frac{\text{kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= \frac{100,76 \text{ kN} \times 1000}{9,80 \times 25 \text{ cm}^2} \\ &= 410 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Lampiran 4. Hasil karakterisasi instrumen XRF

L.4.1 Karakterisasi limbah batu bata 1

17-jun-2021 10:52:20

Sample results

Page 1

Sample ident	
E 618	

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	17-jun-2021 09:21:50
Position	12

Compound	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO
Conc	14	49,1	0,96	2,51	9,00	1,77	0,05	0,047	0,44	21,1	0,084	0,03
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	SrO	BaO	Eu2O3	Re2O7	PbO
Conc	0,34	0,1	0,26	0,1	0,13
Unit	%	%	%	%	%

L.4.2 Karakterisasi limbah batu bata 2

17-jun-2021 10:52:34

Sample results

Page 1

Sample ident	
E 619	

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	17-jun-2021 09:33:23
Position	1

Compound	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO
Conc	13	49,8	1,1	2,63	9,10	1,77	0,05	0,046	0,45	20,9	0,087	0,058
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	SrO	Eu2O3	Re2O7
Conc	0,34	0,32	0,1
Unit	%	%	%

L.4.3 Karakterisasi limbah batu bata 3

17-jun-2021 10:53:00

Sample results

Page 1

Sample ident	
E	620

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	17-jun-2021 09:35:28
Position	2

Compound	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	CuO	ZnO
Conc	14	48,8	1,1	2,52	8,40	1,84	0,05	0,049	0,46	21,5	0,092	0,03
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	SrO	BaO	Eu2O3	Re2O7
Conc	0,29	0,1	0,35	0,1
Unit	%	%	%	%

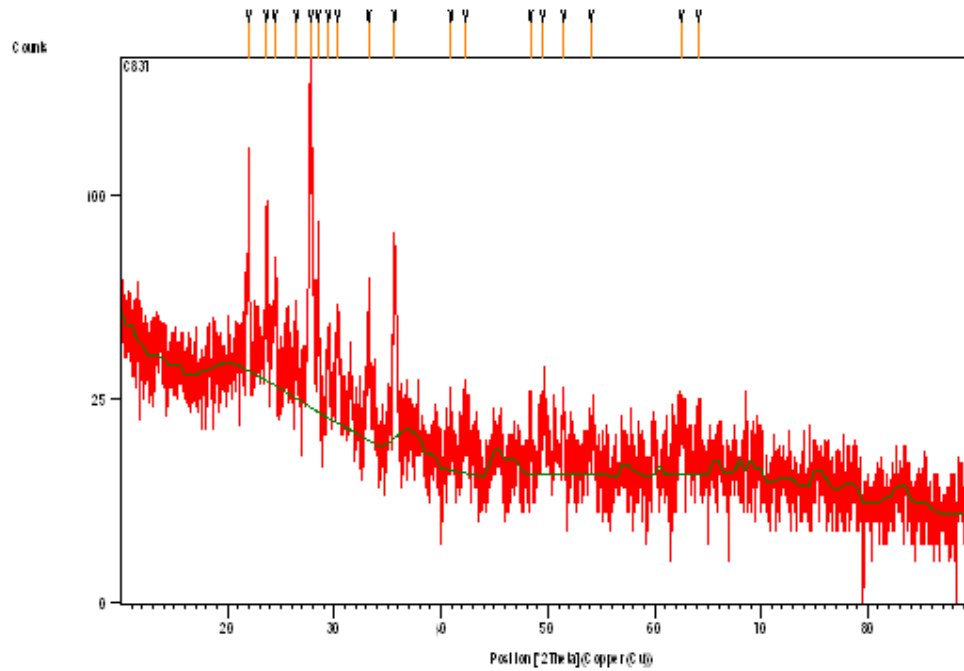
Lampiran 5. Hasil karakterisasi instrumen XRD

L.5.1 Hasil uji batu bata dengan instrumen XRD

L.5.1.1 Sampel batu bata 1

Anchor Scan Parameters

Dataset Name: C837
 File name: E:\X'Pert Data\2021\June\25 Jun 2021\C837\C837.xrdml
 Sample Identification: C837
 Comment: Theta (10-90)
 Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
 Sample stage=PW3071/xx Bracket
 Diffractometer system=XPERT-PRO
 Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM
 0.02 degpermin 46 min
 6/25/2021 9:40:28 AM
 Measurement Date / Time: State Univ of Malang
 Operator: XRD measurement (*.XRDML)
 Raw Data Origin: Gonio
 Scan Axis: Start Position [°2Th.]: 10.0100
 End Position [°2Th.]: 89.9900
 Step Size [°2Th.]: 0.0200
 Scan Step Time [s]: 0.7000
 Scan Type: Continuous
 Offset [°2Th.]: 0.0000
 Divergence Slit Type: Fixed
 Divergence Slit Size [°]: 0.9570
 Specimen Length [mm]: 10.00
 Receiving Slit Size [mm]: 0.1000
 Measurement Temperature [°C]: 25.00
 Anode Material: Cu
 K-Alpha1 [Å]: 1.54060
 K-Alpha2 [Å]: 1.54443
 K-Beta [Å]: 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000
 Generator Settings: 35 mA, 40 kV
 Diffractometer Type: 000000011063758
 Diffractometer Number: 0
 Goniometer Radius [mm]: 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 91.00
 Incident Beam Monochromator: No
 Spinning: No



