

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN
CAMPURAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BATU BATA
DI DESA GUNUNG CUPU, KECAMATAN SINDANGKASIH,
KABUPATEN CIAMIS**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**Oleh:
Ratih Nurul Hidayati
NIM. 14306141015**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN
CAMPURAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BATU BATA
DI DESA GUNUNG CUPU, KECAMATAN SINDANGKASIH,
KABUPATEN CIAMIS**

Oleh :
Ratih Nurul Hidayati
14306141015

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai bahan campuran dan lama waktu pembakaran batu bata terhadap sifat mekanik batu bata ditinjau dari uji porositas, susut bakar, dan kuat tekan, serta mengetahui persentase penambahan abu sekam padi dan lama waktu pembakaran terbaik pada batu bata.

Penelitian ini menggunakan sampel batu bata berbentuk balok dengan ukuran panjang 22,5 cm, lebar 11 cm, dan tinggi 4 cm serta bentuk kubus dengan ukuran sisi 5 cm. Variasi komposisi abu sekam padi yang ditambahkan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pembuatan batu bata dilakukan dengan mencetak campuran tanah liat, air dan abu sekam dengan pemasukan, pengeringan selama 3 hari dan pembakaran selama 12 jam dan 24 jam. Pengujian sifat mekanik pada batu bata meliputi uji porositas, susut bakar, dan kuat tekan.

Penambahan abu sekam padi dengan persentase komposisi 5% sampai 15% dapat mempengaruhi sifat mekanik batu bata yaitu menurunkan porositas dan susut bakar serta meningkatkan kuat tekan batu bata. Lama pembakaran batu bata juga berpengaruh terhadap sifat mekanik batu bata. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh masing-masing nilai uji terbaiknya yaitu nilai porositas minimum dicapai pada persentase abu sekam padi sebanyak 5% dengan pembakaran selama 24 jam yaitu 18,5%. Nilai susut bakar minimum dicapai pada persentase abu sekam padi sebanyak 15% dengan pembakaran selama 12 jam yaitu 0,45%. Nilai kuat tekan optimum dicapai pada persentase abu sekam padi 5% yaitu sebesar 4,1 N/mm² dengan pembakaran selama 24 jam.

Kata kunci: *abu sekam padi, batu bata, porositas, susut bakar, kuat tekan.*

**EFFECT OF ADDITION OF RICE HUSK ASH AS A MIXED MATERIAL
ON MECHANICAL PROPERTIES IN GUNUNG CUPU VILLAGE,
SINDANGKASIH DISTRICT, CIAMIS REGENCY.**

By:
Ratih Nurul Hidayati
14306141015

ABSTRACT

This research aims to determine the effect of rice husk ash as a mixture of the mechanical properties of bricks in terms of porosity test, shrinkage, and compressive strength, and compressive strength and know the percentage of rice husk ash addition and duration of best combustion time on bricks.

This research used brick shaped samples with length of 22.5 cm, width 11 cm, and height 4 cm and shape of cube with side size 5 cm. Variations of rice husk ash added composition were 0%, 5%, 10%, and 15%. Brick making is done with clay, water and rice husk ash which is molded with compaction, drying for 3 days and burning for 12 hours and 24 hours. Testing of mechanical properties on bricks include porosity test, shrinkage, and compressive strength.

Addition of rice husk ash with percentage of composition of 5% to 15% can affect the mechanical properties of bricks that decrease porosity and shrinkage and increase the compressive strength of the bricks. The duration of burning bricks also affect the mechanical properties of the bricks. Based on the test results, obtained each of the best test values is the minimum porosity value was achieved at 5% percentage of rice husk ash is 18.5% with combustion for 24 hours. The minimum faired shrinkage value was achieved at a percentage 15% ash husk ash is 0.45% with combustion for 12 hours. The optimum compressive strength value achieved at a percentage of 5% rice husk ash is 4.1 N/mm^2 with 24 hours combustion.

Keywords: rice husk ash, bricks, porosity, fired shrinkage, compressive strength.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ratih Nurul Hidayati
NIM : 14306141015
Program Studi : Fisika
Judul TAS : **Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Campuran Terhadap Sifat Mekanik Batu Bata di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil penelitian dan karya saya sendiri, serta sepanjang sepengetahuan saya tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau telah dipergunakan dan diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas ini, kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 9 Juli 2018

Yang menyatakan,



Ratih Nurul Hidayati

NIM. 143061410115

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul

PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN CAMPURAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BATU BATA DI DESA GUNUNG CUPU, KECAMATAN SINDANGKASIH, KABUPATEN CIAMIS

Disusun oleh :

Ratih Nurul Hidayati

14306141015

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan

Ujian Akhir Tugas Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 9 Juli 2018

Disetujui,
Ketua Program Studi,


Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 196402051991011001

Dosen Pembimbing,



Rita Prasetyowati, M.Si.
NIP. 198007282006042001

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN CAMPURAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BATU BATA DI DESA GUNUNG CUPU, KECAMATAN SINDANGKASIH, KABUPATEN CIAMIS

Disusun oleh:
Ratih Nurul Hidayati
NIM. 14306141015

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal 26 Juli 2018

Dewan Penguji			
Nama	Jabatan	Tanda tangan	Tanggal
Rita Prasetyowati, S.Si., M.Si. NIP. 198007282006042001	Ketua Penguji		26 Juli 2018
W.S Brams Dwandaru, Ph.D NIP. 198001292005011003	Penguji Utama		26 Juli 2018
Bambang Ruwanto, M.Si NIP. 196512251991011001	Penguji Pendamping		26 Juli 2018

Yogyakarta, 26 Juli 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,
Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002



MOTTO

Sabisabisa. Kudu bisa. Pasti bisa.

Saya tidak gagal. Tapi saya menemukan sepuluh ribu cara yang tidak tepat

(Thomas A. Edison)

Bermimpilah seakan kau akan hidup selamanya. Hiduplah seakan kamu akan mati

hari ini (James Dean)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan untuk ...

“Ayah dan Mama tercinta yang selalu senantiasa memberi dukungan dan doa,

“Kakak dan adik-adikku yang selalu memberikan semangat dalam setiap lelahku,

“Sahabatku semua yang selalu memberikan motivasi dan kebahagian”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya terpanjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang besar. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Rasullulah Muhammad SAW, beserta para keluarga dan sahabatnya. Suatu kebahagiaan serta kebanggaan yang luar biasa bagi penulis karena skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Campuran Terhadap Sifat Mekanik Batu Bata di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis”** ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak akan dapat selesai dengan baik tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA UNY atas pemberian fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian skripsi ini.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta, yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.

4. Ibu Rita Prasetyowati, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu di sela-sela kesibukan dan memberikan bimbingan serta pengarahan selama penelitian berlangsung hingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak R. Yosi Aprian Sari, M.Si., selaku Penasehat Akademik yang selalu memberikan arahan dan motivasi.
6. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang senantiasa memberikan pengajaran dan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
7. Pabrik pengrajin batu bata di Ciamis, yang telah membantu dalam proses pembuatan batu bata.
8. Ayah dan Ibu tersayang yang senantiasa mendoakan yang terbaik serta memberikan kasih sayang, nasehat dan dukungan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Sahabat-sahabat saya Letdi, Adita dan Kiki yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
10. Teman-teman Fisika B 2014 yang selalu memberikan motivasi.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dalam penyusunan naskah skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharap saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, dan dapat menambah wawasan bagi pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 9 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Deskripsi Teori	7
1. Batu Bata Merah.....	7
2. Sekam Padi	21
3. Sifat Mekanik Batu Bata	24
B. Kerangka Berfikir	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
A. Waktu dan Tempat Penelitian	28

B. Alat dan Bahan Penelitian	28
C. Variabel Penelitian	29
D. Jenis Penelitian	30
E. Teknik Pengambilan Data.....	30
F. Teknik Analisis Data.....	33
G. Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
A. Hasil Pengujian Porositas	36
1. Pengaruh Persentase Abu Sekam Padi Terhadap Porositas Batu Bata...	38
2. Pengaruh Lama Waktu Pembakaran Terhadap Porositas Batu Bata.....	39
B. Hasil Pengujian Susut Bakar	40
1. Pengaruh Persentase Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Susut Bakar Batu Bata.....	43
2. Pengaruh Lama Waktu Pembakaran Terhadap Susut Bakar Batu Bata .	44
C. Hasil Pengujian Kuat Tekan	44
1. Pengaruh Persentase Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Batu Bata ..	47
2. Pengaruh Lama Waktu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Batu Bata..	48
BAB V PENUTUP.....	49
A. Kesimpulan.....	49
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN-LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (i) Batu bata sebelum di bakar (ii) Batu bata setelah di bakar	19
Gambar 2. Sekam Padi	21
Gambar 3. Abu Sekam Padi	23
Gambar 4. Skema UTM	32
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 6. Proses Bercampurnya Abu Sekam Padi dan Tanah Liat	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Kimia Tanah Liat	10
Tabel 2. Perubahan warna tanah liat setelah proses pembakaran	13
Tabel 3. Komposisi Kimia Sekam Padi	22
Tabel 4. Komposisi senyawa kimia abu sekam padi	23
Tabel 5. Kuat Tekan Rata-Rata Batu Bata.....	26
Tabel 6. Klasifikasi Kuat Tekan Batu Bata	26
Tabel 7. Variasi Komposisi Bahan	31
Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Pengujian Porositas Batu Bata pada Pembakaran selama 12 jam	37
Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Pengujian Porositas Batu Bata pada Pembakaran selama 24 jam	38
Tabel 10. Data Hasil Perhitungan Pengujian Susut Bakar Batu Bata pada Waktu Pembakaran Selama 12 jam	41
Tabel 11. Data Hasil Perhitungan Pengujian Susut Bakar Batu Bata pada Waktu Pembakaran Selama 24 jam.	42
Tabel 12. Data Hasil Perhitungan Pengujian Kuat Tekan Batu Bata pada Waktu Pembakaran Selama 12 jam	45
Tabel 13. Data Hasil Perhitungan Pengujian Kuat Tekan Batu Bata pada Waktu Pembakaran Selama 24 jam	46
Tabel 14. Hasil perhitungan porositas batu bata pada pembakaran 12 jam.....	56
Tabel 15. Hasil perhitungan porositas batu bata pada pembakaran 24 jam.....	57
Tabel 16. Hasil perhitungan susut bakar batu bata pada pembakaran 12 jam	59
Tabel 17. Hasil perhitungan susut bakar batu bata pada pembakaran 24 jam	60
Tabel 18. Hasil perhitungan kuat tekan batu bata pada pembakaran 12 jam.....	62
Tabel 19. Hasil perhitungan kuat tekan batu bata pada pembakaran 24 jam.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kebutuhan sarana dan prasarana terutama di bidang properti yang cukup tinggi merupakan pengaruh dari pertumbuhan penduduk. Hal ini menyebabkan permintaan akan bahan bangunan seperti batu bata juga semakin meningkat. Batu bata itu sendiri memiliki fungsi struktural dan non-struktural. Dalam fungsi struktural, batu bata memiliki arti sebagai penyangga atau pemikul beban pada konstruksi bangunan gedung. Pada bangunan konstruksi tingkat tinggi/gedung, batu bata berfungsi sebagai non-struktural yang dimanfaatkan untuk dinding pembatas dan estetika tanpa memikul beban yang ada di atasnya. Namun dalam proses pembuatan batu bata, para pengusaha batu bata hanya menggunakan jenis tanah tertentu demi menjaga kualitas produksi batu bata. Akibatnya bahan dasar tanah sebagai bahan utama dalam pembuatan batu bata lambat laun ketersediaannya semakin berkurang. Produksi batu bata merah tradisional juga masih banyak terdapat batu bata merah yang mudah retak. Hal ini dikarenakan batu bata menggunakan tanah liat murni tanpa campuran. Akibatnya, batu bata merah yang retak atau pecah sulit untuk dipasarkan.

Batu bata adalah batu buatan yang terbuat dari tanah liat dengan atau tanpa bahan campuran yang melalui beberapa proses. Proses tersebut meliputi pengeringan dengan cara dijemur dan kemudian dibakar dengan temperatur tinggi. Tujuannya agar batu bata mengeras dan tidak hancur jika terendam dalam air.

