

TUGAS AKHIR

**ANALISA KUAT TEKAN BETON RINGAN
MENGUNAKAN *ARTIFICIAL AGGREGATE*
NANO MATERIAL**



MUHAMMAD FARHAN

03011181924015

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

TUGAS AKHIR

ANALISA KUAT TEKAN BETON RINGAN MENGUNAKAN *ARTIFICIAL AGGREGATE* NANO MATERIAL

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas
Sriwijaya**



MUHAMMAD FARHAN

03011181924015

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA KUAT TEKAN BETON RINGAN MENGUNAKAN *ARTIFICIAL AGGREGATE* NANO MATERIAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

MUHAMMAD FARHAN

03011181924015

Palembang, Juni 2023

Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing,

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan
Perencanaan

Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff,
MSCE, IPU, ASEAN.Eng.
NIP. 196210281989031002



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

ANALISA KUAT TEKAN BETON RINGAN MENGGUNAKAN ARTIFICIAL AGGREGATE NANO MATERIAL

Muhammad Farhan¹⁾, Anis Saggaff²⁾

¹ Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

² Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
(Jl. Raya Prabumulih - Km 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumsel)

¹⁾Korespondensi Penulis: abidin3f@gmail.com

Abstrak

Penggunaan beton untuk bangunan di dunia, khususnya Indonesia, dalam beberapa dekade terakhir ini berkembang pesat. Beton dipilih karena kuat tekannya yang tinggi. Namun penggunaan beton konvensional mempengaruhi berat sendiri bangunan itu sendiri, terutama disumbang oleh bahan agregat kasar sebesar 45%-60% dari berat beton. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab salah satu permasalahan pengurangan berat bangunan dengan mengganti agregat kasar dengan agregat buatan yang terbuat dari *fly ash*, limbah pembakaran batu bara, dan cairan resin epoksi, yang keduanya memiliki berat jenis yang lebih ringan. Penelitian ini memiliki perencanaan agregat buatan dengan mutu rencana $f'c = 20$ MPa menggunakan *Job-mix Formula* yang disediakan oleh SNI. Diproduksi dua jenis sampel dalam perencanaan campuran berupa benda uji berbentuk silinder berukuran 15x30 cm yaitu perencanaan Beton Normal (BN) dan perencanaan Beton Ringan (BR). Sampel BN diuji Kuat Tekan Beton pada umur 28 hari dan sampel BR diuji Kuat Tekan Beton pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil yang dapat diperoleh dari penelitian ini meliputi berat sampel dan nilai KTB untuk masing-masing sampel. Pengujian terhadap sampel beton ringan (BR) menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 20,35 MPa. Sedangkan pengujian terhadap sampel beton dengan berat normal (BN) menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 20,26 MPa. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa agregat buatan dapat menggantikan agregat kasar sebagai material beton sehingga kuat tekan beton normal dengan berat agregat buatan 40% lebih rendah dari agregat kasar.

Kata kunci: *Artificial aggregate, Fly-ash, Resin Epoxy, Beton Ringan.*

Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing,

Palembang, Juni 2023
Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan

Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, M.Sc.E, IPU,
ASEAN.Eng.
NIP. 196210281989031002



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Farhan
NIM : 03011181924015
Judul : Analisa Kuat Tekan Beton Ringan Menggunakan Artificial Aggregate Nano Material

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapa pun.



Palembang, Juni 2023
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Farhan
NIM. 03011181924015

KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah Yang Maha Esa yang telah memberikan kesempatan kepada penulis agar dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Analisa Kuat Tekan Beton Ringan Menggunakan *Artificial aggregate* Nano Material”.

Dalam penyelesaian penulisan laporan ini, penulis banyak dibantu dan dibimbing oleh berbagai pihak, karena hal tersebut penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Anis Saggaff, MSCE, IPU, ASEAN-Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan banyak sekali bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Bimo Brata Adhitya, S.T., M.T. dan Ibu Ani Firda S.T. M.T. selaku dosen pendamping dalam tim penelitian Hibah Penelitian Skema Kompetitif, yang melibatkan kami sebagai tim dalam penelitian tersebut, dan juga memberikan bimbingan dan dukungan moril dan material dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Saloma, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
4. Orang tua dan keluarga yang selama ini telah mendukung dengan doa, motivasi, dan semangat hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, maka dari itu penulis menerima segala bentuk kritik, saran dan pendapat agar dalam penulisan laporan ke depannya akan lebih baik lagi serta dapat menjadi manfaat bagi para pembaca.