Gambar L.5.1.1 Difraktogram limbah batu bata 1

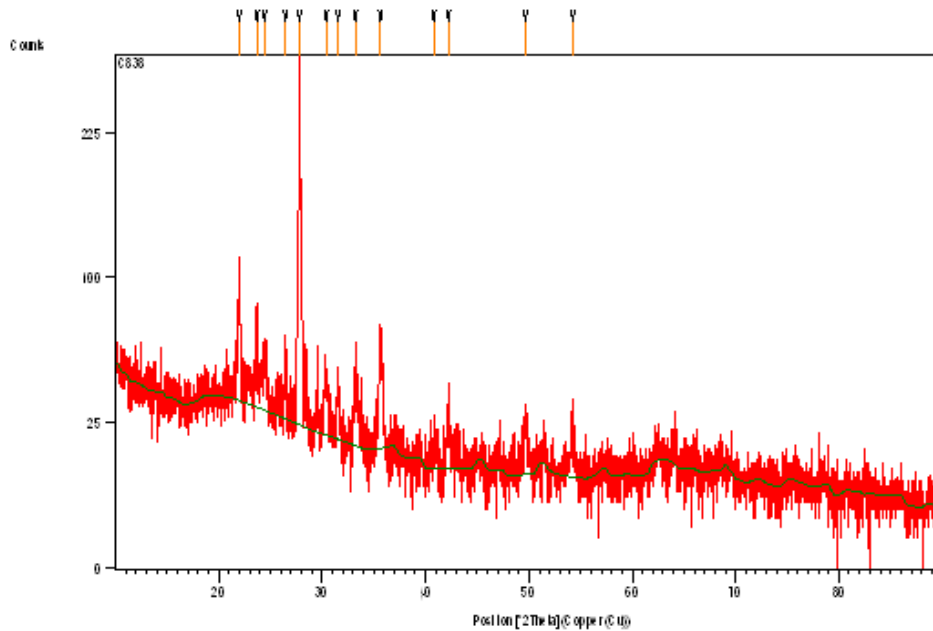
Peak List

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel.Int. [%]
21.9864	90.97	0.0984	4.04283	60.80
23.6346	59.42	0.1574	3.76449	39.71
24.4234	32.76	0.2362	3.64467	21.89
26.4656	19.17	0.2362	3.36789	12.81
27.7844	149.62	0.1181	3.21096	100.00
28.4655	53.70	0.1574	3.13566	35.89
29.4389	22.61	0.2362	3.03416	15.11
30.3299	27.24	0.2362	2.94702	18.21
33.2226	39.04	0.1181	2.69674	26.09
35.6681	55.28	0.2755	2.51725	36.95
40.9253	8.69	0.6298	2.20522	5.81
42.3036	9.68	0.4723	2.13650	6.47
48.3863	14.03	0.2362	1.88119	9.38
49.5536	14.27	0.6298	1.83957	9.53
51.4850	12.23	0.2362	1.77501	8.17
54.0348	6.68	0.9446	1.69712	4.47
62.5029	9.09	0.6298	1.48602	6.08
64.1136	9.38	0.5760	1.45131	6.27

a) Sampel batu bata 2**Anchor Scan Parameters**

Dataset Name: C838
 File name: E:\X'Pert Data\2021\June\25 Jun 2021\C838\C838.xrdml
 Sample Identification: C838
 Comment: Theta (10-90)
 Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size

2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
 Sample stage=PW3071/xx Bracket
 Diffractometer system=XPERT-PRO
 Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation
 date=1/25/2018 8:59:22 AM
 0.02 degpermin 46 min
 Measurement Date / Time: 6/25/2021 11:15:23 AM
 Operator: State Univ of Malang
 Raw Data Origin: XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis: Gonio
 Start Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]: 10.0100
 End Position [$^{\circ}2\text{Th.}$]: 89.9900
 Step Size [$^{\circ}2\text{Th.}$]: 0.0200
 Scan Step Time [s]: 0.7000
 Scan Type: Continuous
 Offset [$^{\circ}2\text{Th.}$]: 0.0000
 Divergence Slit Type: Fixed
 Divergence Slit Size [$^{\circ}$]: 0.9570
 Specimen Length [mm]: 10.00
 Receiving Slit Size [mm]: 0.1000
 Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]: 25.00
 Anode Material: Cu
 K-Alpha1 [\AA]: 1.54060
 K-Alpha2 [\AA]: 1.54443
 K-Beta [\AA]: 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000
 Generator Settings: 35 mA, 40 kV
 Diffractometer Type: 0000000011063758
 Diffractometer Number: 0
 Goniometer Radius [mm]: 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 91.00