Tanah liat merupakan bahan dasar dalam pembuatan batu bata yang memiliki sifat plastis dan susut kering. Sifat plastis tanah liat sangat penting untuk mempermudah dalam proses awal pembuatan batu bata. Apabila tanah liat yang dipakai terlalu plastis, maka akan mengakibatkan batu bata yang dibentuk memiliki sifat kekuatan kering yang tinggi. Hal ini akan mempengaruhi kekuatan, penyusutan dan mempengaruhi hasil pembakaran batu bata yang sudah jadi (Sri Handayani, 2010). Kekuatan kering merupakan sifat tanah liat. Setelah dibentuk dan kondisinya cukup kering mempunyai kekuatan yang stabil, tidak berubah bila diangkat untuk keperluan *finishing*, pengeringan serta penyusunan dalam pembakaran. Kekuatan kering dipengaruhi oleh kehalusan butiran, jumlah air pembentuk, pencampuran dengan bahan lain dan teknik pembentukan.

Sekam padi merupakan salah satu bahan yang potensial digunakan di Indonesia karena produksi yang tinggi. Sekam padi merupakan hasil samping saat proses penggilingan padi dan menghasilkan limbah yang cukup banyak, yakni sebesar 20% dari berat gabah. Pemanfaatan sekam padi secara komersial di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih masih relatif rendah. Karakteristik sekam padi yaitu bersifat kasar, bernilai gizi rendah, memiliki kerapatan yang rendah, dan kandungan abu yang cukup tinggi. Bila sekam padi dibakar pada suhu terkontrol, abu sekam yang dihasilkan dari sisa pembakaran akan mengandung silika yang tinggi. Selama proses perubahan sekam padi menjadi abu, pembakaran menghilangkan zat-zat organik dan meninggalkan sisa yang kaya akan silika (Lakum, 2009).

Pemanfaatan batu bata dalam konstruksi bangunan perlu adanya peningkatan produk yang dihasilkan. Peningkatan yang dilakukan baik dari kualitas bahan material batu bata sendiri (material dasar tanah liat yang digunakan) maupun penambahan dengan bahan lain. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mencampur material dasar batu bata dengan menggunakan abu sekam padi yang merupakan limbah dari sisa pembakaran sekam padi.

Pada hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Anis Rahmawati (2015: 22) menunjukkan bahwa pada batu bata dengan campuran abu sekam padi, kuat tekan optimum dicapai pada kisaran persentase 5%-10% dengan lama pembakaran 18 jam. Porositas terendah dicapai pada penambahan abu sebanyak 10% dengan lama pembakaran 24 jam. Peneliti lain Miftakhul (2012) meneliti tentang pengaruh penambahan abu terhadap kualitas batu bata. Pada penelitian ini disimpulkan pada komposisi variasi tanah dengan abu $1 : \frac{1}{2}$ batu bata memiliki kualitas baik. Nilai porositas minimum yaitu sebesar 11,2%, kuat tekan optimum yaitu sebesar $30,5 \text{ kg/cm}^2$, dan susut bakar minimum yaitu sebesar 0,52%.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penulis melakukan penelitian mengenai pengaruh abu sekam padi sebagai bahan campuran batu bata terhadap sifat mekanik batu bata yang meliputi porositas, susut bakar, dan kuat tekan. Pemanfaatan dari limbah sekam padi ini diharapkan dapat menambah kualitas produksi batu bata tradisional maupun modern.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat diidentifikasi berbagai permasalahan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi tingkat kebutuhan bahan bangunan terutama batu bata oleh masyarakat menyebabkan ketersediaan bahan dasar tanah liat semakin menipis.
2. Pada pembuatan batu bata merah tradisional masih menggunakan tanah liat murni, sehingga masih banyak terdapat batu bata yang mudah retak.
3. Belum diketahui pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap sifat mekanik batu bata di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada identifikasi masalah di atas, batasan masalah dalam penelitian ini adalah tanah liat yang digunakan berasal dari Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis. Variasi persentase campuran abu sekam padi pada batu bata yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Lama waktu pembakaran dengan variasi waktu selama 12 jam dan 24 jam. Pengujian sifat mekanik pada batu bata meliputi pengujian porositas, susut bakar, dan kuat tekan.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai bahan campuran batu bata dan lama waktu pembakaran batu bata terhadap sifat mekanik batu bata ditinjau dari uji porositas, susut bakar, dan kuat tekan?
2. Berapa persentase penambahan abu sekam padi dan lama waktu pembakaran terbaik pada batu bata?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai bahan campuran batu bata dan lama waktu pembakaran batu bata terhadap sifat mekanik batu bata ditinjau dari uji porositas, susut bakar, dan kuat tekan.
2. Mengetahui persentase penambahan abu sekam padi dan lama waktu pembakaran terbaik untuk pada batu bata.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi mahasiswa, manfaat penelitian ini adalah memperdalam pengetahuan ilmu fisika terutama fisika material dan memperoleh pengetahuan tentang pengaruh abu sekam padi sebagai bahan campuran pada sifat mekanik batu bata.

2. Bagi para produsen industri batu bata terutama di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis, manfaat penelitian ini adalah agar dapat mengurangi penggunaan bahan utama pembuatan batu bata dan dapat memanfaatkan limbah abu sekam padi sebagai bahan alternatif campuran pembuatan batu bata yang sangat ekonomis.
3. Bagi masyarakat, manfaat penelitian ini adalah dapat mengetahui hasil batu bata yang berkualitas yang dapat dijadikan sebagai bahan bangunan yang bermutu baik dan ekonomis.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Batu Bata Merah

Batu bata merah adalah salah satu unsur bangunan dalam pembuatan konstruksi bangunan. Batu bata merah terbuat dari tanah liat ditambah air dengan atau tanpa bahan campuran lain. Beberapa tahap penggerjaan batu bata adalah menggali tanah, mengolah tanah, mencetak, mengeringkan, membakar pada temperatur tinggi hingga matang dan berubah warna. Jika didinginkan maka akan mengeras seperti batu dan tidak akan hancur bila direndam dalam air (Miftakhul, 2012).

Tanah liat merupakan bahan dasar dalam pembuatan batu bata yang memiliki sifat plastis dan susut kering. Sifat plastis tanah liat sangat penting untuk mempermudah dalam proses awal pembuatan batu bata. Plastisitas atau keliatan tanah liat ditentukan oleh kehalusan partikel-partikel tanah liat. Plastisitas berfungsi sebagai pengikat dalam proses pembentukan sehingga batu bata yang dibentuk tidak mengalami keretakan atau berubah bentuk. Sifat kekuatan kering merupakan sifat tanah liat yang setelah dibentuk dan kondisinya cukup kering mempunyai kekuatan yang stabil, tidak berubah bila diangkat untuk keperluan *finishing*, pengeringan serta penyusunan dalam pembakaran (Daryanto, 1994).

Bahan campuran atau bahan tambah dalam pembuatan batu bata digunakan untuk memperbaiki kualitas tanah liat yang akan dijadikan sebagai

bahan mentah. Hal ini supaya menjadi bahan yang plastis atau bahan yang mudah dibentuk. Bahan mentah batu bata terbuat dari bahan dasar berupa tanah liat dengan atau tanpa menggunakan bahan campuran. Bahan-bahan campuran yang biasa digunakan seperti abu sekam padi, pasir, abu layang (*fly ash*) dan serbuk gergaji. Batu bata mempunyai sifat-sifat fisika sebagai berikut (Van Flack, 1992) :

- a. Merupakan senyawa logam dan nonlogam.
- b. Senyawa ini mempunyai ikatan ionik dan/atau ikatan kovalen. Adanya ikatan ionik ini menyebabkan bahan keramik mempunyai stabilitas yang relatif tinggi dan tahan terhadap perubahan fisika dan kimia yang ekstrem.
- c. Pada umumnya keramik bersifat isolator.

Keramik seperti batu bata lainnya bersifat isolator karena memiliki elektron bebas yang sedikit bahkan tidak ada. Elektron-elektron ini berbagi dengan atom-atom yang berdekatan membentuk ikatan kovalen atau perpindahan electron valensi dari kation ke anion membentuk ikatan ion.

- d. Mempunyai modulus elastisitas yang tinggi.

Modulus elastisitas ini menyatakan tingkat kekakuan atau tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan regangan elastis. Keramik umumnya dianggap material yang getas dan tidak ulet. Sebelum dan sesudah patah, deformasi plastis yang dialami mikrostruktur hanya sedikit bahkan tidak ada sama sekali. Kekuatan keramik pada tegangan kompresi sangat baik, sehingga pada perancangan barang-barang keramik diusahakan agar pemakaian gaya bersifat kompresif. Sebaliknya kekuatan tarik keramik tidak menyolok bahkan rendah karena pengaruh cacat permukaan.

a. Bahan Penyusun Batu Bata

1) Tanah Liat (Lempung)

Tanah liat adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis. Tanah liat terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Tanah liat adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953).

Tanah liat mengandung leburan silika dan/atau aluminium yang halus. Salah satu sifat tanah liat yaitu dapat membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Tanah liat memiliki sifat-sifat yang khas yaitu bila dalam keadaan basah akan mempunyai sifat plastis tetapi bila dalam keadaan kering akan menjadi keras, sedangkan bila dibakar akan menjadi padat dan kuat (Wikipedia, 2013). Secara umum kandungan kimia pada tanah liat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Tanah Liat

Komponen	Jumlah (% berat)
SiO ₂	60,67 – 67,00
Al ₂ O ₃	15,18 – 26,00
Fe ₂ O ₃	2,90 – 7,83
CaO	0,11 – 0,79
Na ₂ O	0,07 – 0,56
K ₂ O	2,10 – 3,55
MnO	0,01 – 0,02
TiO ₂	0,97 – 1,18
MgO	1,10 – 1,20
P ₂ O ₅	0,036 – 0,805
SO ₃	0,47 – 0,55
BaO	0,11
ZnO	0,01
ZrO	0,01

(Sumber : Sultana *et al.* 2014)

Komponen-komponen utama dalam tanah liat antara lain (Hartono, 1987):

a) Silika

Silika dalam bentuk bebas adalah kwarsa, amorf, silika gel, flint, kalsedon.

Pengaruh silika dalam tanah liat adalah mengurangi keplastisan, susut kering, susut bakar, kekuatan tekan dan tarik, serta mengurangi ketahanan api. Silika dalam bentuk kombinasi alumina membentuk mineral-mineral tanah liat.

b) Alumina

Pengaruh alumina bebas dalam lempung antara lain mengurangi keplastisan, susut kering, susut bakar, dan meningkatkan sifat tahan api pada tanah liat.

c) Senyawa-senyawa yang mengandung alkali

Senyawa-senyawa ini umumnya berkombinasi dengan alumina. Senyawa alkali terpenting adalah senyawa silica atau alumina silica (*feldspar*, mika atau hidromika). Pengaruh utama dari senyawa-senyawa alkali ini adalah mengurangi sifat tahan api dan memudahkan kepadatan pada saat pembakaran.

d) Senyawa-senyawa besi

Senyawa-senyawa besi yang mungkin terdapat di dalam tanah liat adalah senyawa oksida besi (limonit, *hematite*), senyawa besi karbonat, dan senyawa sulfida besi. Pengaruh utama mineral-mineral besi ini pada tanah liat adalah mempengaruhi perubahan dalam warna dan mengurangi sifat tahan api dari tanah liat.

e) Mineral-mineral kalsium

Mineral-mineral kalsium yang terdapat di dalam tanah lempung adalah seperti kalsit, argonit, alumina silika, gypsum, anhidrit dan apatit. Pengaruh senyawa kalsium di antaranya bertindak sebagai pelebur, pada temperatur rendah (di bawah temperatur reaksi) akan menurunkan susut dan mempermudah pengeringan, memucatkan warna merah yang diakibatkan oleh senyawa besi, setelah tanah liat dibakar, senyawa kalsium sulfat dapat menyebabkan bengkak-bengkak pada badan batu bata merah.

f) Senyawa magnesium

Senyawa magnesium yang terdapat dalam lempung di antaranya magnesit, *dolomite*, dan epnosit. Senyawa magnesium ini mempunyai pengaruh pada tanah liat terutama akan mengurangi sifat tahan apinya.

g) Senyawa karbon

Terdapat dalam bentuk sisa-sisa tumbuhan dan senyawa-senyawa organik lainnya. Pengaruh bahan-bahan karbon pada tanah liat antara lain memberikan warna gelap sampai hitam dalam keadaan mentah, menghasilkan suasana reduksi dalam dapur waktu pembakaran, dan akan mempengaruhi warna serta bila pembakaran terlalu cepat membentuk inti hitam.

