

**STUDI HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN MORTAR YANG
MENGUNAKAN *FLY ASH* DAN *PORTLAND COMPOSITE CEMENT***

*Study of Stress - Strain Relationship Mortar Using
Fly Ash and Portland Composite Cement*

ALFINA MAYSYURAH
D012211012



**PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

PENGAJUAN TESIS

STUDI HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN MORTAR YANG MENGUNAKAN *FLY ASH* DAN *PORTLAND COMPOSITE CEMENT*

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

**ALFINA MAYSYURAH
D012211012**

Kepada

**PROGRAM STUDI PASCA SARJANA ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS

STUDI HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN *FLY ASH* DAN *PORTLAND COMPOSITE CEMENT*

ALFINA MAYSYURAH
D012211012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Menyetujui,

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge., ST., M.Eng
NIP. 19680529 200212 1002

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge., S.T., M.Eng
NIP. 19860409 201904 3001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT
NIP. 19730926 200012 1002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng. PM
NIP. 19730306 199802 1001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Alfina Maysyurah
Nomor mahasiswa : D012211012
Program studi : Teknik Sipil-Struktur

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Studi Hubungan Tegangan Regangan Mortar Menggunakan *Fly Ash* dan *Portland Composite Cement*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge., ST., M.Eng dan Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge., S.T., M.Eng. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding 4th International Conference on Civil and Environmental Engineering IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 1117 doi:10.1088/1755-1315/1117/1/012029 sebagai artikel dengan judul “*Point load test method for prediction strength of sustainable mortar made from blended cement and fly ash*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Februari 2023

Yang menyatakan,



Alfina Maysyurah

KATA PENGANTAR

Puja dan Puji Syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan Rahmat, dan Karunia-Nya sehingga kami dapat menyusun Tesis ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Dalam Laporan Tesis ini, kami akan membahas mengenai “**STUDI HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN MORTAR YANG MENGGUNAKAN FLY ASH DAN PORTLAND COMPOSITE CEMENT**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi Magister pada Jurusan Ilmu Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Kami menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku pembimbing I yang selalu memberikan arahan dan petunjuk dalam penyusunan Tesis ini.
3. **Dr. Eng. M. Akbar Caronge ST, M. Eng** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
4. **Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku penguji.
5. **Prof. Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M. Eng, Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT** selaku penguji.
6. Seluruh dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Teman-teman laboratorium riset eco-material dan laboran laboratorium struktur dan bahan yang selalu memberikan semangat dalam pembuatan Tesis ini.
8. Teman-teman **se-angkatan 20211** Magister KKD struktur yang telah memberikan dukungan dan dorongan selama masa studi.
9. Pihak-pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan sedikit atau banyak andil dan doa kepada saya dalam menyelesaikan penulisan Tesis ini. Saya ucapkan banyak terima kasih.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu **papa (Alwin Majid)** dan **mama (Rahmawaty Lapong)** atas doa, kasih sayang dan segala dukungan selama ini baik dukungan spiritual maupun material serta seluruh keluarga atas dorongan yang telah diberikan.
2. Adik-adik tersayang **Muh. Khaerul Nizam, Muh. Ikhzan Syam dan Muh. Syahrizan** yang selalu memberikan semangat dan mendoakan dalam pengerjaan Tesis ini. *Don't forget dear success is not only for me but success is for us.*
3. **Universitas Muhammadiyah Sorong** yang telah mendukung material dalam penyelesaian Tesis ini.
4. **Ir. Irman Amri, ST., MT** dan **Ir. Hendrik Pristianto, ST., MT** yang telah mendukung penulis selama proses studi Magister ini.
5. Pemilik tanggal kelahiran 18 juli, *loving me is not easy. Thanks for loving my quirks and putting up with my moods. I would like to thank you for always keeping me in your life.*
6. **Herlina Arifin, ST., MT.** dan **Jumarni, S.Hum** serta **Muhammad Nur Fajar, ST., MT.** Terima kasih sudah menjadi teman terbaik selama menempuh studi ini dan mengajarkan banyak hal. Pengalaman yang luar biasa bersama kalian selama setahun tinggal bersama akan menjadi moment yang tidak terlupakan dan sangat dirindukan. Semoga persahabatan kita akan terus berlanjut sampai rambut kita mulai memutih.
7. **Indah, Rahmi, Mega dan syafri my best long partner** yang selalu menjadi pendengar dan pendukung terbaik. Cepat menyusul untuk gelar Magisternya.

Kami menyadari bahwa masih ada kekurangan yang mendasar pada Laporan Tesis ini. Oleh karena itu saran serta kritik yang dapat membangun dari pembaca sangat kami harapkan guna penyempurnaan pada laporan Tesis ini.

