



085/FT.EKS.01/SKRIPSI/07/2008

SKRIPSI
**KEKUATAN GESER MEKANIS PADA BATA MERAH PEJAL ASAL
CIKARANG**

Oleh :
RINI AZIARTI
NPM (0403210347)



*Disusun Untuk Melengkapi Salah satu Syarat Kelulusan Program Sarjana Teknik
Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia*

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK, 2008**



085/FT.EKS.01/SKRIPSI/07/2008

FINAL PROJECT

**MECHANIC SHEAR STRENGTH OF CIKARANG'S SOLID
BRICK**

by :

Rini Aziarti

0403210347



*Submitted to fulfill one of the requirement to graduate from Civil Engineering
Departement, Faculty Of Engineering to Obtain Bachelor of Civil Engineering Degree
from University Of Indonesia*

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA
DEPOK, 2008**



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

***“KEKUATAN GESER MEKANIS PADA BATA MERAH PEJAL ASAL
CIKARANG”.***

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar Sarjana di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, July 2008

Rini Aziarti
0403210347



STATEMENT OF AUTHENTICITY

Herewith I declare honestly that this final project with the title:

“MECHANIC SHEAR STRENGTH OF CIKARANG’S SOLID BRICK”

This final project created to complete Bachelor Degree Graduation Requirement of Civil Engineering Department Faculty of Engineering of Indonesia University. As far as I concern, this final project is not a copy or duplication of other published final project or has been using in order to get bachelor degree in University of Indonesia or other university or other institution, except for some information resources which noted as they should be.

Depok, July 2008

Rini Aziarti
0403210347



LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul :

**“KEKUATAN GESER MEKANIS PADA BATA MERAH PEJAL ASAL
CIKARANG”.**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian prasyarat menjadi Sarjana Teknik pada Program Pendidikan Sarjana Ekstensi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang skripsi.

Depok, July 2008
Dosen Pembimbing,

Dr.Ir. Essy Ariyuni.
NIP. 130 693 557



COUNTERSIGN

Title of the Final Project :

“MECHANIC SHEAR STRENGTH OF CIKARANG’S SOLID BRICK”

Submitted to fulfill one of the requirement to graduate from Civil Engineering Department, Faculty of Engineering to Obtain Bachelor of Civil Engineering Degree from University Of Indonesia

Depok, July 2008

Advisor I,

Dr.Ir.Essy Ariyuni
NIP. 130 693 557



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan kasih sayang-Nya, shalawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas penulisan skripsi yang berjudul :

“Kekuatan Geser Mekanis Pada Bata Merah Pejal Asal Cikarang”.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Rasullullah SAW terimakasih tak terbatas atas rahmat, hidayah dan anugerahnya.
2. Ibu Dr.Ir. Essy Ariyuni, Selaku Dosen Pembimbing dan Pengarah Skripsi.
3. Bapak Dr.Ing.Ir. Henki Wibowo A, selaku Dosen Pembimbing Akademik, dan Kepala Laboratorium Beton dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA, Selaku Dosen Penguji Skripsi.
5. Ibu Dr. Ir.Elly Tjahyono, Selaku Dosen Penguji Skripsi.
6. Prof. Dr.Ir Irwan Katili DEA selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, terimakasih banyak telah membantu penulis disaat-saat terakhir hingga akhirnya lulus.
7. Seluruh Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
8. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Sipil Ekstensi Universitas Indonesia.
9. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Sipil Reguler Universitas Indonesia.
10. Buat Keluargaku Tercinta, Onen, Ayah, Amak (alm), Tante, Taci kakakku, adik-adikku Rita, Reti dan Rica, Terimakasih atas doa dan dukungannya, dan keluarga Ciracas (Om Sarmen, Tante Adek, Unlen, Linda, Ifa & Faiz). Tante maaf ya aku telat menyelesaikan kuliah, alhamdulillah selesai juga.
11. Reno Permana ST, dan Priscilla Yvernes atas bantuan skripsinya.
12. Mr. Samin, Mr. Apri, Mr. Yudi, Mr. Hanafi, Mr. Agus, Nandar, dan Bang Jay yang banyak membantu di laboratorium. Jali, mbak Dian terimakasih.



13. Teman baikku, M. Yusuf, ST, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikirannya, tidurnya, antar jemput dan menemani ke kampus dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini sampai selesai.
14. Buat sahabat terbaikku Kurniasih “Nunik” yang sekarang di Kendari, terimakasih atas dukungan, doa dan semangatnya untuk selalu mengingatkan penulis untuk menyelesaikan kuliah.
15. Terimakasih buat James Budiarto yang telah membantu pengujian test geser, Ojeb dan Dimas dimana kita mengalami nasib yang sama disaat-saat terakhir terimakasih juga.
16. Buat Bosku di Cyber 2 dan Cyber Data, Mr. Lym Joon Shik, Terimakasih atas bantuan finansial, waktu ijin kerja untuk kuliah dan dukungannya serta pandangan-pandangannya selama ini, Teman-teman Kantor Cyber 2 dan Cyber Data (Mr. Gatot Priyambodo, Eko Wicaksono, Giri Utama, Kustanto, Hidayat, Pak Ferry Yusuf Lubis, Andreas Sindhunata & Hendro Hutomo).
17. Buat yang kusayangi dan yang tak terlupakan, Mustachim Saudi, Termakasih atas segala bantuan, dukungan dan doanya serta tidak henti-hentinya memberi dorongan, perhatian dan menyemangati penulis hingga selesainya penulisan ini.
18. Dan semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung yang tidak disebutkan baik sengaja atau tidak sengaja hingga selesainya laporan skripsi ini.

Akhirnya, dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis berharap semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Amin.

Depok, July 2008

Penulis



JURUSAN SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA

Nama : Rini Aziarti

NPM : 0403210347

Judul : Kekuatan Geser Mekanis Pada Bata Merah Pejal Asal Cikarang

ABSTRAK

Bata telah digunakan untuk material konstruksi lebih dari 5000 tahun yang lalu, dan saat ini pun bata masih banyak digunakan di berbagai tempat di dunia termasuk di Indonesia. Masih kurangnya berbagai macam referensi mengenai perilaku mekanik bata, merupakan latar belakang penelitian ini agar pasangan bata dapat diaplikasikan secara tepat, sesuai dengan fungsi bata itu sendiri.

Perilaku mekanik bata pada penelitian ini menggunakan bata tradisional yang berasal dari pabrik Bapak H. Sugih di Cikarang, dimana proses pembakaran bata ini menggunakan kayu bakar.

Penelitian ini dilakukan secara sederhana di laboratorium dengan menganalisa karakteristik bata mulai dari tampak luar, warna, berat jenis bata, kepadatan, penyerapan, modulus elastisitas, poisson rasio, tegangan geser dan regangan geser bata. Bata di uji dengan pembebanan secara manual dengan kapasitas kelipatan maksimum sebesar 20 kg. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa bata bata kelompok atas memiliki modulus geser lebih besar dibandingkan kelompok tengah dan bawah.

Kata kunci : Bata Pejal Cikarang; modulus elastisitas dinamik bata; perilaku mekanik pasangan bata; hubungan tegangan geser – regangan geser.



CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITY OF INDONESIA

By : Rini Aziarti
Student Number : 0403210347
Title of Final Project : *Mechanic Shear Strength of Cikarang's Solid Brick*

ABSTRACT

Brick has been used for the construction material for more than 5000 years ago, and until now it is still widely used in various places in the world including in Indonesia. Poor references on bricks' mechanical behavior is the background of this final project in order to better know their responses so it can be applied properly, matching with its own function.

Mechanical behaviour of the masonry was observed through experimental approach using traditional brick from H. Sugih factory in Cikarang. The brick was fired by using wood.

The research was done in the laboratory simply by analyzing the bricks characteristics from the exterior shape, colour, mass per volume, density, absorption, elastic modulus, Poisson ratio, shear strain and shear stress of the masonry. Masonry were being tested using manually semicyclic load with maximum capacity of 20 kg/load. From the research the writer had gained the brick in upper group has bigger shear modulus than the group under.

Key word : Cikarang Clay Brick; Dynamic elastic Modulus of a brick; Mechanical behaviour of the masonry; Shear stress - shear strain relations.



DAFTAR ISI

JUDUL	Hal
PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	2
1.4 Ruang Lingkup Dan Batasan Masalah.....	2
1.5 Rumusan Masalah.....	3
1.6 Metode Penulisan dan Pemecahan Masalah.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
2.1 Batu Bata.....	5
2.1.1 Definisi.....	5
2.1.2 Bahan Baku Batu Bata.....	6
2.1.3 Warna Batu Bata.....	8
2.1.4 Syarat Mutu Batu Bata.....	9
2.1.4.1 Sifat Tampak.....	9
2.1.4.2 Ukuran dan Toleransi.....	9
2.1.4.3 Kuat Tekan.....	10
2.1.4.4 Garam yang Membahayakan.....	10
2.1.4.5 Kerapatan Semu (Apparent Density).....	10
2.1.4.6 Penyerapan Air.....	10



2.2	Beton.....	10
2.2.1	Pengertian Beton.....	10
2.2.2	Beton yang Digunakan.....	11
2.3	Ultrasonic Apparatus Pundit Type.....	11
2.3.1	Prinsip Pengujian	12
2.3.2	Kecepatan Gelombang Longitudinal Pada Material Padat Elastis.....	13
2.3.3	Pengaruh Ukuran Dan Bentuk Benda Uji.....	13
2.3.4	Frekuensi dari Getaran Gelombang.....	14
2.3.5	Metoda Pengujian Dengan Alat Ultrasonic.....	14
2.3.6	Perhitungan Modulus Elastisitas Pada Beton.....	15
2.3.7	Pengukuran Dengan Alat Pundit.....	17
2.4	Tegangan dan Regangan Geser.....	17
2.4.1	Tegangan Geser.....	18
2.4.2	Geser Murni.....	22
2.4.3	Regangan Geser.....	23
2.4.4	Kondisi Elastis.....	23
2.4.5	Hukum Hook untuk Geser.....	24
BAB III	METODE PENELITIAN	26
3.1	Pendahuluan.....	26
3.2	Prosedure Pengujian Non Destruktif.....	28
3.2.1	Pengelompokan dan Jumlah Benda Uji.....	28
3.2.2	Karakteristik Benda Uji.....	29
3.2.2.1	Dimensi.....	29
3.2.2.2	Bentuk.....	30
3.2.2.3	Warna.....	31



3.2.2.4 Berat.....	31
3.2.4 Absorpsi.....	32
3.2.5 Density.....	32
3.2.6 Pengukuran Propertis Batu Bata dengan Alat Pundit.....	33
3.2.6.1 Persiapan Benda Uji.....	35
3.2.6.2 Kalibrasi Alat.....	35
3.2.6.3 Pengujian.....	35
3.2.6.4 Perhitungan dengan Alat Pundit.....	35
3.3 Prosedure Pengujian Destruktif.....	36
3.3.1 Pembuatan Beton Tahu.....	36
3.3.2 Pembuatan Benda Uji.....	37
3.3.3 Pengujian Tegangan Geser.....	38
3.3.4 Perhitungan Tegangan Geser.....	40
3.3.5 Perhitungan Modulus Geser.....	41
3.4 Teknik Analisa Data.....	43
BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Pengujian Non Destruktif.....	44
4.1.1 Jumlah Benda Uji dan Bentuk Fisik.....	44
4.1.2 Pengukuran Dimensi dan Massa Jenis.....	45
4.1.3 Absorpsi.....	46
4.1.4 Dry Density.....	47
4.1.5 Pengukuran dengan Alat Pundit.....	48
4.1.5.1 Transit Time.....	48
4.1.5.2 Velocity.....	49
4.1.5.3 Modulus Elastisitas Dinamik.....	49
4.1.5.4 Modulus Elastisitas Statik.....	51
4.1.5.5 Poisson Ratio Dinamik.....	51
4.2 Pengujian Destruktif Geser.....	52
4.2.1 Bata Kelompok Atas.....	53
4.2.1.1 Beban dan Penurunan Bata Kelompok Atas.....	53



4.2.1.2 Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Atas	55
4.2.1.3 Modulus Geser Bata Kelompok Atas.....	59
4.2.2 Bata Kelompok Tengah.....	60
4.2.2.1 Beban dan Penurunan Bata Kelompok Tengah..	60
4.2.2.2 Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Tengah	62
4.2.2.3 Modulus Geser Bata Kelompok Tengah.....	64
4.2.3 Bata Kelompok Bawah.....	68
4.2.3.1 Beban dan Penurunan Bata Kelompok Bawah.....	68
4.2.3.2 Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Bawah.	71
4.2.3.3 Modulus Geser Bata Kelompok Bawah.....	73
4.2.4 Modulus Geser Seluruh Bata.....	76
4.2.5 Analisa Pola Retak.....	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.1.1 Pengujian Non Destruktif.....	78
5.1.2 Pengujian Destruktif.....	79
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DATAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR GRAFIK	xx



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Banyak bangunan di Indonesia yang didirikan secara permanen maupun semi permanen. Bangunan tersebut terutama untuk rumah tinggal, banyak yang menggunakan batu bata sebagai dinding penerus beban internal dan eksternal, lantai dan paving, dinding partisi, pondasi, pagar dan sebagainya. Pada umumnya struktur utama rumah atau gedung didukung oleh portal atau kolom untuk mendukung kekuatan terhadap berdirinya bangunan tersebut, sedangkan fungsi batu bata disini hanya sebagai pengisi saja atau sebagai pembagi antara ruang satu dengan yang lainnya. Disamping itu batu bata juga digunakan sebagai hiasan pada dinding sehingga rumah tersebut kelihatan alami.

Belakangan ini batu bata merah cenderung dilihat hanya dari bentuknya saja tanpa melihatnya sebagai bahan mentah. Batu bata merah dianggap bukan sebagai apapun kecuali sebagai kotak persegi dengan ukuran yang sesuai dan dapat dipakai secara mudah. Karena itu penggunaan batu bata merah hanya digunakan untuk aplikasi yang biasa.

Hal ini sangat disayangkan mengingat sebenarnya pasangan bata dapat diperhitungkan sebagai penyumbang kekuatan pada struktur bangunan, sehingga dapat dibangun bangunan yang lebih efisien dan mudah.

Di Indonesia penelitian dibidang mekanika pasangan bata harus lebih banyak dilakukan mengingat masih minimnya referensi tentang perilaku mekanik pada bata



merah produksi lokal. Salah satu perilaku mekanik yang sangat penting untuk diketahui adalah geser dari bata merah.

1.2 Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memodelkan kurva hubungan antara tegangan dan regangan geser pada batu bata yang berbasis uji geser sederhana dengan mempertimbangkan perletakan batu bata. Hasil dari penelitian akan menghasilkan regangan dan tegangan geser dari pengujian bata tunggal. Tegangan geser timbul bila elemen tersebut mengalami tarik, torsi, dan lentur.

1.3 Identifikasi Masalah

Minimnya pengetahuan dan acuan tentang perilaku mekanik pada batu bata di Indonesia yang sering digunakan baik untuk bangunan rumah maupun bangunan gedung. Perilaku mekanik yang perlu diketahui adalah kuat geser pada bata. Untuk itu sangat diperlukan berbagai macam referensi untuk mengetahui perilaku mekanik bata agar dapat diaplikasikan secara tepat dan benar. Pada pengujian-pengujian sebelumnya telah dilakukan beberapa kali pengujian kekuatan geser. Akan tetapi pengujian yang dilakukan saat sekarang ini mempunyai perbedaan dengan pengujian sebelumnya, dimana mengacu pada skripsi saudara Permana, R (2000). Adapun kondisi yang berbeda tersebut adalah kondisi perletakan batu bata saat diuji. Pada pengujian sebelumnya kondisi perletakan batu bata dijepit dengan menggunakan pelat yang dikencangkan dengan baut dan sebagainya. Akibat kondisi perletakan tersebut mempunyai pengaruh terhadap tegangan awal yang terjadi pada batu bata saat akan diuji. Sedangkan kondisi perletakan batu bata pada pengujian saat ini adalah dengan menjepit dengan cara dicor dengan beton pada sepertiga dari ujung batu bata. Beton dijepit pada mesin uji dan diharapkan tidak terjadi tegangan awal pada saat pengujian batu bata tersebut.



1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Perilaku mekanik pada batu bata yang akan diuji hanya menggunakan batu bata berasal dari Cikarang, khusus batu bata yang diproduksi oleh Haji Sugih (HSG) dimana pembakarannya menggunakan kayu. Sedang perilaku mekanik yang ingin diketahui yaitu bagaimana *hubungan tegangan geser-regangan geser pada batu bata yang berbasis uji geser sederhana pada batu bata Cikarang* tersebut. Pada tugas akhir ini masalah dibatasi pada cara pengambilan, kriteria pemilihan dan pengelompokan dari bata tersebut.

1.5 Rumusan Masalah

Ketentuan mengenai hubungan tegangan - regangan geser pada batu bata Cikarang ditinjau dari perilaku mekanik batu bata ini masih belum jelas dan perlu dirumuskan melalui suatu pengujian laboratorium. Metode pemecahan masalah dilakukan dengan didahului dengan Studi Literatur kemudian observasi lapangan, sampai pada pengujian di laboratorium sehingga perilaku mekanik yang diinginkan didapat. Pengujian geser dilakukan Laboratorium Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Analisa dilakukan dari hasil pengambilan data dan diolah menurut metode statistik.

1.6 Metode Penulisan dan Pemecahan Masalah

Metode penulisan yang digunakan untuk menyusun analisa ini adalah :

1. Pengumpulan dan menganalisa referensi yang terkait dengan permasalahan.
2. Melakukan pengujian di laboratorium sehingga mendapatkan perilaku mekanik.
3. Pengujian geser dilakukan di Laboratorium Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
4. Penggunaan alat bantu komputer, untuk membantu memberikan nilai analisa yang mendekati keakuratan.
5. Melakukan bimbingan, untuk membantu menjelaskan dan memberikan saran terhadap permasalahan yang terjadi.



1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada analisis ini mencakup :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan mengenai latar belakang, ruang lingkup dan batasan penelitian yang dimaksud dan tujuan penulisan, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II : STUDI LITERATUR

Bab ini memaparkan teori maupun tulisan yang dipakai dalam melakukan penelitian, berdasarkan referensi buku, jurnal, skripsi terdahulu dan artikel-artikel lainnya yang dianggap menunjang terhadap pencapaian maksud dari penelitian ini.

BAB III : METODA PENELITIAN

Pada bab ini dibahas mengenai tata cara dan alur penelitian yang dilakukan termasuk pengukuran, pembuatan sample benda uji serta pengolahan data.

BAB IV : HASIL PENGUJIAN ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil pengujian yang dilakukan terhadap benda uji. Dari hasil pengujian tersebut dilakukan pengolahan data, analisa dan pembahasan terhadap hasil pengolahan tersebut.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memaparkan kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar literatur yang berhubungan dengan pembahasan.

LAMPIRAN

Memuat data-data, gambar, notasi, tabel, simbol dan grafik yang diperlukan dalam pembahasan.



BAB II STUDI LITERATUR

2.1 Batu Bata

2.1.1 Definisi

Bata merah pejal untuk pasangan dinding adalah bangunan yang berbentuk prisma segi empat panjang, pejal atau berlubang maksimum 15%, digunakan untuk konstruksi dinding bangunan yang dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa dicampur bahan aditif dan dibakar pada suhu tertentu (SNI 15-2094-2000). Pada bangunan, batu bata digunakan sebagai dinding penerus beban internal dan eksternal, lantai dan paving, dinding partisi, pondasi dan lain sebagainya.

Dua tipe penting dari batu bata adalah batu bata merah (*clay brick*) dan batu bata kalsium (*sandlime brick*). Batu bata merah dapat didefinisikan sebagai material bangunan lokal dapat berupa padat dan berongga, biasanya berbentuk persegi panjang, dibuat dari lempung yang dikeraskan dengan cara pembakaran.

Pasangan tembok adalah suatu pasangan yang terdiri bahan pengikat atau mortar atau adukan dan bahan pengisi (batu bata merah, batako dan lain-lain). Untuk mendapatkan pasangan tembok yang baik harus didukung oleh peralatan, teknik pemasangan, penyesuaian kecepatan pengisapan air permukaan dari batu bata dan



pemeliharaan tembok. Selain itu usaha untuk menambah kekuatan dari pasangan tembok juga akan menambah produktivitas, sehingga biaya pembuatan tembok dapat dihemat. Berikut ini merupakan hasil yang didapat dari penelitian oleh Departemen Pekerjaan Umum.

Dari hasil percobaan di DPMB (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan) menunjukkan bahwa dengan memperbaiki teknik pasangan tembok didapat peningkatan kekuatan geser dan lentur menjadi 600%, sedangkan kecepatan pengerjaannya menjadi 2 sampai dengan 3 kali lebih cepat dari yang konvensional.

Mengingat Indonesia pada umumnya berada dalam daerah atau jalur gempa, dimana kekuatan geser dan lentur sangat penting sekali disamping kekuatan tekan, maka teknik pemasangan tembok perlu diperhatikan.

2.1.2 Bahan Baku Batu Bata

Dalam pengujian ini, batu bata yang digunakan adalah batu bata Cikarang yang diproduksi oleh HSG. Batu bata ini memiliki ukuran, berat, keadaan penampang dan kemampuan dalam menahan tekan yang berbeda dengan daerah lain. Hal ini masih dapat dipahami karena proses pembuatan batu bata di Indonesia masih merupakan industri rakyat dan belum ada standarisasi yang jelas.

Lempung untuk batu bata berasal dari disintegrasi batuan beku. Mineral utama pembentuk lempung adalah *Potash Feldspar*, *Orthoclase* atau *Microcline* (K_2O ; Al_2O_3 ; $6SiO_2$). Mineral-mineral tersebut diuraikan menjadi senyawa kaolin, yaitu senyawa Aluminium Silika dimana pada kondisi hidrasi akan menghasilkan senyawa $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$.

Lempung untuk bata merah biasanya memiliki kandungan SiO_2 antara (45-75) %, dan Al_2SO_3 sekitar (10-35) %, Oksida Besi (4-9)%, Kalsium Karbonat (diatas 10 % sebagai CaO), Potassium Oksida (diatas 4%), Sodium Oksida (dibawah 1 %) dan Sulfat (diatas 2 % sebagai SO_3). Mineral utama pada batu bata adalah senyawa Kaolin, Klorit, Kwarsa dan senyawa organik.



Gambar 2.1 Material Batu Bata

Gambar 2.1 menunjukkan material batu bata produksi milih HSG, yang diambil dari referensi skripsi saudara Yvernes, P (2005).

Dalam ilmu mekanika tanah kita mengenal mineral lempung (clay material) adalah kelompok-kelompok partikel kristal yang berbentuk koloid / lebih kecil dari 0.002 mm. hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbandingan antara lus permukaan dengan massa) yang tinggi.

Karena sifat ion yang dimiliki, partikel-partikel mineral lempung dapat mengikat molekul-molekul air dengan kuat dengan cara membentuk lapisan-lapisan. Lapisan-lapisan molekul air tetap tertahan mengelilingi sebuah partikel mineral lempung oleh perekat hidrogen akibat tarikan ke arah permukaan bermuatan negatif. Sebagai tambahan, kation-kation yang dapat dipertukarkan dapat menarik air (terhidrasi). Jadi partikel tersebut dikelilingi oleh suatu lapisan air yang dihisapnya (air terserap). Penambahan air terserap menyebabkan pemuaiian (swelling).