Tanah liat yang dibakar akan mengalami perubahan warna sesuai dengan zat-zat yang terkandung di dalamnya. Warna tanah liat bermacam-macam tergantung dari oxid-oxid yang terkandung dalam tanah liat, seperti alumunium, besi, karbon, mangan maupun kalsium. Tanah liat mengandung senyawa besi yang memberikan sifat warna merah setelah dibakar. Masing-masing tanah liat mengandung oksida besi yang bervariasi, oleh sebab itu sesudah dibakar maka akan memberikan warna yang berbeda pula. Senyawa-senyawa besi akan menghasilkan warna krem, kuning, merah, hitam dan coklat. Limonit merupakan senyawa besi yang sangat umum menghasilkan warna krem, kuning dan coklat. *Hematite* akan memberikan warna merah pada tanah liat. Senyawa besi silikat memberi warna hijau, senyawa mangan menghasilkan warna coklat, dan senyawa karbon memberikan warna biru, abu-abu, hijau atau coklat. Perubahan warna batu bata dari keadaan mentah sampai setelah dibakar biasanya sulit dipastikan (Sri

Handayani, 2010). Tabel 2 menunjukkan perkiraan perubahan warna tanah liat mentah setelah proses pembakaran.

Tabel 2. Perubahan warna tanah liat setelah proses pembakaran.

Warna tanah liat	Perubahan warna setelah di bakar
Merah	Merah atau coklat
Kuning tua	Kuning tua, coklat, atau merah
Coklat	Merah atau coklat
Putih	Putih atau putih kekuningan
Abu-abu atau hitam	Merah, kuning tua, atau putih
Hijau	Merah
Merah Kuning, abu-abu tua	Awal merah lalu krem, kuning tua atau kuning kehijauan pada saat melebur

(Sumber: Sri Handayani, 2010)

2) Air

Air merupakan bahan campuran yang sangat penting dalam proses pengikatan material-material yang digunakan untuk pembuatan batu bata. Air yang digunakan dalam pembuatan batu bata harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a) Air tawar dan berwarna bening.
- b) Air harus sadah tidak mengadung garam yang larut dalam air.
- c) Air cukup bersih dengan tidak mengandung minyak, asam, alkali, tidak mengandung banyak sampah, kotoran dan bahan organik lainya.

b. Proses Pembuatan Batu Bata

Batu bata memiliki susunan atom-atom yang belum tertata dengan baik

sehingga belum berbentuk kristal sempurna. Selama pembentukan batu bata, yang terjadi adalah susunan kristal belum sempurna yang ditandai dengan masih rapuhnya material batu bata (Van Flack, 1992).

Batu bata disusun oleh tanah liat yang terdiri dari lima lapis atom yang menyusun tebal pertikel tanah liat. Permukaan partikel lempung bertegangan residu, tidak terlalu luas dan tebalnya terbatas. Atom-atom permukaan cenderung masuk ke ruang untuk memperkecil energi permukaannya. Karena tipisnya partikel, ion-ion tidak tertarik ke dalam namun menjadi kutub yang memberi muatan positif dan negatif pada permukaan. Muatan ini diimbangi oleh jerapan fisik molekul air yang juga dapat membuat momen dipol. Air akan terikat dan tidak mudah lagi untuk bergerak. Partikel tanah liat dapat tumbuh menyamping, atau tumbuh searah bidang. Bagian tepi partikel merupakan ikatan putus sehingga dapat diimbangi dengan menarik air (Ramlı, 2007).

Tanah liat mempunyai permukaan amat luas karena sangat kecil ukuran partikelnya yaitu kurang dari $2\mu\text{m}$. Akibatnya, tanah liat sanggup mengikat air di sekelilingnya (E. Sutarmen, 2013). Air tidak mudah lagi dipisahkan dengan tanah liat kecuali dipanaskan di atas suhu 1.000°C . Air merupakan kunci cara pembentukan batu bata. Pada kandungan air sedikit (tak sampai 10%), air tidak cukup untuk mengimbangi muatan (dwikutub) fisika kimia pada partikelnya. Partikel-pertikel saling bersaing memperebutkan sehingga menempel kuat. Ketika tanah liat yang telah dicetak pada bahan cetakan dipanaskan pada suhu 800°C , maka partikel air menjadi berkurang karena penguapan sehingga ikatan antar atom pada tanah liat menjadi lebih kuat. Pada kandungan air tingkat sedang

(15%-25%), maka jumlah air cukup untuk mengimbangi muatan partikel. Kelebihan air ini juga berfungsi sebagai pelumas bagi tanah liatnya. Dengan kadar air sebesar ini, maka bahan liat menjadi lebih plastis. Pada kandungan air tinggi, air akan terikat di sekeliling partikel dan membentuk suspensi dan partikel tersebut akan bertolakan satu sama lain (Ramli, 2007).

Pada proses pembuatan batu bata, terdapat beberapa tahapan yang meliputi penggalian bahan mentah, pengolahan bahan, pembentukan, pengeringan, pembakaran, pendinginan, dan pemilihan (seleksi). Adapun tahap-tahap pembuatan batu bata, yaitu sebagai berikut (Miftakhul, 2012: 143-145):

1) Penggalian Bahan Mentah

Penggalian bahan mentah batu bata merah sebaiknya dicarikan tanah yang tidak terlalu plastis, melainkan tanah yang mengandung sedikit pasir untuk menghindari penyusutan. Penggalian tanah dilakukan dengan menggunakan alat tradisional, seperti cangkul. Penggalian dilakukan pada tanah lapisan paling atas kira-kira setebal 40-50 cm, sebelumnya tanah dibersihkan dari akar pohon, plastik, daun, dan sebagainya agar tidak ikut terbawa. Selanjutnya menggali sampai ke bawah sedalam 1,5-2,5 meter atau tergantung kondisi tanah. Tanah yang sudah digali dikumpulkan dan disimpan pada tempat yang terlindungi. Semakin lama tanah liat disimpan, maka akan semakin baik karena menjadi lapuk. Tahap tersebut dimaksudkan untuk membusukkan organisme yang ada dalam tanah liat.

2) Pengolahan Bahan Mentah

Tanah liat sebelum dibuat batu bata merah harus dicampur secara merata yang disebut dengan pekerjaan pelumatan. Pekerjaan pelumatan dilakukan secara manual dengan cara diinjak-injak oleh orang atau hewan dalam keadaan basah dengan kaki atau diaduk dengan tangan maupun alat traktor. Bahan campuran yang ditambahkan pada saat pengolahan harus benar-benar menyatu dengan tanah liat secara merata. Bahan mentah yang sudah jadi ini sebelum dibentuk dengan cetakan, terlebih dahulu dibiarkan selama 2 sampai 3 hari dengan tujuan memberi kesempatan partikel-partikel tanah liat untuk menyerap air agar menjadi lebih stabil, sehingga apabila dibentuk akan terjadi penyusutan yang merata.

3) Pembentukan Batu Bata

Bahan mentah yang telah dibiarkan 2-3 hari dan sudah mempunyai sifat plastisitas sesuai rencana, kemudian dibentuk dengan alat cetak yang terbuat dari kayu atau kaca sesuai ukuran standar SNI 15-2094-1991 atau SII-0021-78. Supaya tanah liat tidak menempel pada cetakan, maka cetakan kayu atau kaca tersebut dibasahi air terlebih dahulu. Lantai dasar pencetakan batu bata merah permukaannya harus rata dan ditaburi abu sekam padi. Langkah awal pencetakan batu bata yaitu meletakkan cetakan pada lantai dasar pencetakan. Tanah liat yang telah siap dibentuk dilemparkan pada bingkai cetakan dengan tangan dan ditekan-tekan sampai tanah liat memenuhi segala sudut ruangan pada bingkai cetakan. Selanjutnya mengangkat cetakan dan batu bata mentah hasil dari cetakan dibiarkan begitu saja agar terkena sinar

matahari. Batu bata mentah tersebut kemudian dikumpulkan pada tempat yang terlindung untuk diangin-anginkan.

4) Pengeringan Batu Bata

Pengeringan batu bata yang dibuat secara tradisional, proses pengeringannya mengandalkan kemampuan alam. Proses pengeringan batu bata akan lebih baik bila berlangsung secara bertahap agar panas dari sinar matahari tidak jatuh secara langsung, maka perlu dipasang penutup plastik. Apabila proses pengeringan terlalu cepat karena panas sinar matahari terlalu menyengat maka akan mengakibatkan retakan-retakan pada batu bata nantinya. Batu bata yang sudah berumur satu hari dari masa pencetakan kemudian dibalik. Setelah cukup kering, batu bata tersebut ditumpuk menyilang satu sama lain agar terkena angin. Proses pengeringan batu bata memerlukan waktu dua hari jika kondisi cuacanya baik. Pada kondisi udara lembab, maka proses pengeringan batu bata sekurang-kurangnya satu minggu.

5) Pembakaran Batu Bata

Pembakaran yang dilakukan tidak hanya bertujuan untuk mencapai suhu yang dinginkan, melainkan juga memperhatikan kecepatan pembakaran untuk mencapai suhu tersebut serta kecepatan untuk mencapai pendinginan. Selama proses pembakaran terjadi perubahan fisika dan kimia serta mineralogi dari tanah liat tersebut.

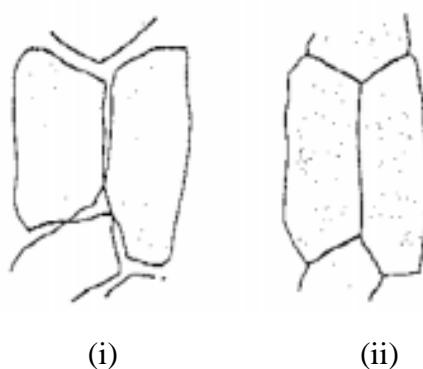
Proses pembakaran batu bata harus berjalan seimbang dengan kenaikan suhu dan kecepatan suhu, ada beberapa tahapan yang harus diperhatikan, yaitu:

- a) Tahap penguapan (pengeringan), yaitu pengeluaran air pembentuk, terjadi hingga temperatur kira-kira 120°C.
- b) Tahap oksidasi, terjadi pembakaran sisa-sisa tumbuhan (karbon) yang terdapat di dalam tanah liat. Proses ini berlangsung pada temperatur 650°C-800°C.
- c) Tahap pembakaran penuh. Bata dibakar hingga matang dan terjadi vitrifikasi hingga menjadi bata padat. Temperatur matang bervariasi antara 920°C-1.020°C tergantung pada sifat tanah liat yang dipakai.
- d) Tahap penahanan. Pada tahap ini terjadi penahanan temperatur selama 1-2 jam. Pada tahap 1, 2 dan 3 kenaikan temperatur harus perlahan-lahan agar tidak terjadi kerugian pada bata, di antaranya mudah pecah, terdapat warna hitam pada bata, pengembangan, dan lain-lain.

Proses pembakaran dipengaruhi oleh faktor-faktor ukuran partikel, temperatur, waktu, energi permukaan, dan lain-lain. Melalui proses ini terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butiran, peningkatan densitas dan penyusutan. Pada bahan keramik, terjadi beberapa perubahan pokok yaitu berkurangnya luas permukaan, berkurangnya volume bulk dan bertambahnya kekuatan.

Tanah liat yang permukaannya amat luas dan karena ukurannya sangat kecil, berakibat memiliki muatan besar pada permukaannya sehingga tanah liat sanggup mengikat baik secara fisik maupun kimia air di sekelilingnya. Air yang terjerap tidak mudah lagi dipisahkan dari tanah liat kecuali dengan dipanaskan hingga di atas 1.000°C. Air gugus hidroksida mulai

lepas pada suhu 600°C. Oleh karena itu, batu bata yang temperatur pembakarannya kurang dari 600°C akan mudah rapuh karena gugus hidroksidanya belum lepas dalam proses pembakaran akan terjadi pemampatan karena partikel-partikel tanah liat akan mengelompok menjadi bahan padat, permukaan bata akan menyusut, volume berukurang dan struktur bata akan bertambah kuat kemudian permukaan butir yang berdekatan akan saling menyatu (Pramono, 2014). Gambar 1 menunjukkan proses pembakaran pada batu bata.