Palembang, Maret 2023

Muhammad Farhan
NIM. 03011181924015

Universitas Sriwijaya

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian.....	4
1.5. Metode Pengumpulan Data	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II	6
2.1. Peneliti terdahulu.....	6
2.2. Beton Ringan.....	10
2.3. <i>Artificial aggregate</i>	11
2.3.1. Metode Sintering.....	12
2.3.2. Metode Autoclaving.....	12
2.3.3. Metode Cold Bonding.....	12
2.3.4. Metode Geopolimer	13
2.4. Nanomaterial	13
2.5. <i>Lightweight Nanomaterial Concrete</i>	13
2.6. Material Penyusun <i>Lightweight concrete Nanomaterial</i>	14
2.6.1. Semen.....	14
2.6.2. <i>Fly Ash</i>	14
2.6.3. Epoxy Resin	15
2.6.4. <i>Hardener</i>	16
2.6.5. Agregat Halus.....	17
2.7. Pengujian Kuat Tekan Beton.....	17
BAB III.....	19
3.1. Umum.....	19
3.2. Alur Penelitian.....	20
3.3. Bahan-Bahan Pembuatan Beton Normal.....	22
3.3.1. Semen.....	22

3.3.2.	Agregat Halus.....	22
3.3.3.	Agregat Kasar.....	25
3.4.	Bahan-Bahan Untuk Pembuatan Beton Ringan <i>Fly Ash-Epoxy</i>	28
3.4.1.	Semen.....	28
3.4.2.	<i>Artificial aggregate</i>	29
3.4.3.	Agregat Halus.....	30
3.4.4.	Air	30
3.5.	Tahapan Pengujian di Laboratorium	31
3.5.1.	Persiapan Material dan Alat	31
3.5.2.	Pembuatan <i>Artificial aggregate</i>	31
3.6.	Pengujian Material.....	34
3.6.1.	Pengujian <i>Properties</i> Agregat Halus.....	34
3.6.2.	Pengujian <i>Properties</i> Agregat Kasar.....	35
3.7.	Perencanaan Campuran Beton.....	37
3.8.	Pembuatan Benda Uji.....	40
3.9.	Pengujian Kuat Tekan Benda Uji	44
BAB IV	46
4.1.	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	46
4.1.1.	Agregat Halus.....	46
4.1.2.	Agregat Kasar.....	51
4.1.3.	<i>Artificial aggregate</i>	54
4.2.	Perencanaan Campuran Beton.....	55
4.3.	Kuat Tekan Beton.....	56
4.4.	Komparasi Berat Beton Ringan (BR) dan Beton Normal (BN)	61
BAB V	64
5.1.	Kesimpulan.....	64
5.2.	Saran	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.1 Contoh beton ringan	2
Gambar 1.1.2 Semen dan fly ash.....	3
Gambar 2.1.1 Retakan permukaan campuran fly-ash/epoxy berukuran <53 nanometer pada pengujian kuat Tarik belah	6
Gambar 2.1.2 Retakan permukaan campuran fly-ash/epoxy berukuran <90 nanometer pada pengujian kuat Tarik belah	7
Gambar 2.1.3 Hubungan (a) Kuat tekan beton; (b) Kuat lentur; (c) Modulus elastisitas terhadap nilai epoxy dan filler	8
Gambar 2.1.4 Pengaruh (a) Epoxy dan agregat halus; (b) foaming agent dan rasio air terhadap kuat tekan beton	9
Gambar 2.2.1 Beton konvensional dan beton ringan.....	11
Gambar 2.6.1 fly ash.....	15
Gambar 2.7.1 Ilustrasi pengujian kuat tekan beton	18
Gambar 3.2.1 Flowchart Pembuatan Beton Normal.....	20
Gambar 3.3.1 Semen	22
Gambar 3.3.2 Agregat Halus	22
Gambar 3.4.1 Semen	29
Gambar 3.4.2 Fly Ash.....	29
Gambar 3.4.3 Epoxy resin dan Hardener	30
Gambar 3.4.4 Agregat Halus	30
Gambar 3.5.1 Fly Ash ukuran No.100.....	31
Gambar 3.5.2 Penimbangan material	32
Gambar 3.5.3 Pencampuran Epoxy dan hardener	32
Gambar 3.5.4 Pencampuran Fly ash dan Epoxy +hardener	32
Gambar 3.5.5 Pembentukan artificial aggregate	33
Gambar 3.5.6 Agregat ringan	33
Gambar 3.5.7 Proses pemecahan agregat buatan	33
Gambar 3.6.1 Pengujian kadar air agregat halus	34
Gambar 3.6.2 Pengujian kadar lumpur agregat halus.....	34
Gambar 3.6.3 Pengujian kadar organik agregat halus	34
Gambar 3.6.4 Analisis saringan agregat halus	35
Gambar 3.6.5 Pengujian berat volume agregat halus	35
Gambar 3.6.6 Pengujian specific gravity agregat halus	35
Gambar 3.6.7 Pengujian kadar air agregat kasar	36
Gambar 3.6.8 Pengujian analisis saringan agregat kasar.....	36
Gambar 3.6.9 Pengujian berat volume agregat kasar	36
Gambar 3.6.10 Pengujian Specific gravity agregat kasar.....	37
Gambar 3.8.1 Campuran semen, pasir, dan agregat	41
Gambar 3.8.2 Proses pencampuran air	41
Gambar 3.8.3 Pengukuran tinggi slump	42
Gambar 3.8.4 Penimbangan material	42
Gambar 3.8.5 Proses memasukkan material beton ringan ke dalam concrete mixer	43