Gambar L.5.1.2 Difraktogram limbah batu bata 2

Peak List

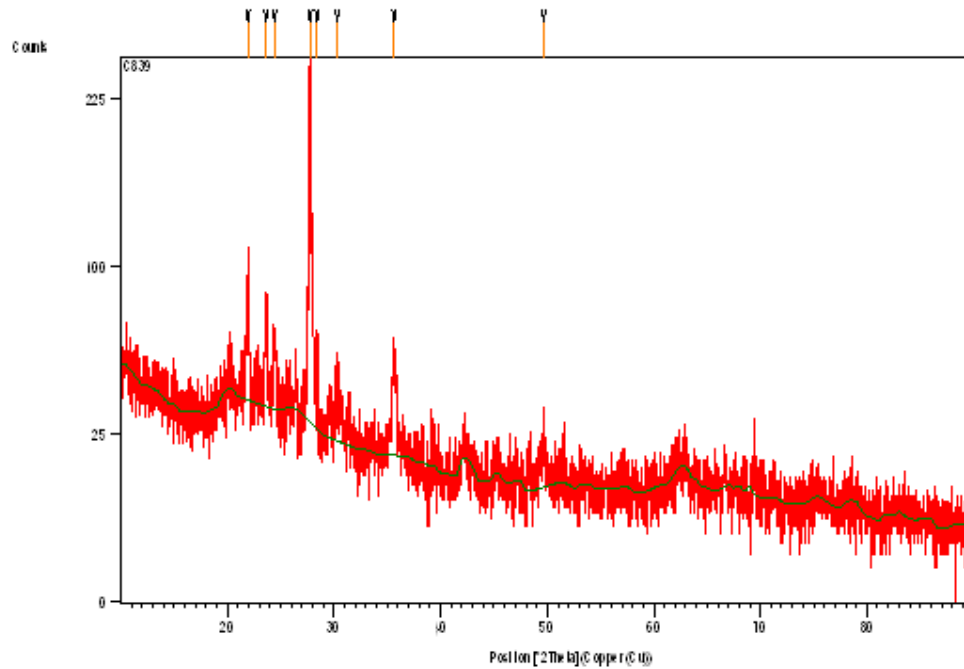
Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel.Int. [%]
21.9782	69.67	0.2362	4.04431	24.31
23.6685	42.73	0.1574	3.75918	14.91
24.4351	29.35	0.2362	3.64295	10.24
26.4837	24.39	0.2362	3.36562	8.51
27.7925	286.64	0.1378	3.21004	100.00

30.3896	22.03	0.4723	2.94137	7.69
31.5382	20.76	0.2362	2.83682	7.24
33.2448	28.74	0.2362	2.69499	10.03
35.6703	39.25	0.3149	2.51710	13.69
40.8259	7.67	0.6298	2.21036	2.67
42.2190	19.09	0.2362	2.14059	6.66
49.6277	14.43	0.6298	1.83700	5.03
54.2265	13.46	0.3840	1.69018	4.70

b) Sampel batu bata 3

Anchor Scan Parameters

Dataset Name: C839
 File name: E:\X'Pert Data\2021\June\25 Jun 2021\C839\C839.xrdml
 Sample Identification: C839
 Comment: Theta (10-90)
 Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
 Sample stage=PW3071/xx Bracket
 Diffractometer system=XPERT-PRO
 Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM
 0.02 degpermin 46 min
 6/25/2021 12:51:58 PM
 State Univ of Malang
 XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis: Gonio
 Start Position [°2Th.]: 10.0100
 End Position [°2Th.]: 89.9900
 Step Size [°2Th.]: 0.0200
 Scan Step Time [s]: 0.7000
 Scan Type: Continuous
 Offset [°2Th.]: 0.0000
 Divergence Slit Type: Fixed
 Divergence Slit Size [°]: 0.9570
 Specimen Length [mm]: 10.00
 Receiving Slit Size [mm]: 0.1000
 Measurement Temperature [°C]: 25.00
 Anode Material: Cu
 K-Alpha1 [Å]: 1.54060
 K-Alpha2 [Å]: 1.54443
 K-Beta [Å]: 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000
 Generator Settings: 35 mA, 40 kV
 Diffractometer Type: 0000000011063758
 Diffractometer Number: 0
 Goniometer Radius [mm]: 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 91.00
 Incident Beam Monochromator: No
 Spinning: No