Gambar 1. (i) Batu bata sebelum dibakar (ii) Batu bata setelah dibakar

(Sumber: Pramono, 2014)

Gambar diatas menunjukkan proses pembakaran pada pembuatan batu bata. Gambar 1 (i) merupakan partikel sebelum terbakar mempunyai dua permukaan terpisah yang berdekatan. Gambar 1 (ii) adalah setelah terbakar, butir-butir mempunyai satu batas. Gaya gerak untuk pembakaran adalah pengurangan luas permukaan (yang berarti pengurangan energi permukaan) (Pramono, 2014).

Dari Gambar 1, terdapat dua permukaan di antara setiap dua partikel sebelum pembakaran. Setelah sintering, terdapat batas butir tunggal. Kedua permukaan merupakan batas-batas energi tinggi; batas butir memiliki energi yang jauh lebih rendah. Jadi, reaksi ini terjadi dengan sendirinya jika suhu cukup tinggi sehingga atom-atom dalam jumlah yang signifikan dapat berdifusi. Partikel-partikel tersebut menjadi lebih rapat sehingga menghasilkan penyusutan dan reduksi porositas (Pramono, 2014).

Secara umum semakin tinggi dan semakin lama proses pembakaran, maka kualitas bata yang dihasilkan akan semakin baik. Temperatur yang ideal adalah dimana pada temperatur tersebut kristal silika akan meleleh secara efektif dan mengalami rekristalisasi secara sempurna. Pada pembuatan bata temperatur tersebut sulit dicapai, karena pembakarannya menggunakan bahan bakar langsung tanpa menggunakan ruang tanur (Pramono, 2014).

Bahan bakar yang digunakan saat pembakaran bata dapat berupa kayu atau sekam padi. Temperatur yang dapat dicapai pada pembakaran menggunakan kayu lebih baik dibanding dengan menggunakan sekam, di samping temperaturnya dapat lebih tinggi juga adanya unsur karbon, sehingga bata menjadi keras. Informasi bahan bakar yang digunakan pada bata asli penting untuk diketahui. Analisis terhadap batu bata asli perlu memperhatikan adanya sisa-sisa arang bahan pembakar yang sering kali masih menempel pada permukaan batu bata (Pramono, 2014).

Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme sintering antara lain adalah jenis bahan, komposisi, bahan pengotor, dan ukuran partikel.

Proses sintering dapat berlangsung apabila terjadi transfer materi diantara butiran yang disebut proses difusi dan terdapat sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi. Energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran sehingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna (Ristic, 1989; Randall, 1991).

2. Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua bentuk daun yaitu sekam kelopak dan sekam mahkota. Pada proses penggilingan padi, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan (Aziz, 1992). Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras (Nuryono dan Narsito, 2009). Gambar 2 menunjukkan sekam padi dari limbah penggilingan padi.



Gambar 2. Sekam Padi (*Sumber: litbang pertanian, 2017*)

Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur secara tidak langsung, melindungi biji, dan juga menjadi penghalang terhadap penyusupan jamur. Selain

itu sekam juga dapat mencegah bau yang tidak sedap (tengik) karena dapat melindungi lapisan tipis yang kaya minyak terhadap kerusakan mekanis selama pemanenan, penggilingan dan pengangkutan (Haryadi, 2006). Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah (Deptan, 2011).

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silika (Ismail and Waliuddin, 1996). Komposisi kimiawi yang terdapat dalam sekam padi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kimia Sekam Padi

Komponen	Berat (%)
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,36 – 29,04
Pentoda	16,94 – 21,95
Selulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

(Sumber: Ismunadji, 1988)

a) Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan limbah yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam padi. Bila abu sekam padi dibakar pada suhu terkontrol, abu sekam yang dihasilkan dari sisa pembakaran mempunyai sifat pozzolan

yang tinggi karena mengandung silika. Pada Gambar 3 menunjukkan abu sekam padi dari hasil pembakaran sekam padi.



Gambar 3. Abu Sekam Padi (*Sumber: litbang pertanian, 2017*)

Pada pembakaran sekam padi, semua komponen organik diubah menjadi gas karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) dan tinggal abu yang merupakan komponen anorganik (Amaria, 2012). Komposisi senyawa kimia pada abu sekam padi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi senyawa kimia abu sekam padi

Komposisi	Berat (%)
SiO_2	82,40 – 94,95
Al_2O_3	0,13 – 2,54
Fe_2O_3	0,03 – 0,67
CaO	0,54 – 2,42
Na_2O	0,25 – 0,77
K_2O	0,94 – 4,70
MnO	0,16 – 0,59
TiO_2	0,01 – 0,02
MgO	0,44 – 1,80
P_2O_5	0,74 – 3,30

(*Sumber: Habeeb and Mahmud, 2010*)

3. Sifat Mekanik Batu Bata

Untuk mengetahui sifat dan kemampuan suatu material maka perlu dilakukan pengujian dan analisis. Beberapa jenis pengujian sifat mekanik dan analisis yang dibahas untuk keperluan penelitian ini antara lain:

a. Porositas (Daya Serap Air)

Batu bata merupakan material yang bersifat higroskopis, artinya mudah menyerap air. Bata yang berkualitas tinggi akan memiliki daya serap yang rendah terhadap air dan kelembapan, sebaliknya bata yang berkualitas rendah akan memiliki daya serap yang tinggi terhadap air dan kelembapan. Umumnya bata dianggap baik bila memiliki daya serap air kurang dari 20% (Pramono, 2014).

Porositas pada suatu material dinyatakan dalam persen (%) rongga fraksi volume dari suatu rongga yang ada dalam material tersebut. Besarnya porositas pada suatu material bervariasi mulai dari 0% sampai dengan 90% tergantung dari jenis dan aplikasi material tersebut. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya, begitu pula sebaliknya. Untuk menghitung porositas digunakan persamaan: (Van Flack, 1992)

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{(Mb - Mk)}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{air}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan,

Mb = Massa basah benda uji (g).

Mk = Massa kering benda uji (g).

V_b = Volume benda uji (cm^3).

ρ_{air} = Massa jenis air (g/cm^3).

b. Susut Bakar

Susut bakar adalah perubahan dimensi atau volume bahan yang telah dibakar. Salah satu parameter yang menunjukkan terjadinya proses sintering atau pemanasan pada batu bata adalah penyusutan akibat adanya perubahan mikrostruktur (butir atau batas butir).

Menurut Suwardono (2002), nilai yang baik untuk susut bakar adalah kurang dari 2,5% untuk batu bata berbahan lempung. Untuk menentukan besarnya susut bakar digunakan persamaan: (Anwar Dharma, 2007)

$$\text{Susut Bakar (\%)} = \frac{I_0 - I_1}{I_0} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan,

I_0 = Panjang sampel uji sebelum dibakar (cm)

I_1 = Panjang sampel uji sesudah dibakar (cm)

c. Kuat Tekan

Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sampai terjadinya kegagalan (*failure*).

Persamaan kuat tekan: (E.P.Popov, 1995)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Keterangan,

σ = Tekanan (MPa).

P = Beban maksimum (N).

A = Luas bidang permukaan (mm^2).

Nilai kuat tekan menurut Standar Industri Indonesia (SII) tahun 1978 dibagi menjadi 6 kelas kekuatan yang diketahui dari besar kekuatan tekan yaitu kelas 25, kelas 50, kelas 150, kelas 200 dan kelas 250. Tabel 5 menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata batu bata.

Tabel 5. Kuat Tekan Rata-Rata Batu Bata

Kelas	Kuat Tekan Rata-Rata		Koefisien Variasi Izin
	Kg/cm²	N/mm²	
25	25	2,5	25%
50	50	5	22%
100	100	10	22%
150	150	15	15%
200	200	20	15%
250	250	25	15%

(Sumber: SII-0021-78)

Kualitas batu bata merah dapat dibagi atas tiga tingkatan dalam hal kuat tekan menurut SNI 15-2094-2000, seperti disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Kuat Tekan Batu Bata

Kelas	Kuat Tekan Rata-Rata		Koefisien Variasi Izin
	Kg/cm²	N/mm²	
50	50	5	22%
100	100	10	15%
150	150	15	15%

(Sumber: SNI 15-2094-2000)

B. Kerangka Berfikir

Limbah sekam padi hasil dari pabrik penggilingan padi di Desa Gunung Cupu, Ciamis ini terbilang cukup banyak. Sekam padi sendiri masih kurang dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. Untuk itu, sebagai usaha dalam pemanfaatan limbah sekam padi, maka peneliti menggunakan abu dari hasil pembakaran sekam padi. Abu sekam padi ini dapat diaplikasikan pada bidang konstruksi yaitu sebagai bahan campuran pada pembuatan batu bata merah. Alasan peneliti mengambil penelitian ini adalah selain untuk pemanfaatan limbah sekam padi, juga untuk meningkatkan kualitas mutu batu bata di daerah tersebut.

Berdasarkan berbagai masalah yang muncul pada latar belakang, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15% abu sekam padi sebagai bahan campuran terhadap sifat mekanik batu bata. Variasi lama waktu pembakaran yaitu selama 12 jam dan 24 jam.. Proses keseluruhan pembuatan sampel batu bata dilakukan di industri batu bata merah Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis. Hal ini peneliti lakukan agar data hasil pengujian benar-benar mewakili kondisi sebenarnya. Pengujian sifat mekanik ditinjau dari uji porositas, susut bakar, dan kuat tekan. Uji porositas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya serap air batu bata dengan cara perendaman batu bata selama 48 jam. Uji susut bakar untuk mengetahui berapa persentase penyusutan batu bata dengan melakukan pengukuran dimensi batu bata sebelum dan sesudah pembakaran. Uji kuat tekan dilakukan menggunakan mesin kuat tekan atau UTM (*Universal Testing Machine*).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari Januari 2018 sampai Mei 2018. Penelitian dilakukan di beberapa tempat, yaitu:

1. Pembuatan batu bata, pengujian porositas dan susut bakar dilakukan di industri batu bata tradisional di Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis.
2. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya :

- a. Cetakan kayu:
 - 1) Balok dengan ukuran panjang 22,5 cm, lebar 11 cm, dan tinggi 4 cm sebagai cetakan untuk sampel uji porositas dan susut bakar.
 - 2) Kubus dengan ukuran sisi 5 cm sebagai cetakan untuk sampel uji kuat tekan.
- b. Timbangan digital.
- c. Saringan.
- d. Gelas ukur 250 mL.

- e. Penggaris atau jangka sorong.
- f. Ember.
- g. Cangkul.
- h. UTM (*Universal Testing Machine*).

2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya:

- a. Abu sekam padi

Abu sekam padi yang digunakan berasal dari pabrik penggilingan padi di Desa Sindangkasih, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis.

- b. Tanah liat

Tanah liat yang digunakan adalah tanah liat yang berasal dari Desa Gunung Cupu, Kecamatan Sindangkasih, Kabupaten Ciamis. Tanah lempung yang digunakan sebanyak 1,40 kg dan 0,24 kg untuk pembuatan 1 sampel batu bata.

- c. Air sebanyak 150 mL dan 50 mL.

C. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan di dalam penelitian adalah:

- 1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah massa abu sekam dan waktu pembakaran.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai porositas, susut bakar, dan kuat tekan batu bata.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian adalah massa tanah liat dan volume air.

D. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase abu sekam padi dan lama pembakaran terhadap sifat mekanik batu bata. Batu bata merah tanpa campuran abu sekam padi dan batu bata merah dengan penambahan variasi persentase abu sekam padi diuji porositas, susut bakar, dan kuat tekannya. Pengujian porositas dilakukan dengan mengukur berat batu bata sebelum dan sesudah perendaman. Pengujian susut bakar dilakukan dengan mengukur dimensi panjang batu bata sebelum dan sesudah pembakaran. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat uji kuat desak atau *Universal Testing Machine*.

E. Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data dilakukan dalam beberapa tahap di antaranya:

1. Tahap persiapan penimbangan massa

Menimbang massa tanah liat dan massa abu sekam padi menggunakan timbangan digital dengan variasi persentase abu sekam padi yang akan ditambahkan yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% dari massa tanah liat yang

digunakan pada batu bata. Abu sekam yang telah ditimbang akan disaring menggunakan saringan.