Demikian Laporan Tesis ini kami buat, semoga dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Makassar, 30 Januari 2023

Penyusun,

Alfina Maysyurah

ABSTRAK

Alfina Maysyurah, Studi Hubungan Tegangan Regangan Mortar Yang Menggunakan *Fly ash* dan *Portland Composite Cement*, (dibimbing oleh: **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST. M. Eng** dan **Dr. Eng. M. Akbar Caronge ST., M. Eng**)

Pengurangan limbah atau hasil sampingan industri merupakan isu utama sehingga pemanfaatan produk sampingan industri sebagai alternatif agregat batu alam dalam produksi beton/mortar menjadi semakin penting. Berdasarkan permasalahan ini maka harus mencari material pengganti semen pada pembuatan beton/mortar sehingga menghasilkan material beton/mortar yang ramah lingkungan. Sejumlah material yang berasal dari pembakaran batu bara yang dapat digunakan untuk pengganti semen diantaranya *fly ash*. *Blended cement* yang mengandung *fly ash* sebagai salah satu bahan material digunakan sebagai *cementitious material* untuk membuat *mortar*. Perilaku mekanik mortar *fly ash* dengan *blended cement* merupakan faktor penting untuk mengukur keberhasilan penggunaan *fly ash*. Pengujian kuat tekan yang dilaksanakan pada umur 7 hari, 28 hari, dan 90 hari digunakan sebagai parameter untuk menyelidiki hubungan tegangan regangan mortar *fly ash* dengan *blended cement*. Proporsi penggunaan *fly ash* dalam penelitian ini adalah 0% (FA-0), 10% (FA-10), 20% (FA-20), 30% (FA-30) dan 40% (FA-40) dari berat semen. Hubungan tegangan regangan, *toughness*, dan pola kehancuran yang dihasilkan oleh pengujian menunjukkan kandungan *fly ash* 10%(FA-10) umur 90 hari mengalami kenaikan dari yang tanpa kandungan *fly ash* dibandingkan pada persentase yang lain pada umur 7 dan 28 hari. Hal ini merupakan mortar dengan kandungan *fly ash* memiliki perilaku mekanik yang baik dengan *blended semen* sehingga mampu membentuk mortar sebagai material pembangunan yang berkelanjutan.

Kata kunci: *Fly ash*, Kuat Tekan, Tegangan Regangan, Modulus Elastisitas, *Poisson Ratio*, *Toughness*, Pola Kehancuran.

ABSTRAK

Alfina Maysyurah, Stress Strain Relationship for Mortar Using *Fly ash* dan *Portland Composite Cement*, (supervised by: **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST. M. Eng** and **Dr. Eng. M. Akbar Caronge ST., M. Eng**)

Reducing waste or industrial by-products is a major issue so that the use of industrial by-products as an alternative to natural stone aggregate in concrete/mortar production is becoming increasingly important. Based on this problem, it is necessary to look for materials to replace cement in the manufacture of concrete/mortar so as to produce environmentally friendly concrete/mortar materials. A number of materials derived from burning coal that can be used as a substitute for cement include *fly ash*. Blended cement containing *fly ash* as one of the ingredients is used as a cementitious material for making mortar. The mechanical behavior of *fly ash* mortar with blended cement is an important factor to measure the success of using *fly ash*. Compressive strength tests carried out at 7 days, 28 days and 90 days were used as parameters to investigate the stress-strain relationship between *fly ash* mortar and blended cement. The proportion of *fly ash* used in this study was 0% (FA-0), 10% (FA-10), 20% (FA-20), 30% (FA-30) and 40% (FA-40) by weight of cement. The relationship between stress-strain, toughness, and pattern of destruction produced by the test showed that the *fly ash* content of 10% (FA-10) at 90 days increased from that without *fly ash* content compared to the other percentages at 7 and 28 days of age. This is a mortar containing *fly ash* which has good mechanical behavior with blended cement so that it is able to form mortar as a sustainable building material.

Keywords: *Fly ash*, Compressive Strength, Stress Strain, Modulus of Elasticity, Poisson Ratio, Toughness, Crushing Pattern.

DAFTAR ISI

PENGAJUAN TESIS	ii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Mortar	6
2.1.1 Spesifikasi Mortar	7
2.1.2 Tipe-tipe Mortar	7
2.2 Material Penyusun Mortar	10
2.2.1 Semen Campuran (<i>blended cement</i>)	10
2.2.2 Agregat Halus	11
2.2.3 <i>Fly ash</i> (Abu Terbang)	12
2.2.4 Air	13
2.3 Penggunaan Abu Terbang pada Mortar	13
2.4 Sifat Pozzolanic <i>Fly ash</i>	15
2.4.1 <i>Strength activity index (SAI)</i>	16
2.5 Pengujian Kuat Tekan dengan Kubus	16
2.5.1 Kuat Tekan Mortar	16
2.5.2 Tegangan Regangan Elastisitas	17
2.5.3 Poisson Ratio	17

2.5.4	Regangan Volume Matriks	18
2.5.5	Toughness	21
2.6	Penelitian Terdahulu.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		24
3.1	Bagan Alir Penelitian	24
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian	26
3.3	Jenis dan Sumber Peneltian	26
3.4	Alat dan Bahan Penelitian	26
3.5	Pemeriksaan Karakteristik Material	28
3.6	Rancang Campuran Mortar	29
3.7	Pembuatan Benda Uji	29
3.8	Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji.....	31
3.9	Pengujian Mortar.....	31
3.9.1	Kuat Tekan Mortar	31
BAB IV PEMBAHASAN		36
4.1	Karakteristik Material.....	36
4.1.1	Agregat Halus	36
4.1.2	Blended Cement	36
4.1.3	<i>Fly ash</i>	37
4.2	Perilaku <i>flow</i>	38
4.3	Perilaku mekanik mortar benda uji yang berbentuk kubus	38
4.3.1	Kuat tekan mortar benda uji yang berbentuk kubus 50 x 50 mm 38	
4.3.2	Tegangan regangan mortar yang berbentuk kubus.....	42
4.3.2.1	Hubungan tegangan regangan vertikal mortar	43
4.3.2.2	Hubungan tegangan regangan horisontal mortar	56
4.3.2.3	Hubungan tegangan regangan volumetric mortar.....	66
4.3.3	Modulus elastisitas benda uji berbentuk kubus.....	78
4.3.4	Poisson ratio benda uji berbentuk kubus.....	79
4.3.5	Toughness benda uji berbentuk kubus	80