Gambar L.5.1.3 Difraktogram limbah batu bata

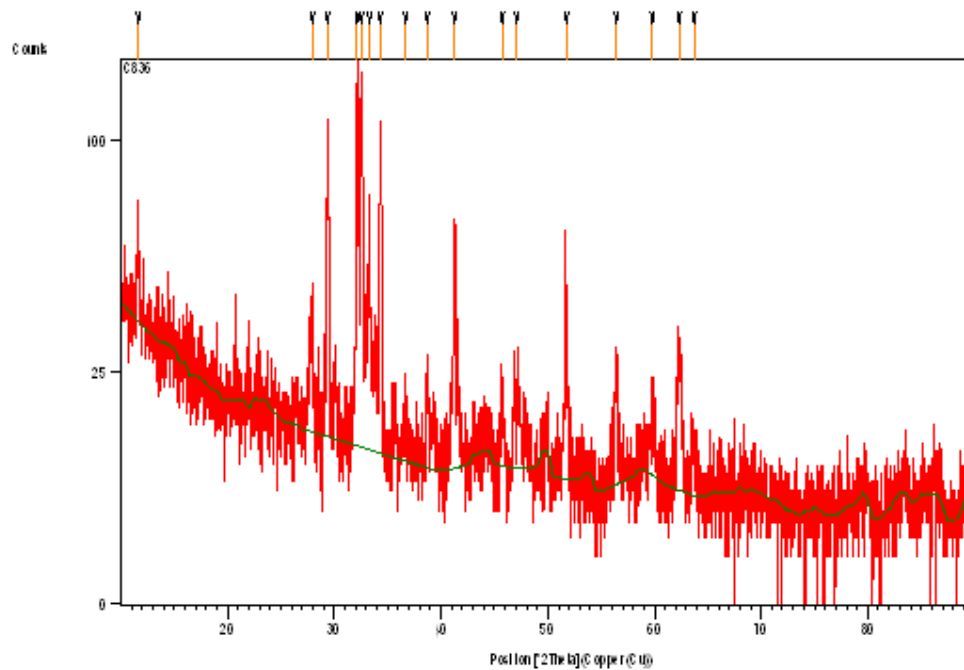
Peak List

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [Å]	Rel.Int. [%]
21.9460	60.47	0.1574	4.05018	25.92
23.6431	41.80	0.2362	3.76316	17.92
24.4254	29.80	0.2362	3.64437	12.77
27.7147	233.31	0.0787	3.21887	100.00
28.4309	33.81	0.1181	3.13939	14.49
30.3036	20.42	0.2362	2.94952	8.75
35.6520	32.37	0.3936	2.51836	13.87
49.6404	10.35	0.7680	1.83504	4.44

L.5.2 Hasil uji semen dengan instrumen XRD**Anchor Scan Parameters**

Dataset Name: C836
 File name: E:\X'Pert Data\2021\June\25 Jun 2021\C836\C836.xrdml
 Sample Identification: C836
 Comment: Theta (10-90)
 Configuration=Stage Flat Samples, Owner=User-1, Creation date=9/15/2009 2:20:30 PM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
 Sample stage=PW3071/xx Bracket
 Diffractometer system=XPERT-PRO
 Measurement program=Theta (10-90), Owner=User-1, Creation date=1/25/2018 8:59:22 AM
 0.02 degpermin 46 min
 Measurement Date / Time: 6/25/2021 8:05:26 AM
 Operator: State Univ of Malang
 Raw Data Origin: XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis: Gonio
 Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]: 10.0100
 End Position [$^{\circ}$ 2Th.]: 89.9900
 Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]: 0.0200

Scan Step Time [s]: 0.7000
 Scan Type: Continuous
 Offset [$^{\circ}2\theta$.]: 0.0000
 Divergence Slit Type: Fixed
 Divergence Slit Size [$^{\circ}$]: 0.9570
 Specimen Length [mm]: 10.00
 Receiving Slit Size [mm]: 0.1000
 Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$]: 25.00
 Anode Material: Cu
 K-Alpha1 [Å]: 1.54060
 K-Alpha2 [Å]: 1.54443
 K-Beta [Å]: 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000
 Generator Settings: 35 mA, 40 kV
 Diffractometer Type: 0000000011063758
 Diffractometer Number: 0
 Goniometer Radius [mm]: 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 91.00
 Incident Beam Monochromator: No
 Spinning: No