Selain memiliki daya serap terhadap air yang tinggi, secara umum mineral lempung mempunyai plastisitas (kemampuan tanah untuk berdeformasi pada volume tetap tanpa terjadi retakan atau remahan) yang tinggi, dan sangat kohesif.



Gambar 2.2 Cara pemadatan bata dalam mesin cetak

Gambar 2.2 memperlihatkan cara pemadatan batu bata dalam mesin cetak dan kemudian dipotong seperti pada gambar 2.3. Gambar merupakan referensi skripsi saudara Yvernes, P (2005).



Gambar 2.3 Pemotongan Batu Bata

2.1.3 Warna Batu Bata

Warna bata merah pejal Cikarang pada umumnya bervariasi menurut letak bata tersebut dalam tungku pembakaran. Batu bata bagian atas berwarna lebih tua dibandingkan dengan batu bata bagian bawah. Ini dikarenakan batu bata bagian bawah lebih dekat dengan api pembakaran sehingga menyebabkan warnanya lebih muda. Dalam pengujian ini, sample batu bata yang diambil memiliki warna yang bervariasi berdasarkan letak tungku pembakarannya.



Gambar 2.4 Warna Batu Bata

2.1.4 Syarat Mutu Batu Bata

Bata merah pejal untuk dinding harus memenuhi syarat mutu sebagai berikut :

2.1.4.1 Sifat Tampak

Bata merah pejal untuk pasangan dinding harus berbentuk prisma segi empat panjang, mempunyai rusuk-rusuk yang siku, bidang-bidang datar yang rata dan tidak menunjukkan retak-retak.





Gambar 2.5 Tampak visual batu bata Cikarang

2.1.4.2 Ukuran dan Toleransi

Ukuran dan toleransi bata merah pejal untuk pasangan dinding dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut.

Modul	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
M-5a	65 ± 2	90 ± 3	190 ± 4
M-5b	65 ± 2	100 ± 3	190 ± 4
M-6a	52 ± 3	110 ± 4	230 ± 5
M-6b	55 ± 3	110 ± 6	230 ± 5
M-6c	70 ± 3	110 ± 6	230 ± 5
M-6d	80 ± 3	110 ± 6	230 ± 5

Tabel 2.1. Ukuran dan toleransi batu bata berdasarkan SNI 15-2094-2000

2.1.4.3 Kuat Tekan

Besarnya kuat tekan rata-rata dan koefisien variasi yang diizinkan untuk bata merah pejal untuk pasangan dinding sesuai tabel 2.2.

Kelas	Kuat Tekan Rata-Rata Minimum dari 30 bata yang diuji kg/cm^2 (Mpa)	Koefisien variasi dari kuat tekan rata-rata yang diuji (%)
50	50 (5)	22
100	100 (10)	15
150	150 (15)	15

Tabel 2.2. Kuat tekan rata-rata batu bata berdasarkan SNI 15-2094-2000



2.1.4.4 Garam yang Membahayakan.

Garam yang mudah larut dan membahayakan serta yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan struktural “*Efflorescence* “ pada permukaan bata adalah Magnesium Sulfat ($MgSO_4$), Natrium Sulfat (Na_2SO_4), Kalium Sulfat (K_2SO_4), dengan total kadar garam maksimum 1.0%.

2.1.4.5 Kerapatan Semu (Apparent Density).

Kerapatan semu minimum bata merah pejal untuk pasangan dinding adalah 1.2 gram/cm².

2.1.4.6 Penyerapan Air.

Penyerapan air maksimum bata merah pejal untuk pasangan dinding adalah 20%.

2.2 Beton

2.2.1 Pengertian Beton

Beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, agregat, dan air, serta jika diperlukan ditambah dengan bahan tambah admixture. Pembuatan beton berbeda dengan pembuatan bahan bangunan lainnya, karena kualitasnya sangat dipengaruhi selain oleh bahan pencampurnya, juga peralatan dan tenaga ahli yang membuatnya.

Mutu beton yang akan dibuat harus diketahui terlebih dahulu, biasanya mutu beton dinyatakan dengan tegangan beton karakteristik pada umur 28 hari. Sebagai benda uji adalah kubus beton dengan sisi 15 x 15 x 15 cm. Mutu beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 dibagi menjadi 3 (tiga) kelas, yaitu seperti tercantum pada table 2.3 di bawah ini.

Kelas	Mutu	σ'_{bk}	σ'_{bm}	Tujuan
I	B 0	-	-	Non Struktural
II	B 1	-	-	Struktural
	K 125	125	200	Struktural
	K 175	175	250	Struktural
III	K 225	225	300	Struktural
	K >225	>225	>300	Stuktural

Tabel 2.3. Tabel mutu beton berdasarkan PBB1 1971

2.2.2 Beton yang Digunakan

Pada pengujian ini, mutu beton yang digunakan adalah K 250 - 300. Beton disini digunakan sebagai pengikat atau penjepit batu bata, dimana dengan adanya beton ini diharapkan pada pengujian benda uji tidak terjadi tegangan awal saat pembebanan pada batu bata.

2.3 Ultrasonic Apparatus Pundit Type



Gambar 2.6 Pundit dan Perangkatnya

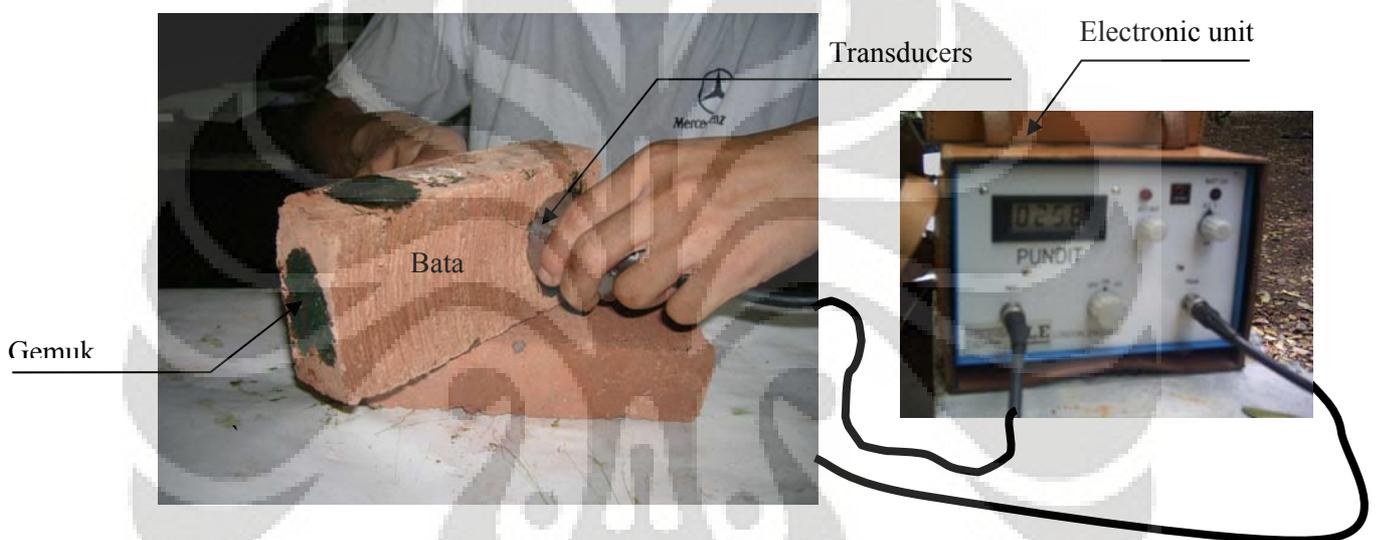
Pada gambar 2.6 menunjukkan gambar Pundit yang digunakan untuk mengukur modulus elastisitas dinamik pada material

2.3.1 Prinsip Pengujian

Kecepatan perambatan gelombang ultrasonic dalam sebuah material padat tergantung pada sifat massa jenis dan elastisitas material tersebut.

Kualitas dari beberapa material kadang-kadang berhubungan dengan elastisitas ataupun kekakuan dari bahan tersebut, sehingga pengukuran terhadap kecepatan gelombang ultrasonik dapat dijadikan indikasi terhadap kualitas material tersebut sama baiknya jika digunakan untuk menentukan sifat elastisitasnya. Hal ini berlaku untuk beton dan bahan kayu, namu tidak termasuk logam.

Ketika pengujian dilakukan kepada bahan logam dengan maksud melacak kerusakan/robekan didalam logam, rekahan tersebut akan memantulkan kembali logam yang sampai pada permukaan rekahan secara acak, kemudian waktu perambatan baru ditangkap oleh *transducer* penerima dari suatu permukaan. Pengukuran dari waktu transit gelombang yang merambat permukaan rekahan dan kembali lagi, memungkinkan untuk menentukan posisi dari rekahan.



Gambar 2.7 Cara pengetesan batu bata dengan pundit

2.3.2 Kecepatan Gelombang Longitudinal Pada Material Padat Elastis

Kecepatan gelombang longitudinal pada material padat elastis dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$v = \sqrt{\frac{E_d \times (1 - \nu)}{\rho \times (1 + \nu)(1 - 2\nu)}} \quad \text{Persamaan 2.1}$$

Dimana :

v : Kecepatan Gelombang Ultrasonic (m/detik)

E_d : Modulus Elastisitas Dinamik (kPa)



ρ : Massa Jenis (Ton/m³)

ν : Poisson Ratio

Apabila kita akan menentukan modulus elastisitas dinamik suatu bahan maka persamaan tersebut dapat kita tuliskan menjadi :

$$E_d = \frac{\rho \times v^2 \times (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad \text{Persamaan}$$

2.2

2.3.3 Pengaruh Ukuran Dan Bentuk Benda Uji

Persamaan diatas dapat diaplikasikan pada transmisi getaran longitudinal yang melalui suatu benda padat yang memiliki dimensi lateral (dimensi yang diukur tegak lurus dengan alur perambatan gelombang) yang tidak kurang dari panjang getaran gelombang.

Kecepatan getaran tidak dipengaruhi oleh frekuensi dari gelombang maka panjang gelombang dari getaran gelombang adalah berkebalikan secara proporsional dengan frekuensi ini.

Jadi kecepatan rambat gelombang secara umum hanya tergantung dari property material dan pengukuran kecepatan ini dapat menjadi perwakilan dari kondisi yang terdapat pada material.

2.3.4 Frekuensi Dari Getaran Gelombang

Frekuensi gelombang yang digunakan untuk mengukur beton dan kayu lebih rendah dari yang digunakan untuk pengetesan logam. Semakin tinggi frekuensi, semakin sempit berkas penyebaran energi, namun lebih banyak penurunan atau rendaman getarannya

Pengetesan logam membutuhkan frekuensi yang memiliki penyebaran yang sempit namun frekuensi tersebut tidak cocok untuk digunakan pada material yang heterogen. Frekuensi gelombang yang cocok untuk material-material yang berkisar antara 20 KHz sampai 250 KHz, dengan 50 KHz adalah yang paling cocok untuk pengujian



terhadap beton. Frekuensi ini akan menghasilkan panjang gelombang antara 200 mm (untuk frekuensi rendah) sampai dengan sekitar 16 mm untuk frekuensi yang tinggi.

2.3.5 Metoda Pengujian Dengan Alat Ultrasonic

Untuk pendugaan kualitas suatu material dari pengukuran kecepatan gelombang ultrasonik, sangatlah penting keakuratan yang tinggi. Hal ini dilakukan dengan menggunakan peralatan yang menghasilkan gelombang yang sesuai dan keakuratan alat ukur dalam mengukur waktu transit yang dibutuhkan melalui material harus di uji. Jarak yang dilalui oleh gelombang didalam material harus juga diukur untuk dapat menentukan kecepatan dari :

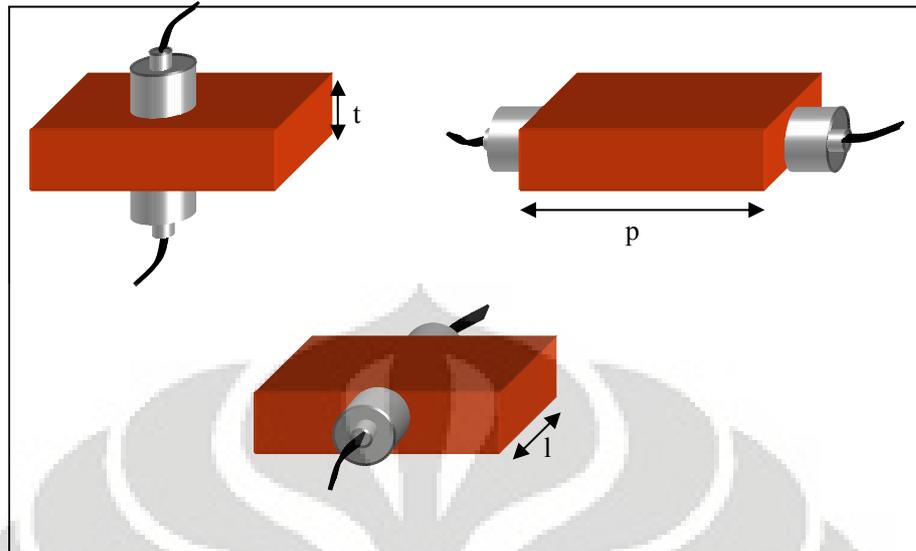
$$v = \frac{s}{t}$$

Persamaan 2.3

Dimana :

- v = Kecepatan Gelombang Ultrasonic (m/detik)
- s = Jarak Tempuh Gelombang (m).
- t = Waktu tempuh, dalam hal ini adalah transit time yang tercatat pada alat percobaan (detik).

Jarak dan waktu transit waktu masing-masing harus diukur untuk sampai keakuratan sekitar ± 1 %. Instrumen yang ada mengindikasikan waktu yang diperlukan dari bagian pertama gelombang untuk mencapai *transducer* penerima yang ada mengukur waktu mulai dari gelombang tersebut meninggalkan *transducer* pengiriman, ketika kedua *transducer* tersebut ditempatkan pada posisi yang tepat pada permukaan sebuah material. Gambar 2.8 menunjukkan bagaimana *transducer* dapat diletakkan pada permukaan sebuah benda di uji, yang dikategorikan sebagai *direct transmission* , *semidirect transmission*, dan *indirect/surface transmission* .



Gambar 2.8 Susunan Transducer

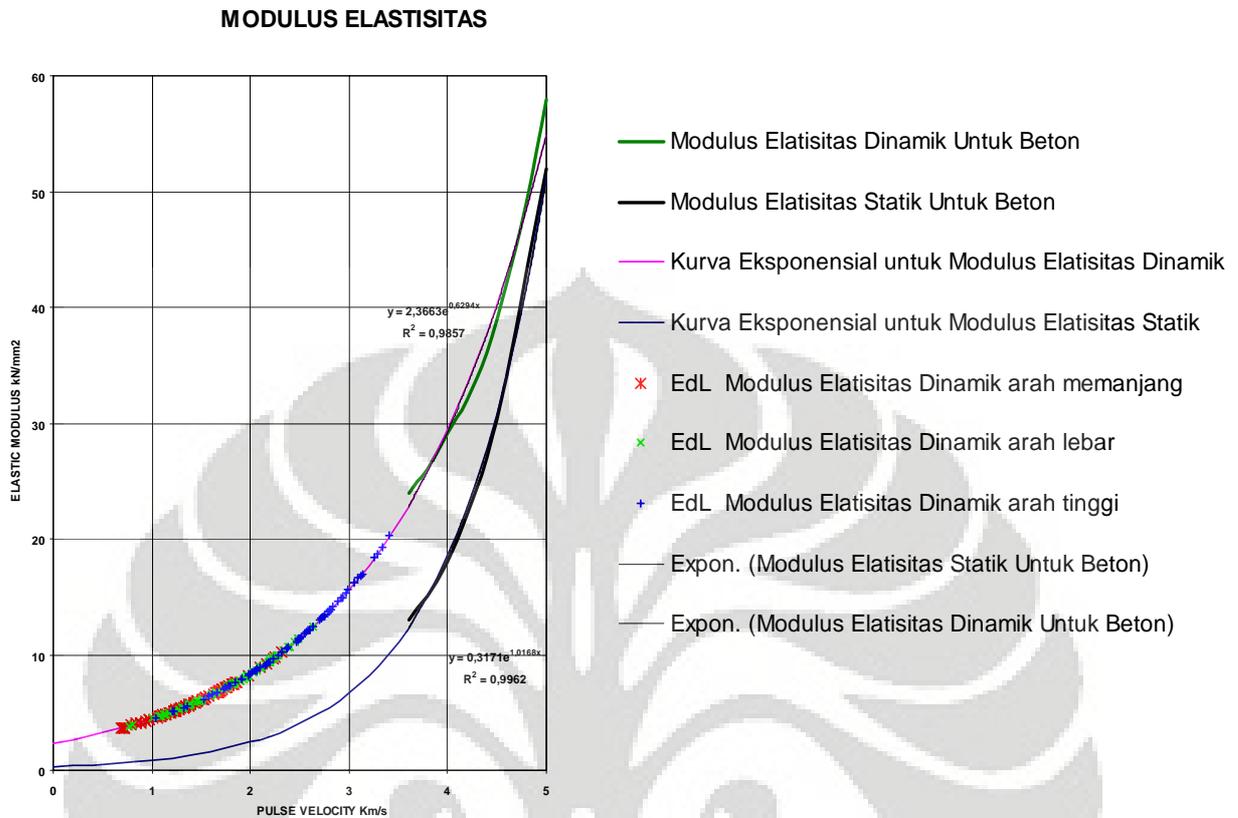
Dari persamaan 2.2 dan 2.3 dapat ditentukan modulus elastisitas dinamika suatu material sebagai berikut :

$$E_d = \frac{\rho \times \left[\frac{s}{t} \right]^2 \times (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad \text{Persamaan 2.4}$$

2.3.6 Perhitungan Modulus Elastisitas Statis dan Dinamis Pada Beton

Perhitungan modulus elastis tidak begitu banyak bila dibandingkan dengan perhitungan kekuatan, dan perhitungan modulus elastis ini dapat dilihat pada kurva yang menggambarkan hubungan antara kecepatan dan modulus elastisitas untuk jarak lebar pada agregat yang berbeda.

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dinamik dan modulus elastisitas statik digunakan *Kurva Eksponensial CNS FARNELL*, yang menggambarkan hubungan antara modulus elastisitas dengan velocity.



Grafik 2.1 : Menentukan Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Kurva Eksponensial
CNS FARNELL

Persamaan Eksponensial yang digunakan dalam menentukan nilai modulus elastisitas dinamik dan stastik adalah :

1. Modulus elastisitas dinamik :

$$y = 2,3663e^{0.6294x}$$

2. Modulus elastisitas statik :

$$y = 0,3171e^{1.0168x}$$

Nilai *velocity* didapat dari pengujian PUNDIT berdasarkan nilai transit time terhadap dimensi masing-masing benda uji. Sedangkan nilai modulus elastisitas dinamik dan statik merupakan hasil dari hubungan antara velocity dengan modulus elastisitas Berdasarkan Kurva Eksponensial *CNS FARNELL*



2.3.7 Pengukuran Dengan Alat Pundit

PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) adalah alat yang paling sering digunakan untuk menguji beton dan memenuhi standar yang disyaratkan B.S. 1881 : 203 :1985 dan ASTM C597-83, “*Recommendations for non-destructive methods of test for concrete. Measurement of the velocity of ultrasonic pulse in concrete*”

Metode pengujian dapat diterapkan pada berbagai jenis beton termasuk bata merah. Pengukuran kecepatan gelombang dapat digunakan untuk menentukan :

1. Kehomogenan material.
2. Keberadaan retak, rongga (void) atau pun kesalahan pembuatan material (terutama beton).
3. Perubahan sifat material yang berhubungan terhadap waktu (misalnya pada beton, akibat hidrasi semen), reaksi terhadap pengaruh api, kebukuan atau serangan bahan kimia.
4. Kualitas material.

2.4 TEGANGAN DAN REGANGAN GESER

Tujuan utama dalam melakukan pengujian terhadap bata ini adalah untuk menentukan hubungan tegangan geser (*shear stress*) dan regangan geser (*shear strain*) pada struktur material bata itu sendiri akibat beban yang bekerja padanya. Apabila kita dapat memperoleh besaran-besaran ini untuk semua harga beban sampai pada nilai beban yang dapat menyebabkan kegagalan, maka kita bisa mendapatkan gambaran tentang perilaku mekanis struktur material tersebut. Pemahaman tentang perilaku mekanis ini sangat penting bagi keamanan desain struktur yang akan direncanakan.

Dalam pengujian ini penulis akan mencoba memaparkan hubungan tegangan geser dan regangan geser dengan menggunakan besaran-besaran fisik material yang disesuaikan dengan peraturan dan konsep teoritis yang ada.

Analisa teoritis dan hasil eksperimen mempunyai peranan penting. Seringkali kita menggunakan teori untuk menurunkan rumus dan persamaan untuk memprediksi

prilaku mekanis suatu struktur material. Akan tetapi semua ini tidak dapat digunakan pada desain praktis kecuali bila besaran fisiknya sudah diketahui. Nilai besaran ini dapat diperoleh dari hasil eksperimen yang cermat, dan dilakukan di laboratorium. Dan lebih jauh lagi, banyak masalah praktis yang tidak dapat diterangkan dengan analisa teori saja. Dan dalam kasus ini pengujian fisik merupakan suatu keharusan.