4.3.6 Pola keruntuhan benda uji berbentuk kubus akibat kuat tekan
81

BAB V KESIMPULAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik Regangan Tegangan	20
Gambar 2 Area ketangguhan di bawah kurva tegangan-regangan	21
Gambar 3 Bagan Penelitian.....	25
Gambar 4 Material Campuran Mortar.....	28
Gambar 5 Alat Pengujian Kuat Tekan Mortar.....	34
Gambar 6 Flow test dan penambahan air.....	38
Gambar 7 Kuat tekan mortar benda uji kubus.....	39
Gambar 8 Strength activity index	41
Gambar 9 Tegangan regangan vertical control (FA-0), (a)umur 7, (b)Umur 28 dan (c)Umur 90 Hari	45
Gambar 10 Tegangan regangan vertical 10% (FA-10), (a) umur 7, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari	48
Gambar 11 Tegangan regangan vertical 20% (FA-20), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari	50
Gambar 12 Tegangan regangan vertical 30% (FA-30), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari	53
Gambar 13 Tegangan regangan vertical 40% (FA-40), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari	55
Gambar 14 Tegangan regangan Horisontal 0% (FA-0), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari	57
Gambar 15 Tegangan regangan horizontal 10% (FA-10), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	59

Gambar 16 Tegangan regangan horizontal 20% (FA-20), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	61
Gambar 17 Tegangan regangan horizontal 30% (FA-30), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	63
Gambar 18 Tegangan regangan horizontal 40% (FA-40), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	65
Gambar 19 Tegangan regangan volumetric 0% (FA-0), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari	68
Gambar 20 Tegangan regangan volumetric 10% (FA-10), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	70
Gambar 21 Tegangan regangan volumetric 20% (FA-20), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	73
Gambar 22 Tegangan regangan volumetric 30% (FA-30), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	75
Gambar 23 Tegangan regangan volumetric 40% (FA-40), (a) Umur 7 Hari, (b) Umur 28 Hari dan (c) Umur 90 Hari.....	77
Gambar 24 Modulus Elastisitas benda uji kubus	78
Gambar 25 Pola keruntuhan benda uji kubus (a) umur 7 hari, (b) umur 28 hari, dan (c) umur 90 hari	82

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Persyaratan Proporsi	7
Tabel 2 Batas-batas Gradasi Pasir	12
Tabel 3 Pemeriksaan Karakteristik Pasir	28
Tabel 4 Pemeriksaan Karakteristik Fly ash	29
Tabel 5 Mix Desain Mortar (m^3).....	29
Tabel 6 Karakter Agregat Halus	36
Tabel 7 Komposisi kimia dan fisika semen PCC.....	37
Tabel 8 Chemical fly ash	37
Tabel 9 CoV kuat tekan mortar benda uji kubus	41
Tabel 10 Nilai CoV modulus elastisitas benda uji kubus	79
Tabel 11 Poisson ratio benda uji kubus	80
Tabel 12 Toughness benda uji kubus.....	81

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini pelestarian sumber daya alam dan pengurangan limbah atau hasil sampingan industri merupakan isu utama sehingga pemanfaatan produk sampingan industri sebagai alternatif agregat batu alam dalam produksi beton menjadi semakin penting. Berdasarkan permasalahan ini maka pembuatan beton atau mortar harus mencari material pengganti semen sehingga menghasilkan material beton/mortar yang ramah lingkungan. *Fly ash* merupakan sejumlah material yang dapat digunakan untuk pengganti semen yang berasal dari pembakaran batu bara.

Pada proses pembakaran dari industri yang berbasis batu bara maupun pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batu bara menghasilkan sekitar 80-90% abu terbang. Menurut data kementerian lingkungan hidup 2006, limbah *fly ash* batu bara yang dihasilkan PLTU batu bara mencapai 52,3 ton/hari. Volume limbah *fly ash* diprediksi akan terus meningkat sehingga pengolahan limbah yang tidak terencana dengan baik berpotensi membahayakan masyarakat. Peraturan Pemerintah (PP) No.22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adanya perubahan pada salah satu peraturan pemerintah adalah PP No.101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (limbah B3). Dalam Lampiran XIV dari PP No.22 tahun 2021 ini, beberapa limbah B3 dikategorikan menjadi limbah non-B3, seperti FABA (*fly ash* dan

bottom ash) PLTU batu bara, SBE (*spent bleach earth*) industri minyak nabati/hewani, slag peleburan besi dan slag peleburan nikel.

Fly ash menunjukkan potensi untuk menjadi agregat daur ulang yang berharga dalam produksi beton atau mortar. Viabilitas agregat halus *fly ash* dalam produk PC telah dievaluasi dalam sejumlah penelitian. Diamati bahwa penggantian *fly ash* untuk semen Portland dapat meningkatkan kuat tekan, kemampuan kerja, dan ketahanan karbonasi dari mortar dan beton.