Gambar L.5.2 Difraktogram semen

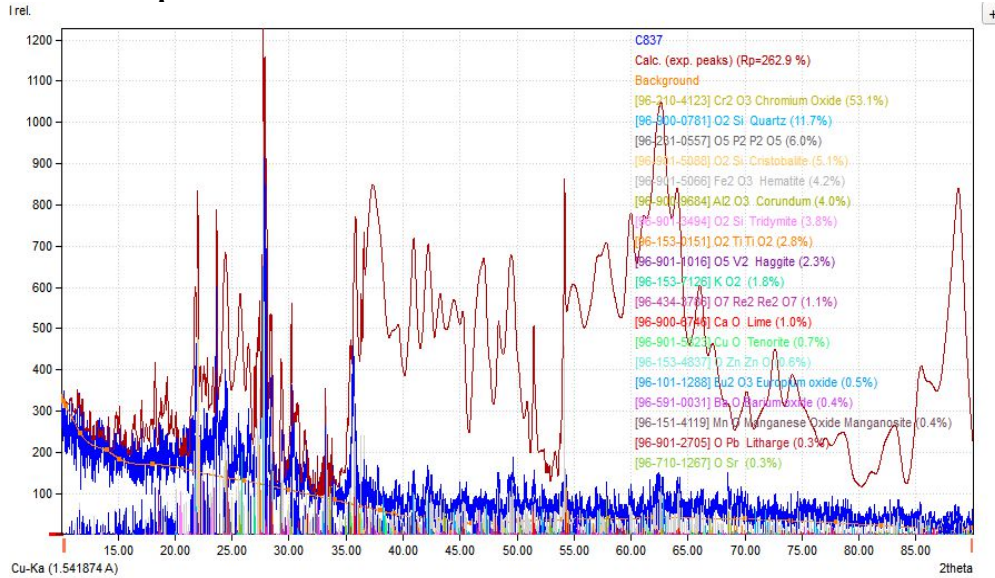
Peak List

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [Å]	Rel.Int. [%]
11.6354	16.04	0.4723	7.60566	12.70
27.9104	25.86	0.3149	3.19674	20.47
29.3941	97.84	0.1181	3.03868	77.45
32.1651	126.32	0.1378	2.78294	100.00
32.5440	102.67	0.1968	2.75140	81.28
33.2516	54.13	0.1574	2.69445	42.85
34.3263	85.15	0.1968	2.61252	67.40
36.6577	8.78	0.4723	2.45154	6.95

38.7285	18.05	0.2362	2.32509	14.29
41.2709	61.25	0.1574	2.18755	48.48
45.7351	11.04	0.3149	1.98387	8.74
47.0987	10.83	0.4723	1.92957	8.57
51.7211	38.64	0.2362	1.76746	30.59
56.4489	18.63	0.2362	1.63014	14.75
59.8026	8.70	0.4723	1.54649	6.88
62.3083	22.32	0.4723	1.49019	17.67
63.6999	5.60	0.5760	1.45974	4.43

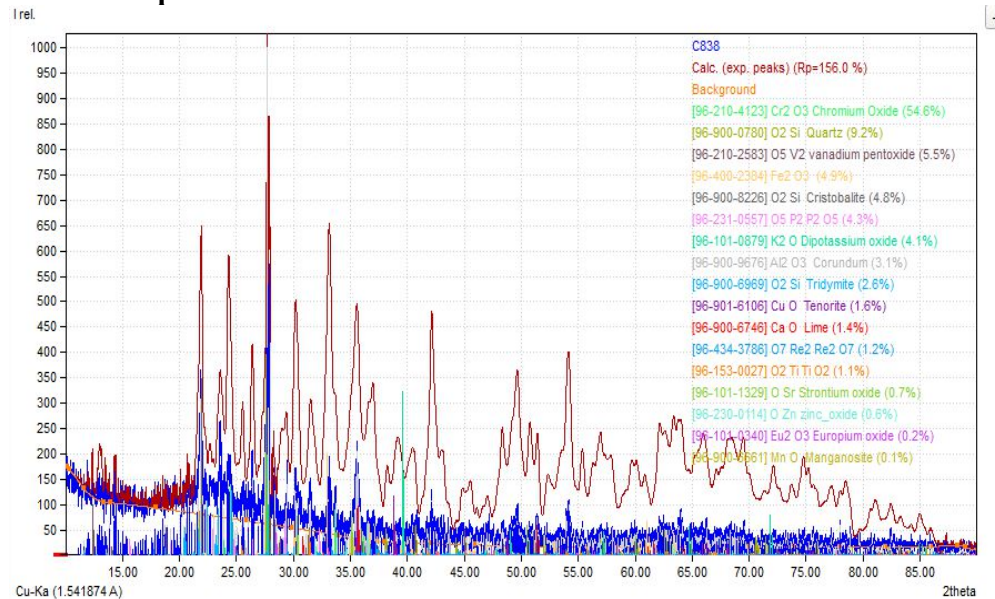
L.5.3 Grafik puncak difraktogram pada batu bata dengan aplikasi Match!