2.4.1 Tegangan Geser

Hal yang paling mendasar dalam ilmu bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat digambarkan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau suatu batang yang berbentuk prismatic (elemen struktur lurus yang mempunyai penampang konstan diseluruh panjangnya). Tegangan adalah perbandingan antara gaya yang bekerja terhadap suatu bidang yang mempunyai luasan tertentu.

$$\tau = \frac{P}{A_g}$$

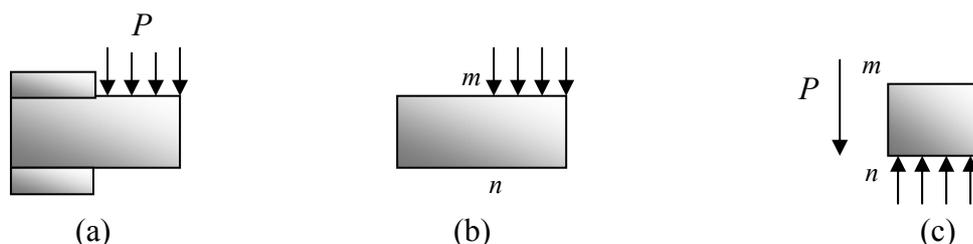
Persamaan 2.5

τ = Tegangan Geser (N/mm²)

P = Gaya Beban (N)

A_g = Luas Bidang Geser (mm²)

Tegangan yang bekerja pada arah tegak lurus terhadap bidang tersebut dinamakan sebagai tegangan normal. Dan bila benda uji ditarik dengan suatu beban tertentu maka disebut tegangan tarik. Sebaliknya bila kondisi benda ditekan, maka disebut sebagai tegangan tekan. Sedangkan tegangan geser adalah tegangan yang terjadi akibat gaya yang bekerja pada arah tangensial permukaan benda uji. Sebagai ilustrasi dapat kita lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.9 : Suatu batang yang dijepit mengalami geser tunggal



Pada diagram bebas gambar di atas menunjukkan bahwa ada kecenderungan gaya untuk menggeser batang di sepanjang penampang mn . Dari gambar diagram bebas mn kita dapat melihat bahwa gaya geser P bekerja pada permukaan potongan benda uji. Pada ilustrasi di atas benda uji dapat dikatakan mengalami geser tunggal (irisian tunggal). Tegangan geser timbul bila elemen tersebut mengalami tarik, torsi, dan lentur. Secara umum besarnya tegangan geser yang berlaku adalah :

$$\tau = \frac{P \times S}{b \times I} = \frac{P \times \frac{b \times h^2}{8}}{b \times \frac{1}{12} \times b \times h^3} = \frac{3 \times P}{2 \times b \times h} \quad \text{Persamaan 2.6}$$

Dimana :

P : Gaya Lintang (N)

S : Momen Statis dari Bagian Geser Terhadap Garis Netral (m^3)

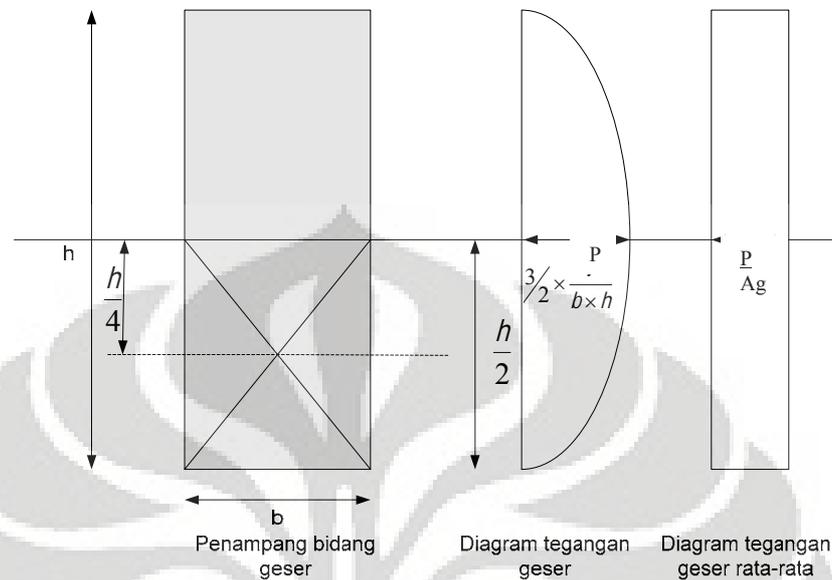
b : Lebar Penampang (m)

I : Momen Inersia Penampang (m^4)

Untuk pembahasan percobaan ini nilai tegangan geser dapat diperoleh dengan membagi gaya geser P dengan luasan penampang melintang A_g yang dianggap sebagai tegangan geser rata-rata sebagaimana terlihat pada rumus berikut :

$$\tau_{\text{rata-rata}} = \frac{P}{A_g} \quad \text{Persamaan 2.7}$$

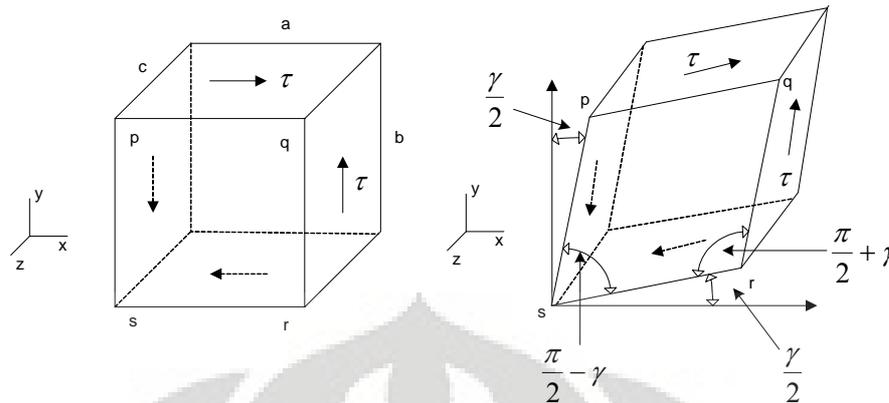
Ilustrasi penjelasan di samping dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.10 : Diagram Tegangan Geser

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa tegangan geser hampir sama dengan tegangan normal yang menunjukkan gaya persatuan luas. Jadi satuan tegangan normal dan tegangan geser adalah sama. Susunan pembebanan yang terlihat pada gambar di atas memperlihatkan geser langsung (geser sederhana). Karena tegangan yang dihasilkan oleh aksi langsung dari gaya dalam upaya memotong bahan. Tegangan geser timbul bila element tersebut mengalami tarik, torsi, dan lentur.

Untuk mendapatkan gambaran lebih lengkap tentang aksi tegangan geser, mari kita tinjau elemen kecil dari suatu bahan berbentuk paralel pipedum persegi panjang yang mempunyai sisi a , b , dan c masing-masing dalam arah x , y , dan z . Muka depan dan belakang dari elemen ini tidak bertegangan. Dan sekarang diasumsikan bahwa tegangan geser τ terbagi rata di seluruh muka atas, yang mempunyai luasan ac . Agar elemen mempunyai keseimbangan dalam arah x , maka gaya geser total τ_{ac} di muka atas harus diimbangi oleh gaya geser yang sama besar tetapi berlawanan arah di muka bawah. Karena luas muka atas dan muka bawah sama besar, maka tegangan geser yang bekerja pada permukaan tersebut adalah sama.



Gambar 2.11 : Elemen kecil dari bahan mengalami tegangan dan regangan geser

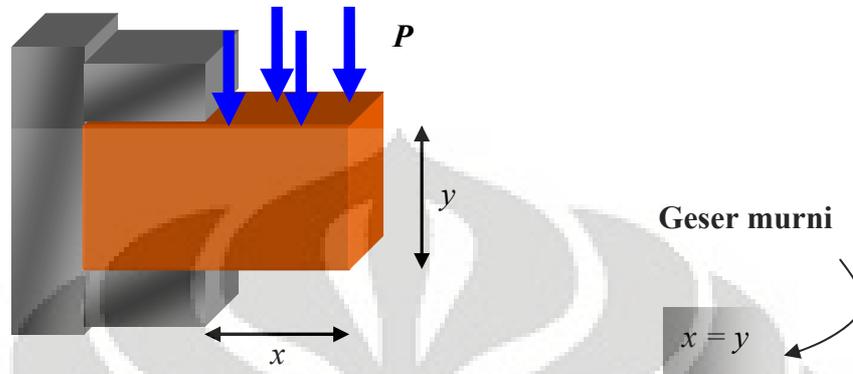
Gaya τ_{ac} yang bekerja pada muka atas dan bawah membentuk kopel dengan momen terhadap sumbu z sebesar τ_{abc} searah dengan jarum jam. Keseimbangan elemen tersebut mengharuskan bahwa momen ini diimbangi oleh momen yang sama tetapi berlawanan arah. Dengan menuliskan tegangan geser di muka samping, gaya-gaya ini sebagai τ_1 kita lihat bahwa gaya-gaya geser verikal sama dengan gaya geser τ_{abc} . Gaya-gaya ini membentuk kopel yang berlawanan arah dengan momen τ_{1abc} . Dari kesetimbangan momen terhadap sumbu z, maka kita dapat meliha bahwa τ_{abc} sama dengan τ_{1abc} atau $\tau_1 = \tau$. Dengan demikian, besar tegangan geser pada keempat permukaan elemen tersebut sama.

Dari ilustrasi di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Tegangan geser pada muka yang berhadapan (dan sejajar) dari suatu elemen sama besar dengan arah yang saling berlawanan.
- Tegangan geser di muka yang besebelahan (tegak lurus) dari suatu elemen sama besar dan mempunyai arah sedemikian sehingga tegangan-tegangan tersebut saling menuju atau saling menjauhi perpotongan garis perpotongan kedua muka tersebut.

Observasi ini diperoleh untuk elemen yang hanya mengalami tegangan geser tanpa tegangan normal, seperti terlihat dalam gambar 2.12. Keadaan tegangan seperti ini disebut **geser murni**. Meskipun tegangan normal masih bekerja di masing-masing permukaan elemen, tegangan tersebut mempunyai pasangan masing-masing dan

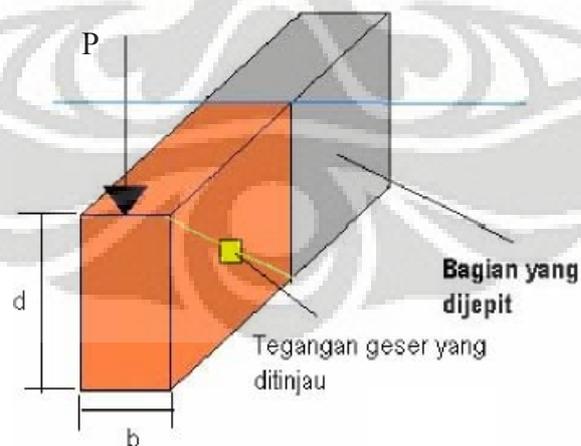
mempunyai arah yang berlawanan. Sehingga tegangan dalam pasangan tersebut saling meniadakan. Jadi tidak merubah persamaan kesetimbangan.



Gambar 2.12: Persyaratan untuk mendapatkan kondisi benda uji mengalami geser murni

2.4.2 Geser Murni

Sesuai dengan teori yang telah disampaikan pada bab sebelumnya bahwa untuk geser murni pola retak yang terjadi membentuk garis 45° terhadap arah pembebanan (lihat gambar). Sesuai dengan pembuatan lingkaran Mohr.



Gambar 2.13 Arah pola retak sesuai teoritis



2.4.3 Regangan Geser

Tegangan geser yang bekerja pada suatu elemen bahan disertai dengan dengan regangan geser. Bila ditinjau dari pengertian pada konsep tegangan normal, regangan adalah perbandingan nilai perubahan panjang benda akibat dibebani terhadap panjang awal. Namun pada konsep tegangan geser tidak mempunyai kecenderungan untuk memperpendek dan memperpanjang elemen dalam arah x, y, dan z. Dengan kata lain panjang sisi elemen tidak berubah. Tegangan geser mengakibatkan perubahan bentuk elemen. Seperti yang terlihat pada gambar 2.11 elemen semula yang berbentuk paralelepipedum persegi panjang, berdeformasi menjadi paralelepipedum miring. Di samping itu juga mengakibatkan muka depan dan belakang menjadi rhomboids (paralelogram dengan sudut miring dan keempat sisinya tidak sama).

Karena deformasi ini sudut antara muka samping berubah seperti terlihat pada gambar 2-2. sudut q dan s sebelum berdeformasi mempunyai nilai sebesar $\pi/2$ akan berkurang sebesar γ dan menjadi $\pi/2 - \gamma$. Sedangkan pada sudut p dan r bertambah menjadi $\pi/2 + \gamma$. γ merupakan suatu ukuran distorsi atau perubahan bentuk elemen dan disebut regangan geser. Karena regangan geser merupakan sudut, maka dinyatakan dalam derajat atau radian.

2.4.4 Kondisi Elastisitas

Kondisi ini menyatakan bahwa setiap titik pada sebuah struktur, tegangan regangan yang terjadi berbanding lurus dan terhadap regangan-regangannya yang diwujudkan dengan perbandingan tegangan-regangan atau disebut pula sebagai persamaan konstitutif yang harus diterapkan pada material struktur. Hubungan antara tegangan dan regangan atau perbandingannya ditentukan oleh modulus elastisitas untuk tegangan-regangan normal dan modulus geser untuk tegangan regangan geser. Hubungan-hubungan ini selanjutnya dikenal sebagai hukum Hooke. Hubungan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\frac{\text{normal stress}}{\text{normal strain}} = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E$$

$$\frac{\text{shear stress}}{\text{shear strain}} = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{regangan geser}} = \frac{\tau}{\gamma} = G$$



Modulus elastisitas dan modulus geser untuk elemen linear elastis dihubungkan oleh suatu angka perbandingan yaitu Poisson Ratio ν yaitu suatu perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial.

$$\nu = \frac{\text{tegangan lateral}}{\text{regangan aksial}} = \frac{\varepsilon_{\text{lateral}}}{\varepsilon_{\text{aksial}}} = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} \quad \text{Persamaan 2.8}$$

Hubungan antara modulus elastisitas E dengan modulus geser G adalah :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{Persamaan 2.9}$$

2.4.5 Hukum Hook untuk Geser

Besaran bahan untuk geser dapat ditentukan secara eksperimental dari uji geser langsung atau dari uji torsi. Dari hasil pengujian ini akan didapatkan kurva tegangan untuk geser (yaitu diagram tegangan geser τ versus regangan geser γ). Diagram ini mempunyai bentuk yang sama dengan diagram tegangan normal (τ versus ε) untuk bahan yang sama, meskipun besarnya berbeda.

Dari kurva tegangan regangan ini kita dapat memperoleh besaran bahan. Besaran dalam kondisi geser ini biasanya setengah dari besaran dalam kondisi tarik.

Untuk berbagai bahan, bagian awal kurva tegangan regangan adalah garis lurus yang melalui titik asal, sebagaimana yang terjadi pada kasus tarik. Untuk di daerah elastis linier ini, tegangan dan regangan gesernya sebanding sehingga kita mempunyai persamaan untuk hukum hooke pada kondisi geser.

$$\tau = G \times \gamma \quad \text{Persamaan 2.10}$$

Nilai G merupakan modulus elastisitas atau modulus rigidiitas yang mempunyai satuan yang sama dengan modulus tarik E . Modulus elastis untuk kasus tarik dan geser dihubungkan dengan persamaan berikut :



$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad \Rightarrow \quad (\nu \text{ adalah poisson ratio}) \quad \text{Persamaan 2.11}$$

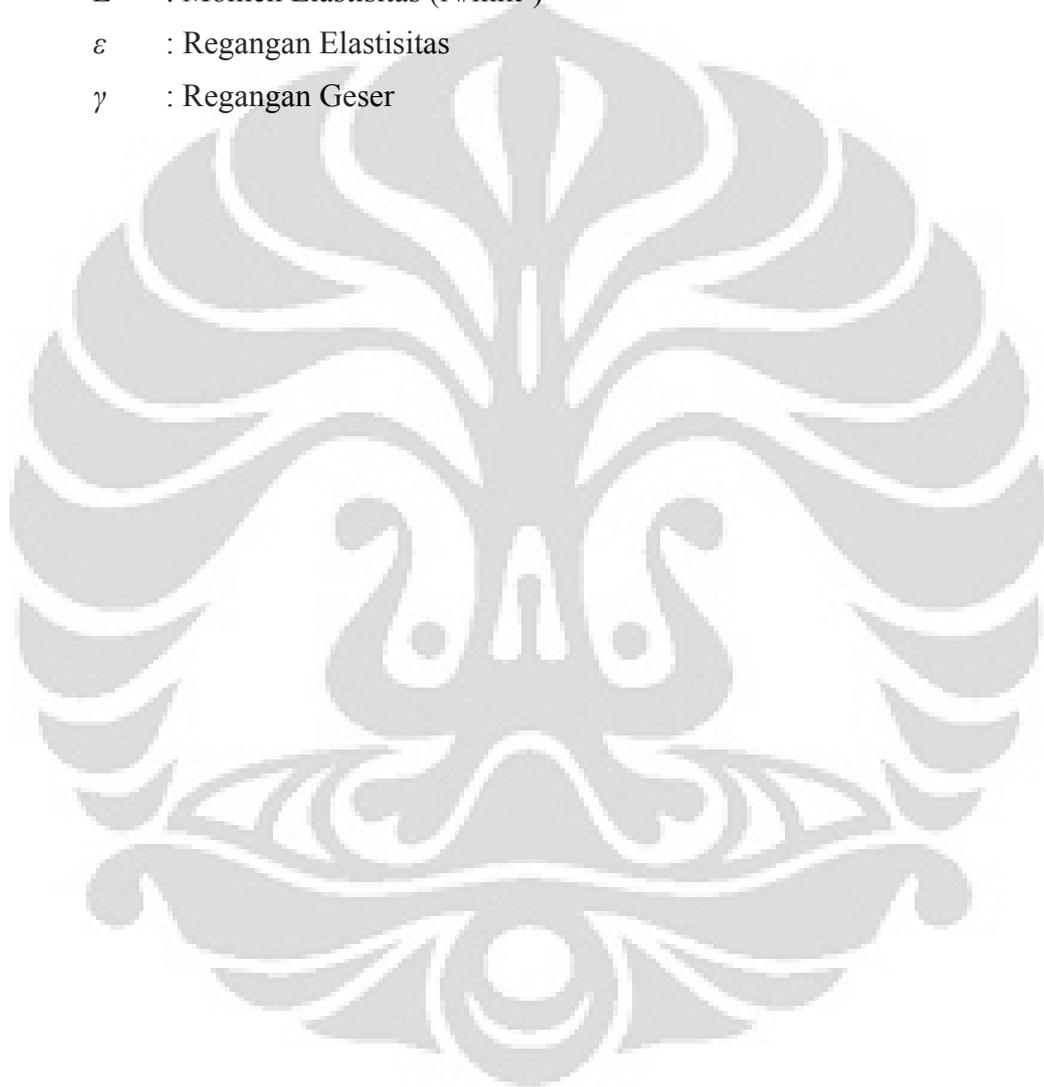
Dimana :

G : Modulus Geser (N/mm^2)

E : Momen Elastisitas (N/mm^2)

ε : Regangan Elastisitas

γ : Regangan Geser





BAB III METODE PENELITIAN

3.1 PENDAHULUAN

Pada bab ini akan diuraikan penjelasan dari hal-hal yang dilakukan dalam penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh penulis mulai dari studi literatur dan pengamatan lapangan, persiapan benda uji, alat pengujian sampai praktikum di laboratorium yaitu berupa pengukuran dan pengamatan dari percobaan serta pengolahan data yang dilakukan.

Secara garis besar, tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi lima tahap :

1. Rancangan alat berdasarkan literatur yang ada atau yang sudah dikembangkan.

Berdasarkan pada literatur yang telah dikumpulkan di dalam bab sebelumnya, dibuatkan alat yang cocok dan sesuai dengan kondisi di laboratorium ilmu bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dengan adanya modifikasi alat sedemikian rupa sehingga dibuatlah suatu alat yang mampu memberikan gaya geser pada bata dan juga memenuhi standar-standar mengenai pengujian batu bata khususnya geser.



2. Pembuatan alat uji

Setelah tahap perancangan selesai maka dilanjutkan dengan pembuatan alat uji, dalam hal ini adalah memodifikasi alat yang ada di Laboratorium Ilmu Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, agar pengujian geser dapat terlaksana.

Pada tahap ini juga dilakukan persiapan terhadap alat-alat yang akan digunakan pada pengujian yaitu berupa penyediaan kalibrasi, dan juga termasuk modifikasi alat.

3. Tahap persiapan benda uji

Meliputi pengadaan benda uji yang sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam tahap ini juga benda uji dicari mengenai berbagai spesifikasi yang meliputi: ukuran, bentuk, warna, berat. Mengenai benda uji akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

4. Tahap pengujian batu bata di laboratorium

Terdapat dua tipe pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian yang bersifat non destruktif dan pengujian yang bersifat destruktif. Pengujian yang bertujuan untuk mencari modulus elastisitas dengan menggunakan *pundit* bersifat non destruktif yakni sampel yang telah diuji dapat kembali digunakan untuk pengujian kekuatan geser. Namun pengujian untuk mencari kuat tekan bata bersifat destruktif benda uji yang telah digunakan tidak dapat kembali digunakan karena benda uji telah mengalami perubahan bentuk atau kehancuran.

5. Analisa data pengujian

Data-data yang telah dihasilkan dari pengujian akan diolah menggunakan statistik untuk mendapatkan hubungan antara berbagai variabel, seperti modulus elastisitas, dan kuat geser.

Pengujian yang akan dilakukan di Laboratorium Ilmu Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

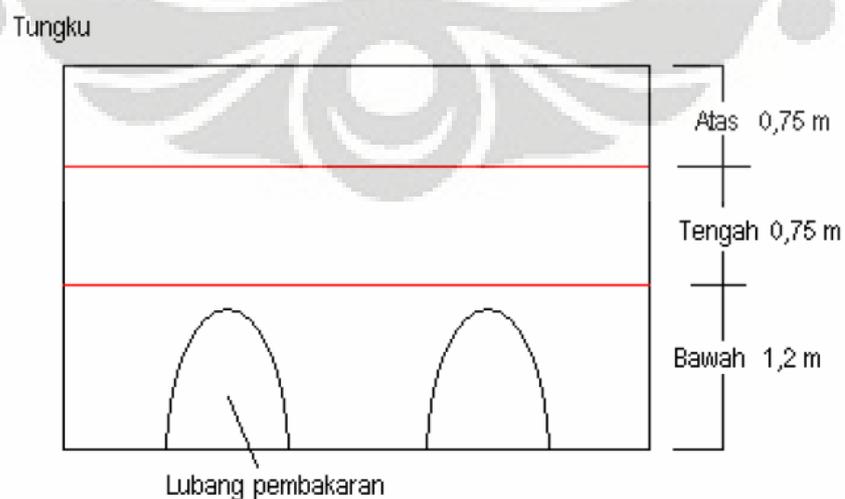
3.2 PROSEDUR PENGUJIAN NON DESTRUKTIF

3.2.1 Pengelompokan dan Jumlah Benda Uji

Pengelompokan benda uji berdasarkan dari posisi pembakarannya. Penentuan jarak pengelompokan bata dalam tungku ditentukan oleh perbedaan warna bata setelah pembakaran.



Gambar 3.1 Lubang Tungku Pembakaran Batu Bata



Gambar 3.2 Pembagian visual tempat pembakaran batu bata berdasarkan pengamatan

Benda uji yang diambil adalah 20 (dua puluh) buah untuk setiap kelasnya secara acak dari tumpukan batu bata. Pengambilan sample dipilih yang memenuhi syarat, dicari permukaan yang halus dan rata yang dapat mewakili untuk semua sample.

3.2.2 Karakteristik Benda Uji

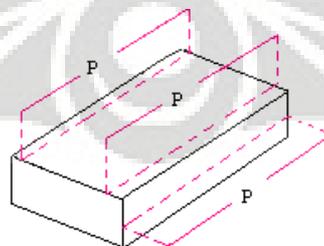
Penelitian terhadap karakteristik dapat dilakukan dengan mengamati dimensi atau ukuran batu bata, bentuk secara fisik dan warna, absorpsi, density dan pengukuran propertis batu bata.

3.2.2.1 Dimensi

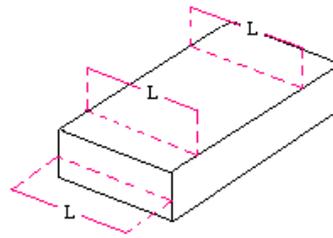
Pada pemilihan sample batu bata yang akan diuji, sample yang dipilih adalah yang mewakili seluruh sample serta memenuhi syarat mutu batu bata berdasarkan SNI 15-2094-2000 (tabel 2.1).

Alat ukur yang digunakan adalah Callipers atau alat-alat lain yang sejenis dengan ketelitian sampai 1 mm.