Gambar 3.8.6 Pengujian Slump.....	43
Gambar 3.8.7 Beton dimasukkan ke dalam bekisting	44
Gambar 3.9.1 Proses pembuatan capping beton.....	44
Gambar 3.9.2 Penimbangan beton.....	45
Gambar 3.9.3 Pengujian kuat tekan beton.....	45
Gambar 3.9.4 Benda uji hancur.....	45
Gambar 4.1.1 Grafik gradasi agregat halus	49
Gambar 4.1.2 Grafik gradasi agregat kasar	53
Gambar 4.3.1 Grafik hubungan kuat tekan dan berat jenis beton ringan kode A terhadap umur beton.....	58
Gambar 4.3.2 Grafik hubungan kuat tekan dan berat jenis beton ringan kode B terhadap umur beton.....	59
Gambar 4.3.3 Grafik hubungan kuat tekan dan berat jenis beton ringan kode B terhadap umur beton.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan beton dalam konstruksi bangunan di dunia terutama negara Indonesia pada beberapa dekade terakhir berkembang dengan pesat. Beton dipilih karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi. Akan tetapi beton juga memiliki kelemahan antara lain kuat tarik yang rendah, sehingga untuk menahan tarik maka beton diberi tambahan material baja di dalamnya, sehingga disebut dengan beton bertulang. Material pembentuk beton terdiri dari semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/koral/batu split), dan air sebagai katalisator.

Penggunaan beton untuk bangunan sederhana seperti rumah tinggal, masjid, Gedung, perkantoran dan lain sebagainya, umumnya menggunakan perbandingan semen : pasir : kerikil yaitu 1 : 2 : 3. Beton memberikan kontribusi beban terhadap konstruksi hampir mencapai 50-65 % dari total berat konstruksi setelah menerima beban (Dead-Loads + Live-Loads). Oleh karena itu, harus ada inovasi untuk memodifikasi beton dengan cara mengganti material-material yang berat pada beton dengan material yang lebih ringan. Inovasi ini dapat menghasilkan beton ringan (*lightweight concrete*). Penggunaan agregat ringan sebagai campuran beton akan berdampak pada pengurangan berat beton, namun kuat tekan beton tidak berkurang jauh dari beton normal.

Beton dikelompokkan menjadi empat kelompok berdasarkan berat jenis dan penggunaannya dijelaskan pada tabel 1.1

Tabel 1.1 Jenis-jenis beton berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya

Jenis beton	Berat jenis beton (kg/cm ³)	Kuat Tekan (MPa = N/mm ²)	Penggunaan
Beton sangat ringan	< 1000	10-15 MPa	Non struktur
Beton ringan	1000-2000	16 – 25 MPa	Struktur ringan
Beton normal	2300-2500	26 – 40 MPa	Struktural
Beton berat	> 2500	> 41 MPa	Perisai sinar X

Sumber : Tjokrodinuljo, K (2003)

Beton ringan merupakan beton dengan berat jenis sebesar 1000-2000 kg/cm³ (Tjokrodinuljo, 2003). Beton ringan menggunakan material yang disebut agregat ringan buatan (*artificial lightweight aggregates*) dalam campurannya. Agregat ini dipakai sebagai bahan untuk membuat elemen-elemen bangunan sipil sehingga bobotnya menjadi ringan (Tjaronge, M. W., 2005). Material pencampur agregat ringan dapat berupa *Fly Ash*, batu kapur, batu apung, *bottom ash*, abu sekam padi, dan lain-lain.