L.5.3.1 Sampel batu bata 1



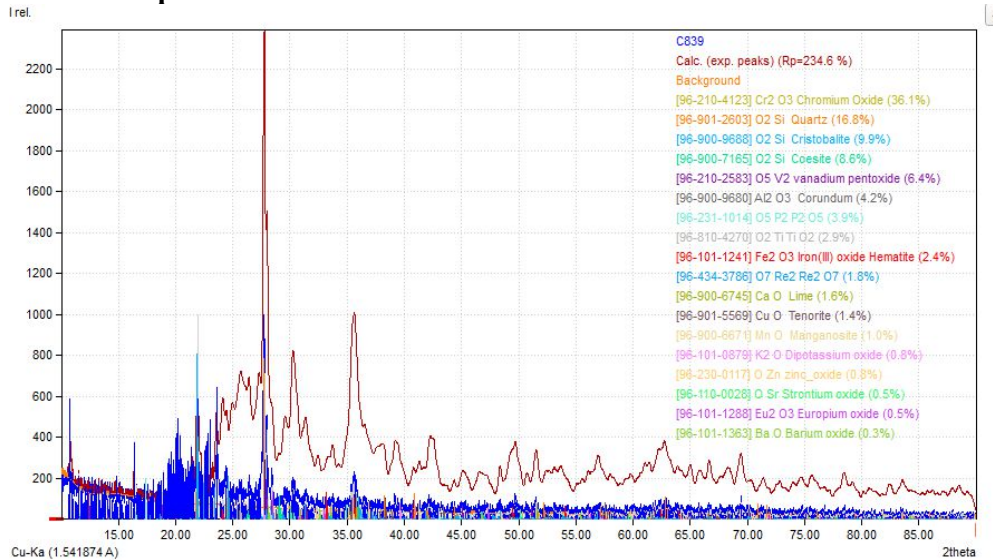
Gambar L.5.3.1 Analisis difraktogram limbah batu bata 1

L.5.3.2 Sampel batu bata 2



Gambar L.5.3.2 Analisis difraktogram limbah batu bata 2

L.5.3.3 Sampel batu bata



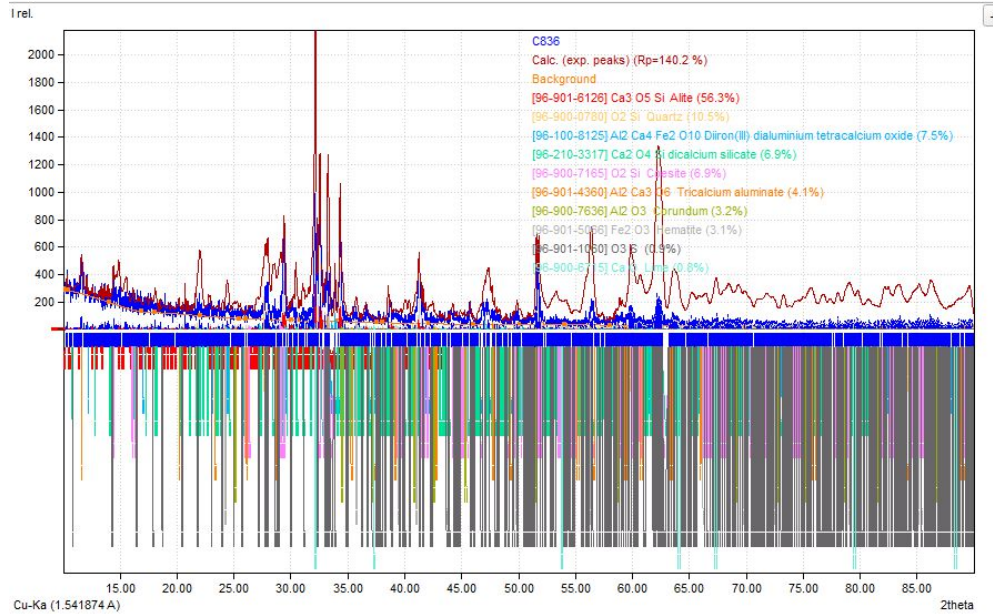
Gambar L.5.3.3 Analisis difraktogram limbah batu bata 1