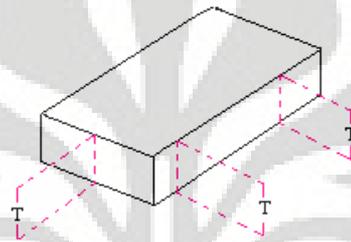
Masing-masing batu bata dilakukan pengukuran terhadap panjang, lebar dan tebal. Pengukuran dilakukan paling sedikit tiga kali pada tempat seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3, 3.4 dan 3.5. Tempat-tempat pengukuran dinyatakan dengan garis terputus-putus. Gambar 3.3 menunjukkan pengukuran arah panjang, gambar 3.4 pengukuran arah lebar, dan gambar 3.5 pengukuran arah tebal.



Gambar 3.3 Pengukuran arah panjang



Gambar 34. Pengukuran arah lebar

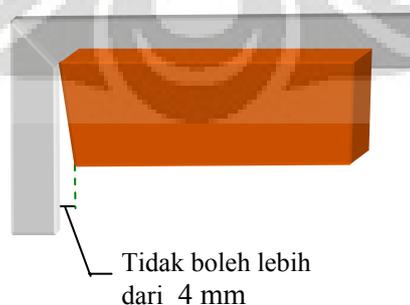


Gambar 3.5 Pengukuran arah tebal

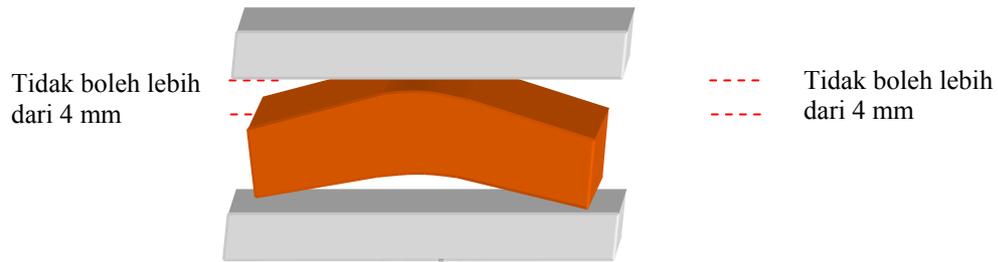
3.2.2.2 Bentuk

Dinyatakan dalam bidang-bidang datarnya rata atau tidak rata, menunjukkan retak-retak atau tidak, rusuk-rusuknya siku dan tajam atau tidak, materialnya rapuh atau tidak dan sebagainya.

Untuk mengetahui kerataan bidang datarnya serta kesiku-sikuannya maka batu bata diperiksa dengan alat penyiku seperti pada gambar 3.6 dan gambar 3.7. Ketidakrataan dan kebengkokan batu bata tidak boleh melebihi 4 mm.



Gambar 3.6 Kesikuan terhadap lebar



Gambar 3.7 Kebengkokan terhadap panjang (Berdasarkan SNI 15-2094-2000)

3.2.2.3 Warna

Warna batu bata dinyatakan dengan warna merah tua, merah muda, kekuning-kuningan, kemerah-merahan, keabu-abuan dan sebagainya. Warna pada penampang belah (patah) merata atau tidak.

Karena yang akan diambil merupakan bata yang terdiri dari tiga kelompok yaitu atas, tengah, dan bawah tungku pembakaran, maka pengelompokan warna ini terdiri dari tiga macam, yaitu :

Letak Pembakaran Dalam Tungku	Warna
Atas Tungku	Merah Bata
Tengah Tungku	Coklat
Bawah Tungku	Coklat Kehitaman

Tabel 3.1 Pengelompokan batu bata

3.2.2.4 Berat

Enam puluh buah bata utuh yang diambil secara acak dari jumlah contoh yang diserahkan, masing-masing ditimbang beratnya dengan ketelitian sampai 0.1 gram. Penimbangan dilakukan dalam ruangan pengujian dan hasil penimbangan dihitung rata-rata dan dinyatakan dalam kilogram.



3.2.4 Absorpsi

Setelah data-data pengukuran telah selesai dilaksanakan maka tahapan selanjutnya adalah mengetahui nilai absorpsi dari benda uji. Maksudnya untuk mengetahui persentasi berat air yang dapat diserap oleh bata yang di uji.

Peralatan

- Bak perendam
- Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- Timbangan dengan ketelitian 0,5 gram dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- Kain lap untuk melap permukaan bata.

Prosedur pengujian

Letakan bata pada oven dengan suhu $110 ^\circ\text{C}$ selama 12 jam, setelah bata selesai dioven, bata dikeluarkan dan diamkan selama 2 jam sebelum ditimbang berat kering oven. Setelah itu masukkan bata kedalam bak perendam selama 12 jam, setelah itu bata dilap kemudian di timbang.

Sehingga didapat prosentasi absorpsi :

$$\text{Absorpsi}(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad \text{Persamaan 3.1}$$

Dimana : A = Berat kering oven batu bata (gram)

B = Berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) (gram)

3.2.5 Density

Bertujuan untuk mengetahui kepadatan bata yang diuji.

Peralatan

- Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$
- Timbangan dengan ketelitian 0,5 gram dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- Kain lap untuk melap permukaan bata.



Prosedur Pengujian

Letakkan bata pada oven dengan suhu 110 °C selama 12 jam, setelah bata selesai dioven, bata dikeluarkan dan diamkan selama 2 jam sebelum ditimbang berat kering oven. Setelah itu timbang berat bata di dalam air yang diukur pada saat 1 menit. Kemudian angkat bata dan dilap sampai didapat berat kering permukaan jenuh.

Sehingga di dapat :

Dry Density d_{dry}

$$d_{dry} = \frac{A}{C - B}$$

Persamaan 3.2

Dimana A = Berat kering oven batu bata (gram).

B = Berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) (gram).

C = Berat jenuh permukaan batu bata setelah 1 menit dalam air (gram).

3.2.6 Pengukuran Propertis Batu Bata Dengan Alat Pundit

Pengujian laboratorium dengan menggunakan instrumen yang memanfaatkan getaran dan gelombang sebagai media kerjanya sangatlah peka. Getaran tambahan pada meja uji ini akan menimbulkan ketidaksinkronan hasil. Kesalahan dalam penempatan posisi transducer juga akan menimbulkan data yang menyimpang. Bahkan kondisi benda uji yang tidak layak sangat mempengaruhi rambatan gelombang pada benda uji. Dengan kata lain, pada uji laboratorium ini dibutuhkan situasi dan kondisi yang kondusif untuk mendapatkan data yang akurat. Alat yang digunakan adalah PUNDIT buatan CNS FARNELL.

Banyaknya benda uji yang dibuat sebanyak 60 (enam puluh) buah yang diambil berdasarkan posisi pembakarannya dalam tungku pembakaran, yang terdiri dari Bata Atas dengan simbol A1 sampai A20, Bata Tengah dengan simbol T1 sampai T20 dan Bata Bawah dengan simbol B1 sampai B20.



Setelah nilai penyerapan dan kepadatan dari batu bata Cikarang telah didapatkan, maka penelitian dilanjutkan dengan pengukuran properties batu bata dengan alat PUNDIT untuk mendapatkan nilai-nilai properties dari batu bata pejal itu sendiri, nilai yang bisa didapatkan adalah modulus elastisitas dinamis, modulus elatisitas statis dan poisson *ratio* dari batu bata. Adapun langkah-langkah pelaksanaannya akan dijelaskan dibawah ini :

- *Perataan permukaan* : Permukaan benda uji harus dalam keadaan halus dan rata untuk memudahkan transducer menempel pada permukaan benda uji, sehingga frekuensi dari transmitter dapat diterima oleh receiver dengan baik. Perataan permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan gerinda atau amplas halus dan dilakukan secara hati-hati untuk menghindari kikisan merugikan yang berbentuk lekukan atau cekungan.
- *Vaseline* : Sediakan vaseline putih atau gemuk dan sejenisnya untuk memudahkan kontak antara transducer dengan permukaan benda uji.
- *kalibrasi alat* : kalibrasi alat dilakukan untuk mendapatkan data yang valid. Pengkalibrasian alat ini dilakukan dengan saling menempelkan permukaan kedua transducer dan melakukan setting nol, sesuai dengan operating manual dari alat tersebut. Kalibrasi juga dapat dilakukan dengan menempelkan kedua transducer pada benda kalibrasi yang sudah diketahui nilai transit time-nya. Setelah kalibrasi selesai dilakukan maka dapat dilanjutkan dengan langkah berikutnya yaitu pengujian PUNDIT.
- *Pengetesan PUNDIT* : Pengetesan dapat dilakukan setelah semua persiapan selesai dilaksanakan baik pada benda uji maupun pada alat. Adapun pengetesan dilakukan pada semua permukaan baik pada arak panjang (p), lebar (l), dan tinggi (t) dari benda uji. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 2.8. Dari pengetesan ini yang didapatkan adalah nilai transit time (t), velocity (v), dan modulus elastisitas dinamik (E_d). Kemudian dari kedua nilai diatas didapatkan nilai poisson ratio (ν) dimana perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4.



3.2.6.1 Persiapan Benda Uji

Persiapan benda uji harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

Dimensi benda uji harus diambil sebagai rata-rata dari beberapa bagian pengukuran, dimana bagian yang diukur harus disesuaikan dengan jenis alat uji yang akan digunakan.

Permukaan benda uji harus dalam keadaan halus dan rata untuk memudahkan transducer menempel pada permukaan benda uji, sehingga frekuensi dari transmitter dapat diterima oleh receiver dengan baik. Perataan permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan gerinda atau amplas halus dan dilakukan secara hati-hati untuk menghindari kikisan meruikan yang berbentuk legokan atau cekungan.

Sediakan vaseline putih atau sejenisnya untuk memudahkan kontak antara transducer dengan permukaan benda uji.

3.2.6.2 Kalibrasi Alat

Pengkalibrasian alat dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan data yang valid. Pengkalibrasian alat ini dilakukan dengan saling menempelkan permukaan kedua transducer dan melakukan seting nol, sesuai dengan operating manual dari alat tersebut. Kalibrasi juga dapat dilakukan dengan menempelkan kedua transducer pada benda kalibrasi yang sudah diketahui nilai transit time-nya.

3.2.6.3 Pengujian

Setelah dilakukan semua persiapan, baik pada alat maupun benda uji, kita dapat melakukan pengujian di laboratorium. Pengujian yang sejajar dengan arah tekan atau arah geser dari benda yang diuji.

3.2.6.4 Perhitungan dengan alat PUNDIT

Dari pengujian dengan alat PUNDIT yang dilakukan didapatkan nilai transit time (t). Sebelumnya massa jenis dan panjang benda uji harus didapatkan terlebih dahulu.

Nilai nisbah poisson ditentukan sebesar 0.184214. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus 2.1.

3.3 PROSEDUR PENGUJIAN DESTRUKTIF

Pengujian destruktif geser yang dilakukan oleh saudara Permana, R (2000) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8 di bawah ini. Bata langsung dijepit pada mesin uji geser. Kegagalan yang terjadi adalah adanya tegangan awal pada saat pengujian. Penyempurnaan untuk pengujian selanjutnya adalah batu bata dijepit pada 1/3 bagiannya dengan beton, beton tersebut yang akan dijepitkan pada mesin geser. Pada pengujian ini ikatan antara beton dan bata (bonded strength) diabaikan. Ikatan beton pada bata diharapkan terjepit rata pada 1/3 permukaan bata.



Gambar 3.8 Pengujian destruktif geser oleh Permana,R(2000)

3.3.1 Pembuatan Beton Tahu

Pembuatan beton tahu disini bertujuan untuk menopang masuknya 1/3 (sepertiga) bagian dari batu bata ke dalam kubus beton. Mutu beton tahu ini sama dengan mutu kubus beton itu sendiri yaitu mutu K-225. Beton tahu disini menggunakan cetakan pipa PVC berdiameter 2 inci yang dipotong-potong dengan panjang 8 (delapan) cm, sebanyak 60 buah. Pipa ini kemudian dipotong pada sisi memanjangnya yang kemudian direkatkan dengan selotif untuk memudahkan mengeluarkan beton dalam cetakan. Dengan menggunakan perbandingan 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil, beton ini dimasukkan

ke dalam cetakan tersebut dengan cara ditusuk-tusuk untuk mendapatkan permukaan yang rata pada seluruh bidangnya.



Gambar 3.9. Pembuatan beton tahu

3.3.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah – langkah pembuatan benda uji

1. Siapkan cetakan kubus 15x15x15 cm yang telah olesi oli pada permukaan dalamnya.
2. Buat beton K-225 dengan perbandingan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.
3. Letakkan beton tahu di tengah-tengah cetakan kubus. Tuangkan beton perlahan-lahan ke dalam cetakan dengan cara ditusuk-tusuk untuk mendapatkan beton yang masive.
4. Kemudian letakkan batu bata diatas beton tahu dimana hanya 1/3 dari bata yang masuk ke dalam cetakan. Lalu penuh cetakan dengan beton sampai permukaannya rata. Sebelum bata digunakan, bata tersebut harus direndam terlebih dahulu dan dikeringkan sebelum sebelum digunakan.



Gambar 3.10 Pembuatan benda uji

5. Keesokan harinya cetakan dibuka dan benda uji direndam selama 28 hari. Perendaman benda uji hanya pada betonnya saja.



Gambar 3.11 Perawatan benda uji dengan cara direndam selama 28 hari

3.3.3 Pengujian Tegangan Geser

Perilaku material terhadap kuat geser murni dapat diteliti di dalam Laboratorium dengan menggunakan benda uji yang telah dibuat.

Benda Uji

1. Benda uji berupa batu bata merah cikarang yang 1/3 bagian diikat dengan beton direndam selama 28 (dua puluh delapan) hari, dan dikeluarkan selama kurang lebih 24 jam.
2. Benda uji berjumlah 60 (enam puluh) buah dari batu bata Cikarang yang telah diketahuui modulus elastisitasnya (E), dan dibagi menjadi 3 bagian berdasarkan posisi pembakaran.
3. Alat

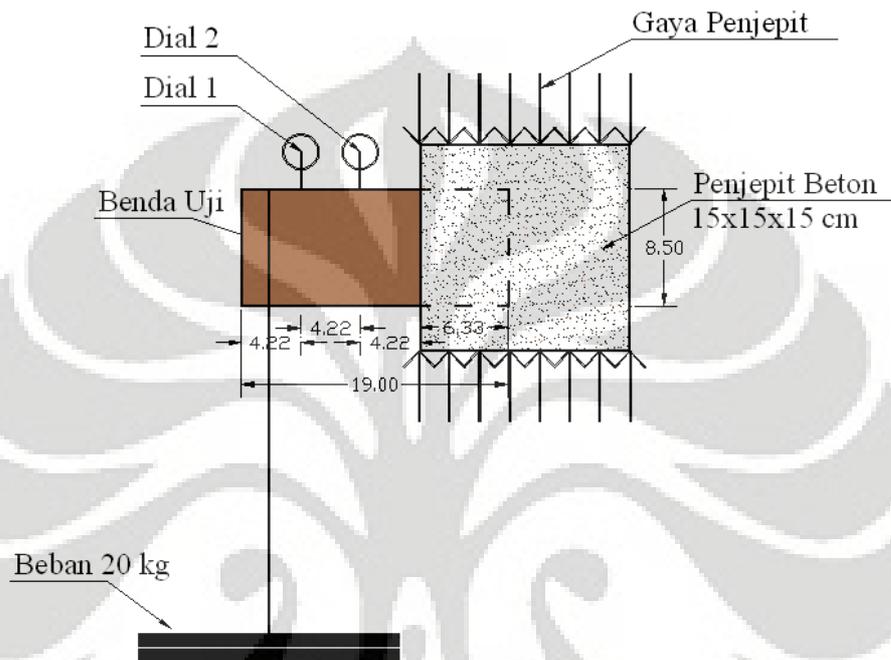
Untuk menentukan kuat geser dibuat alat yang memiliki pembebanan manual sehingga percepatan pembebanannya dapat diatur baik terhadap jumlah beban maupun terhadap waktu. Kemudian untuk keperluan penentuan jarak pergeseran digunakan dial gauge (skala 0.01mm) yang diletakkan dekat dengan pembebanan.

Alat yang dibuat pada prinsipnya hanya berupa tumpuan untuk menahan beton agar kaku, sehingga ujung bata dapat diberi pembeban berupa beban terpusat. (gambar 3.12). Kemudian letakkan 2 buah dial gauge dekat dengan titik pembebanan yang telah ditentukan.



Gambar 3.12 Penempatan dial pada benda uji

4. Benda uji kemudian diujikan pada mesin uji geser dengan pembebanan dengan kelipatan 20 kg, seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pengujian geser pada benda uji

3.3.4 Perhitungan Tegangan Geser

Arah tekanan pada bidang geser benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban dalam pemakaiannya. Benda uji yang telah siap, ditentukan kuat gesernya dengan pembebanan yang dimulai dari paling kecil hingga pembebanan sampai benda uji runtuh. Kuat geser dihitung dengan membagi beban maksimum dengan luas bidang geser dinyatakan dalam N/mm^2 .



Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat geser adalah:

$$\tau = \frac{P}{Ag} \quad \text{Persamaan 3.3}$$

$$Ag = b \times t$$

Dimana :

A = Luas Bidang Geser (mm^2)

τ = Tegangan Geser (N/mm^2)

b = lebar penampang balok (m)

t = tebal penampang balok (m)

3.3.5 Perhitungan Modulus Geser

Nilai modulus geser ini dapat diketahui setelah kurva tegangan - regangan telah selesai diolah. Dengan menggunakan rumus

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{Persamaan 3.4}$$

$$\tau = G \gamma \quad \text{Persamaan 3.5}$$

Dimana :

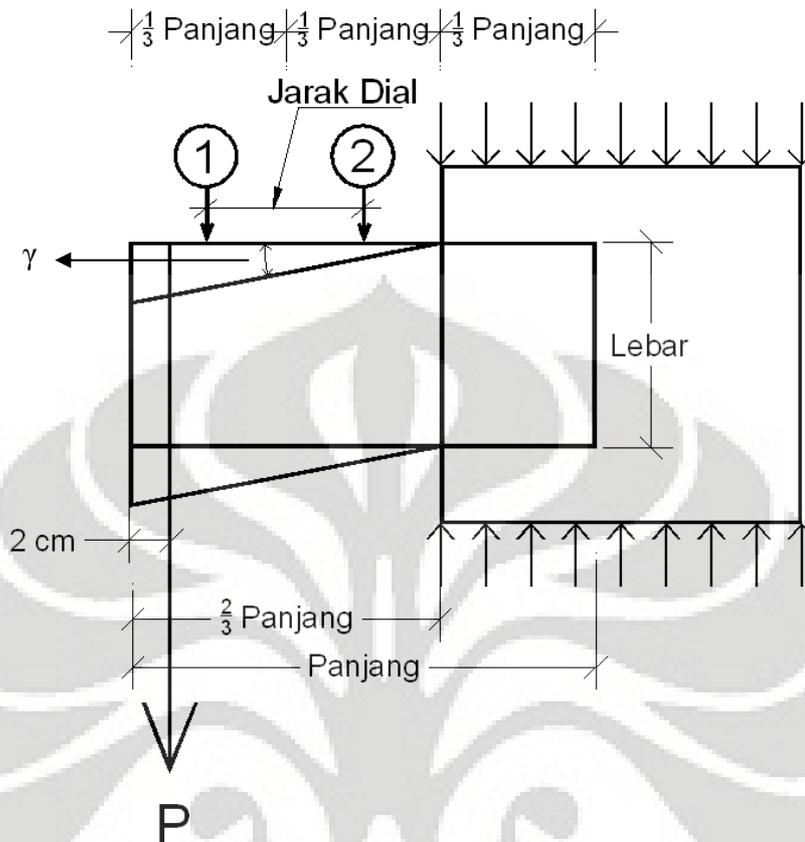
G = Modulus Elastisitas Geser

τ = Tegangan Geser (kg/cm^2)

E = modulus Elastisitas

ν = Poisson Ratio

γ = Regangan Geser



Gambar 3.14 Metode pengujian geser

Regangan (γ)

$$\tan \gamma = \frac{\text{Pembacaan Dial 1} - \text{Pembacaan Dial 2}}{\text{Jarak Dial}}$$

$$\gamma(\text{rad}) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Pembacaan Dial 1} - \text{Pembacaan Dial 2}}{\text{Jarak Dial}} \right)$$

Persamaan 3.6

Modulus geser adalah nilai regresi dari sample bata yang ditinjau. Regresi linear ini didapat dari hubungan grafik antara tegangan (τ) dan regangan geser (γ). Tegangan geser yang digunakan adalah tegangan geser rata-rata seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



3.6 Teknik Analisa Data

Analisa statistik digunakan untuk menentukan nilai yang mewakili dari sampel-sampel yang diuji. Untuk menentukan kurva hubungan tegangan-regangan digunakan analisa statistik menurut kelompok bata ataupun gabungan. Dari setiap selang tegangan tertentu dilakukan curve fitting untuk menentukan nilai regangan yang merepresentasikan sampel yang diuji. Nilai yang diambil dari analisa tersebut adalah nilai mean dari masing-masing distribusi yang dianggap paling sesuai.

Rata-rata (Mean)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N} \quad \text{Persamaan 3.6}$$

Standar Deviasi

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad \text{Persamaan 3.7}$$

Dimana :
 SD = Standard Deviasi
 Xi = Nilai Pengukuran Bata ke i
 \bar{X} = Nilai Pengukuran Rata-rata Bata
 N = Jumlah Bata yang Diuji

Koefisien Varian

$$\text{Coef. Varian} = \frac{SD}{\bar{X}} \quad \text{Persamaan 3.8}$$



BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan data-data yang telah didapatkan pada percobaan, maka dilakukan beberapa tahap pengolahan data.

Dalam percobaan ini dilakukan beberapa kajian dan perbandingan yaitu berdasarkan letak pembakaran bata dalam tungku perapian dan berdasarkan kecepatan rambat gelombang ultrasonik yang diperoleh melalui test PUNDIT yang kemudian dikonversikan terhadap modulus elastisitas bata.

4.1 PENGUJIAN NON DESTRUKTIF

4.1.1 Jumlah Benda Uji dan Bentuk Fisik

Banyaknya batu bata pada pengujian ini sebanyak 20 buah untuk masing-masing kelompok berdasarkan letak pembakaran.

Tipe Bata	Letak Pembakaran Dalam Tungku	Jumlah Benda Uji	Warna
A	Atas Tungku	20 Buah	Merah Bata
T	Tengah Tungku	20 Buah	Coklat
B	Bawah Tungku	20 Buah	Coklat Kehitaman

Tabel 4.1. Pengelompokan Batu Bata



Tabel 4.1 menunjukkan pengelompokan batu bata berdasarkan letak pembakaran, jumlah serta warna pada tiap kelompoknya.

4.1.2 Pengukuran Dimensi dan Massa Jenis

Pengukuran dimensi dengan menggunakan Callipers atau alat lain yang sejenis dengan ketelitian sampai 1 mm. Hasil dari pengukuran ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut. Sesuai dengan pembahasan di Bab sebelumnya, maka didapat nilai-nilai hasil pengujian sebagai berikut :

Posisi Pembakaran	Panjang (cm)	SD	Lebar (cm)	SD	Tebal (cm)	SD
Bata Atas	18.850	0.204	8.610	0.190	4.265	0.175
Bata Tengah	18.658	0.287	8.576	0.278	4.208	0.207
Bata Bawah	18.562	0.408	8.541	0.284	4.144	0.216

Tabel 4.2. Pengukuran rata-rata dimensi batu bata

Dari hasil pengukuran rata-rata dari ketiga kelompok bata, bata dengan posisi pembakaran dibawah tungku memiliki dimensi yang lebih pendek dibandingkan dengan bata posisi pembakaran di tengah dan atas tungku. Bata dengan posisi di atas tungku memiliki dimensi yang lebih panjang pada sisi panjang, lebar dan tebalnya. Hal ini disebabkan karena bata posisi dibawah pembakaran menerima panas paling besar sehingga bata mengalami penyusutan pada materialnya (menguapnya air di dalam batu bata tersebut).