Karakteristik *fly ash* terdiri dari silika dalam jumlah yang banyak yang memiliki sifat pozzolan yang memiliki kemiripan pada unsur semen. Oleh karena itu, *fly ash* memungkinkan digunakan untuk menggantikan semen portland. Berdasarkan SNI 15-7064-2004 semen Portland komposit hasil dari pencampuran klinker dengan pozzolan sekitar 6-35% dari berat semen Portland. Dengan pencampuran itu maka itu dapat dikatakan dengan istilah *blended cement*, yang tidak asing di dunia teknik sipil maksudnya yaitu pencampuran bahan pengikat yang di hasilkan dengan cara menggiling bersama sama semen portland 60-80% dan bahan yang mempunyai sifat pozzolan 20-40%, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dan bubuk bahan yang mempunyai sifat pozzolan. Jika dilihat dari proporsi campuran unsur maka keduanya dapat dikatakan serupa.



Mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai inovasi teknologi untuk mendukung pembangunan infrastruktur berbasis green ekonomi. Beton atau mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan tambah semen campuran. *Fly ash* merupakan limbah hasil sampingan industry yang berkelanjutan sehingga dapat dikelola dengan baik sehingga dapat mendukung infrastruktur yang ramah lingkungan diantaranya dapat menggantikan OPC dalam industri konstruksi. Ada perhatian besar untuk meningkatkan daya tahan struktur beton. Selain itu, mortar dengan menggunakan *fly ash* dan semen campuran tidak hanya akan menghemat konsumsi energi dan mengurangi efek rumah kaca, tetapi juga menghilangkan limbah produk sampingan dari bahan alumino-silikat. Bahan limbah telah menjadi salah satu aspek terpenting dan menantang yang mengarah pada masalah lingkungan. Sumber alumino silikat merupakan produk sampingan seperti terak nikel, abu terbang, dan asap silika.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan maka dilakukan penelitian dengan judul:

“Studi Hubungan Tegangan-Regangan Mortar yang Menggunakan Abu Terbang dan *Portland Composite Cement*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Melakukan identifikasi kontribusi reaksi pozzolanic *fly ash* terhadap kuat tekan mortar?
2. Mengidentifikasi hubungan pengaruh kuat tekan *fly ash* sebagai semen campuran terhadap tegangan-regangan mortar?
3. Mengidentifikasi hasil volumetric strain pada mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai semen campuran?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis kontribusi reaksi pozzolanic *fly ash* terhadap kuat tekan mortar.
2. Untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai semen campuran.
3. Untuk menganalisis volumetric strain mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai semen campuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui *Strength activity index* dan strength indice dari sifat pozzolanis *fly ash*, hubungan tegangan-regangan mortar dan sorptivity mortar yang menggunakan *fly ash* sebagai semen campuran.

1.5 Batasan Masalah

1. Semen yang digunakan adalah jenis PCC yang banyak dijumpai dipasaran.
2. Pasir yang digunakan berasal dari sungai jeneberang, Sulawesi selatan
3. *Fly ash* yang digunakan adalah abu terbang yang berasal dari Barru, Sulawesi selatan
4. Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, poisson ratio menggunakan sampel berbentuk kubus 50 mm x 50 mm x 50 mm yang dilakukan pada umur 7, 28 dan 90 hari.
5. Proses curing yang dilakukan adalah curing air

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu.

Adapun macam mortar adalah:

1. Mortar lumpur (mud mortar) yaitu mortar dengan bahan perekat tanah.
2. Mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
3. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Agregat halus (pasir) merupakan butir-butir partikel yang diikat oleh pasta semen dalam mortar harus dapat terlapisi dengan sempurna agar mempunyai kohesi dan adhesi. Susunan gradasi yang seragam akan membuat banyaknya rongga udara dalam mortar sehingga dibutuhkan semen yang lebih banyak daripada gradasi yang tidak seragam. Hal ini berpengaruh pada kepadatan mortar dan daya lekat yang berkurang. Gradasi pasir yang baik (well graded sand) berisi butir-butir pasir yang bervariasi ukurannya, karena dapat mengurangi rongga udara, dan kebutuhan semen dan air. Sedikit campuran semen dan air akan mengurangi susut, dan susut yang kecil cenderung untuk mengurangi retak pada mortar.

2.1.1 Spesifikasi Mortar

Dalam SNI 03-6882-2002 dan ASTM C 270, mortar diklasifikasikan menjadi 4 tipe berdasarkan proporsi bahan (*proportion specifications*) dan sifat mortar (*propety specifications*), yaitu : M, S, N, dan O, yang masing-masing tipe terdiri atas agregat halus (pasir), air, dan semen.

Spesifikasi proporsi dan spesifikasi mortar didasarkan pada volume pencampuran dari material penyusunnya harus memenuhi persyaratan proporsi mortar yang dapat dilihat pad table 1:

Tabel 1 Persyaratan Proporsi

Mortar	Type	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)			Rasio Agregat (Pengukuran kondisi lembab gembur)
		Semen Potland	Semen Pasangan		
			M	S	N
	M	1			1
	M	...	1		
Semen	S	...			1
Pasangan	S	1/2		1	
	N	...			1
	O	...			1

2.1.2 Tipe-tipe Mortar

Tipe – tipe mortar adalah sebagai berikut (*SNI 03-6882-2002*):

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel diatas.

2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe S atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel diatas.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel diatas.
4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel diatas.