L.5.3 Tabel hasil analisis puncak difraktogram pada batu bata

No.	Fasa senyawa	Batu bata 1		Batu bata 2		Batu bata 3	
		2 Teta	Intensitas	2 Teta	Intensitas	2 Teta	Intensitas
1	Cr ₂ O ₃	24,59	208,97	24,57	93,28	24,51	150,32
		33,61	80,18	33,61	67,05	33,65	69,84
		36,21	50,28	36,25	35,81	36,23	60,31
		54,87	39,61	54,85	35,66	54,91	29,63
2	Kuarsa	21,99	645,79	21,89	308,89	21,97	1000
		23,65	602,48	23,57	177,94	23,63	644,31
		27,73	1000	27,71	1000	27,73	762,36
		42,09	98,32	42,07	67,52	42,05	60,93
3	V ₂ O ₅	12,53	36,07	12,53	22,15	12,51	65,99
		27,99	17,55	27,95	419,13	27,99	434,10
		28,33	130,40	28,35	85,88	28,37	108,15
		74,83	54,94	74,81	29,38	74,81	15,71
4	Fe ₂ O ₃	33,15	178,27	33,15	150,32	33,15	42,44
		43,63	44,60	43,59	42,14	43,61	15,67
		54,05	45,79	54,05	67,25	54,05	33,64
		62,53	103,00	62,59	46,46	62,59	35,42
5	Kristobalit	21,83	276,32	21,89	308,89	21,89	530,56
		48,47	99,11	48,47	43,93	48,51	38,81
		56,95	79,80	56,99	47,36	56,99	39,53
6	P ₂ O ₅	26,37	132,83	26,39	152,54	26,41	107,17
		29,31	259,06	29,33	70,59	29,31	50,56
		68,53	104,98	68,53	34,24	68,49	43,89
7	ZnO	31,91	34,53	31,93	37,11	31,89	67,81
		34,59	33,54	34,61	29,76	34,55	46,69
		36,33	238,57	36,43	43,38	36,49	78,92
		63,23	48,22	63,23	37,58	63,25	48,86

8	K ₂ O	39,63	52,51	39,63	35,84	39,67	42,17
		71,83	31,07	71,79	23,48	71,81	27,53
9	MnO	40,61	48,39	40,63	35,75	40,65	33,97
		58,77	25,97	58,77	31,37	58,77	19,80
10	Al ₂ O ₃	38,15	35,70	38,13	38,66	38,13	30,38
		43,75	50,13	43,75	30,91	43,75	23,97
		83,55	45,44	83,73	10,48	83,65	16,67
11	Tridimit	14,87	51,82	14,83	26,07	-	-
		20,35	21,23	20,35	56,78		
		21,63	79,98	21,65	128,42		
		30,09	54,41	30,03	65,77		
		35,55	44,36	35,59	204,83		
12	CuO	48,73	47,35	48,75	21,86	48,77	30,29
		80,93	34,87	80,89	19,86	80,89	35,65
13	CaO	51,35	69,16	51,53	39,72	51,55	81,39
		64,13	100,03	64,17	62,86	64,19	45,45
14	Re ₂ O ₇	11,63	76,00	11,61	30,08	11,63	27,65
		22,63	83,91	22,61	79,19	22,61	348,63
		66,17	70,98	66,17	33,82	66,19	21,47
		69,35	69,93	69,41	33,19	69,41	47,76
15	TiO ₂	25,35	116,60	25,41	59,90	25,43	75,44
		42,55	79,03	42,57	41,85	42,57	43,07
		78,13	44,70	78,09	14,39	78,13	24,47
16	SrO	35,11	71,05	35,01	54,42	35,07	69,19
		59,83	15,20	59,81	36,37	59,81	30,65
17	Eu ₂ O ₃	56,25	34,54	56,23	30,11	56,27	22,67
		76,55	38,54	76,65	16,82	76,54	28,16
		82,59	28,80	82,49	10,44	82,57	20,68
18	Koesit	-	-	-	-	14,85	208,42
						20,41	418,08
						21,83	560,67
						30,17	131,40
19	PbO	28,11	233,69	-	-	-	-
		28,37	202,26				
20	BaO	35,39	93,86				
		46,53	59,48	-	-	46,55	45,82

L.5.4 Grafik analisis puncak difraktogram pada semen



Gambar L.5.5 Analisis difraktogram pada semen

L.5.4 Tabel hasil analisis puncak difraktogram pada semen




No.	Fasa senyawa	Semen	
		2 Teta	Intensitas
1	Kuarsa	21,75	20,38
		27,65	72,51
		59,81	137,32
		62,65	104,77
		14,41	86,12
2	Koesit	16,13	26,02
		26,21	16,74
		29,51	105,05
		32,55	596,99
		38,91	31,13
		41,43	103,16
		44,83	10,40
		51,59	136,69
		59,23	23,17
		71,73	39,48
3	Fe ₂ O ₃	84,31	31,11
		35,73	59,25
		39,45	17,23
		78,97	59,51
		80,79	44,38
		85,13	70,37
		88,43	29,52
4	Al ₂ O ₃	56,25	50,47
		60,11	88,82