Volume batu bata atas lebih berat dibandingkan dengan volume batu bata pada posisi dibawahnya. Hal ini seperti yang telah dibahas diatas karena adanya pengurangan dimensi akibat penyusutan pada bata yang dekat dengan tungku pembakaran.

Berat batu bata bagian atas lebih berat dibandingkan dengan batu bata dengan posisi pembakaran dibawahnya. Dengan hilangnya air di dalam bata tersebut mengakibatkan semakin ringannya bata tersebut.

Hal ini mengakibatkan massa jenis batu bata bagian atas lebih kecil dibandingkan dengan batu bata di bawahnya.



Posisi Pembakaran	Volume (cm ³)	SD	Berat (gram)	SD	Massa Jenis (ton/m ³)	SD
Bata Atas	691.877	27.882	1,192.500	45.852	1.725	0.065
Bata Tengah	673.647	47.418	1,175.650	55.949	1.749	0.084
Bata Bawah	657.262	49.426	1,156.550	50.424	1.765	0.092

Tabel 4.3 Volume, berat dan massa jenis rata-rata batu bata

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yusuf,M (2005) didapatkan volume rata-rata = 676 cm³, ρ rata-rata = 1.758 ton/m³. Penelitian yang dilakukan Yvernes,P (2005) didapatkan nilai ρ rata-rata = 1.788 ton/m³.

4.1.3 Absorpsi

Posisi Pembakaran	Absorpsi (%)	SD
Bata Atas	13.02%	2.989
Bata Tengah	13.29%	1.561
Bata Bawah	15.22%	1.173

Tabel 4.4 Absorpsi rata-rata batu bata

Berdasarkan pengukuran absorpsi terhadap ke tiga jenis batu bata di dapatkan kesimpulan bahwa batu bata bagian atas memiliki absorpsi sebesar 13.02%, batu bata bagian tengah memiliki absorpsi 13.29% dan batu bata bagian bawah memiliki absorpsi sebesar 15.22%. Hal ini disebabkan karena batu bata bagian bawah yang dekat dengan tungku pembakaran sehingga memiliki daya serap yang tinggi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yusuf,M (2005) didapatkan absorpsi rata-rata = 13.211%. Penelitian yang dilakukan Yvernes,P (2005) didapatkan nilai absorpsi rata-rata = 15.268%.



Contoh perhitungan absorpsi untuk Bata A1

- Berat jenuh permukaan kering (saturated surface dry) (A) = 1270.0 gram
- Berat kering oven (B) = 1133.0 gram

Berdasarkan persamaan 3.1

$$\text{Absorpsi}(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$\text{Absorpsi}(\%) = \frac{1270.0 - 1133.0}{1133.0} \times 100\% = 12.1\%$$

4.1.4 Dry Density

Posisi	Dry Density	SD
Pembakaran	(%)	
Bata Atas	1.75%	0.128
Bata Tengah	1.76%	0.100
Bata Bawah	1.74%	0.059

Tabel 4.5 Dry density rata-rata batu bata

Hasil pengukuran dry density didapatkan untuk bata atas memiliki density 1.75%, bata bagian tengah 1.76% dan bata bagian bawah 1.74%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yusuf, M (2005) didapatkan dry density rata-rata = 1.789%.

Contoh perhitungan dry density untuk bata A1

- Berat kering oven (A) = 1133.0 gram
- Berat kering batu bata dalam air maksimum 1' (B) = 573 gram
- Berat jenuh permukaan batu bata 1' dalam air (C) = 1189 gram



Berdasarkan persamaan 3.2

$$d_{dry}(\%) = \frac{A}{C - B}$$

$$d_{dry}(\%) = \frac{1133.0}{1189.0 - 573.0} = 1.84\%$$

4.1.5 Pengukuran dengan Alat Pundit

4.1.5.1 Transit Time

Dari pengukuran properties batu bata dengan alat PUNDIT yang didapatkan hanyalah nilai *transit timenya* saja, untuk mendapatkan nilai *velocity* digunakan persamaan 2.1 yang berhubungan dengan dimensi bata itu sendiri, sedangkan untuk modulus elastisitas didapatkan berdasarkan Kurva Eksponensial CNS FARNELL (*grafik hubungan modulus elastisitas dengan velocity*).

Tabel dibawah ini merupakan nilai *transit time* dengan satuan mikro second (μs) yang diukur berdasarkan dimensi bata, sehingga didapatkan tiga nilai *transit time*, yaitu arah memanjang (TL), arah lebar (Tl), dan arah tinggi (Tt).

Posisi	Panjang		Lebar		Tebal	
	Transit TL (μs)	SD	Transit Tl (μs)	SD	Transit Tt (μs)	SD
Bata Atas	263.575	153.368	60.590	14.746	30.135	9.191
Bata Tengah	171.580	55.177	55.550	17.747	25.210	11.564
Bata Bawah	178.125	97.801	55.615	19.165	26.815	11.918

Tabel 4.6 Hasil pengukuran transit time dengan Pundit

Berdasarkan hasil pengukuran transit time batu bata pada pengujian Yusuf, M (2005) didapat TL = 140.5 μs , Tl = 52.5 μs dan Tt 19.7 μs .



4.1.5.2 Velocity

Posisi	Panjang		Lebar		Tebal	
	Velocity VL (km/s)	SD	Velocity V1 (km/s)	SD	Velocity Vt (Km/s)	SD
Bata Atas	0.873	0.344	1.497	0.335	1.562	0.495
Bata Tengah	1.199	0.395	1.705	0.571	2.034	0.989
Bata Bawah	1.241	0.409	1.695	0.531	1.848	0.761

Tabel 4.7 Hasil pengukuran velocity dengan Pundit

Nilai velocity didapatkan dari persamaan 2.1. Berdasarkan hasil pengukuran velocity batu bata pada pengujian Yusuf,M (2005) didapat VL= 1.427 km/s, V1 = 1.756 km/s dan Vt = 2.345 km/s. Penelitian yang dilakukan Yvernes,P (2005) didapatkan nilai velocity untuk seluruh bata VL= 1.27 km/s, V1 = 1.429 km/s dan Vt = 1.714 km/s.

4.1.5.3 Modulus Elastisitas Dinamik

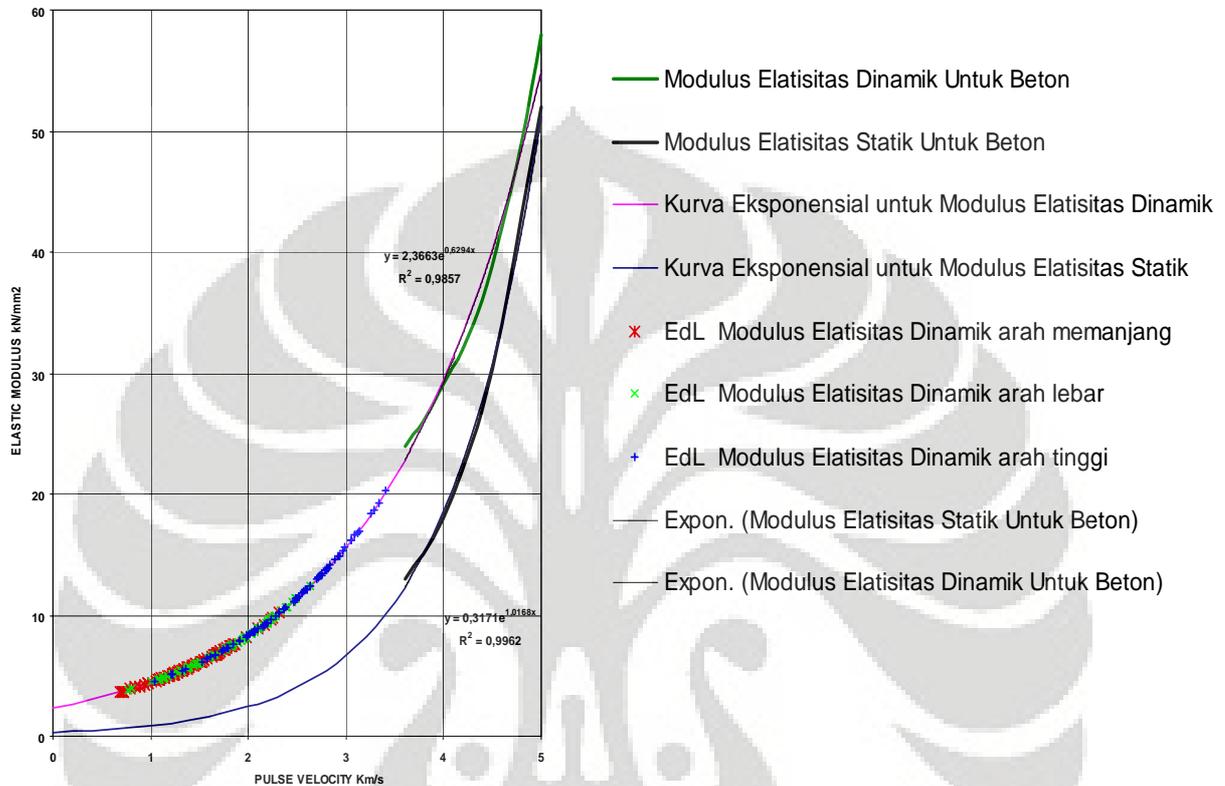
Posisi	Panjang		Lebar		Tebal	
	EdL (KN/mm ²)	SD	Edl (KN/mm ²)	SD	Edt (KN/mm ²)	SD
Bata Atas	4.193	0.947	6.199	1.275	6.631	2.170
Bata Tengah	5.194	1.448	7.383	2.889	11.205	13.818
Bata Bawah	5.323	1.251	7.291	2.913	8.545	5.068

Tabel 4.8 Hasil pengukuran modulus elastisitas dinamik

Modulus elastisitas dinamik pada batu bata didapat dari persamaan berikut :

$$y = 2.3663e^{0.6294X}$$

MODULUS ELASTISITAS



Grafik 4.1 Modulus elastisitas statik dan dinamik

Hasil pengukuran modulus elastisitas dinamik oleh Yusuf, M (2005) yaitu $EdL = 5.974 \text{ kN/mm}^2$, $Edl = 7.432 \text{ kN/mm}^2$ dan $Edt = 10.974 \text{ kN/mm}^2$.

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Yvernes,P (2005) untuk pengukuran seluruh bata, didapatkan nilai Modulus Elastisitas Dinamik yaitu $EdL = 2,1 \text{ kN/mm}^2$, $Edl = 14,3 \text{ kN/mm}^2$ dan $Edt = 78,2 \text{ kN/mm}^2$



4.1.5.4 Modulus Elastisitas Statik

Posisi	Panjang		Lebar		Tebal	
	EsL (KN/mm ²)	SD	Esl (KN/mm ²)	SD	Est (KN/mm ²)	SD
Bata Atas	0.818	0.307	1.533	0.501	1.758	0.947
Bata Tengah	1.169	0.569	2.132	1.405	6.030	15.796
Bata Bawah	1.206	0.435	2.089	1.562	2.901	3.290

Tabel 4.9 Hasil pengukuran modulus elastisitas statik

Modulus elastisitas statik

$$y = 0.317e^{1.0168X}$$

Hasil pengukuran modulus elastisitas statis oleh Yusuf,M (2005) yaitu EdL = 1.457 kN/mm², Edl = 2.090 kN/mm² dan Edt = 3.989 kN/mm².

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Yvernes,P (2005) untuk pengukuran seluruh bata, didapatkan nilai Modulus Elastisitas Dinamik yaitu EdL = 1.2 kN/mm², Edl = 1.5 kN/mm² dan Edt = - kN/mm².

4.1.5.5 Poisson Ratio Dinamik

Posisi	Panjang		Lebar		Tebal	
	Poisson Coef L (vL)	SD	Poisson Coef l (vl)	SD	Poisson Coef t (vt)	SD
Bata Atas	1.0215	1.4063	0.2570	0.2600	0.2850	0.3000
Bata Tengah	0.3480	0.2580	0.1470	0.1310	0.2080	0.3380
Bata Bawah	0.4400	0.6330	0.1460	0.1680	0.2580	0.3670

Tabel 4.10 Hasil pengukuran poisson ratio

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1 + \nu_d)(1 - 2\nu_d)}{(1 - \nu_d)}$$

$$\nu_d = \frac{(E_d - \rho V^2) \pm \sqrt{(E_d - \rho V^2)(E_d - 9\rho V^2)}}{4\rho V^2}$$

Contoh perhitungan poisson ratio dinamik untuk bata A1 arah memanjang

- $V = 0,826 \text{ km/s}$

- $E_d = 3.980 \text{ KN/mm}^2$

- $\rho = 1.750 \text{ t/m}^3$

$$\nu_d = \frac{(E_d - \rho V^2) \pm \sqrt{(E_d - \rho V^2)(E_d - 9\rho V^2)}}{4\rho V^2}$$

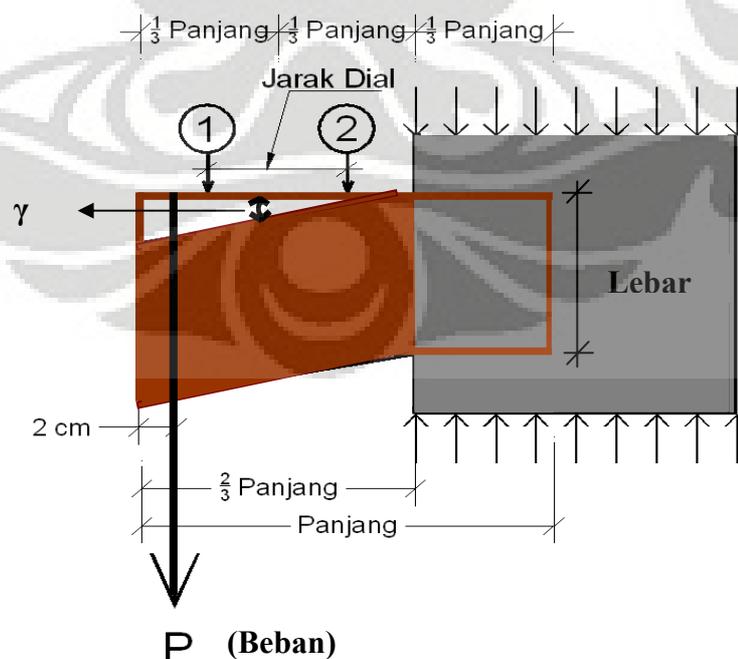
$$\nu_d = \frac{(3.980 - 1,750 \times 0,826^2) \pm \sqrt{(3.980 - 1,750 \times 0,826^2)(3.980 - 9 \times (1,750 \times 0,826^2))}}{4 \times (1,750 \times 0,826^2)}$$

$$\nu_d = 0,496$$

Nilai Poisson ratio yang didapatkan pada penelitian Yusuf, M (2005) untuk seluruh bata adalah $\nu_{dL} = 0.215$, $\nu_{dI} = 0.123$, $\nu_{dT} = 0.041$

Pada lampiran 4, 11 dan 19 untuk perhitungan poisson ratio pada bata, nilai-nilai di atas 0.5 dan minus adalah salah. Ini disebabkan kesalahan pada saat pembacaan nilai transit time pada pengujian PUNDIT.

4.2 Pengujian Destruktif Geser



Gambar 4.1 Metoda pembebanan geser pada bata

Gambar 4.1 merupakan metoda yang digunakan untuk pengujian geser. Dimana batu bata di jepit pada sepertiga bagiannya dengan kubus beton berdimensi 15x15x15 cm, kemudian dibebani dengan beban bertahap setiap 20 kg sampai runtuh. Analisa penurunan, tegangan, regangan dan modulus geser dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

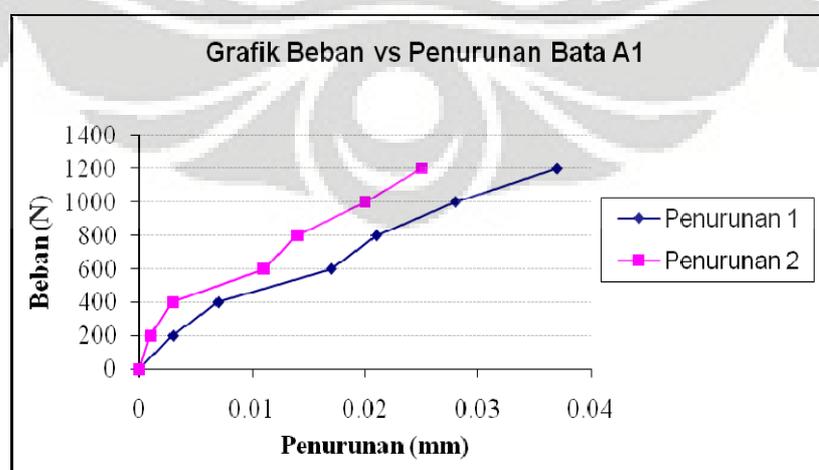
4.2.1 Bata Kelompok Atas

4.2.1.1 Beban dan Penurunan Bata Kelompok Atas

Tabel 4.11 menunjukkan hubungan beban dan penurunan pada bata A1. Pada bata A1 beban yang mampu dipikul adalah 1200 N. Bata runtuh pada pembebanan 1400 N. Penurunan maksimum sebesar 0.037 mm seperti yang ditunjukkan pada dial 1. Hubungan beban dan penurunan ditunjukkan pada grafik 4.2.

Beban (N)	Bata A1	
	Dial 1(mm)	Dial 2(mm)
0	0	0
200	0.003	0.001
400	0.007	0.003
600	0.017	0.011
800	0.021	0.014
1000	0.028	0.020
1200	0.037	0.025
1400	Beban Runtuh	

Tabel 4.11 Pembebanan dan penurunan pada bata A1



Grafik 4.2 Hubungan Beban dan Penurunan pada bata A1



Hubungan beban dan penurunan untuk seluruh bata kelompok atas dapat dilihat pada table 4.12 dibawah ini.

Beban (N)	Bata A1	Bata A2	Bata A3	Bata A4	Bata A5
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.003	0.005	0.006	0.011	0.006
400	0.007	0.008	0.015	0.017	0.014
600	0.017	0.015	0.028	0.028	0.023
800	0.021	0.021	0.047	0.038	0.043
1000	0.028	Runtuh	Runtuh	0.05	0.074
1200	0.037			Runtuh	0.110
1400	Runtuh				0.123
1600					0.156
1800					Runtuh
Beban (N)	Bata A6	Bata A7	Bata A8	Bata A9	Bata A10
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.026	0.008	0.009	0.011	0.005
400	0.035	0.030	0.011	0.016	0.009
600	0.043	0.060	0.013	0.026	0.016
800	0.055	Runtuh	0.019	0.040	0.021
1000	0.079		0.030	0.048	Runtuh
1200	Runtuh		Runtuh	Runtuh	
Beban (N)	Bata A11	Bata A12	Bata A13	Bata A14	Bata A15
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.023	0.006	0.021	0.009	0.007
400	0.035	0.015	0.030	0.019	0.013
600	0.043	0.028	0.037	0.030	0.023
800	0.055	0.047	0.050	Runtuh	0.044
1000	0.074	0.075	0.072		0.078
1200	0.085	Runtuh	Runtuh		0.112
1400	0.094				0.139
1600	Runtuh				0.159
1800					Runtuh
Beban (N)	Bata A16	Bata A17	Bata A18	Bata A19	Bata A20
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.003	0.008	0.006	0.005	0.007
400	0.010	0.030	0.015	0.016	0.009
600	0.013	0.070	0.028	0.021	0.014
800	0.022	Runtuh	0.047	0.038	0.022
1000	0.031		0.075	0.051	Runtuh
1200	Runtuh		Runtuh	Runtuh	

Tabel 4.12 Pembebanan dan penurunan pada bata kelompok atas

Dari pengujian beban dan penurunan didapatkan beban maksimum yang mampu dipikul oleh bata atas adalah 1600 N, yaitu pada bata A15 dengan besar penurunan sebesar 0.159 mm.

Hasil pengujian pembebanan dan penurunan bata kelompok atas saudara Permana, R (2000) dapat dilihat pada table 4.13.



Beban (Kg)	Δ (0,01mm)									
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	3	5	5	7,5	3	1	3	4	9	2,5
40	5	11	11	16	6	2	6,5	7		5
60	8	32	28	32,5	9	4	10	12		7,5
80	10,5	57		38,5	11	6	13	17		10
100	13	70		42	13,5	11	16	23		11,5
120	16,5	147		80	15	16,5	19,5	31,5		15
140	19	160		94	18,5	23	23	99		18
160	22,5				26,5	34	29	112		24
180	27				40		37	146		40
200							160			50
220										

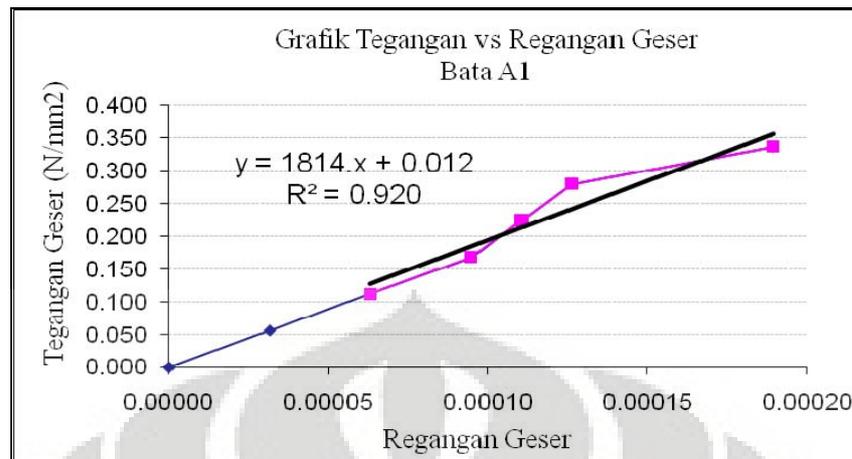
Tabel 4.13 Pembebanan dan penurunan pada bata kelompok atas pengujian Permana, R (2000)

Hasil pengujian saudara Permana, R (2000) beban maksimum yang mampu dipikul bata kelompok atas sampai hancur adalah 200 kg (2000 N) dengan penurunan sebesar 1.6 mm pada bata 7A.

4.2.1.2 Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Atas

No	Beban (N)	Posisi		Jarak Dial (mm)	Luas Geser (mm)	τ rata-rata (N/mm ²)	tan γ	γ (rad)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)					
		95.017	31.672					
1	0	0.000	0.000	63.344	3,570.000	0.000	0.00000	0.00000
2	200	0.003	0.001			0.056	0.00003	0.00003
3	400	0.007	0.003			0.112	0.00006	0.00006
4	600	0.017	0.011			0.168	0.00009	0.00009
5	800	0.021	0.014			0.224	0.00011	0.00011
6	1000	0.028	0.020			0.280	0.00013	0.00013
7	1200	0.037	0.025			0.336	0.00019	0.00019
8	1400	Beban Runtuh						

Tabel 4.14 Tegangan dan regangan bata A1



Grafik 4.3 Hubungan tegangan dan regangan geser bata A1

Dari data tegangan dan regangan dibuatlah grafik hubungan tegangan – regangan seperti pada grafik 4.3. Untuk benda uji A1 didapat persamaan garis linear $y = 1814x - 0.012$. Modulus geser (G) pada pengujian bata A1 adalah 1814 N/mm^2 , dengan indeks bias 0.920.