Keterangan Semen Pasangan:

1. Semen Pasangan tipe N adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe N menurut Tabel diatas.tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam, dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar tipe S atau tipe M bila semen portland ditambahkan dengan komposisi menurut Tabel diatas.
2. Semen pasangan tipe S adalah adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe S tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam, dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar tipe S atau

tipe M bila semen portland ditambahkan dengan komposisi menurut Tabel diatas.

3. Semen pasangan tipe M adalah semen pasangan yang digunakan dalam pembuatan mortar tipe M tanpa penambahan lagi semen atau kapur padam.

Spesifikasi sifat mortar harus memenuhi ketentuan persyaratan bahan dan pengujian terhadap mortar yang telah disiapkan dilaboratorium, dimana bahan tersebut terdiri dari suatu campuran bahan pengikat bersifat semen, agregat dan air yang telah memenuhi persyaratan mortar sesuai metode pengujian yang telah dikeluarkan oleh SNI 03-6882-2002.

1. Kecuali untuk jumlah pencampurnya, proporsi campuran yang disiapkan dilaboratorium dan memenuhi ketentuan spesifikasi ini, tidak boleh diubah, bahan- bahan yang sifat fisiknya berbeda tidak boleh dipakai tanpa melakukan pengujian ulang dan memenuhi persyaratan sifat – sifat mortar.
2. Sifat – sifat mortar yang diisyaratkan dalam tabel 1 adalah untuk mortar yang disiapkan dilaboratorium dengan jumlah penyampur yang memberikan kelecakan (*Flow*) (110 ± 5) . Jumlah air ini tidak cukup untuk menghasilkan mortar dengan kelecakan yang sesuai untuk pekerjaan pasangan dilapangan. Mortar yang akan digunakan dilapangan harus di campur lagi dengan maksimum jumlah air yang sesuai dengan

kemudahan pengerjaannya, sehingga cukup untuk memenuhi persyaratan awal dari bahan/komponen konstruksi pasangan.

3. Sifat – sifat mortar yang disiapkan dilaboratorium dengan (110 ± 5) % sebagaimana diisyaratkan dalam spesifikasi ini dimaksudkan untuk memperkirakan besarnya kelecakan dan sifat – sifat dari mortar yang disiapkan untuk pekerjaan dilapangan setelah digunakan agar supaya penyerapan air dari komponen konstruksi pasangan terpenuhi.
4. Sifat – sifat mortar yang disiapkan dilapangan dengan jumlah air lebih banyak, sebelum digunakan pada pekerjaan konstruksi pasangan, akan berbeda dengan persyaratan sifat-sifat seperti dalam tabel 1.

2.2 Material Penyusun Mortar

Adapun material penyusun untuk membuat mortar sebagai berikut:

2.2.1 Semen Campuran (*blended cement*)

Berdasarkan SNI 6882:2014 Semen campuran (*blended cement*) adalah pencampuran bahan pengikat yang di hasilkan dengan cara menggiling bersama antara semen portland dan bahan yang mempunyai sifat pozzolan, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dan bubuk bahan yang mempunyai sifat pozzolan.

Sementara ada beberapa semen campuran yaitu:

1. PCC (*Portland Composite Cement*)

Berdasarkan SNI 15 7064 2004 PCC merupakan semen hidrolis yang terbuat dari penggilingan terak (klinker) semen portland dengan gipsum dan

bahan pozzolan dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lainnya.

2. PPC (*Portland Pozzoland Cement*)

Menurut SNI 15-0302-2004, semen portland pozzolan (PPC) adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus. Dalam perancangan pabrik semen ini akan digunakan proses kering dalam proses produksinya.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan untuk membuat mortar adalah pasir. Agregat didefinisikan sebagai material granular seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolik atau adukan. Agregat halus merupakan partikel halus yang lebih kecil dari saringan no.100.

Gradasi pasir menurut ASTM C136-01 kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Batas-batas Gradasi Pasir

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan Jenis agregat halus			
	Kasar	Agak kasar	Agak halus	Halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentasi dari berat butiran yang tertinggal atau lewat didalam suatu susunan ayakan. Sumber yang terbaru dari agregat halus adalah pasir sungai dan abu, batu dari proses hasil sungai batu pecah.

2.2.3 *Fly ash* (Abu Terbang)

Berdasarkan SNI 03-6414-2002, abu terbang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bulat dan bersifat pozolanik. *Fly ash* merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada alat pembangkit listrik sehingga sifatnya ditentukan oleh komposisi dan sifat mineral pengotor dalam batu bara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batu bara titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya.

Bahan yang bersifat pozzolan sebagai bahan yang mengandung silika dan alumina (ASTM C-618-12a) dimana memiliki hanya sedikit dan tidak memiliki nilai semen tetapi dalam bentuk yang terbagi secara halus dengan adanya kelembapan dan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu normal untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat seperti semen.

2.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar penyusun material yang paling penting. Air berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pelumas antara butir-butir agregat supaya mempermudah proses pencampuran agregat dengan binder serta mempermudah pelaksanaan pengecoran beton (Veliyati 2010). Berdasarkan SNI 03-2847-2002, air yang dapat digunakan sebagai pencampur mortar tidak dapat diminum dan tidak boleh digunakan pada adukan mortar kecuali pemilihan proporsi campuran mortar harus didasarkan pada campuran mortar yang menggunakan air dari sumber yang sama dengan pH antar 4,5-7 dan tidak mengandung lumpur. Air yang diisyaratkan menggunakan air bersih dan layak minum, bebas dari minyak, asam, alkali, zat organik, atau material beracun lainnya, bahan lain yang dapat merusak mortar yaitu logam-logam yang terdapat di dinding (SNI 03-6882-2002).