2. Tahap persiapan pencampuran bahan

Mencampurkan seluruh bahan penyusun batu bata. Campuran bahan dasar dengan abu sekam dibagi empat jenis campuran, seperti disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Variasi Komposisi Bahan

Kode Sampel	Banyak sampel	Komposisi Campuran Sampel	
		Tanah liat (%)	Abu Sekam Padi (%)
A	18	100	0
B	18	95	5
C	18	90	10
D	18	85	15

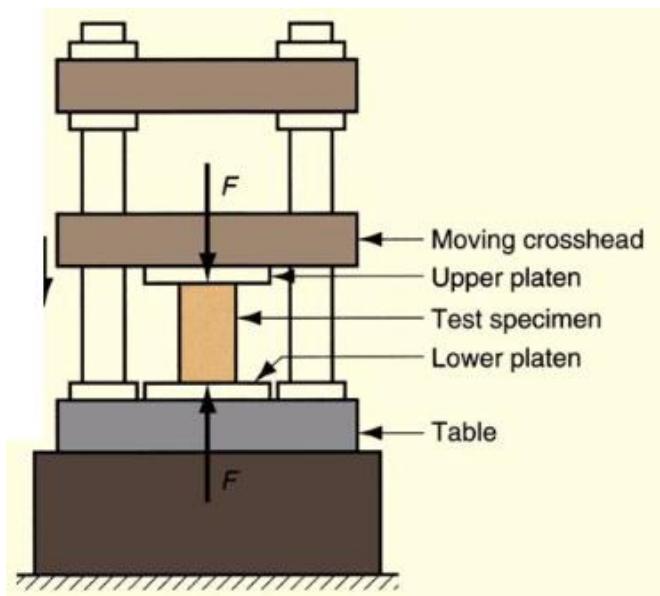
3. Tahap pembuatan dan pencetakan sampel batu bata.

- a. Campuran bahan diaduk secara merata.
- b. Campuran bahan dimasukkan ke dalam cetakan kayu berbentuk balok dengan ukuran panjang 22,5 cm, lebar 11 cm, dan tinggi 4 cm untuk uji susut bakar dan porositas.
- c. Campuran bahan dimasukkan ke dalam cetakan kayu berbentuk kubus dengan ukuran sisi 5 cm untuk uji kuat tekan.

4. Tahap pengeringan sampel batu bata selama 3 hari.

5. Tahap pembakaran batu bata dengan memvariasi waktu pembakaran yaitu selama 12 jam dan 24 jam.

6. Tahap pengujian sampel batu bata.
 - a. Pengujian porositas atau daya serap air dilakukan dengan menimbang massa sampel batu bata kering hasil pembakaran terlebih dahulu. Merendamnya dalam air selama 48 jam, setelah itu menimbang massa batu bata basah setelah perendaman.
 - b. Pengujian susut bakar dilakukan dengan mengukur panjang dan massa batu bata sebelum dan sesudah pembakaran.
 - c. Pengujian kuat tekan batu bata dengan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Prinsip kerja dari UTM yaitu dengan memberikan gaya tekan sedikit demi sedikit secara teratur pada benda semaksimal mungkin sampai benda tersebut retak atau patah. Gambar 4 menunjukkan skema dari alat uji kuat tekan menggunakan UTM.



Gambar 4. Skema UTM (Sumber: Simin Nasseri, 2015)

Langkah-langkah pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengukur panjang, lebar dan tinggi sampel yang akan diuji.
- 2) Meletakkan sampel di tengah area pembebanan pada permukaan mesin uji tekan.
- 3) Mengatur permukaan alat penekan pada mesin hingga bersentuhan dengan permukaan sampel.
- 4) Menyalakan UTM dan mesin akan memberi beban tekan otomatis yang bergerak secara konstan sampai mencapai beban maksimum.
- 5) Menghentikan proses uji tekan setelah sampel patah, kemudian melihat hasil rekaman data mesin UTM di monitor computer yang berupa grafik.
- 6) Mencatat parameter beban maksimum sampel yang diperoleh dari grafik hasil pengujian kuat tekan.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Analisis porositas sampel

Nilai porositas pada batu bata dapat diperoleh dari hasil pengukuran massa kering dan massa basah sampel yang masing-masing diukur menggunakan alat timbangan digital. Penentuan porositas pada sampel batu bata dapat dihitung menggunakan Persamaan (1). Setelah pengujian porositas maka selanjutnya dibandingkan nilai standar berdasarkan referensi.

2. Analisis susut bakar sampel

Nilai susut bakar diketahui dengan mengukur parameter dimensi panjang sebelum dan sesudah pembakaran sampel batu bata. Untuk menghitung susut bakar batu bata digunakan Persamaan (2). Selanjutnya membandingkan hasil pengujian dengan nilai standar berdasarkan referensi.

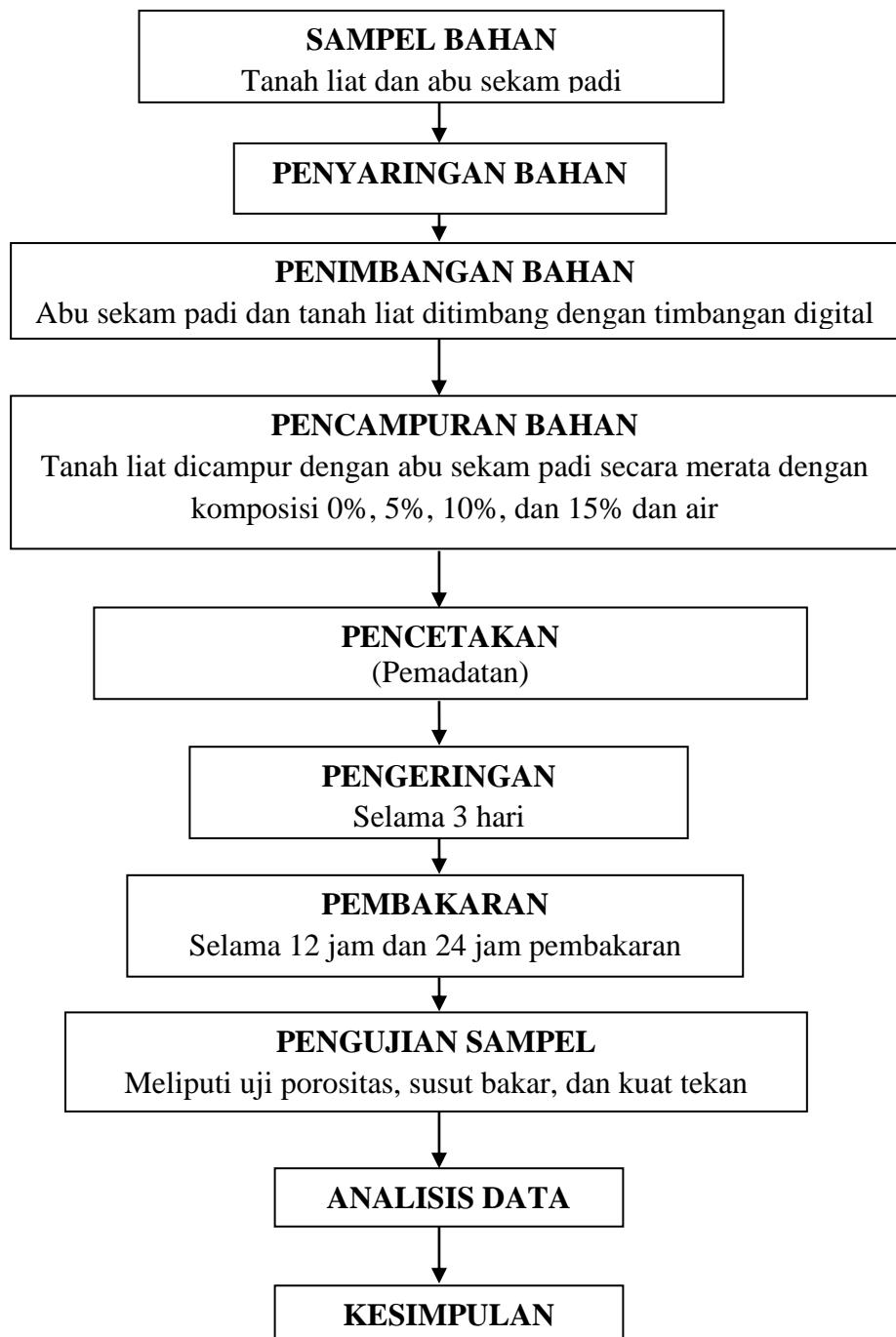
3. Analisis kuat tekan sampel

Untuk menghitung kuat tekan sampel diperlukan parameter terukur yaitu beban tekan (gaya tekan, F) dan luas bidang sampel batu bata. Penentuan kuat tekan batu bata digunakan Persamaan (3). Hasil dari pengujian sampel menggunakan UTM adalah berupa grafik data dari sebelum hingga sesudah diberikan beban tekan. Pada grafik tersebut akan diperoleh nilai beban tekan maksimumnya. Pengujian kuat tekan sampel maka selanjutnya dibandingkan nilai standar berdasarkan referensi atau standar nasional yang ditetapkan. Kekuatan tekan rata-rata batu bata dapat disesuaikan seperti Tabel 5, yaitu kuat tekan dan koefisien variasi batu bata merah yang diizinkan (SNI 15-2094-2000).

Semua hasil yang diperoleh dari penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik hubungan serta penjelasan-penjelasan yang diperoleh dari hasil pengujian. Hasil pengujian meliputi porositas, susut bakar, dan kuat tekan batu bata terhadap masing-masing campuran dengan variasi persentase abu sekam padi dan lama waktu pembakaran. Dari seluruh analisis hasil penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan berdasarkan tabel dan grafik yang telah ada terhadap hasil penelitian yang didapat.

G. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa proses dalam pembuatan dan pengujian batu bata. Gambar 5 menunjukkan langkah-langkah dari penelitian ini.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan dengan perendaman sampel batu bata pada suatu wadah berisi air selama 48 jam. Penentuan daya serap air pada batu bata dapat diperoleh dari hasil pengukuran massa kering dan massa basah batu bata yang masing-masing diukur menggunakan alat timbangan digital. Hasil perhitungan porositas batu bata seperti pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Pengujian Porositas Batu Bata pada Pembakaran selama 12 jam.

Persentase Campuran Abu	Massa Kering (gram)	Massa Basah (gram)	Porositas (%)	Rata-Rata Porositas (%)
0%	1340	1538	21,9	23,8
	1351	1570	25,3	
	1328	1535	24,1	
5%	1320	1495	18,8	19,1
	1288	1470	19,8	
	1310	1478	18,8	
10%	1239	1446	23,1	22,2
	1237	1443	22,6	
	1274	1478	20,9	
15%	1182	1409	23,8	23,0
	1209	1428	22,2	
	1229	1437	22,9	

Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Pengujian Porositas Batu Bata pada Pembakaran selama 24 jam.