Contoh perhitungan tegangan (τ) dan regangan geser (γ) untuk bata A1

- Pembacaan dial 1 = 0.037 mm
- Pembacaan dial 2 = 0.025 mm
- Beban = 1200 N
- Jarak Dial = $95.017 - 31.672 = 63.345 \text{ mm}$
- Luas bidang geser = $85 \text{ mm} \times 42 \text{ mm} = 3.570 \text{ mm}^2$

Berdasarkan persamaan 2.5 tegangan geser adalah :

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

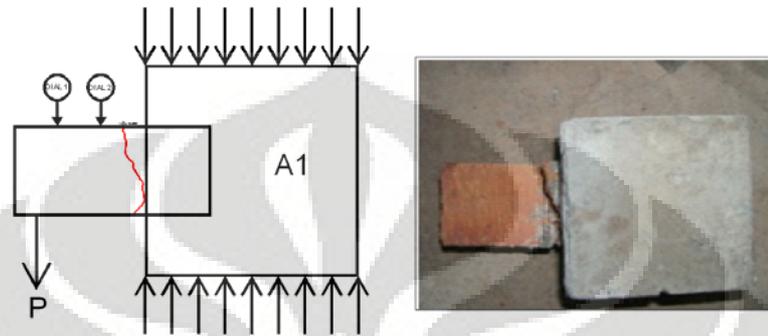
$$\tau = \frac{1200}{3.570} = 0.336 \text{ N/mm}^2$$

Untuk mencari regangan (γ)

$$\tan \gamma = \frac{\text{Pembacaan Dial 1} - \text{Pembacaan Dial 2}}{\text{Jarak Dial}}$$

$$\tan \gamma = \frac{0.037\text{mm} - 0.025\text{mm}}{63.345\text{mm}} = 0.00019$$

$$\gamma = \tan^{-1} 0.00019 = 0.00019 \text{ rad.}$$



Gambar 4.2 Pola retak pada bata A1

Untuk tegangan dan regangan rata-rata pada seluruh bata kelompok atas dapat dilihat pada tabel 4.15 dibawah ini. Regangan maksimum rata-rata sebesar 32 rad pada bata A5 dan A15, tegangan geser rata-rata maksimum pada bata A2 sebesar 0.530 N/mm^2 .

No	τ rata-rata (N/mm^2)	γ rata-rata (rad)
A1	0.224	0.00012
A2	0.530	0.00025
A3	0.153	0.00012
A4	0.203	0.00015
A5	0.250	0.00032
A6	0.194	0.00015
A7	0.135	0.00005
A8	0.203	0.00007
A9	0.192	0.00013
A10	0.169	0.00011
A11	0.236	0.00015
A12	0.185	0.00019
A13	0.185	0.00028
A14	0.140	0.00012
A15	0.264	0.00032
A16	0.192	0.00007
A17	0.132	0.00013



No	τ rata-rata (N/mm ²)	γ rata-rata (rad)
A18	0.190	0.00019
A19	0.192	0.00012
A20	0.166	0.00008

Tabel 4.15 Tegangan dan regangan geser rata-rata bata kelompok atas

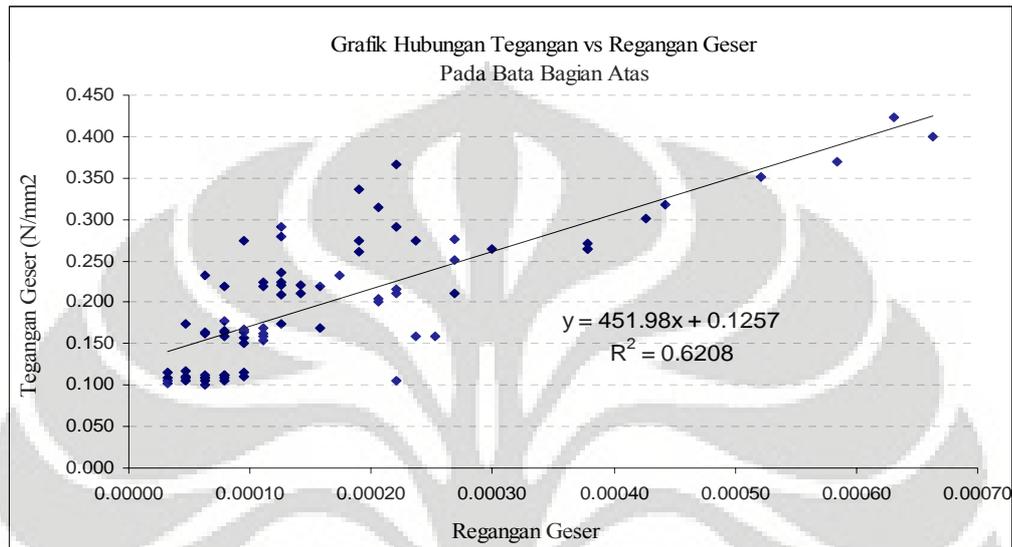
τ (Kg/cm ²)	γ (mm/mm)									
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5229	0,0004	0,0007	0,0007	0,001	0,0004	0,0001	0,0004	0,0005	0,0012	0,0003
1,0458	0,0007	0,0015	0,0015	0,0021	0,0008	0,0003	0,0009	0,0009		0,0007
1,5686	0,0011	0,0043	0,0039	0,0043	0,0012	0,0005	0,0013	0,0016		0,001
2,0915	0,0014	0,0076		0,0051	0,0015	0,0008	0,0017	0,0023		0,0013
2,6144	0,0017	0,0093		0,0056	0,0018	0,0015	0,0021	0,0031		0,0015
3,1373	0,0022	0,0196		0,0107	0,002	0,0022	0,0026	0,0042		0,002
3,6601	0,0025	0,0213		0,0125	0,0025	0,0031	0,0031	0,0132		0,0024
4,183	0,003				0,0035	0,0045	0,0039	0,0149		0,0032
4,7059	0,0036				0,0053		0,0049	0,0195		0,0053
5,2288							0,0213			0,0067
5,7516										

Tabel 4.16 Tegangan dan regangan bata kelompok atas pengujian Permana, R (2000)

Tabel 4.16 menunjukkan tegangan dan regangan pada pengujian saudara Permana, R (2000). Regangan maksimum sebesar 0.0213 pada bata 7A dengan nilai tegangan geser 5.2288 Kg/cm².

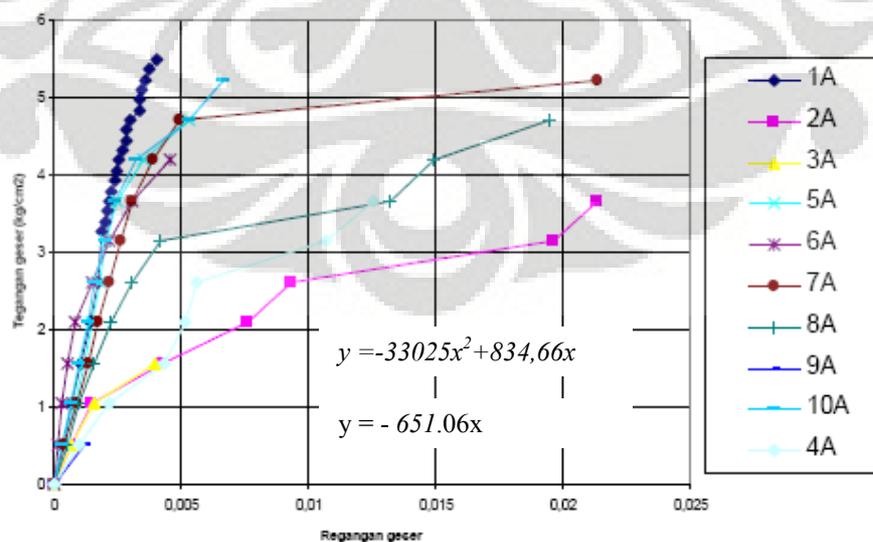
4.2.1.3 Modulus Geser Bata Kelompok Atas

Untuk mencari nilai modulus geser (G), maka nilai yang diambil adalah regresi linear pada pembebanan 400 N sampai beban runtuh.



Grafik 4.4 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok atas

Grafik 4.4 menunjukkan Modulus Geser rata-rata pada seluruh bata bagian atas. Dari persamaan linera tersebut didapat $G = 451.98 \text{ N/mm}^2$, dengan indeks bias 0.6208. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari 60% dari pengujian ini adalah benar.



Grafik 4.5 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok atas pengujian Permana, R (2000)

Modulus geser rata-rata bata kelompok atas pada pengujian saudara Permana, R (2000) adalah 651.06 Kg/cm^2 .

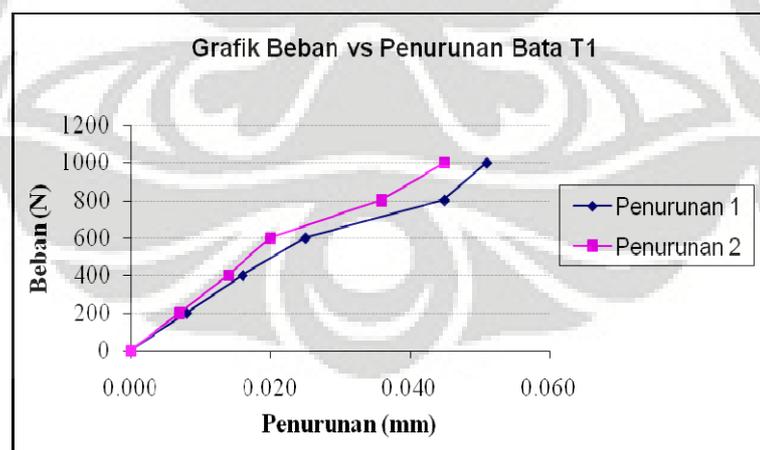
4.2.2 Bata Kelompok Tengah

4.2.2.1 Beban dan Penurunan Bata Kelompok Tengah

Contoh perhitungan dibawah ini adalah untuk pada bata T1

Beban (N)	Bata T1	
	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)
0	0.000	0.000
200	0.008	0.007
400	0.016	0.014
600	0.025	0.020
800	0.045	0.036
1000	0.051	0.045
1200	Beban Runtuh	

Tabel 4.17 Pembebanan dan penurunan bata T1



Grafik 4.6 Hubungan Beban dan Penurunan bata T1

Pada bata T1 beban yang mampu dipikul adalah 1000 N. Bata runtuh pada pembebanan 1200 N. Penurunan maksimum sebesar 0.051 mm pada dial 1.



Beban dan penurunan untuk seluruh bata kelompok tengah.

Beban (N)	Bata T1	Bata T2	Bata T3	Bata T4	Bata T5
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.008	0.003	0.004	0.0024	0.012
400	0.016	0.007	0.010	0.058	0.030
600	0.025	0.015	0.018	0.085	0.057
800	0.045	0.022	0.024	0.105	0.081
1000	0.051	0.029	0.031	0.132	0.090
1200	Runtuh	0.037	0.045	Runtuh	Runtuh
1400		0.045	Runtuh		
1600		Runtuh			
Beban (N)	Bata T6	Bata T7	Bata T8	Bata T9	Bata T10
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.010	0.008	0.015	0.006	0.006
400	0.016	0.030	0.031	0.014	0.020
600	0.027	0.064	0.065	0.023	0.027
800	0.043	0.109	0.091	0.043	0.044
1000	0.085	0.130	0.115	0.075	0.062
1200	0.112	0.142	0.138	0.111	0.097
1400	0.042	Runtuh	0.165	0.138	0.130
1600	Runtuh		0.181	0.159	0.151
1800			0.201	Runtuh	Runtuh
2000			Runtuh		
Beban (N)	Bata T11	Bata T12	Bata T13	Bata T14	Bata T15
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.004	0.007	0.007	0.008	0.009
400	0.014	0.014	0.016	0.018	0.019
600	0.028	0.021	0.031	0.032	0.032
800	0.043	0.038	0.040	0.054	0.049
1000	0.075	Runtuh	0.060	0.081	Runtuh
1200	0.105		0.091	0.105	
1400	0.153		0.125	Runtuh	
1600			0.158		
Beban (N)	Bata T16	Bata T17	Bata T18	Bata T19	Bata T20
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.005	0.020	0.015	0.007	0.006
400	0.013	0.059	0.031	0.010	0.014
600	0.027	0.093	0.065	0.014	0.023
800	0.044	0.154	0.091	0.023	0.043
1000	0.078	0.183	0.115	0.035	0.075
1200	0.114	Runtuh	0.138	Runtuh	0.111
1400	0.142		0.165		0.138
1600	Runtuh		0.181		0.159
1800			0.201		Runtuh
2000			Runtuh		

Tabel 4.18 Pembebanan dan penurunan bata kelompok tengah

Tabel 4.18 di atas ini menunjukkan hubungan beban dan penurunan seluruh bata kelompok tengah. Penurunan maksimum terjadi pada bata T18 sebesar 0.201 mm.



Untuk pengujian beban dan penurunan yang dilakukan oleh saudara Permana, R (2000) dapat dilihat pada tabel 4.19 berikut. Dapat dilihat penurunan maksimum bata kelompok tengah sebesar 0.46 mm pada benda uji 4B.

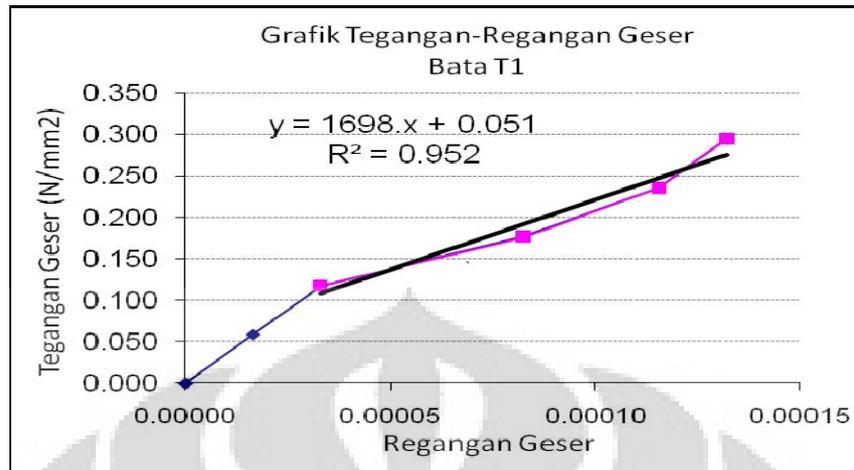
Beban (kg)	$\Delta(0,01\text{mm})$									
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	4	2	3	4	2,5		5,5	1	1,5	7
40	8	4	7	9	8		13	2,5	4	9
60	13	7	11	15	15		23	4	6	12
80	16	9	15	28				5,5	8,5	15
100	22	11	18,5	36				6	11	
120	30	15	27,5	46				7	14	
140		18,5						8,5	16,5	
160		25						10,5	20	
180								12,5	25	
200										
220										

Tabel 4.19 Pembebanan dan penurunan bata kelompok tengah pengujian Permana, R (2000)

4.2.2.2 Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Tengah

No	Beban (N)	Posisi		Jarak Dial (mm)	Luas Geser (mm)	τ rata-rata (N/mm ²)	tan γ	γ (Rad)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)					
		90.983	30.328					
1	0	0.000	0.000	60.656	3,401.633	0.000	0.00000	0.00000
2	200	0.008	0.007			0.059	0.00002	0.00002
3	400	0.016	0.014			0.118	0.00003	0.00003
4	600	0.025	0.020			0.176	0.00008	0.00008
5	800	0.021	0.014			0.235	0.00012	0.00012
6	1000	0.028	0.020			0.294	0.00013	0.00013
7	1200	Beban Runtuh						

Tabel 4.20 Tegangan dan regangan geser bata T1



Grafik 4.7 Hubungan tegangan dan regangan bata T1

Contoh perhitungan tegangan (τ) dan regangan (γ) untuk bata T1

- Pembacaan dial 1 = 0.028 mm
- Pembacaan dial 2 = 0.020 mm
- Beban 1000 N
- Jarak Dial = 90.983 – 30.328 = 60.656 mm
- Luas bidang geser = 83 mm x 41 mm = 3.401 mm²

Berdasarkan persamaan 2.5, tegangan adalah:

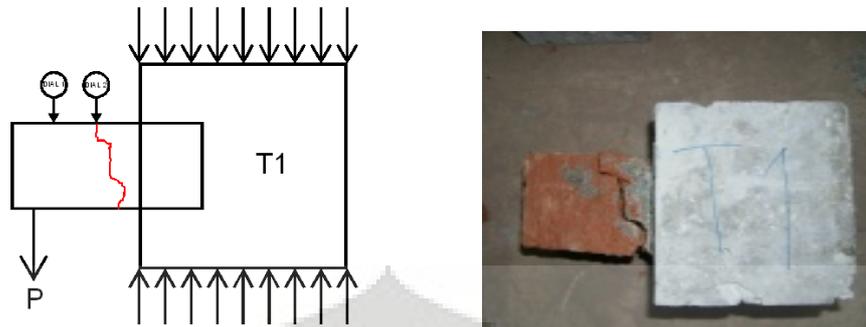
$$\tau = \frac{P}{A}$$
$$\tau = \frac{1000}{3.570} = 0.294 \text{ N/mm}^2$$

Untuk mencari regangan geser (γ)

$$\tan \gamma = \frac{\text{Pembacaan Dial 1} - \text{Pembacaan Dial 2}}{\text{Jarak Dial}}$$

$$\tan \gamma = \frac{0.028\text{mm} - 0.020\text{mm}}{60.656\text{mm}} = 0.00013$$

$$\gamma = \tan^{-1} 0.00013 = 0.00013 \text{ rad.}$$



Gambar 4.3 Pola retak pada bata T1

4.2.2.3 Modulus Geser Bata Kelompok Tengah

Dari grafik 4.14 dibuatlah hubungan tegangan – regangan dengan regresi linear yang dimulai pada pembebanan 400 N sampai runtuh. Analisa geser diambil pada saat beban 400 N karena jika dilihat pada pola grafiknya hampir semua benda uji mengalami penyesuaian awal dulu sebelum akhirnya konstan. Sehingga didapatkan persamaan dari garis linear $y = 1698x + 0.051$. Dari persamaan tersebut didapat Modulus Geser (G) = 1698 N/mm².

Modulus geser rata-rata bata kelompok tengah dapat dilihat pada tabel 4.21 berikut ini. Geser maksimum pada kelompok tengah sebesar 0.298 N/mm² pada bata T10 dan regangan maksimum sebesar 0.00070 rad pada bata T7.

No	τ rata-rata (N/mm ²)	γ rata-rata (Rad)
T1	0.206	0.00009
T2	0.265	0.00014
T3	0.212	0.00006
T4	0.192	0.00049
T5	0.192	0.00024
T6	0.262	0.00032
T7	0.202	0.00070
T8	0.287	0.00045
T9	0.264	0.00037
T10	0.298	0.00022
T11	0.271	0.00021
T12	0.208	0.00018



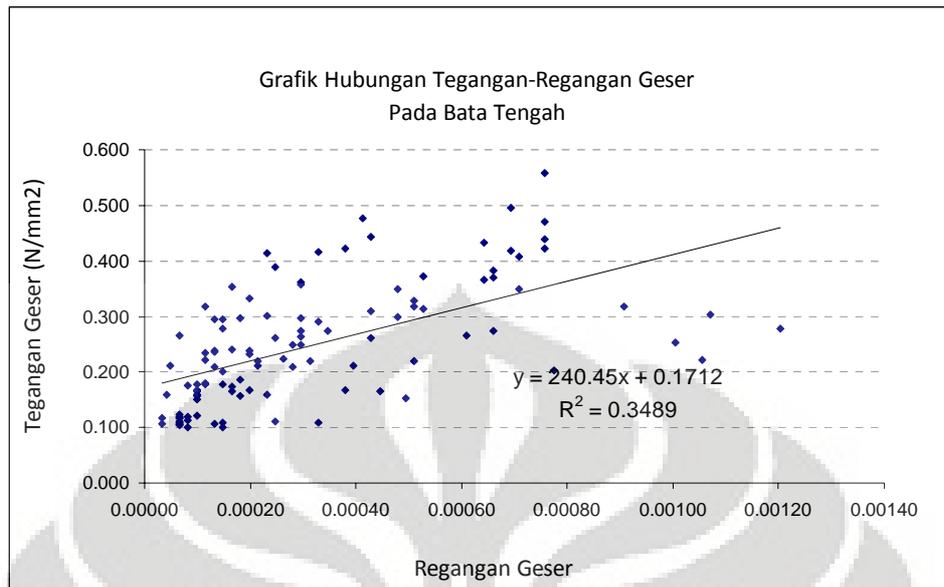
No	τ rata-rata (N/mm ²)	γ rata-rata (Rad)
T13	0.277	0.00019
T14	0.212	0.00046
T15	0.168	0.00018
T16	0.225	0.00030
T17	0.194	0.00072
T18	0.341	0.00045
T19	0.183	0.00014
T20	0.274	0.00037

Tabel 4.21 Tegangan dan regangan geser rata-rata bata kelompok tengah

τ (Kg/cm ²)	γ (mm/mm)									
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5229	0,0005	0,0003	0,0004	0,0006	0,0003		0,0007	0,0001	0,0002	0,0009
1,0458	0,0011	0,0005	0,0009	0,0013	0,0011		0,0017	0,0003	0,0005	0,0012
1,5686	0,0017	0,0009	0,0013	0,0022	0,002		0,0031	0,0005	0,0008	0,0016
2,0915	0,0021	0,0012	0,0018	0,0041				0,0007	0,0011	0,002
2,6144	0,0029	0,0014	0,0023	0,0052				0,0008	0,0015	
3,1373	0,004	0,002	0,0034	0,0067				0,0009	0,0019	
3,6601		0,0024						0,0011	0,0022	
4,183		0,0033						0,0014	0,0027	
4,7059								0,0017	0,0033	
5,2288										
5,7516										

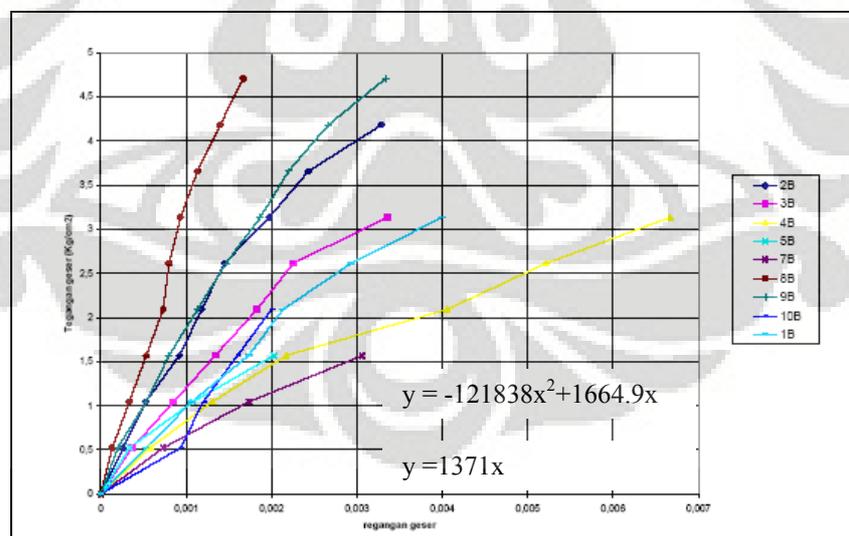
Tabel 4.22 Tegangan dan regangan geser bata kelompok tengah pengujian saudara Permana, R (2000)

Pengujian yang dilakukan saudara Permana, R (2000), tegangan geser maksimum untuk bata kelompok tengah sebesar 4.7059 Kg/cm² dengan regangan maksimum 0.0017 pada benda uji 8B.