2.3 Penggunaan Abu Terbang pada Mortar

Pada tahun fiskal 2020, sekitar 4,1 miliar ton semen Portland biasa (OPC) diproduksi di seluruh dunia. Permintaan semen seiring dengan

pembangunan gedung dan infrastruktur diperkirakan akan meningkat dari tahun ke tahun. Gas berbahaya seperti karbon dioksida dikeluarkan ke lingkungan dalam proses produksi semen. Para peneliti dan ilmuwan mencoba mengurangi konsumsi semen secara signifikan dengan mencampurkan semen dengan produk sampingan industri seperti *Fly ash* (FA), Slag, Metakaolin, ultra-fine slag (UFS), ultra-fine *fly ash* (UFFA), dll. Studi tersebut akan membantu menentukan proporsi optimum yang dapat memenuhi persyaratan kekuatan dan mengurangi konsumsi semen dengan pemanfaatan limbah industri yang efektif (M.A.Vinay dan P.S. Purnanand, 2021).

Turhan Bilir dkk, 2015, Pembangkit listrik tenaga batubara menghasilkan jutaan ton limbah *fly ash* di seluruh dunia yang menyebabkan masalah lingkungan dan mengancam kesehatan masyarakat. Selain itu, biaya depotnya tinggi dan membutuhkan area depot yang luas. Daur ulang merupakan strategi untuk memanfaatkan kandungan limbah yang tersisa dari beberapa industri. Meskipun *fly ash* telah digunakan dalam teknologi semen dan beton. Dalam teknologi beton telah digunakan sebagai bahan tambahan semen atau bahan pengganti dengan porsi semen sampai sekarang. Tapi, itu belum dianggap sebagai agregat halus. Dalam studi ini, pengaruh *fly ash* sebagai agregat halus dalam mortar diselidiki. Kemampuan aliran, berat satuan, kecepatan pulsa ultrasound, kekuatan tekan dan lentur, modulus elastisitas, perilaku tegangan-regangan dan pengujian pengeringan bebas dan susut tertahan dilakukan pada mortar yang dihasilkan.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambahan semen menambah keberlanjutan beton dengan mengurangi emisi CO₂ dari produksi semen (P. Nath dan P. Sarker. 2011). Pengaruh positif *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap durabilitas beton telah diketahui melalui berbagai penelitian; namun, tingkat perbaikan tergantung pada sifat *fly ash*. Dalam studi ini, sifat durabilitas beton mutu tinggi yang memanfaatkan *fly ash* Kelas F volume tinggi yang berasal dari Australia Barat telah diselidiki. Campuran beton dengan *fly ash* 30% dan 40% dari total bahan pengikat digunakan untuk pengecoran benda uji. Kuat tekan, susut pengeringan, daya serap dan permeabilitas klorida yang cepat dari abu terbang dan spesimen beton kontrol ditentukan. Kuat tekan 28 hari campuran beton bervariasi dari 65 hingga 85 MPa. Sampel beton *fly ash* menunjukkan susut kering yang lebih sedikit dibandingkan sampel beton kontrol ketika dirancang untuk kuat tekan 28 hari yang sama dengan beton kontrol. Penyertaan *fly ash* mengurangi sorptivity dan permeasi ion klorida secara signifikan pada 28 hari dan berkurang lebih lanjut pada 6 bulan. Secara umum, penambahan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen meningkatkan sifat durabilitas beton.

2.4 Sifat Pozzolanic *Fly ash*

Sifat pozzolanic *fly ash* dapat dianalisa dengan menggunakan sebagai berikut:

2.4.1 *Strength activity index (SAI)*

Indeks aktivitas kekuatan (SAI) ditentukan berdasarkan uji kuat tekan yang dilakukan pada kubus dan diuji sesuai IS: 4031 (Bagian 6) -1988. Mortar Spesimen kubus diawetkan dengan air perendaman. Indeks aktivitas kekuatan mortar semen campuran dinyatakan sebagai rasio kuat tekan kubus mortar semen campuran dengan campuran kontrol.

Berdasarkan standar ASTM C311 *Strength activity index* dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$SAI = \frac{A}{B} \times 100$$

Dimana:

A : kekuatan tekan rata-rata mortar control

B : kekuatan tekan rata-rata semen campuran

2.5 **Pengujian Kuat Tekan dengan Kubus**

2.5.1 **Kuat Tekan Mortar**

Spesifikasi pengujian kuat tekan yang mengacu pada standar SNI 1974:2014, Kuat tekan mortar dilakukan dengan benda uji mortar dengan dimensi 5x5x5 cm.