Gambar 1.1.1 Contoh beton ringan

Teknologi nano adalah teknologi yang menggunakan partikel material dalam skala nanometer yang memiliki ukuran sangat kecil secara kimiawi dan/atau fisika. Satu nanometer, yang disingkat sebagai nm, setara dengan 10^{-9} meter. Salah satu nano teknologi yang digunakan pada beton adalah Nanomaterial. Nanomaterial adalah material berukuran nano. Selain itu, Nanoteknologi didefinisikan sebagai inovasi yang sedang diteliti oleh para ilmuwan salah satunya sebagai pengganti agregat kasar. Beton yang terbuat dari material dengan ukuran molekul atau struktur atom sebesar 1 hingga 100 nm memiliki karakteristik mekanik dan kimia yang berbeda secara signifikan dengan beton yang menggunakan material berukuran mikro. (Saurav dalam Setiati 2012).

Penggunaan nano teknologi dapat diterapkan pada campuran *Fly Ash* dan epoxy resin. *Fly Ash* digunakan, berfungsi sebagai pozzolan bahan pengikat. *Fly Ash* memberikan kekuatan dan kekakuan yang lebih efektif daripada agregat tradisional. Agregat Komposit *Fly Ash*/Epoxy digunakan sebagai agregat buatan berkinerja tinggi dalam beton untuk mensimulasikan agregat komposit *Fly Ash* dan *Fly Ash*/epoxy.

Menurut Setiawati, dkk (2018) Alasan dari penggunaan *Fly Ash* penelitian ini adalah Penggunaan *Fly Ash* sebagai aditif dalam beton dapat berperan sebagai

pengisi (filler) yang dapat meningkatkan kohesi internal dan mengurangi porositas pada daerah transisi, yaitu daerah terkecil dalam beton. Hal ini menyebabkan beton menjadi lebih kuat, Penggunaan Fly Ash pada beton dapat digunakan sebagai pengganti semen Portland dilakukan karena sifat *pozzolanic*-nya. Penggunaan ini dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton, serta meningkatkan *workability* semen dengan mengurangi jumlah air yang dibutuhkan.



Gambar 1.1.2 Semen dan fly ash

Menurut Putri, dkk (2020), penggunaan epoxy resin memiliki berbagai keuntungan, antara lain rendahnya tingkat *shrinkage* selama masa pengerasan, tahan terhadap kelembaban, memiliki resistensi kimia yang sangat baik, sifat listrik yang baik, meningkatkan kekuatan mekanik, tahan terhadap benturan, tidak menghasilkan senyawa organik yang mudah menguap (*Volatile Organic Compounds* atau VOC) yang dapat mencemari udara baik selama proses produksi, aplikasi, maupun penggunaan produk jadi, dan memiliki masa simpan yang lama.

1.2. Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang yang telah disampaikan, diperoleh rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir, yaitu mengenai dampak penggunaan bahan baku *artificial aggregate* yang terbuat dari Fly Ash dan epoxy resin terhadap kuat tekan serta berat beton, dengan tujuan untuk menghasilkan beton yang lebih ringan dan melakukan perbandingan terhadap kekuatan tekan beton ringan dan beton normal.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah:

1. Untuk meneliti penggunaan *artificial aggregate* terbuat dari nano-material mempunyai bobot lebih ringan sebagai material alternatif pengganti agregat kasar konvensional yang mempunyai bobot dominan dalam berat konstruksi.

2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *artificial aggregate* nano-material yang terbuat dari *Fly Ash* dan epoxy resin terhadap kuat tekan beton.

1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah dan tujuan di atas, ruang lingkup dan batasan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Semen yang digunakan adalah jenis *Portland Composite Cement* tipe I.
2. *Fly Ash* didapat dari limbah Abu Terbang Batubara.
3. Komposisi *artificial aggregate* menggunakan *Fly Ash* dan Epoxy resin produk sika.
4. Komposisi rasio *Fly Ash* dan epoxy resin yaitu 80% : 20% dan rasio Epoxy : hardener yaitu 2:1.
5. Metode pengujian material menggunakan standar SNI.
6. *Job mix formula* menggunakan standar SNI.
7. Pengujian dilakukan untuk kuat tekan beton.
8. Sampel yang akan di lakukan untuk pengujian:
 - a. Beton ringan yang terbuat dari Semen: Pasir: dan Agregat Kasar (*artificial aggregate* menggunakan *Fly Ash* dan Epoxy resin produk sika)
 - b. Beton normal yang terbuat dari Semen: Pasir: dan Agregat Kasar Batu Pecah/Split.
9. Kuat tekan beton rencana adalah 20 MPa (Beton Kekuatan menengah).
10. Pengujian dilakukan ketika umur beton mencapai 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.
11. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium.