Percentase Campuran Abu	Massa Kering (gram)	Massa Basah (gram)	Porositas (%)	Rata- Rata Porositas (%)
0%	1320	1513	22,7	23,2
	1334	1528	23,1	
	1300	1510	23,9	
5%	1263	1428	17,6	18,5
	1271	1437	18,3	
	1270	1445	19,5	
10%	1224	1430	22,2	20,7
	1294	1425	14,5	
	1187	1415	25,5	
15%	1166	1409	26,6	23,0
	1165	1373	22,8	
	1170	1350	19,5	

Tabel 8 dan Tabel 9 menunjukkan hasil pengujian porositas batu bata dengan penambahan abu sekam padi. Pada waktu pembakaran selama 12 jam untuk komposisi abu sekam padi 0% nilai porositasnya yaitu 23,8%. Untuk penambahan abu sekam padi 5%, 10%, dan 15% berturut-turut nilai porositasnya adalah 19,1%, 22,2% dan 23,0%. Pada lama pembakaran selama 24 jam untuk komposisi abu sekam padi 0% nilai porositasnya yaitu 23,2%. Untuk penambahan abu sekam padi 5%, 10%, dan 15% berturut-turut nilai porositasnya adalah

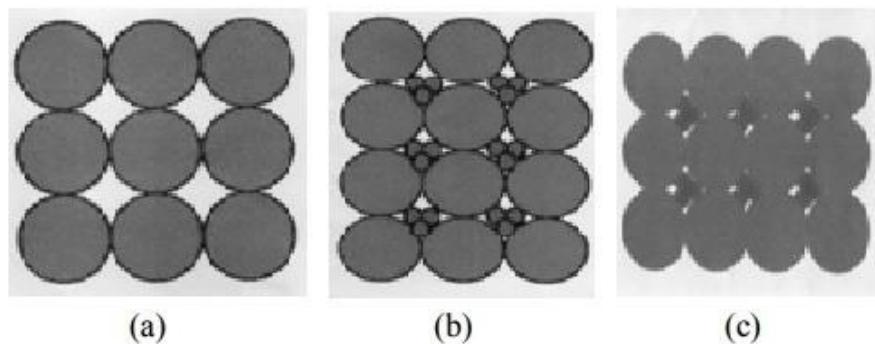
18,5%, 20,7% dan 23,0%. Dari hasil pengujian porositas, batu bata yang memiliki komposisi abu sekam padi sebanyak 5% dengan lama pembakaran 24 jam mempunyai nilai porositas paling kecil yaitu 18,5%. Berdasarkan referensi porositas batu bata maksimal adalah 20% (Romadhona, 2007). Hal ini berarti batu bata yang telah dibuat telah memenuhi persyaratan porositas sesuai referensi.

1. Pengaruh Persentase Abu Sekam Padi Terhadap Porositas Batu Bata

Berdasarkan data hasil pengujian porositas pada Tabel 8 dan Tabel 9 menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi pada persentase tertentu akan menurunkan porositas batu bata, namun setelah melewati batas optimum variasi penambahan abu akan menaikkan porositasnya. Pada penambahan abu sekam padi 0%-5% terjadi penurunan porositas. Hal ini disebabkan oleh susunan SiO_2 yang terdapat pada tanah liat dan abu mencapai kestabilan susunan molekul, yang berarti penggabungan partikel semakin rapat karena pori-pori dapat terisi penuh. Sedangkan pada penambahan abu sekam padi sebanyak 10%-15% terjadi kenaikan porositas. Hal ini disebabkan oleh adanya rongga yang terdapat pada batu bata yang dihasilkan dari penambahan abu. Abu yang dibakar akan menguap dan meninggalkan rongga pada tanah liat sehingga menghasilkan porositas batu bata yang besar. Seiring penambahan persentase abu sekam padi maka rongga yang dihasilkan oleh sisa pembakaran semakin banyak sehingga porositas batu bata semakin meningkat. Dari hasil pengujian porositas, batu bata dengan komposisi abu sekam padi 5% dengan pembakaran selama 24 jam memiliki nilai porositas minimum yaitu sebesar 18,5%.

1. Pengaruh Lama Waktu Pembakaran Terhadap Porositas Batu Bata

Kecenderungan hubungan antara lama pembakaran dengan porositas batu bata pada masing-masing variasi penambahan abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9. Berdasarkan hasil pengujian porositas, lama waktu pembakaran yang efektif pada batu bata dengan nilai porositas yang kecil adalah pada waktu pembakaran selama 24 jam.



Gambar 6. Proses Bercampurnya Abu Sekam Padi dan Tanah Liat

(M.Abdullah, dkk, 2009)

Gambar 6 mengilustrasikan kondisi dari tanah liat. Gambar 6 (a) merupakan kondisi tanah liat tanpa abu, Gambar 6 (b) menunjukkan kondisi tanah liat jika diberi campuran abu, dan Gambar 6 (c) adalah tanah liat serta abu yang telah dibakar. Tampak bahwa jika tanah liat tanpa tambahan abu akan menyisakan rongga-rongga kosong. Setelah ditambah abu, rongga yang kosong tadi diisi oleh butiran abu. Setelah dibakar maka butiran abu dan tanah liat akan merapat.

Semakin lama waktu pembakaran dapat menurunkan porositas batu bata. Hal ini dikarenakan lamanya waktu pembakaran menyebabkan penguapan yang berlebih pada tanah liat sehingga partikel-partikel tanah liat saling merapat untuk mengisi pori yang kosong akibat penguapan. Namun pada persentase komposisi

abu sekam padi 10%-15% menyebabkan porositas yang semakin naik. Hal ini disebabkan oleh waktu pembakaran yang terlalu lama menyebabkan abu terbakar sehingga meninggalkan pori yang banyak pada tanah liat yang berakibat pada porositas yang besar juga.

B. Hasil Pengujian Susut Bakar

Pengujian susut bakar bertujuan untuk mengetahui penyusutan dimensi panjang batu bata pada lama pembakaran selama 12 jam dan 24 jam. Ketentuan susut bakar paling baik adalah tidak lebih dari 2,5% (Suwardono, 2002). Semakin kecil nilai susut bakar maka batu bata yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. Hasil perhitungan susut bakar batu bata seperti pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Data Hasil Perhitungan Pengujian Susut Bakar Batu Bata pada Pembakaran Selama 12 jam.

Persentase Campuran Abu	Panjang awal (cm)	Panjang Akhir (cm)	Susut Bakar (%)	Rata-Rata (%)
0%	22,3	21,8	2,24	1,65
	22,0	21,7	1,36	
	22,2	21,9	1,35	
5%	22,5	22,4	0,44	0,45
	22,4	22,3	0,45	
	22,3	22,2	0,45	
10%	22,5	22,3	0,89	0,74
	22,2	22,1	0,45	
	22,4	22,2	0,89	
15%	22,4	22,3	0,45	1,04
	22,4	22,1	1,34	
	22,3	22,0	1,35	

Tabel 11. Data Hasil Perhitungan Pengujian Susut Bakar Batu Bata pada Pembakaran Selama 24 jam.

Percentase Campuran Abu	Panjang awal (cm)	Panjang Akhir (cm)	Susut Bakar (%)	Rata-Rata (%)
0%	22,2	21,7	2,25	2,11
	22,2	21,7	1,25	
	22,0	21,6	1,82	
5%	22,4	22,2	0,89	0,89
	22,4	22,2	0,89	
	22,3	22,1	0,90	
10%	22,5	22,4	0,44	0,89
	22,4	22,0	1,79	
	22,2	22,1	0,45	
15%	22,3	21,9	1,79	1,34
	22,1	22,0	0,45	
	22,4	22,0	1,79	

Hasil pengujian susut bakar batu bata pada lama pembakaran 12 jam yaitu batu bata dengan penambahan abu sekam padi 0% memiliki nilai susut bakar sebesar 1,65%. Untuk batu bata dengan campuran abu sekam padi 5%, 10%, dan 15% berturut-turut nilai susut bakarnya adalah 0,45%, 0,47%, dan 1,04%. Pada pengujian susut bakar pada lama pembakaran 24 jam yaitu batu bata dengan penambahan abu sekam padi 0% memiliki nilai susut bakar sebesar 2,11%. Untuk batu bata dengan penambahan abu sekam padi 5%, 10%, dan 15% berturut-turut nilai susut bakarnya adalah 0,89%, 0,89%, dan 1,34%. Dari hasil pengujian susut

bakar batu bata menunjukkan rata-rata nilai susut bakar yang kurang dari 2,5%. Hal ini berarti nilai susut bakar sudah sesuai referensi yaitu kurang dari 2,5% (Suwardono, 2002).

1. Pengaruh Persentase Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Susut Bakar Batu Bata

Berdasarkan Tabel 10 dan Tabel 11 dapat dilihat bahwa pada penambahan abu sekam padi dengan persentase tertentu akan menurunkan susut bakar. Namun penambahan abu diperbanyak lagi dapat menaikkan susut bakarnya. Penurunan susut bakar batu bata terjadi pada komposisi abu sekam padi antara 0%-5%. Hal ini disebabkan oleh susunan SiO_2 telah mencapai kestabilan molekul. Sehingga menyebabkan penyusutan dimensi panjang pada batu bata yang sedikit. Adapun kenaikan susut bakar terjadi pada komposisi abu sekam padi antara 10%-15%. Hal ini disebabkan oleh tanah liat yang terlalu banyak mengikat abu, sedangkan abu ikut bereaksi dengan panas pembakaran sehingga menjadi bahan bakar bagi tanah liat. Hal tersebut mengakibatkan susut bakar yang semakin meningkat karena partikel dari tanah liat mengantikan hilangnya abu yang terbakar. Sehingga partikel-partikel tanah liat semakin merapat dan mengakibatkan berkurangnya panjang batu bata. Dari hasil pengujian susut bakar batu bata, persentase abu sekam padi yang baik dengan nilai susut bakar yang kecil adalah pada persentase 5% abu sekam padi dengan waktu pembakaran selama 12 jam.

2. Pengaruh Lama Waktu Pembakaran Terhadap Susut Bakar Batu Bata

Berdasarkan pada Tabel 10 dan Tabel 11 lama waktu pembakaran yang efektif dengan nilai susut bakar terbaik adalah pada waktu pembakaran batu bata selama 12 jam. Dari hasil pengujian batu bata, nilai susut bakar meningkat seiring dengan bertambahnya lama pembakaran. Hal ini disebabkan oleh air pembentuk dari sisa pengeringan batu bata mengalami penguapan yang banyak dengan bertambahnya lama pembakaran. Sehingga ikatan antar partikel tanah liat semakin rapat yang mengakibatkan dimensi panjang batu bata menjadi sedikit yang berarti susut bakar semakin besar.

C. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada proses perhitungan kuat tekan batu bata diperlukan parameter hasil pengukuran yaitu luas bidang batu bata dan beban tekan maksimum. Kedua parameter tersebut diukur dengan menggunakan alat yaitu untuk luas bidang menggunakan mistar (panjang dan lebar) dan beban tekan menggunakan mesin kuat tekan. Hasil pengujian kuat tekan seperti pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Data Hasil Perhitungan Pengujian Kuat Tekan Batu Bata pada Waktu Pembakaran Selama 12 jam

Percentase Campuran Abu	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-Rata Kuat Tekan (N/mm ²)
0%	2304	3,96	1,7	1,9
	2209	4,64	2,1	
	2256	4,30	1,9	
5%	2450	6,30	2,6	2,7
	2450	7,40	3,0	
	2450	5,89	2,4	
10%	2352	5,07	2,2	2,2
	2352	4,96	2,1	
	2350	5,67	2,4	
15%	2304	4,82	2,1	2,1
	2352	4,82	2,0	
	2256	4,84	2,1	

Tabel 13. Data Hasil Perhitungan Pengujian Kuat Tekan Batu Bata pada Waktu Pembakaran Selama 24 jam

Percentase Campuran Abu	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata-Rata Kuat Tekan (N/mm ²)
0%	2256	5,92	2,6	2,7
	2209	5,92	2,7	
	2209	6,00	2,7	
5%	2450	11,00	4,5	4,1
	2401	9,67	4,0	
	2401	9,13	3,8	
10%	2304	7,50	3,3	3,3
	2256	7,38	4,0	
	2350	7,91	2,6	
15%	2304	6,07	2,6	2,9
	2256	7,26	3,2	
	2256	6,14	3,7	

Tabel 12 dan Tabel 13 menunjukkan hasil perhitungan pengujian kuat tekan batu bata dengan penambahan abu sekam padi. Pada waktu pembakaran selama 12 jam untuk persentase 0% abu sekam padi nilai kuat tekannya yaitu 1,9 N/mm². Nilai kuat tekan batu bata dengan penambahan abu sekam padi sebesar 5%, 10%, dan 15% berturut-turut adalah 2,7 N/mm², 2,2 N/mm² dan 2,1 N/mm². Pada waktu pembakaran selama 24 jam untuk persentase 0% abu sekam

padi nilai kuat tekannya yaitu $2,7 \text{ N/mm}^2$. Nilai kuat tekan batu bata dengan penambahan abu sekam padi sebesar 5%, 10%, dan 15% berturut – turut adalah $4,1 \text{ N/mm}^2$, $3,3 \text{ N/mm}^2$, dan $2,9 \text{ N/mm}^2$. Dari hasil pengujian kuat tekan, batu bata yang memiliki komposisi abu sekam padi sebanyak 5% dengan lama pembakaran 24 jam memiliki kuat tekan maksimum yaitu sebesar $4,1 \text{ N/mm}^2$. Nilai kuat tekan tersebut sesuai dengan referensi yaitu termasuk kelas 2,5 dengan kuat tekan rata-rata lebih dari $2,5 \text{ N/mm}^2$ (SII-0021-1978).