Nilai kekuatan tekan beton dapat berpengaruh terhadap FAS, kualitas semen dan umur mortar dan karakteristik material yang digunakan, Adapun persamaan yang dapat digunakan sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat Tekan Beton (MPa)

P = Gaya Tekan Maksimum(N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

2.5.2 Tegangan Regangan Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan besarnya rasio tegangan terhadap regangan dari mortar ataupun beton. Modulus elastisitas mempengaruhi kekuatan dan kekauan dari mortar dan beton. Modulus elastisitas tergantung dari umur benda uji, sifat sifat material dan jenis dan ukuran benda uji. Perhitungan modulus elastisitas beton menggunakan rumus ASTM C 496 – 94, Modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan ersamaan berikut:

$$Ec = \frac{S2 - S1}{\varepsilon2 - 0.00005}$$

Dimana:

Ec = Modulus elastisitas (N/mm²)

S_2 = Besar tegangan saat 40% beban batas (N/mm²)

S_1 = Besar tegangan saat regangan 0,00005 (N/mm²)

ε_2 = regangan saat 40% beban batas 60

2.5.3 Poisson Ratio

Apabila suatu batang menerima beban tarik dalam arah longitudinal, maka akan terjadi perubahan dimensi dalam bentuk perpanjangan ke arah

longitudinal dan penyempitan ke arah lateral, sebaliknya jika bekerja beban aksial tekan maka akan terjadi pemendekan dalam arah longitudinal dan pemekaran dalam arah lateral. Dapat disimpulkan bahwa pada umumnya regangan yang terjadi dalam arah longitudinal dan lateral akan memiliki tanda yang berlawanan (positif dan negatif). Perubahan dimensi dalam arah lateral selalu terjadi secara proporsional dengan perubahan dimensi ke arah longitudinal. Konstanta yang menghubungkan antara regangan ke arah lateral dan longitudinal disebut poisson's ratio.

$$\nu = - \frac{(\epsilon_a)}{(\epsilon_e)}$$

Dimana :

ϵ_a = Regangan lateral

ν = Poisson Ratio

ϵ_e = Regangan aksial

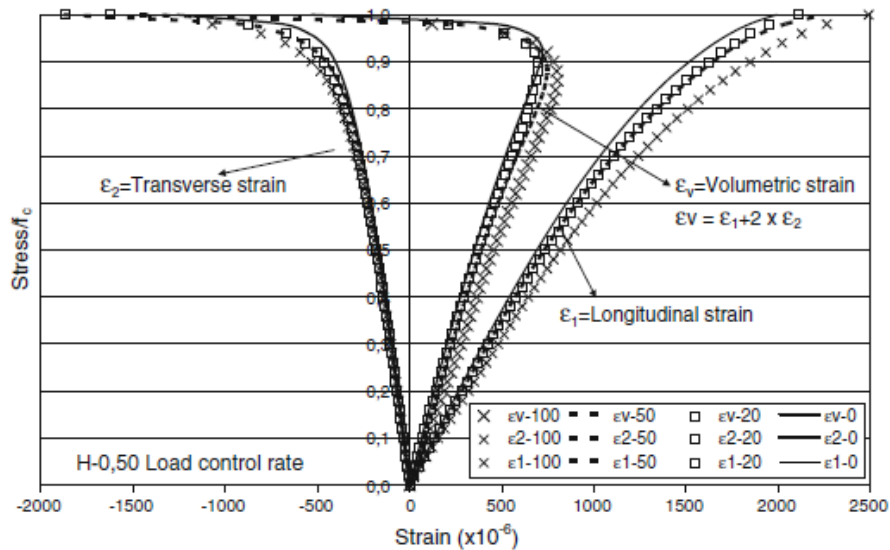
Dari Persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa regangan lateral dapat timbul tanpa adanya tegangan ke arah yang sama.

2.5.4 Regangan Volume Matriks

Suatu benda yang menerima gaya luar yang bekerja ke segala arah, akan menyebabkan terjadinya perubahan volume. Perubahan per satuan volume yang dihitung berdasarkan volume awalnya disebut regangan volumetric.

Dimensi pada suatu kubus dengan panjang masing-masing sisi x, y dan z menerima beban ke segala arah akan mengalami perubahan pada setiap sisinya sebesar dx, dy dan dz. Maka besarnya regangan volumetric dapat disimpulkan bahwa regangan volumetric adalah hasil penjumlahan regangan normal ke arah sumbu x, y dan z.

Dalam Penelitian (Belen Gonzales dkk, 2011) Regangan volumetrik, didefinisikan sebagai $\epsilon_v = \epsilon_1 + 2 \epsilon_2$ (di mana ϵ_1 adalah regangan memanjang dan ϵ_2 adalah regangan transversal), mencerminkan kerusakan beton oleh microcracks sebelum kegagalan. Jadi, identifikasi ambang batas kerusakan retak adalah titik di mana kurva kekakuan berubah dari positif ke negatif, juga didefinisikan sebagai pembalikan dalam tanda kenaikan regangan volumetrik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan laju kendali beban dan laju kendali regangan. Empat pengukur regangan dipasang pada benda uji yang digunakan dalam uji elastisitas modulus longitudinal dan transversal dan dalam uji kuat tekan.