Grafik 4.8 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok tengah

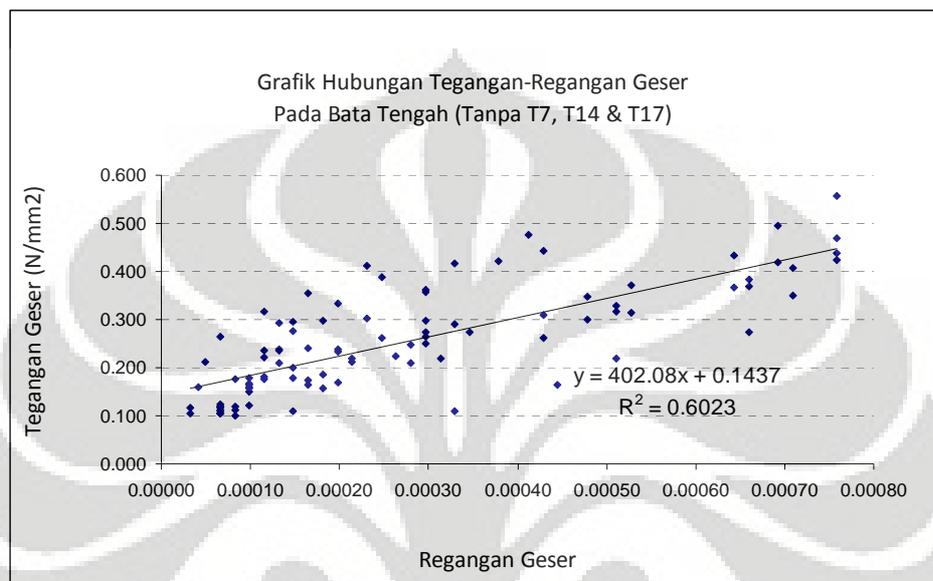
Grafik 4.8 menunjukkan Modulus Geser rata-rata pada seluruh bata tengah. Dari persamaan linear tersebut didapat $G = 240.45 \text{ N/mm}^2$, dengan indeks bias 0.3489. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari 60% dari pengujian ini adalah salah.



Grafik 4.9 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok tengah pengujian
Permana, R (2000)

Modulus geser yang didapat dari pengujian saudara Permana, R (2000) untuk seluruh bata kelompok tengah adalah 1371 Kg/cm^2 .

Jika diperhatikan terdapat 3 buah benda uji T7, T14 dan T17 memiliki jarak penurunan antara dial 1 dan dial 2 yang sangat jauh. Hal ini dikarenakan bata tersebut telah mengalami patah pada saat awal pengujian. Kegagalan ini disebabkan karena material bata yang tidak homogen atau bata tersebut memiliki telah retak pada mulanya.



Grafik 4.10 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok tengah tanpa T7, T14 dan T17

Dengan tidak memasukkan data bata T7, T14 dan T17 maka modulus geser yang didapat adalah $G=402.05$ N/mm² dengan keakuratan data 60.23%.



4.2.3 Bata Bagian Bawah

4.2.3.1 Beban dan Penurunan Bata Kelompok Bawah

Contoh perhitungan dibawah ini adalah pada bata B1

Beban (N)	Bata B1	
	Dial 1(mm)	Dial 2 (mm)
0	0	0
200	0.026	0.022
400	0.035	0.029
600	0.043	0.037
800	0.055	0.046
1000	0.079	0.062
1200	0.106	0.078
1400	0.120	0.089
1600	0.141	0.091
1800	0.166	0.097
2000	0.184	0.108
2200	0.191	0.113
2400	0.210	0.124
2600	0.219	0.130
2800	0.233	0.138
3000	Beban Runtuh	

Tabel 4.23 Pembebanan dan penurunan bata B1

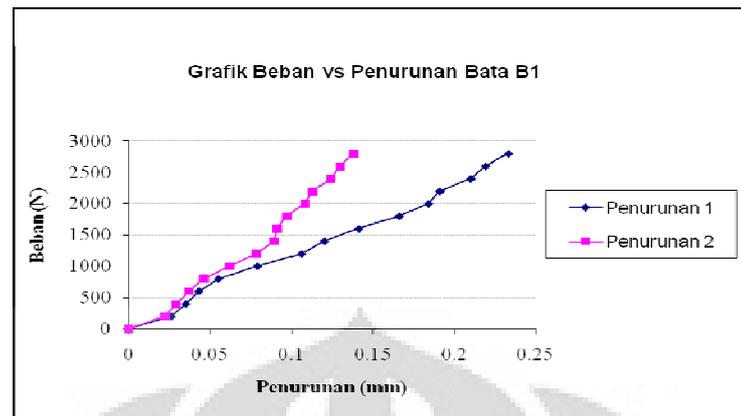
Pada bata B1 beban yang mampu dipikul adalah 2800 N. Bata runtuh pada pembebanan 3000 N. Penurunan maksimum sebesar 0.138 mm pada dial 1. Pada grafik 4.4 beban vs penurunan bata B1 terlihat bahwa hubungan bata tersebut dianggap linear.

Tabel dibawah ini menunjukkan hubungan beban dan penurunan bata kelompok bawah.



Beban (N)	Bata B1	Bata B2	Bata B3	B4	Bata B5
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.026	0.008	0.007	0.009	0.008
400	0.035	0.017	0.016	0.033	0.019
600	0.043	0.025	0.026	0.069	0.033
800	0.055	0.035	0.061	0.084	0.051
1000	0.079	0.042	0.076	Runtuh	Runtuh
1200	0.106	Runtuh	Runtuh		
1400	0.120				
1600	0.141				
1800	0.166				
2000	0.184				
2200	0.191				
2400	0.210				
2600	0.219				
2800	0.233				
3000	Runtuh				
Beban (N)	Bata B6	Bata B7	Bata B8	B9	Bata B10
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.008	0.005	0.007	0.017	0.005
400	0.012	0.013	0.016	0.029	0.008
600	0.020	0.029	0.023	0.051	0.013
800	0.055	0.047	Runtuh	0.065	0.021
1000	0.071	0.078		0.086	0.037
1200	0.086	Runtuh		0.103	0.052
1400	0.096			0.121	Runtuh
1600	Runtuh			0.140	
1800				0.154	
2000				0.170	
2200				0.188	
2400				Runtuh	
Beban (N)	Bata B11	Bata B12	Bata B13	B14	Bata B15
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.006	0.007	0.007	0.008	0.007
400	0.010	0.013	0.030	0.018	0.015
600	0.020	0.027	0.046	0.026	0.026
800	0.026	0.044	0.068	0.032	0.044
1000	0.099	0.065	0.105	Runtuh	0.078
1200	Runtuh	0.110	0.132		0.115
1400		0.139	0.172		0.141
1600		0.170	Runtuh		Runtuh
1800		Runtuh			
Beban (N)	Bata B16	Bata B17	Bata B18	B19	Bata B20
	Dial 1(mm)				
0	0	0	0	0	0
200	0.004	0.007	0.009	0.006	0.005
400	0.010	0.016	0.017	0.019	0.012
600	0.013	0.025	0.031	0.027	0.022
800	0.025	0.035	0.058	0.047	0.037
1000	0.039	0.042	Runtuh	0.059	0.049
1200	Runtuh	0.057		0.073	0.068
1400		0.089		0.120	Runtuh
1600		0.105		0.150	
1800		Runtuh		0.187	
2000				0.220	
2200				Runtuh	

Tabel 4.24 Pembebanan dan penurunan bata kelompok bawah



Grafik 4.11 Hubungan beban dan penurunan bata B1

Beban (Kg)	$\Delta(0,01\text{mm})$									
	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2	4,5	3	5	7	5	6,5	2,5	2	4
40	4	10	8	7		8	14	6,5	2	6
60	6,5	15	14			15	23		2,5	12
80	11	25,5	20			24	34		4,5	19
100	12,5	44	30						8	23
120	17									
140	25									
160										

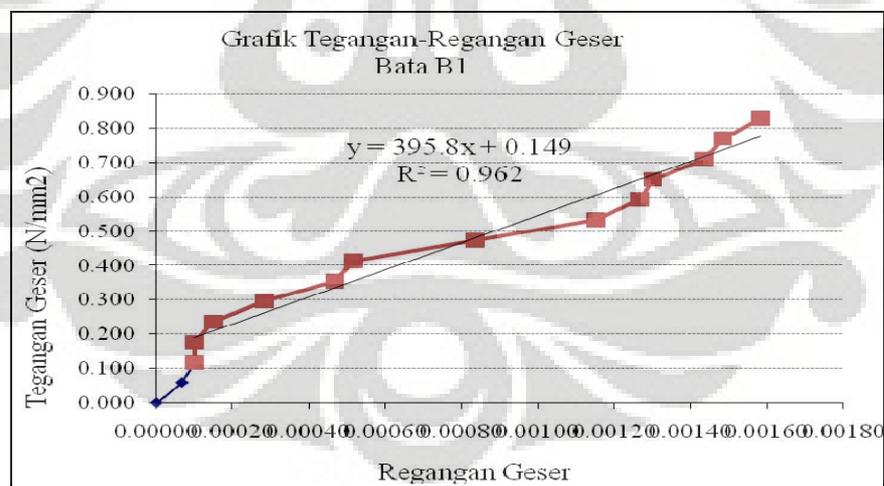
Tabel 4.25 Beban dan penurunan bata kelompok bawah pengujian saudara Permana, R (2000)

Penurunan maksimum pada pengujian seluruh bata kelompok bawah sebesar 0.220 mm pada bata B 19. Penurunan maksimum pada pengujian saudara Permana, R (2000) untuk bata kelompok bawah sebesar 0.44 mm.

4.2.3.2 Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Bawah

No	Beban (N)	Posisi		Jarak Dial (mm)	Luas Geser (mm)	τ (N/mm ²)	tan γ	γ (rad)
		Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)					
		90.017	30.006					
1	0	0.000	0.000	60.011	3,375.000	0.000	0.00000	0.00000
2	200	0.026	0.022			0.059	0.00007	0.00007
3	400	0.035	0.029			0.119	0.00010	0.00010
4	600	0.043	0.037			0.178	0.00010	0.00010
5	800	0.055	0.046			0.237	0.00015	0.00015
6	1000	0.079	0.062			0.296	0.00028	0.00028
7	1200	0.106	0.078			0.356	0.00047	0.00047
8	1400	0.120	0.089			0.415	0.00052	0.00052
9	1600	0.141	0.091			0.474	0.00083	0.00083
10	1800	0.166	0.097			0.533	0.00115	0.00115
11	2000	0.184	0.108			0.593	0.00127	0.00127
12	2200	0.191	0.113			0.652	0.00130	0.00130
13	2400	0.210	0.124			0.711	0.00143	0.00143
14	2600	0.219	0.130			0.770	0.00148	0.00148
15	2800	0.233	0.138			0.830	0.00158	0.00158
16	3000	Beban Runtuh						

Tabel 4.26 Tegangan dan regangan bata B1



Grafik 4.12 Hubungan tegangan dan regangan geser bata B1

Contoh perhitungan tegangan (τ) dan regangan regangan (γ) benda uji B1

- Pembacaan dial 1 = 0.233 mm
- Pembacaan dial 2 = 0.138 mm
- Beban 2800 N

- Jarak Dial = $90.017 - 30.006 = 60.011 \text{ mm}$
- Luas bidang geser = $81 \text{ mm} \times 41.7 \text{ mm} = 3.375 \text{ mm}^2$

Berdasarkan persamaan 2.5.

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

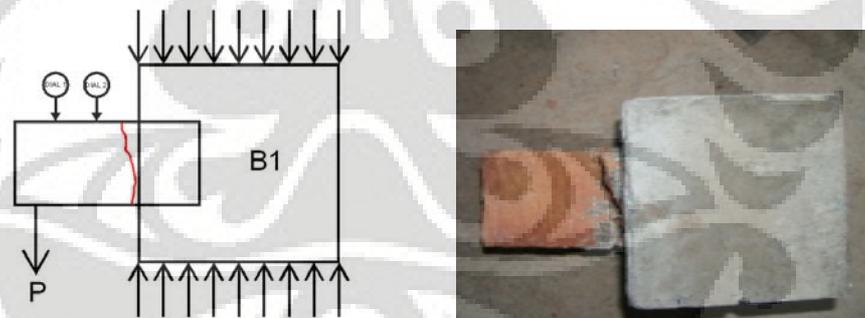
$$\tau = \frac{2800}{3.375} = 0.830 \text{ N/mm}^2$$

Untuk mencari sudut γ

$$\tan \gamma = \frac{\text{Pembacaan Dial 1} - \text{Pembacaan Dial 2}}{\text{Jarak Dial}}$$

$$\tan \gamma = \frac{0.233 \text{ mm} - 0.138 \text{ mm}}{60.011 \text{ mm}} = 0.00158$$

$$\gamma = \tan^{-1} 0.00158 = 0.00158 \text{ rad.}$$



Gambar 4.4 Pola retak pada bata B1



4.2.3.3 Modulus Geser Bata Kelompok Bawah

No	τ (N/mm ²)	γ (rad)
B1	0.474	0.00082
B2	0.170	0.00021
B3	0.173	0.00009
B4	0.176	0.00026
B5	0.172	0.00009
B6	0.250	0.00015
B7	0.196	0.00019
B8	0.145	0.00015
B9	0.348	0.00054
B10	0.213	0.00024
B11	0.213	0.00024
B12	0.299	0.00023
B13	0.263	0.00068
B14	0.157	0.00010
B15	0.252	0.00028
B16	0.183	0.00011
B17	0.294	0.00016
B18	0.187	0.00013
B19	0.353	0.00041
B20	0.204	0.00019

Tabel 4.27 Tegangan dan regangan bata kelompok bawah

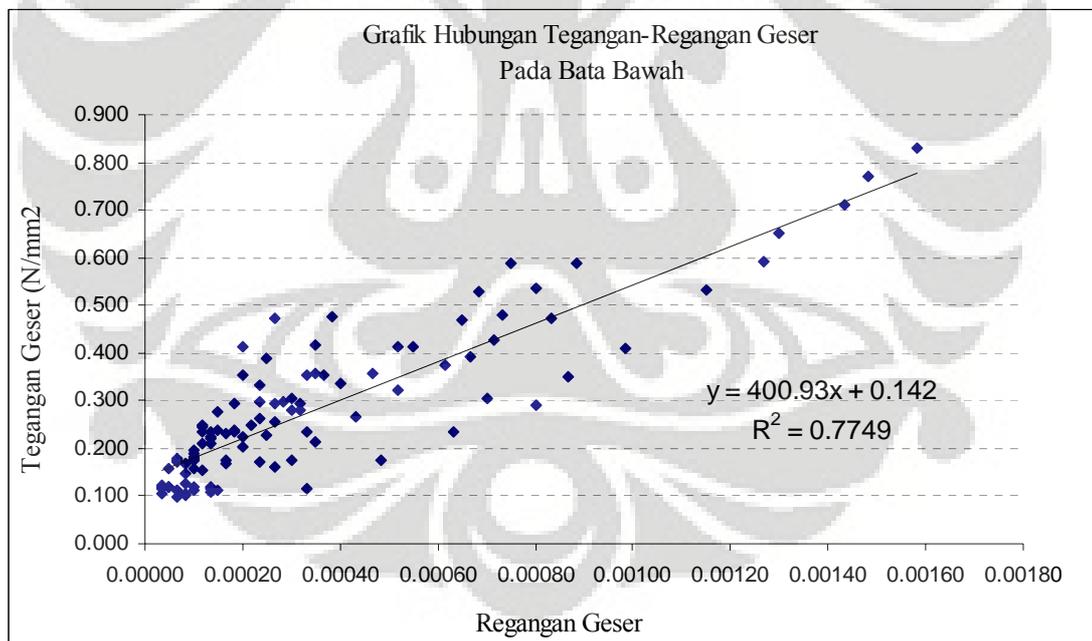
Tegangan geser maksimum pada bata kelompok bawah adalah 0.474 N/mm² pada benda uji B1 dan regangan maksimum sebesar 0.00082 pada benda uji yang sama.



τ (Kg/Cm ²)	γ (mm/mm)									
	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5229	0,0003	0,0006	0,0004	0,0006	0,0009	0,0007	0,0009	0,0003	0,0003	0,0005
1,0458	0,0005	0,0013	0,0011	0,0009		0,0011	0,0019	0,0009	0,0003	0,0008
1,5686	0,0009	0,002	0,0019			0,002	0,0032		0,0003	0,0016
2,0915	0,0015	0,0034	0,0027			0,0032	0,0047		0,0006	0,0025
2,6144	0,0017	0,0059	0,004						0,0011	0,0031
3,1373	0,0023									
3,6601	0,0033									
4,183										

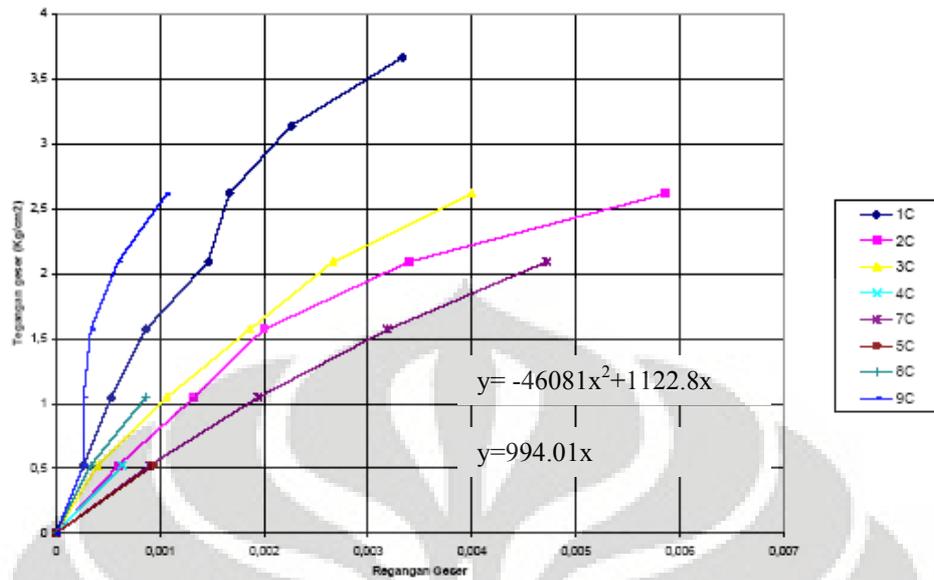
Tabel 4.28 Tegangan dan regangan bata kelompok bawah pengujian saudara Permana, R (2000)

Hasil pengujian saudara Permana, R (2000) didapatkan tegangan geser maksimum sebesar 3.6601 Kg/cm² dan regangan maksimum 0.0033 pada benda uji 1C.



Grafik 4.13 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok bawah

Dari data tegangan dan regangan dibuatlah grafik hubungan tegangan – regangan dengan regresi linear pada grafik 4.9, sehingga didapatkan persamaan dari garis linear. $y = 395.8x + 0.149$. Modulus Geser (G) = 395.8 N/mm²

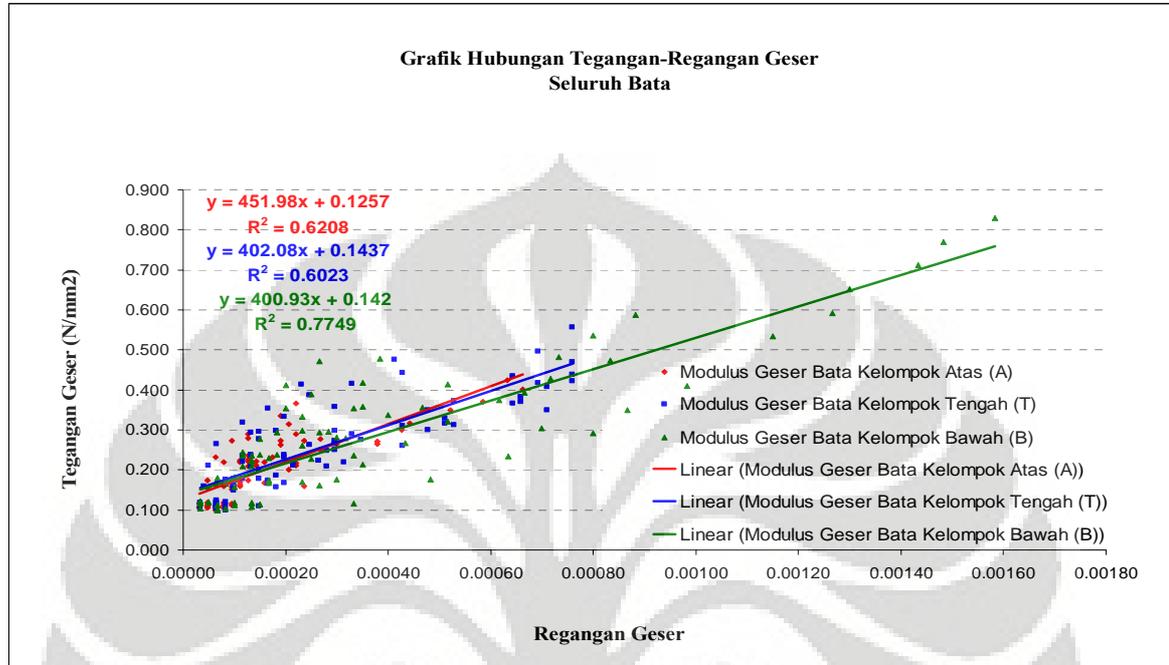


Grafik 4.14 Hubungan tegangan dan regangan geser bata kelompok bawah pengujian Permana, R (2000)

Pada pengujian saudara Permana, R (2000) untuk bata kelompok bawah, didapat Modulus Geser sebesar 994.01 Kg/cm².