1. Pengaruh Persentase Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Batu Bata

Pada Tabel 12 dan 13 dapat dilihat hubungan antara persentase penambahan abu sekam padi dengan kuat tekan batu bata. Pada penambahan abu sekam padi menunjukkan kondisi di mana kuat tekan batu bata optimum dicapai pada persentase abu sebanyak 5%. Hal ini disebabkan karena ruang kosong antar partikel tanah liat diisi oleh partikel abu. Sehingga terbentuk ikatan baru yang bekerja pada tanah liat yaitu ikatan antar partikel tanah liat dan ikatan antara partikel tanah liat dengan abu. Namun setelah melewati batas penggantian persentase yaitu pada komposisi abu sekam padi antara 10%-15% terjadi penurunan kuat tekan batu bata. Hal ini disebabkan karena adanya ikatan yang tidak sempurna, yaitu ikatan antar abu itu sendiri. Karena ikatan antar abu lebih lemah dari ikatan tanah liat dengan abu, sehingga ketika persentase penambahan abu sekam padi diperbanyak lagi maka ikatan antar abu akan semakin banyak dan menyebabkan batu bata rapuh. Selain itu, penurunan nilai kuat tekan batu bata

jugabisa disebabkan kandungan senyawa kimia Al_2O_3 pada tanah liat yang sedikit akibat tanah liat dicampur dengan abu sekam padi, dimana senyawa kimia alumina ini hanya terdapat pada tanah liat. Dalam hal ini alumina (Al_2O_3) berfungsi sebagai perekat. Semakin banyak penambahan abu sekam padi maka abu sekam padi tersebut menjadi sampah bukan lagi zat aditif karena alumina tidak dapat lagi berfungsi sebagai perekat.

2. Pengaruh Lama Waktu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Batu Bata

Hubungan antara lama waktu pembakaran dengan kuat tekan batu bata pada masing-masing variasi persentase penambahan abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13. Dimana kuat tekan batu bata terus meningkat seiring bertambahnya lama pembakaran. Kuat tekan batu bata optimum dicapai pada lama waktu pembakaran 24 jam. Semakin lama waktu pembakaran batu bata maka air yang mengisi pori tanah liat menguap dan menyebabkan partikel-partikel tanah liat merapat dan saling mengisi pori yang kosong dari tanah liat. Selain itu penambahan abu dengan persentase tertentu difungsikan sebagai pengisi ruang kosong atau pori antar partikel tanah liat.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan abu sekam padi dengan persentase komposisi 5% sampai 15% dapat mempengaruhi sifat mekanik batu bata yaitu menurunkan porositas dan susut bakar serta meningkatkan kuat tekan batu bata. Sedangkan lama pembakaran batu bata juga berpengaruh terhadap sifat mekanik batu bata yaitu untuk porositas, semakin lama pembakaran maka dapat menurunkan porositas batu bata. Pada susut bakar, semakin singkat lama pembakaran maka dapat menurunkan susut bakar batu bata. Pada kuat tekan, semakin lama pembakaran maka dapat menaikkan kuat tekan batu bata.
2. Persentase penambahan abu sekam padi dan lama waktu pembakaran terbaik berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik batu bata yaitu nilai porositas minimum dicapai pada persentase abu sekam padi sebanyak 5% dengan pembakaran selama 24 jam yaitu sebesar 18,5%. Nilai susut bakar minimum dicapai pada persentase abu sekam padi sebanyak 5% dengan pembakaran selama 12 jam yaitu sebesar 0,45%. Nilai kuat tekan optimum dicapai pada persentase abu sekam padi sebanyak 5% dengan pembakaran selama 24 jam yaitu sebesar $4,1 \text{ N/mm}^2$.

B. Saran

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Sebaiknya terlebih dahulu untuk melakukan pengujian tanah yang akan digunakan untuk mengetahui kandungan atau komposisi di dalamnya.
2. Untuk penelitian yang lebih lanjut sebaiknya dilakukan variasi komposisi abu sekam padi yang lebih banyak lagi.
3. Pada penelitian ini digunakan variasi waktu pembakaran selama 12 jam dan 24 jam, oleh karena itu disarankan menggunakan waktu pembakaran yang lebih bervariasi lagi untuk melihat karakteristik bahan batu bata pada saat pengujian parameter yang ditentukan.
4. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat meninjau suhu pembakaran dan reaksi kimia dalam pencampuran, pengadukan, dan pembakaran sehingga dapat menyempurnakan penelitian-penelitian yang terdahulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaria. 2012. *Adsorpsi Ion Sianida dalam Larutan Menggunakan Adsorben Hibrida Aminopropil Silika Gel dari Sekam Padi Terimpregnasi*. Jurnal Manusia dan Lingkungan. 19, 1. 56-65.
- Anis Rahmawati, Ida Nugroho. 2015. *Penambahan Abu Jerami dan Abu Sekam Padi Pada Campuran Batu Bata untuk Meningkatkan Kualitas Efisiensi Produksi Batu Bata Industri Tradisional*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Azis, S.A, Krisantini, Winarso D. Widodo dan Aris munandar. 1992. *Studi pemanfaatan sekam, serbuk gergaji, kulit kayu dan kulit kacang tanah sebagai media tanam dalam wadah*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Daryanto. 1994. *Pengetahuan Teknik Bangunan*. Penerbit: Rineka Cipta, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1978. *Mutu dan Uji Bata Merah Pejal (SII-0021-78)*. Bandung : Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pertanian [Deptan]. 2011. *Basis data statistik pertanian*. <http://aplikasi.deptan.go.id> . Diakses tanggal 15 Januari 2018.
- E. Sutarmi. 2013. *Matematika Teknik*. Yogyakarta: Andi.
- Flack, Van. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam) Edisi kelima*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Grim, R.E. 1953. *Clay mineralogy*. Mc Graw Hill Book Company Inc: New York.
- Habeeb, G.A. and Mahmud, H. 2010. *Study On Properties Of Rice Husk Ash And Its Use As Cement Replacement Material*. Journal of Materials. 13:185-190.
- Handayani, Sri. 2010. *Kualitas Batu Bata Merah Dengan Penambahan Serbuk Gergaji*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jtsp/article/view/1339> . Diakses pada 15 Januari 2014.
- Hartono, 1987. *Perkiraan Perubahan Tanah Lempung Setelah Proses Pembakaran*. Bandung.
- Haryadi. 2006. *Teknologi Pengolahan Beras*. Gadjah Mada University Press.
- Ismail, M. S., and Waliuddin, A. M., 1996, *Effect of Rice Husk Ash on High Strength Concrete, Construction and Building Materials*, 10, 521– 526.
- Ismunadji, M. 1988. *Padi Buku I*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

- Lakum, K.C. 2009, *Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Untuk Peningkatan Kekuatan Beton*. Skripsi. FMIPA USU, Medan.
- Litbang. 2017. *Sekam Padi untuk Bangunan dan Bahan Bakar*. <http://www.litbang.pertanian.go.id/>. Diakses pada 9 April 2018.
- Miftakhul Huda, Erna Hastuti. 2012. *Pengaruh Temperatur Pembakaran Dan Penambahan Abu Terhadap Kualitas Batu Bata*. UIN Maliki Malang. Jurnal Neutrino Vol.4, No. 2.
- Nasseri, Simin. 2015. *Manufacturing Processes*. Southern Polytechnic State University.
- Nuryono, Narsito, dan Sutarno. 2004. *Penggunaan NaOH dan Na₂CO₃ pada Pembuatan Silika Gel dari Abu Sekam Padi*. Seminar Nasional MIPA. Yogyakarta : Fakultas MIPA UNY.
- Popov.E.P, 1995, Mekanika Teknik, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Pramono, Susatyo Adi, dkk. 2014. “Sampah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batu Bata”. Semnas Entrepreneurship: h. 275-294.
- Ramli & Djamas, Djusmaini, 2007. “Pengaruh Pemberian Material Limbah Serat Alami Terhadap Sifat Fisika Bata Merah”. *Skripsi*. Padang.
- Randall. 1991. *Engineered Materials Handbook*, ed. By Samuel J. Schneider, Jr. ASM International Handbook Committe, USA. Vol. 4 hal 97-99.
- Ristic, M.M. 1989. *New Development-Sintering*. Elsevier Publishing. Netherland. Vol. 4, pp. 3-7.
- Sembiring, Anwar Dharma. 2007. *Teori Pengantar Keramik*. Medan.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. *Bata Merah Pejal Untuk Pasangan Dinding*. SNI 15-2094-2000.
- Sultana, M.S., Hossain, M.I., Rahman, A., and Khan, M.H., 2014. *Influence of Rice Husk Ash and Fly Ash on Properties of Red Clay*. Journal Of Scientific Research, 6 (3), 421–430.
- Suwardono. 2002. *Mengenal Pembuatan Bata, Genteng Berglasir*. VC, Yrama Widya Bandung.
- Wikipedia. 2013. *Tanah Liat*. <https://id.wikipedia.org/>. Diakses pada 10 Maret 2018.

LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

	
Tanah liat	Abu sekam padi
	
Proses pencampuran bahan	Proses pencetakan
	
Proses pengeringan selama 3 hari	Proses pembakaran batu bata



Pengujian porositas

Pengujian kuat tekan



Sampel batu bata bentuk balok

Sampel batu bata bentuk kubus

Lampiran 2. Perhitungan Data Hasil Pengujian

A. Analisis Uji Porositas

NST timbangan = 1 gr

$$\Delta m_b = \Delta m_k = \frac{1}{2} \times \text{NST timbangan} = \frac{1}{2} \times 1 = 0,5 \text{ gr}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

1. Perhitungan volume sampel

$$V = p \times l \times t$$

Perhitungan ketidakpastian volume

$$\Delta V = \sqrt{\left| \frac{\delta V}{\delta p} \right|^2 |\Delta p|^2 + \left| \frac{\delta V}{\delta l} \right|^2 |\Delta l|^2 + \left| \frac{\delta V}{\delta t} \right|^2 |\Delta t|^2}$$

$$\Delta V = \sqrt{|lxt|^2 |\Delta p|^2 + |pxt|^2 |\Delta l|^2 + |pxl|^2 |\Delta t|^2}$$

2. Perhitungan porositas sampel

$$P (\%) = \frac{m_b - m_k}{V_b} \times \frac{1}{\rho_{\text{air}}} \times 100\%$$

Perhitungan ketidakpastian porositas

$$\Delta P = \sqrt{\left| \frac{\delta P}{\delta m_b} \right|^2 |\Delta m_b|^2 + \left| \frac{\delta P}{\delta m_k} \right|^2 |\Delta m_k|^2 + \left| \frac{\delta P}{\delta V_b} \right|^2 |\Delta V_b|^2 + \left| \frac{\delta P}{\delta \rho} \right|^2 |\Delta \rho|^2}$$

$$\Delta A = \sqrt{\left| \frac{1}{V_b \rho} \right|^2 |\Delta m_b|^2 + \left| \frac{-1}{V_b \rho} \right|^2 |\Delta m_k|^2 + \left| -\frac{(m_b - m_k)}{V_b^2 \rho} \right|^2 |\Delta V_b|^2 + 0}$$