		65,15	73,67
		81,65	31,11
		82,79	67,20
		83,63	46,29
5	CaO	68,51	42,15
		82,55	38,77
		85,99	56,37
		86,31	65,75
		87,15	30,45
		87,53	24,36
6	SO ₃	14,25	33,33
		23,95	30,80
		31,17	94,66
		37,69	22,33
		42,31	40,61
		45,75	79,93
		47,93	50,93
		55,93	39,91
		73,27	26,80
		78,79	40,39
		87,85	26,79
		88,67	59,78
7	C ₃ S	10,27	31,24
		13,45	33,09
		14,87	60,90
		18,67	16,35
		19,07	10,27
		20,67	98,70
		22,95	80,85
		28,01	144,41
		29,39	349,99
8	C ₂ S	12,77	12,61
		22,05	9,73
		23,71	20,40
		30,09	56,99
		32,73	171,41
		34,33	482,17
		41,27	226,75
		43,01	23,85
		49,85	49,39
		53,27	31,40
		56,81	15,40
		62,17	191,61
		69,27	59,08
		75,77	54,24
9	C ₃ A	11,61	32,59
		20,17	48,38
		33,25	564,76
		50,99	29,83

10	C ₄ AF	86,81	71,30
		12,19	27,19
		24,53	29,88
		41,15	100,97
		54,05	18,84
		57,51	21,04
		65,23	32,97
		70,21	33,45
		74,35	51,77
		77,41	35,90
		85,25	22,97

Lampiran 6. Dokumentasi

L.6.1 Preparasi sampel

		
Pengambilan material klinker	Pengambilan material Gypsum	Pengambilan material limbah Batu bata

L.6.2 Preparasi Karakterisasi XRF dan XRD

		
Menghaluskan limbah batu bata	Mengayak limbah batu bata	Sampel siap di uji


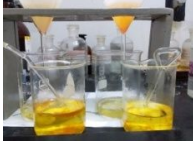
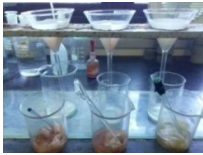

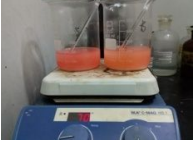







L.6.3 Preparasi pembuatan semen

		
Penimbangan Klinker	Penimbangan Gypsum	Penimbangan Batu bata
		
Pengerinan sampel	Penghalusan material dengan <i>Jaw Crusher</i>	Penggilingan semen

 <p>Alat penyampur semen</p>	 <p>Uji Kehalusan dengan <i>Blaine Apparatus</i></p>	 <p>Uji Residu</p>
---	---	---

L.6.4 Uji kimia semen

 <p>Larutan semen setelah ditambahkan BaCl_2</p>	 <p>Proses penyaringan endapan SO_3</p>	 <p>Residu pada kertas saring dimasukkan dalam cawan pembakar</p>
 <p>Pembakaran residu dalam <i>furnace</i></p>	 <p>Dimasukkan dalam desikator agar beratnya konstan</p>	 <p>Ditimbang residu perolehan uji SO_3</p>
 <p>Semen + NH_4Cl dan dilarutkan dalam 5mL HCl kemudian didigest</p>	 <p>Penyaringan silika yang berbentuk seperti gel</p>	 <p>Penambahan HCl encer hingga bebas klorida</p>
 <p>Residu yang dihasilkan dibakar dalam <i>furnace</i></p>	 <p>Dimasukkan dalam desikator agar beratnya konstan</p>	 <p>Ditimbang residu perolehan uji SiO_2</p>




 <p>Filtrat SiO_2 ditambahkan HCl dan ditambah metil merah</p>	 <p>Penambahan NH_4OH hingga berwarna kuning dan mengendap</p>	 <p>Endapan disaring dan diambil filtratnya untuk penetapan CaO</p>
 <p>Filtrat diasamkan dengan HCl</p>	 <p>Filtrat diuapkan hingga 200 mL, ditambah metil merah dan ammonium oksalat</p>	 <p>Ditambahkan NH_4OH dan ditunggu hingga endapan putih turun</p>
 <p>Disaring endapan</p>	 <p>Ditusuk endapan dalam kertas saring</p>	 <p>Dititrasi dengan larutan K_2MnO_4</p>
 <p>Semen yang ditambahkan aquades, HCl dan SnCl_2 kemudian dipanaskan</p>	 <p>Larutan yang dingin kemudian ditambahkan HgCl_2 dan H_3PO_4</p>	 <p>Larutan dilakukan titrasi dengan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$</p>

L.6.5 Pembuatan kubus mortar semen

 <p>Semen limbah batu bata</p>	 <p>Penimbangan pasir silika</p>	 <p>Penambahan aquades</p>
---	---	---

 <p>Pengaduk semen mortar</p>	 <p>Pencetakan kubus mortar</p>	 <p>Penyimpanan kubus dalam <i>Wet Box</i></p>
 <p>Pemisahan kubus dari cetakan</p>	 <p>Perendaman kubus dalam <i>curing</i></p>	 <p>Uji Kuat tekan</p>

L.6.6 Hasil uji kuat tekan

		
--	--	--