

**ANALISIS MIKROSTRUKTUR BETON MENGGUNAKAN *SCANNING
ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN SUBSTITUSI ABU
TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SEMEN.**



TUGAS AKHIR

**DISUSUN SEBAGAI SYARAT UNTUK MENGIKUTI UJIAN SARJANA
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG**

Oleh :

MU'IZ FERDI IKROMI

112022122

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG**

2026

**ANALISIS MIKROSTRUKTUR BETON MENGGUNAKAN *SCANNING
ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN SUBSTITUSI ABU
TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SEMEN.**



TUGAS AKHIR

**DISUSUN SEBAGAI SYARAT UNTUK MENGIKUTI UJIAN SARJANA
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG**

Oleh :

MU'IZ FERDI IKROMI

112022122

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG**

2026

ANALISIS MIKROSTRUKTUR BETON MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SEMEN

TUGAS AKHIR



Oleh :

MU'IZ FERDI IKROMI

11 2022 122

Disetujui Oleh :

**Dekan Fakultas Teknik
Univ. Muhammadiyah Palembang**



Ir. A. Junaidi, M. T.
NIDN : 0202026502

**Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UM Palembang**



Ir. Mira Setiawati, S. T., M. T.
NIDN : 0006078101

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS MIKROSTRUKTUR BETON MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SEMEN.



Oleh :

MU'IZ FERDI IKROMI

11 2022 122

Disetujui Oleh :

Pembimbing Tugas Akhir

Pembimbing I,

Ir. Revisdah, M.T.

NIDN : 0231056403

Pembimbing II,

Dr. Verinazul Septriansyah, S. T., M. T.

NIDN : 0221098601

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS MIKROSTRUKTUR BETON MENGGUNAKAN
SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) DENGAN
SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP
SEMEN

Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

Muiz Ferdi Ikromi
1120220122

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Sidang Komprehensif
Pada Tanggal, 27 Agustus 2026

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

Dewan Penguji

1. **Ir. A. Junsidi, M.T**
NIDN. 0202026502


(.....)

2. **Ir. R.A. Sri Martini, M.T**
NIDN. 0203037001


(.....)

3. **M. Hijrah Agung Sarwandy, S.T., M.T**
NIDN. 0219038701


(.....)

Laporan Tugas Akhir Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)

Palembang, 27 Agustus 2026

Program Studi Teknik Sipil


Ketua

Ir. Mira Setiawati, S.T., M.T.
NIDN. 0006078101

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mu'iz Ferdi Ikromi

NIM : 11 2022 122

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Palembang

Mengatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Analisis Mikrostruktur Beton Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Dengan Substitusi Abu Tempurung Kelapa Terhadap Semen.**" ini adalah benar – benar karya penulis sendiri dan bukan merupakan hasil jiplakan. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi ini hasil jiplakan, maka saya akan menanggung resiko sesuai dengan peraturan yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Palembang, 27 Agustus 2026


Mu'iz Ferdi Ikromi
NIM 11 2022 122

ANALISIS MIKROSTRUKTUR BETON MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN SUBSTITUSI ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SEMEN.

Mu'iz Ferdi Ikromi¹, Revisdah², Verinazul Septriansyah³

INTISARI

Mu'iz Ferdi Ikromi / 112022122 / Analisis Mikrostruktur Beton Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (Sem) Dengan Substitusi Abu Tempurung Kelapa Terhadap Semen.

Pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan semen sekaligus meningkatkan nilai guna limbah pertanian. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik mikrostruktur beton dengan variasi substitusi abu tempurung kelapa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Penelitian dilakukan secara deskriptif dengan analisis eksperimental terhadap citra SEM yang berfokus pada analisis mikrostruktur dengan memanfaatkan data kuat tekan sebagai data sekunder, sedangkan data primer diperoleh melalui pengamatan SEM pada beton normal serta beton dengan substitusi abu tempurung kelapa sebesar 1,25%; 2,5%; 3,75%; 5%; dan 6,25%. Analisis citra dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ dan Origin.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi abu tempurung kelapa sebesar 2,5% menghasilkan mikrostruktur beton paling padat dan homogen, dengan porositas dan retak mikro lebih sedikit serta distribusi partikel lebih merata. Peningkatan kadar substitusi di atas 2,5% meningkatkan porositas dan retak mikro sehingga kepadatan matriks menurun. Kadar 2,5% menjadi substitusi optimum karena menghasilkan karakteristik mikrostruktur terbaik.

Kata kunci: Abu Tempurung Kelapa, Beton, Mikrostruktur, *Scanning Electron Microscope* (SEM).

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF CONCRETE USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) WITH COCONUT SHELL ASH AS A PARTIAL REPLACEMENT FOR CEMENT

Mu'iz Ferdi Ikromi¹, Revisdah², Verinazul Septriasyah³

ABSTRACT

Mu'iz Ferdi Ikromi / 112022122 / Microstructural Analysis Of Concrete Using Scanning Electron Microscope (Sem) With Coconut Shell Ash As A Partial Replacement For Cement

The utilization of coconut shell ash as a partial cement replacement is an alternative approach to reducing cement consumption while increasing the utilization value of agricultural waste. This study aims to analyze the microstructural characteristics of concrete with various levels of coconut shell ash substitution using a Scanning Electron Microscope (SEM).

The research was conducted descriptively through experimental analysis of SEM images, focusing on microstructural characteristics and utilizing compressive strength data as secondary data. Primary data were obtained through SEM observations of normal concrete and concrete with coconut shell ash substitutions of 1.25%, 2.5%, 3.75%, 5%, and 6.25%. Image analysis was performed using ImageJ and Origin software.