Tabel 14. Hasil perhitungan porositas batu bata pada pembakaran 12 jam

m_k (gr)	m_b (gr)	p (cm)	l (cm)	t (cm)	$V_b \pm \Delta V_b$ (cm ³)	$P \pm \Delta P$ (%)	$\bar{P} \pm \bar{\Delta P}$ (%)
0% Abu Sekam Padi							
1340	1538	21,8	10,9	3,8	$903,0 \pm 12,8$	$21,9 \pm 0,3$	$23,8 \pm 0,3$
1351	1570	21,7	10,5	3,8	$865,8 \pm 12,3$	$25,3 \pm 0,4$	
1328	1535	21,9	10,6	3,7	$858,9 \pm 12,4$	$24,1 \pm 0,4$	
5% Abu Sekam Padi							
1320	1495	22,1	10,8	3,9	$930,9 \pm 12,9$	$18,8 \pm 0,3$	$19,1 \pm 0,3$
1288	1470	22,0	10,7	3,9	$918,1 \pm 12,7$	$19,8 \pm 0,3$	
1310	1478	22,0	10,7	3,8	$894,5 \pm 12,7$	$18,8 \pm 0,3$	
10% Abu Sekam Padi							
1239	1446	22,4	10,8	3,7	$895,1 \pm 12,9$	$23,1 \pm 0,3$	$22,2 \pm 0,3$
1237	1443	22,2	10,8	3,8	$911,1 \pm 12,9$	$22,6 \pm 0,3$	
1274	1478	22,2	11,0	4,0	$976,8 \pm 13,2$	$22,9 \pm 0,3$	
15% Abu Sekam Padi							
1182	1409	22,2	11,0	3,9	$952,4 \pm 13,1$	$23,8 \pm 0,3$	$23,0 \pm 0,3$
1209	1428	22,4	11,0	4,0	$985,6 \pm 13,3$	$22,2 \pm 0,3$	
1229	1437	22,1	10,8	3,8	$907,0 \pm 12,8$	$22,9 \pm 0,3$	

Tabel 15. Hasil perhitungan porositas batu bata pada pembakaran 24 jam

m_k (gr)	m_b (gr)	p (cm)	l (cm)	t (cm)	$V_b \pm \Delta V_b$ (cm³)	$P \pm \Delta P$ (%)	$\bar{P} \pm \bar{\Delta P}$ (%)
0% Abu Sekam Padi							
1320	1513	21,7	10,6	3,7	$851,1 \pm 12,3$	$22,7 \pm 0,3$	$23,2 \pm 0,3$
1334	1528	21,6	10,5	3,7	$839,2 \pm 12,2$	$23,1 \pm 0,3$	
1300	1510	21,8	10,6	3,8	$878,1 \pm 12,4$	$23,9 \pm 0,3$	
5% Abu Sekam Padi							
1263	1428	22,2	10,8	3,9	$935,1 \pm 12,9$	$17,6 \pm 0,3$	$18,5 \pm 0,3$
1271	1437	22,1	10,8	3,8	$907,0 \pm 12,8$	$18,3 \pm 0,3$	
1270	1445	22,1	10,7	3,8	$898,6 \pm 12,7$	$19,5 \pm 0,3$	
10% Abu Sekam Padi							
1224	1430	22,4	10,9	3,8	$927,8 \pm 13,1$	$22,2 \pm 0,3$	$20,7 \pm 0,3$
1294	1425	21,6	10,7	3,9	$901,4 \pm 12,5$	$14,5 \pm 0,2$	
1187	1415	21,6	10,9	3,8	$894,7 \pm 12,6$	$25,5 \pm 0,4$	
15% Abu Sekam Padi							
1166	1409	22,3	10,8	3,8	$915,2 \pm 12,9$	$26,6 \pm 0,4$	$23,0 \pm 0,3$
1165	1373	22,2	10,8	3,8	$911,1 \pm 12,9$	$22,8 \pm 0,3$	
1170	1350	22,3	10,9	3,8	$923,7 \pm 13,0$	$19,5 \pm 0,3$	

B. Analisis Uji Susut Bakar

NST mistar = 0,1 cm

$$\Delta I_0 = \Delta I_1 = \frac{1}{2} \times \text{NST mistar} = \frac{1}{2} \times 0,1 = 0,05 \text{ cm}$$

Perhitungan susut bakar sampel

$$S = \frac{I_0 - I_1}{I_0} \times (100\%)$$

Perhitungan ketidakpastian susut bakar

$$\Delta S = \sqrt{\left| \frac{\delta S}{\delta I_0} \right|^2 |\Delta I_0|^2 + \left| \frac{\delta S}{\delta I_1} \right|^2 |\Delta I_1|^2}$$

Tabel 16. Hasil perhitungan susut bakar batu bata pada pembakaran 12 jam

I_0 (cm)	I_1 (cm)	$S \pm \Delta S$ (%)	$\bar{S} \pm \bar{\Delta S}$ (%)
0% Abu Sekam Padi			
22,3	21,8	$2,24 \pm 0,02$	$1,65 \pm 0,02$
22,0	21,7	$1,36 \pm 0,02$	
22,2	21,9	$1,35 \pm 0,02$	
5% Abu Sekam Padi			
22,5	22,4	$0,44 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,02$
22,4	22,3	$0,45 \pm 0,02$	
22,3	22,2	$0,45 \pm 0,02$	
10% Abu Sekam Padi			
22,5	22,3	$0,89 \pm 0,02$	$0,74 \pm 0,02$
22,2	22,1	$0,45 \pm 0,02$	
22,4	22,2	$0,89 \pm 0,02$	
15% Abu Sekam Padi			
22,4	22,3	$0,45 \pm 0,02$	$1,04 \pm 0,02$
22,4	22,1	$1,34 \pm 0,02$	
22,3	22,0	$1,35 \pm 0,02$	

Tabel 17. Hasil perhitungan susut bakar batu bata pada pembakaran 24 jam

I_0 (cm)	I_1 (cm)	$S \pm \Delta S$ (%)	$\bar{S} \pm \bar{\Delta S}$ (%)
0% Abu Sekam Padi			
22,2	21,7	$2,25 \pm 0,03$	$2,11 \pm 0,03$
22,2	22,2	$1,25 \pm 0,03$	
22,0	21,6	$1,82 \pm 0,03$	
5% Abu Sekam Padi			
22,4	21,2	$0,89 \pm 0,03$	$0,89 \pm 0,03$
22,4	22,2	$0,89 \pm 0,01$	
22,3	22,1	$0,90 \pm 0,03$	
10% Abu Sekam Padi			
22,5	22,4	$0,44 \pm 0,03$	$0,89 \pm 0,03$
22,4	22,0	$1,79 \pm 0,03$	
22,2	22,1	$0,45 \pm 0,03$	
15% Abu Sekam Padi			
22,3	21,9	$1,79 \pm 0,03$	$1,34 \pm 0,03$
22,1	22,0	$0,45 \pm 0,03$	
22,4	22,0	$1,79 \pm 0,03$	

C. Analisis Uji Kuat Tekan

NST mistar = 0,1 cm

$$\Delta p = \Delta l = \frac{1}{2} \times \text{NST mistar} = \frac{1}{2} \times 0,1 = 0,05 \text{ cm}$$

1. Perhitungan luas bidang sampel

$$A = p \times l$$

Perhitungan ketidakpastian luas bidang

$$\Delta A = \sqrt{\left| \frac{\delta A}{\delta p} \right|^2 |\Delta p|^2 + \left| \frac{\delta A}{\delta l} \right|^2 |\Delta l|^2}$$

$$\Delta A = \sqrt{|l|^2 |\Delta p|^2 + |p|^2 |\Delta l|^2}$$

2. Perhitungan kuat tekan sampel

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Perhitungan standar deviasi kuat tekan

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Perhitungan koefisien variasi izin kuat tekan

$$I (\%) = \frac{\text{Standar deviasi}}{\text{nilai rata-rata}}$$

Tabel 18. Hasil perhitungan kuat tekan batu bata pada pembakaran 12 jam

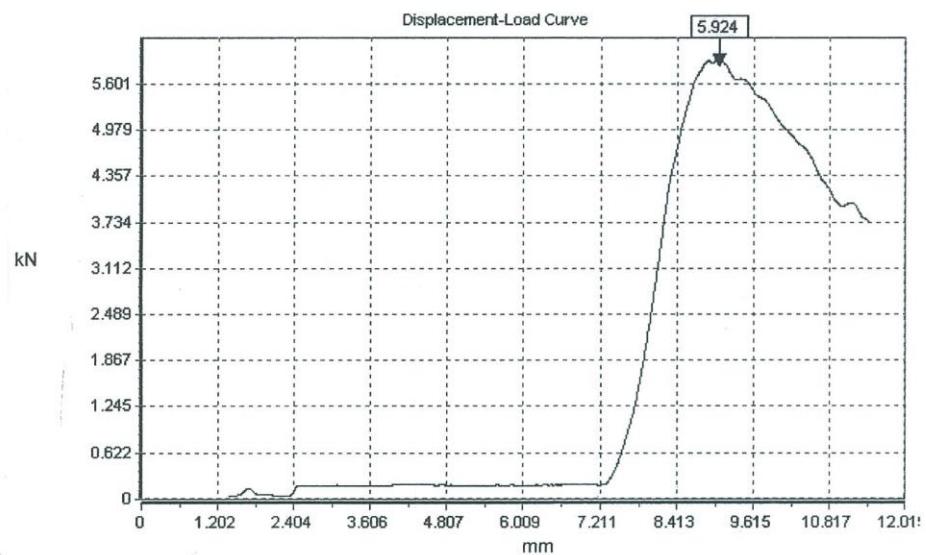
p (mm)	l (mm)	A (mm ²)	P (kN)	Kuat Tekan (N/mm ²)	$\bar{\sigma} \pm \Delta\sigma$ (N/mm ²)	Koefisien Variasi Izin
0% Abu Sekam Padi						
48	48	2304	3,96	1,7	$1,9 \pm 0,2$	10,1 %
47	47	2209	4,64	2,1		
48	47	2256	4,30	1,9		
5% Abu Sekam Padi						
50	49	2450	6,30	2,6	$2,7 \pm 0,3$	12,1 %
49	50	2450	7,40	3,0		
50	49	2450	5,89	2,4		
10% Abu Sekam Padi						
49	48	2352	5,07	2,2	$2,2 \pm 0,2$	7,5 %
48	49	2352	4,96	2,1		
50	47	2350	5,67	2,4		
15% Abu Sekam Padi						
48	48	2304	4,82	2,1	$2,1 \pm 0,1$	2,6 %
49	48	2352	4,82	2,0		
48	47	2256	4,84	2,1		

Tabel 19. Hasil perhitungan kuat tekan batu bata pada pembakaran 24 jam

<i>p</i> (mm)	<i>l</i> (mm)	A (mm²)	<i>P</i> (kN)	Kuat Tekan (N/mm²)	$\bar{\sigma} \pm \Delta\sigma$ (N/mm²)	Koefisien Variansi Izin
0% Abu Sekam Padi						
47	48	2256	5,92	2,6	$2,7 \pm 0,1$	1,7 %
47	47	2209	5,92	2,7		
47	47	2209	6,00	2,7		
5% Abu Sekam Padi						
50	49	2450	11,00	4,5	$4,1 \pm 0,4$	8,5 %
49	49	2401	9,67	4,0		
49	49	2401	9,13	3,8		
10% Abu Sekam Padi						
48	48	2304	7,5	3,3	$3,3 \pm 0,1$	1,8 %
48	47	2256	7,38	3,3		
50	47	2350	7,91	3,4		
15% Abu Sekam Padi						
48	48	2304	6,07	2,6	$2,9 \pm 0,3$	11,1 %
48	47	2256	7,26	3,2		
47	48	2256	6,14	2,7		

Test Report

ID:	1	Test Date:	2018-04-20
Area:	0 mm ²		
L0:	/ mm		
Max Load:	5.92 kN	Rm:	/ MPa
FeL:	/ kN	ReL:	/ MPa
Fp0.2:	/ kN	Rp0.2:	/ MPa



Comment: /

Tester: _____ Checker: _____

Test Report

ID:	20						Test Date: 2018-04-20
Area:	0	mm ²					
LO:	/	mm					
Max Load:	4.64	kN	Rm:	/	MPa	A:	/ %
FeL:	/	kN	ReL:	/	MPa		
Fp0.2:	/	kN	Rp0.2:	/	MPa		

Displacement-Load Curve

The graph plots Load (kN) on the y-axis (0 to 4.39) against Displacement (mm) on the x-axis (0 to 17.04). The curve shows a sharp rise from 5.112 mm to 11.929 mm, reaching a peak of 4.639 kN at 13.633 mm, before gradually decreasing.

Displacement (mm)	Load (kN)
0.0	0.0
5.112	0.0
5.112	0.1
6.817	0.1
6.817	0.2
8.521	0.2
8.521	0.3
10.225	0.3
10.225	0.4
11.929	0.4
11.929	1.0
13.633	1.0
13.633	4.639
15.337	4.639
15.337	3.5
17.04	3.5

Comment: /

Tester: _____ Checker: _____