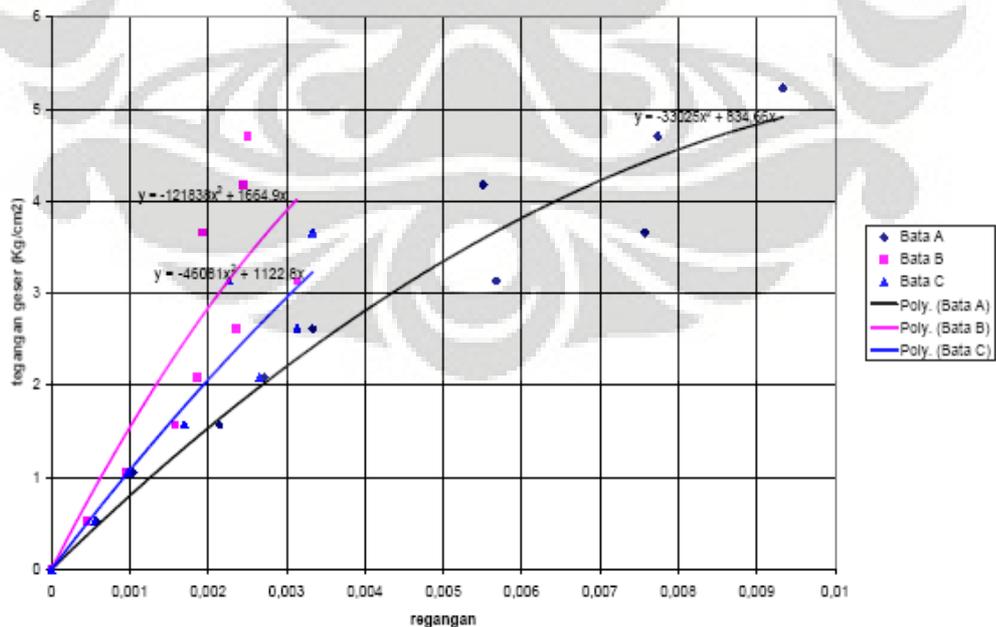
4.2.4 Modulus Geser Seluruh Bata

Hubungan modulus geser ketiga kelompok bata dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Grafik 4.15 Hubungan tegangan dan regangan geser untuk seluruh bata

Modulus Geser bata kelompok atas 451,98 N/mm², Kelompok tengah 402,08 N/mm² dan kelompok bawah 400.94 N/mm².



Grafik 4.16 Hubungan tegangan dan regangan geser seluruh bata pengujian Permana, R (2000)

Berdasarkan pengujian saudara Permana, R (2000) didapat Modulus Geser bata kelompok atas 33025 Kg/cm^2 , kelompok tengah sebesar 12183 Kg/cm^2 , dan kelompok bawah sebesar 46081 Kg/cm^2 .

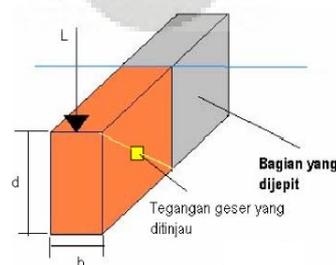
4.2.5 Analisa Pola Retak

Sesuai dengan teori yang telah disampaikan pada bab sebelumnya bahwa untuk geser murni pola retak yang terjadi membentuk sudut 45° terhadap arah pembebanan (gambar 2.13). Jika diperhatikan pembebanan pada seluruh bata bagian atas maka ditemukan pola bahwa hampir seluruh bata pada tahap awalnya menyesuaikan diri untuk menerima pembebanan. Pada pembebanan yang dimulai dari 400 N , bata menunjukkan sifat kekuatannya yang ditunjukkan dengan hubungan tegangan dan regangan yang hampir linear.

Pada pengujian ini pola retak yang umum terjadi adalah **geser langsung**, beberapa dari benda uji mengalami kegagalan pada pola gesernya.

Beberapa faktor yang menyebabkan pola retak tersebut adalah :

1. Keadaan bata merah itu sendiri yang tidak homogen, mengingat bata tersebut terbuat dari tanah dan langsung dicetak tanpa dipilih materialnya. Diantara bata tersebut masih terdapat kerikil dan lumpur pada materialnya sehingga menyebabkan berkurangnya kualitas bata tersebut.
2. Terdapatnya retak awal pada bata itu sendiri sehingga timbul pola retak yang mengikuti arah retak awal, karena keruntuhan itu cenderung mengarah pada titik lemah.
3. Kehancuran yang terjadi secara mendadak. Hal ini disebabkan karena pemberian beban yang terlalu besar sehingga letak daerah kehancurannya tidak dapat diketahui secara pasti dan pola retak yang terjadi tidak dapat diteliti lebih mendalam.



Gambar 4.5. Arah pola retak sesuai teori



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pengujian batu bata dibagi kedalam 3 (tiga) kelompok berdasarkan letak pada tungku pembakaran yaitu bata atas (A), bata tengah (T) dan bata bawah (B). Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian non destruktif dan destruktif. Pengujian non destruktif meliputi pengukuran dimensi dan massa jenis, absorpsi, dry density, pengukuran modulus elastisitas dengan pundit. Pengujian destruktif meliputi pengujian geser.

5.1.1 Pengujian Non Destruktif

1. Pengukuran dimensi dan massa jenis

Bata kelompok atas memiliki dimensi panjang rata-rata 18.850 cm, kelompok tengah 18.658 cm dan kelompok bawah 18.562 cm. Untuk lebar rata-rata, bata atas 8.610 cm, kelompok tengah 8.576 cm dan kelompok bawah 8.541 cm. Untuk tebal rata-rata, kelompok atas 4.265 cm, kelompok tengah 4.208 cm dan kelompok bawah 4.144 cm (Tabel 4.2).



2. Volume dan Massa Jenis

Volume rata-rata kelompok atas 691.877 cm^3 , kelompok tengah 673.647 cm^3 dan kelompok bawah 657.262 cm^3 . Massa jenis rata-rata kelompok atas 1.725 ton/m^3 , kelompok tengah 1.749 ton/cm^3 dan kelompok bawah 1.765 ton/cm^3 (Tabel 4.3).

3. Absorpsi

Absorpsi rata-rata kelompok atas 13.02% , kelompok tengah 13.29% dan kelompok bawah 15.22% (Tabel 4.4).

4. Dry Density

Dry density rata-rata kelompok atas 1.75% , kelompok tengah 1.76% dan kelompok bawah 1.74% (Tabel 4.5).

5. Pundit

Transit time rata-rata arah lebar untuk kelompok bata atas adalah $60.590 \mu\text{s}$, kelompok tengah $55.550 \mu\text{s}$ dan kelompok bawah $55.615 \mu\text{s}$ (Tabel 4.9). Beberapa nilai poisson ratio adalah salah. Ini disebabkan karena kesalahan membaca transit time pada alat PUNDIT.

5.1.2 Pengujian Destruktif Geser

Nilai modulus elastisitas geser rata-rata dari bata kelompok atas adalah $G = 451.98 \text{ N/mm}^2$ dengan ketepatan 62.08% , kelompok tengah $G = 240,45 \text{ N/mm}^2$ dengan ketepatan 34.89% dan bawah adalah $G = 400.93 \text{ N/mm}^2$ dengan keakuratan $77,49\%$. Dari ketiga data modulus geser diatas, untuk bata kelompok tengah memiliki nilai yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kelompok atas dan bawah. Dapat disimpulkan bahwa pengujian beberapa dari bata kelompok tengah adalah gagal yaitu T7, T14 dan T17. Jika melihat hubungan beban dan penurunan pada ketiga benda uji tersebut maka ditemukan bahwa jarak antara dial 1 dan dial 2 memiliki jarak yang cukup jauh. Hal ini dikarenakan benda uji telah patah pada saat pembebanan. Jika



ketiga data tersebut dihilangkan maka nilai modulus geser yang didapat adalah 402.08 N/mm² dengan keakuratan data 60.23% benar.

Pola retak yang terjadi adalah geser langsung. Sejumlah besar benda uji patah pada sambungannya. Ini disebabkan karena pada saat pe-curring-an benda uji, benda uji yang basah adalah beton. Hal ini dapat menyebabkan rembesan pada bata. Dimana diketahui daya serap bata sangat besar. Pada saat pengujian geser benda uji hanya dikeringkan dari rendaman 1 x 24 jam. Karena hal ini terjadinya perlemahan pada sambungan.

5.2 SARAN

1. Pengujian geser dengan cara seperti ini sudah dapat digunakan sebagai acuan untuk mencari tegangan dan regangan geser tunggal pada bata. Kegagalan dari percobaan ini hanya 5% yang disebabkan oleh material bata itu sendiri.
2. Untuk pengujian selanjutnya penguji menyarankan untuk merekam semua kejadian yang dialami bata. Mulai dari gejala awal sampai bata tersebut runtuh.
3. Alat untuk pengujian geser dibuat sekuat mungkin sehingga tidak terjadi lagi tegangan awal pada saat pembebanan. Pembebanan sebaiknya menggunakan pembebanan hidrolis, (tidak manual) untuk menghindari hentakan awal saat penambahan beban.
4. Untuk penelitian selanjutnya, penting untuk diperhatikan hubungan antara beton dan bata yaitu kekuatan ikatannya (bonded strength), sejauh mana keefektifan sambungan tersebut dapat mempengaruhi pengujian.
5. Perlu dilakukan pengujian untuk jenis bata secara acak dan dengan jumlah benda uji yang lebih besar sesuai dengan standar uji secara statistik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.D. Papargyris, R.G. Cooke, S.A. Ppapargyri, A.I. Botis, (Greece, 2000), *The acoustic behaviour of bricks in relation with their mechanical behaviour*, Construction and Building Materials 15 (2001) 361-369.
- [2] CNS FARNELL, Quality Test for Concrete, Roads and Soils, Principles of Testing by Ultrasonic Pulse Velocity Measurement.
- [3] Commission of the European Communities: Eurocode No. 6: *Common Unified Rules For Masonry Structure*. Draft Code. Luxemburg 1988.
- [4] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, “*Teknologi Adukan dan Pasangan Tembok*”, Dept. Pekerjaan Umum, Bandung.
- [5] J.Gere & S.Timoshenko *Mekanika bahan*, jilid 1, edisi keempat, penerbit Erlangga.
- [6] Marzhan, Gero. “Improving The Shear Bond Behaviour Of Masonry”, http://www.uni-leipzig.de/~massivb/institut/lacer1Φ/1Φ1_17.pdf
- [7] PEDC BANDUNG , “*Teknologi Bahan 1*”. Edisi 1987
- [8] Priscilla Yvernes “*Shear Behaviour of Indonesian Clay Bricks for Masonry Experimental Approach , Final Pproject, ECN-DTS FTUI, 2005*
- [9] SNI-15-2094-2000, “*Bata Merah Untuk Bahan Bangunan, Mutu Dan Cara Uji*”, Dewan Standarisasi Nasional, 2000.
- [10] W.C.Vis., Kusuma Gideon, “ Dasar Perencanaan Beton Bertulang Jilid 1” 1996.



- [11] Permana,Reno, 2000 “ *Kaji Hubungan Tegangan Regangan Bata Merah Asal Cikarang*”.
- [12] Katili,I “ *Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal*”
- [13] Yusuf, M (2005), “*Kaji Hubungan Tegangan Geser-Regangan Geser Pasangan Bata Cikarang Berbasis Uji Geser Sederhana. Studi Kasus : Pengujian Pasangan Bata Tegak Berukuran 39 cm x 21 cm dan Pengujian Pasangan Bata Mendatar Berukuran 38 cm x 18 cm.*”



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** : *Properti Batu Bata Bagian Atas*
- Lampiran 2** : *Pengukuran Absorpsi Batu Bata Bagian Atas*
- Lampiran 3** : *Pengukuran Dry Density Batu Bata Bagian Atas*
- Lampiran 4** : *Pengukuran Pundit Untuk Batu Bata Bagian Atas*
- Lampiran 5** : *Hubungan Beban dan Penurunan Batu Bata Bagian Atas*
- Lampiran 6** : *Hubungan Tegangan dan Regangan pada Bata Bagian Atas*
- Lampiran 7** : *Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Geser Pada Bata Bagian Atas*
- Lampiran 8** : *Properti Batu Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 9** : *Pengukuran Absorpsi Batu Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 10** : *Pengukuran Dry Density Batu Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 11** : *Pengukuran Pundit Untuk Batu Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 12** : *Hubungan Beban dan Penurunan Batu Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 13** : *Hubungan Tegangan dan Regangan pada Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 14** : *Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Geser Pada Bata Bagian Tengah*
- Lampiran 15** : *Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Geser Pada Bata Bagian Tengah (Tanpa T7, T14 & T17)*
- Lampiran 16** : *Properti Batu Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 17** : *Pengukuran Absorpsi Batu Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 18** : *Pengukuran Dry Density Batu Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 19** : *Pengukuran Pundit Untuk Batu Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 20** : *Hubungan Beban dan Penurunan Batu Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 21** : *Hubungan Tegangan dan Regangan pada Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 22** : *Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Geser Pada Bata Bagian Bawah*
- Lampiran 22a** : *Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan Geser Seluruh Bata*
- Lampiran 23** : *SNI 15-2094-2000. Bata Merah Pejal Untuk Pasangan Dinding*



- Lampiran 24** *Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal. Elastisitas, Keseimbangan dan Kompatibilitas*
- Lampiran 25** *Penurunan Rumus Untuk menentukan Poisson ratio Dinamik (vd) ASTM D 5607-95. Standard Test Methode for Performing*
- Lampiran 26** *Laboratory Direct Shear Strength Test of Rock Speciment Under Constant Normal Force*
- Lampiran 27** *Laporan Proses Bimbingan Tugas Akhir (TA) / Skripsi*
- Lampiran 28** *Usulan Sidang Skripsi Ekstension*
- Lampiran 29** *Pernyataan Perbaikan Skripsi*



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: <i>Material Batu Bata</i>	6
Gambar 2.2	: <i>Cara Pemadatan bata dalam mesin cetak</i>	7
Gambar 2.3	: <i>Pemotongan Batu Bata</i>	8
Gambar 2.4	: <i>Warna Batu Bata</i>	8
Gambar 2.5	: <i>Tampak Visual Batu Bata Cikarang</i>	9
Gambar 2.6	: <i>Pundit dan Perangkatnya</i>	11
Gambar 2.7	: <i>Cara Pengetesan batu Bata dengan Pundit</i>	12
Gambar 2.8	: <i>Susunan Transducer</i>	15
Gambar 2.9	: <i>Susunan Batang yang Dijepit Mengalami Geser Tunggal</i>	19
Gambar 2.10	: <i>Diagram Tegangan Geser</i>	20
Gambar 2.11	: <i>Elemen Kecil dari Bahan Mengalami Tegangan dan Regangan Geser</i>	21
Gambar 2.12	: <i>Persyaratan untuk Mendapatkan Kondisi Benda Uji Mengalami Geser Murni</i>	22
Gambar 2.13	: <i>Arah Pola Retak Sesuai Teoritis</i>	22
Gambar 3.1	: <i>Lubang Tungku Pembakaran Batu Bata</i>	28
Gambar 3.2	: <i>Pembagian Visual Tempat Pembakaran Batu Bata Berdasarkan Pengamatan</i>	28
Gambar 3.3	: <i>Pengukuran Arah Panjang</i>	29
Gambar 3.4	: <i>Pengukuran Arah Lebar</i>	30
Gambar 3.5	: <i>Pengukuran Arah Tebal</i>	30
Gambar 3.6	: <i>Kesikuan Terhadap Lebar</i>	30
Gambar 3.7	: <i>Kebengkokan terhadap Panjang (Berdasarkan SNI-15-2094-2000)</i>	31
Gambar 3.8	: <i>Pengujian Destruktif Geser oleh Permana,R(2000)</i>	36
Gambar 3.9	: <i>Pembuatan Beton Tahu</i>	37
Gambar 3.10	: <i>Pembuatan Benda Uji</i>	38



Gambar 3.11	: <i>Perawatan Benda Uji dengan Cara Direndam Selama 28 Hari</i>	38
Gambar 3.12	: <i>Penempatan Dial Pada Benda Uji</i>	39
Gambar 3.13	: <i>Pengujian Geser Pada Benda Uji</i>	41
Gambar 3.14	: <i>Metoda Pengujian Geser</i>	42
Gambar 4.1	: <i>Metoda Pembebanan Geser Pada Bata</i>	52
Gambar 4.2	: <i>Pola Retak Pada Bata A1</i>	57
Gambar 4.3	: <i>Pola Retak Pada Bata T1</i>	64
Gambar 4.4	: <i>Pola Retak Pada Bata B1</i>	72
Gambar 4.5	: <i>Arah Pola Retak Sesuai Teori</i>	77



DAFTAR TABEL

Table 2.1	: <i>Ukuran dan Toleransi Batu Bata Berdasarkan SNI 15-2094-2000</i>	9
Tabel 2.2	: <i>Kuat Tekan Rata-rata Batu Bata Berdasarkan SNI 15-2094-2000</i>	10
Tabel 2.3	: <i>Tabel Mutu Beton Berdasarkan PBT 1971</i>	11
Tabel 3.1	: <i>Pengelompokan Batu Bata</i>	31
Tabel 4.1	: <i>Pengelompokan Batu Bata</i>	44
Tabel 4.2	: <i>Pengukuran Rata-Rata Dimensi Batu Bata</i>	45
Tabel 4.3	: <i>Volume, Berat dan Massa Jenis Rata-Rata Batu Bata</i>	46
Tabel 4.4	: <i>Absorpsi Rata-Rata Batu Bata</i>	46
Tabel 4.5	: <i>Dry Density Rata-Rata Batu Bata</i>	47
Tabel 4.6	: <i>Hasil Pengukuran Transit Time dengan Pundit</i>	48
Tabel 4.7	: <i>Hasil Pengukuran Velocity dengan Pundit</i>	49
Tabel 4.8	: <i>Hasil Pengukuran Modulus Elastisitas Dinamik</i>	49
Tabel 4.9	: <i>Hasil Pengukuran Modulus Elastisitas Statik</i>	51
Tabel 4.10	: <i>Hasil Pengukuran Poisson Ratio</i>	51
Tabel 4.11	: <i>Pembebanan dan penurunan pada bata A1</i>	53
Tabel 4.12	: <i>Pembebanan dan Penurunan pada Bata Kelompok Atas</i>	54
Tabel 4.13	: <i>Pembebanan dan Penurunan pada Bata Kelompok Atas</i> <i>Pengujian Permana, R (2000)</i>	55
Tabel 4.14	: <i>Tegangan dan regangan Bata A1</i>	55
Tabel 4.15	: <i>Tegangan dan Regangan Rata-rata Bata Kelompok Atas</i>	58
Tabel 4.16	: <i>Tegangan dan Regangan Rata-rata Bata Kelompok Atas</i> <i>Pengujian Permana, R (2000)</i>	58
Tabel 4.17	: <i>Pembebanan dan Penurunan Bata T1</i>	60
Tabel 4.18	: <i>Pembebanan dan Penurunan Bata Kelompok Tengah</i>	61
Tabel 4.19	: <i>Pembebanan dan Penurunan Bata Kelompok Tengah</i>	62



Pengujian Permana, R (2000)

Tabel 4.20	:	<i>Tegangan dan Reganngan Geser Bata T1</i>	62
Tabel 4.21	:	<i>Tegangan dan Reganngan Geser Rata-rata Bata Kelompok Tengah</i>	65
Tabel 4.22	:	<i>Tegangan dan Reganngan Geser Rata-rata Bata Kelompok Tengah Pengujian Saudara Permana, R (2000)</i>	65
Tabel 4.23	:	<i>Pembebanan dan Penurunan Bata B1</i>	68
Tabel 4.24	:	<i>Pembebanan dan Penurunan Bata Kelompok Bawah</i>	69
Tabel 4.25	:	<i>Pembebanan dan Penurunan Bata Kelompok Bawah Pengujian Saudara Permana, R (2000)</i>	70
Tabel 4.26	:	<i>Tegangan dan Regangan Bata B1</i>	71
Tabel 4.27	:	<i>Tegangan dan Reganngan Bata Kelompok Bawah</i>	73
Tabel 4.28	:	<i>Tegangan dan Regangan Bata Kelompok Bawah Pengujian Saudara Permana, R (2000)</i>	74



DAFTAR NOTASI

σ'_{bk}	: Kuat Tekan Karakteristik Beton (Mpa)
σ'_{bm}	: Kuat Tekan Minimum Beton (Mpa)
K	: Karakteristik Beton
V	: Kecepatan Gelombang Ultrasonic (m/detik)
Ed	: Modulus Elastisitas Dinamik (kPa)
ρ	: Massa Jenis (Ton/m ³)
ν	: Poisson Ratio
S	: Jarak Tempuh Gelombang (m)
t	: Waktu Tempuh (detik)
t	: Tebal Benda Uji (cm)
l	: Lebar Benda Uji (cm)
p	: Panjang Benda Uji
R^2	: Indek Bias
P	: Beban (N)
A_g	: Luas Geser (mm ²)
τ	: Regangan Geser (N/mm ²)
S	: Momen Statis dari Bagian Geser terhadap Garis Netral (m ³)
I	: Momen Inersia Penampang (m ⁴)
γ	: Sudut Geser (rad)
E	: Modulus Elastisitas (N/mm ²)
G	: Modulus Geser (N/mm ²)
ν	: Poisson Ratio
B	: Berat Kering Permukaan Jenuh / Saturated Surface Dry (gram)
A	: Berat Kering Oven (gram)
C	: Berat Jenuh Permukaan Bata Setelah 1 menit dalam Air (gram)
d_{dry}	: Dry Density (gram)
SD	: Standard Deviasi
TL	: Transit Time Arah Panjang (μ s)
Tl	: Transit Time Arah Lebar (μ s)
Tt	: Transit Time Arah Tebal (μ s)



<i>VL</i>	:	Velocity Arah Panjang (km/s)
<i>VI</i>	:	Velocity Arah Lebar (km/s)
<i>Vt</i>	:	Velocity Arah Tebal (km/s)
<i>EdL</i>	:	Modulus Elastisitas Dinamis Arah Panjang (KN/mm ²)
<i>Edl</i>	:	Modulus Elastisitas Dinamis Arah Lebar (KN/mm ²)
<i>Edt</i>	:	Modulus elastisitas Dinamik Arah Tebal (KN/mm ²)
<i>EsL</i>	:	Modulus Elastisitas Statik Arah Panjang (KN/mm ²)
<i>Esl</i>	:	Modulus Elastisitas Statik Arah Lebar (KN/mm ²)
<i>Est</i>	:	Modulus Elastisitas Statik Arah Tebal (KN/mm ²)
<i>Ed</i>	:	Modulus Elastisitas Dinamis (KN/mm ²)
<i>Es</i>	:	Modulus Elastisitas Statik (KN/mm ²)
<i>A1-A20</i>	:	Bata Kelompok Atas
<i>T1-T20</i>	:	Bata Kelompok Tengah
<i>B1-B20</i>	:	Bata Kelompok Bawah
<i>y</i>	:	Persamaan Garis
<i>Xi</i>	:	Benda Uji ke i
\bar{X}	:	Rata-rata



DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	: <i>Menentukan Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Kurva Eksponensial CNS FARNELL</i>	16
Grafik 4.1	: <i>Modulus Elastisitas Statik dan Dinamik</i>	50
Grafik 4.2	: <i>Hubungan Beban dan Penurunan Pada Bata A1</i>	53
Grafik 4.3	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata A1</i>	56
Grafik 4.4	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Atas</i>	59
Grafik 4.5	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Atas Pengujian Permana, R (2000)</i>	59
Grafik 4.6	: <i>Hubungan Beban dan Penurunan Bata T1</i>	60
Grafik 4.7	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan bata T1</i>	63
Grafik 4.8	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Tengah</i>	66
Grafik 4.9	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Tengah Pengujian Permana, R (2000)</i>	66
Grafik 4.10	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Tengah Tanpa T7, T14 dan T17</i>	67
Grafik 4.11	: <i>Hubungan Beban dan Penurunan Bata B1</i>	70
Grafik 4.12	: <i>Tegangan dan Regangan Bata B1</i>	71
Grafik 4.13	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Bawah</i>	74
Grafik 4.14	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser Bata Kelompok Bawah Pengujian Permana, R (2000)</i>	75
Grafik 4.15	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser untuk Seluruh Bata</i>	76
Grafik 4.13	: <i>Hubungan Tegangan dan Regangan Geser untuk Seluruh Bata Pengujian Permana, R (2000)</i>	75