Gambar 1 Grafik Regangan Tegangan

Dua digunakan untuk mengukur regangan aksial dan dua lainnya digunakan untuk mengukur regangan transversal. Dua transduser perpindahan longitudinal juga digunakan dalam uji kuat tekan yang dikembangkan di bawah laju kendali regangan. Jadi, selama pengujian ini, beban dan regangan diukur, sehingga memungkinkan untuk menentukan tegangan-regangan longitudinal, tegangan regangan transversal, kurva tegangan-regangan volumetrik dan garis potong ϵ di setiap keadaan beban.

$$\epsilon_v = \epsilon_1 + 2 \times \epsilon_2$$

Dimana :

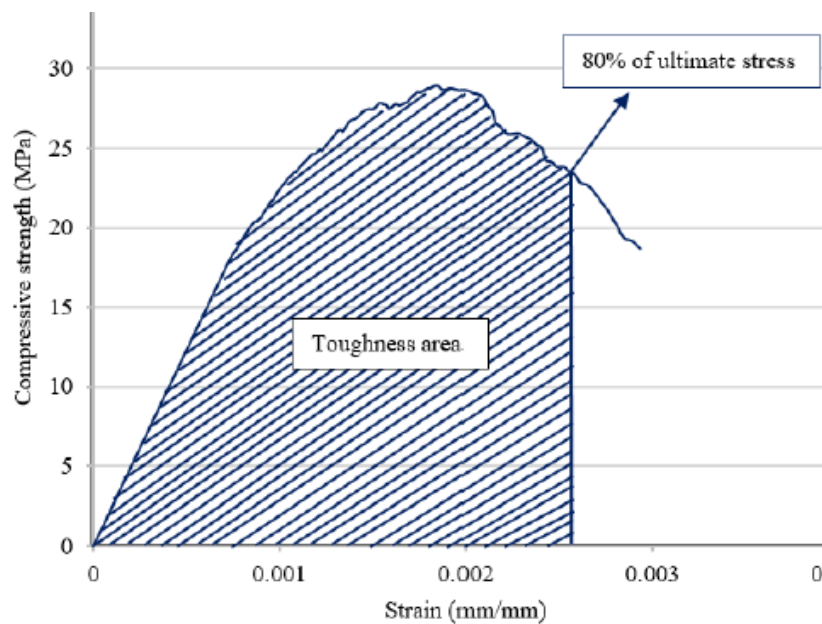
ϵ_v = Regangan Volumetric (mm/mm)

ϵ_1 = Regangan Vertical (mm/mm)

ϵ_2 = Regangan Horizontal (mm/mm)

2.5.5 Toughness

Nilai toughness benda uji mortar dihitung sebagai area di bawah kurva tegangan-regangan sampai dengan regangan ultimit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 Menentukan area tertentu di bawah kurva tegangan-regangan sebesar 80% untuk tegangan ultimit di area pasca-puncak yang diberikan (Emad A.H. Alwesabi, dkk, 2022).



Sumber : Mahmoud Abu-Saleem, dkk (2021)

Gambar 2 Area ketangguhan di bawah kurva tegangan-regangan

Nilai daktilitas dihitung sebagai rasio regangan ultimit pada 80% tegangan ultimit terhadap regangan luluh pada 0,65 tegangan ultimit seperti yang direkomendasikan oleh Youssf dkk (2017), nilai indeks ketangguhan dihitung sesuai dengan rasio antara daerah di bawah kurva tegangan-

regangan yang diberikan adalah 80% untuk tegangan ultimit di daerah pasca-puncak yang diberikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

2.6 Penelitian Terdahulu

Giulia Masi, dkk 2021. Kinerja mekanik (yaitu, modulus elastisitas, kekuatan tekan dan lentur). *Fly ash* kelas F yang telah diaktifkan oleh kalium hidroksida (KOH) dan natrium metasilikat anhidrat menunjukkan kinerja mekanis mencapai kuat tekan (R_c) lebih besar dari 60 MPa pada 28 hari curing ketika aktivasi mekanokimia dari *fly ash* diterapkan.

Ogawa Y dkk, 2021. Pengaruh suhu curing pada kontribusi *fly ash* terhadap kuat tekan terlihat pada suhu rawat 30°C.

Jin Yang. Dkk. 2021. Pekerjaan ini menyelidiki kinerja ketahanan mortar semen *fly ash* (FA) perlakuan penggilingan basah terhadap abu terbang dapat memberikan cara yang efisien untuk meningkatkan kinerja daya tahan komposit abu terbang volume tinggi.

Moghaddam F dkk, 2019. *Flow* semen yang baru dicampur juga ditemukan meningkat pada campuran semen yang mengandung 20% *fly ash* dan menunjukkan maksimum kuat tekan.

Semen Portland Pozzolan dan Portland composite yang menggunakan material anorganik dan linker semen telah di kembangkan di negara Indonesia (M. Wihardi Tjaronge, 2012).

E. Peris Mora dkk, 1993. Kajian *fly ash* sebagai pengganti workability mortar menggunakan flow table disajikan. Nilai flow table spread (FTS) diukur

dan korelasi antara persentase penggantian abu terbang, volume air dan distribusi granulometri abu terbang telah ditetapkan. Hubungan linier antara nilai FTS dan volume air diperoleh pada kisaran air 200–225 mL (rasio 0,5 air/semén+*fly ash*, 3,0 pasir/semén alam + rasio *fly ash*). Peningkatan volume air menyiratkan nilai FTS yang lebih besar. *Fly ash* asli dipisahkan dalam empat fraksi dengan distribusi granulometri yang berbeda. Nilai FTS meningkat seperti halnya permukaan spesifik, dan nilai FTS menurun dengan meningkatnya diameter rata-rata abu terbang. Untuk fraksi terbaik, efek pelumas dilawan dengan adsorpsi air pada permukaan partikel *fly ash*. Kurva distribusi bentuk abu layang (asli dan pecahannya) memiliki pengaruh penting terhadap kemampuan kerja.