1.5. Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan dua cara, yaitu sebagai berikut :

1. Data Primer
Data primer merupakan data hasil penelitian yang didapat dari pengamatan secara langsung di laboratorium mengenai suatu objek penelitian.
2. Data Sekunder
Data sekunder merujuk pada data yang diperoleh secara tidak langsung dari sumber-sumber sebelumnya, seperti studi pustaka jurnal penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan penjelasan peneliti-peneliti terdahulu yang dijadikan rujukan atau referensi pada skripsi ini. Bab ini juga menjelaskan kajian literatur yang membahas definisi *lightweight concrete* (beton ringan), *artificial aggregate* (agregat buatan), nanoteknologi, nanomaterial. Kemudian pada bab ini juga menjelaskan tentang bahan penyusun, karakteristik, dan *properties artificial aggregate lightweight concrete*, serta metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang material dan peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian, serta metodologi dalam pelaksanaan kegiatan penelitian yang meliputi pengujian bahan penyusun *artificial aggregate lightweight concrete*, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang mengenai hasil penelitian studi laboratorium yang dimulai dari *properties* dari *artificial aggregate* dan kuat tekan beton ringan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang simpulan yang di dapat setelah melakukan pengujian dan pembahasan hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi yang digunakan sebagai acuan untuk penelitian ini. Referensi diambil dari banyak literatur dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian serta standar-standar yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, A. W., Fathias, E., Purwanto, P., & Lie, H. A. (2013). Studi Eksperimental Aplikasi Material Nano *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Mortar Beton. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(3), 74–84.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. SNI 03-4804-1998. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan. SNI 1971:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75 μm (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian. SNI ASTM C117:2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. SNI ASTM C136:2012. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2014). Metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton. SNI 2816:2014. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. SNI 1970-2016. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. SNI 1969:2016. Jakarta.
- Chaniago Sukanli, D., & Saelan, P. (2019). Tinjauan Ulang Mengenai Kadar Maksimum Pipih dan Memanjang Agregat Kasar dalam Campuran Beton Cara SNI. Dalam *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Juni* (Vol. 5, Nomor 2).
- Firda, A., Permatasari, R., & Fuad, I. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*) Sebagai Material Pengganti Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Ringan. *Jurnal Deformasi*, 6(1), 1–8.
- Firda, A., Saggaff, A., Hanafiah, & Saloma. (2023). Characteristic of Polymeric Lightweight Aggregate with Coal Fly Ash and Epoxy Resin for Manufacturing the Lightweight Concrete. *Civil Engineering and Architecture*, 11(1), 473–485. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110136>.

- Fredrico, S. Y. (2017). Pengaruh Variasi Kadar *Fly Ash* Terhadap Sifat Mekanik Beton Ringan Dengan Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Agregat Kasar (Doctoral dissertation, UAJY).
- Juanda, O., Saggaff, A., & Saloma, H. (2019). Physical And Mechanical Properties Of Lightweight Polymer Concrete With Epoxy Resin. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 8, 7. www.ijstr.org
- Kardiyono Tjokrodimulyo. (1992). *Teknologi Beton (Edisi Pertama)*. Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Li, J. C., Zheng, L. F., Sha, X. H., & Chen, P. (2020). Microstructural and mechanical characteristics of graphene oxide-*Fly Ash* cenosphere hybrid reinforced epoxy resin composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(2). <https://doi.org/10.1002/app.47173>
- Nor, A. M., Yahya, Z., Abdullah, M. M. A. B., Razak, R. A., Ekaputri, J. J., Faris, M. A., & Hamzah, H. N. (2016). A review on the manufacturing of lightweight aggregates using industrial by-product. *MATEC Web of Conferences*, 78, 01067.
- Setiawati, M. (2018). *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Prosiding Semnastek*.
- Sim, J., Kang, Y., Kim, B. J., Park, Y. H., & Lee, Y. C. (2020). Preparation of *Fly Ash*/epoxy composites and its effects on mechanical properties. *Polymers*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/polym12010079>.
- Takeichi, T., & Furukawa, N. (2012). Epoxy Resins and Phenol-Formaldehyde Resins. In *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, 10 Volume Set (Vol. 5, pp. 723–751). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00157-6>.
- Wirani, P. E. K. A. S. (2020). Pengaruh Penggunaan Epoxy resin Dan Additive Cement Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Online Mahasiswa (Jom) Bidang Teknik Sipil*, 1(1).
- Yemam, D. M., Kim, B. J., Moon, J. Y., & Yi, C. (2017). Mechanical properties of epoxy resin mortar with sand washing waste as *filler*. *Materials*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/ma10030246>.