The results showed that a 2.5% substitution of coconut shell ash produced the densest and most homogeneous concrete microstructure, characterized by lower porosity and fewer microcracks, as well as a more uniform particle distribution. Increasing the substitution level beyond 2.5% resulted in increased porosity and microcracks, leading to a decrease in matrix density. The 2.5% substitution level was identified as the optimum substitution level because it produced the best microstructural characteristics.

Keywords: Coconut Shell Ash, Concrete, Microstructure, Scanning Electron Microscope (SEM).

MOTTO

"Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah"

(Q.S. Al-Ghafir: 44)

"Tidak akan tertukar apa yang Allah takar."

(Penulis)

"Everything happens for a reason, so love it, live it and learn it."

(Penulis)

"Kalau jalannya lurus dan mulus, lalu apa tantangannya?

Jadi, Nikmati saja prosesnya, nikmati fase jatuh bangunnya.

Perkara hasil, ya maybe not today but someday."

(Fiersa Besari)

PERSEMBAHAN

Tiada lembar skripsi yang paling indah dalam laporan skripsi ini kecuali lembar persembahan. *Bismillahirrahmanirrahim* skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Kepada pemilik mutlak seluruh zat dan alam semesta, yang menguasai, mengatur, dan berkuasa atas segala sesuatu. Allah SWT, Sang Maha Pemilik Arah. Terima kasih telah Menjadi satu-satunya rumah tempatku pulang saat dunia terasa begitu kabur dan bising. Terima kasih telah menjaga waras dan langkahku, bahkan di saat penulis hampir lupa alasan untuk tetap hidup.
2. Kepada Ayahku tercinta, Alm. Bapak Abu Mansyur Rizal, S.Pd., sosok yang dengan penuh keteguhan, pengorbanan, dan doa yang tak pernah putus senantiasa menjadi kekuatan serta sumber semangat bagi penulis dalam menapaki setiap langkah dalam kehidupan. Meskipun canda dan tawa sudah tak mungkin lagi terjadi di antara kita, dan suaramu tak lagi dapat kudengar, namamu akan selalu hidup dalam setiap doa dan langkah yang kutempuh. Sosokmu mungkin telah pergi, tetapi kasih sayang, nasihat, dan segala kenangan yang kau tinggalkan akan selalu menjadi bagian dari diriku. Persembahan ini kutujukan untukmu, Ayah, sebagai bentuk kecil dari rasa cinta dan terima kasihku atas segala pengorbanan yang tak akan pernah mampu kubalas. Semoga setiap pencapaian yang kuraih menjadi kebahagiaan yang sampai kepadamu di keabadian. Jika kelak ada tempat di mana doa dapat bertemu dengan rindu, semoga di sana kau tahu bahwa anakmu masih terus berusaha membuatmu bangga.
3. Kepada perempuan yang tak pernah lelah menyebut namaku dalam setiap doanya. Ibu Retin, di setiap langkah yang kutempuh dan setiap keputusan yang kuambil, selalu ada doa dan harapanmu yang mengiringi. Di saat aku ragu, doamu menjadi penguat, di saat aku lelah, kasih sayangmu menjadi tempatku kembali. Mungkin tak semua pengorbananmu mampu kulihat dan tak semua lelahmu mampu kubalas, tetapi setiap pencapaian yang kuraih tidak pernah lepas dari doa yang kau panjatkan. Skripsi ini

kupersembahkan untukmu, Ibu, sebagai bentuk kecil dari rasa cinta dan terima kasih atas segala perjuanganmu. Semoga kelak aku dapat menjadi alasan di balik senyum bahagiamu, sebagaimana selama ini engkau selalu menjadi alasan bagiku untuk terus melangkah.

4. Kepada kakak dan ayuk saudara kandung penulis, yang melalui kebersamaan, perhatian, serta kasih sayang yang tulus telah menghadirkan kekuatan dan keteguhan bagi penulis dalam melewati berbagai proses hingga sampai pada tahap ini.
5. Kepada Ibu Ir. Revisdah, M.T. dan Bapak Dr. Verinazul Sepriansyah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi, ilmu pengetahuan, serta berbagai masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Untuk para sahabat yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan panjang ini, hadir dalam setiap cerita, baik ketika langkah dipenuhi kebahagiaan maupun ketika keadaan terasa begitu berat. Terima kasih atas setiap bantuan, dukungan, tawa, dan kebersamaan yang membuat perjalanan ini terasa lebih ringan. Di tengah segala kesulitan dan keraguan, kehadiran kalian menjadi pengingat bahwa perjalanan ini tidak harus dilalui seorang diri. Skripsi ini menjadi salah satu saksi dari begitu banyak cerita, perjuangan, dan kebersamaan yang telah kita lalui. Semoga segala kebaikan, bantuan, dan ketulusan yang kalian berikan senantiasa mendapatkan balasan terbaik. Terima kasih telah menjadi sahabat yang hadir bukan hanya dalam suka, tetapi juga tetap bertahan dalam duka.
7. Untuk Bude kantin Gading, Teh Opa, Neli, terima kasih telah menyediakan sebuah tempat yang sederhana, namun menyimpan begitu banyak cerita dan kenangan. Tempat di mana lelah beristirahat, tawa tercipta, dan berbagai kisah kehidupan dibagikan tanpa batas. Bukan hanya tempat untuk berkumpul, tetapi juga tempat di mana banyak pelajaran tentang kehidupan saya dapatkan, melalui nasihat, cerita, dan pengalaman

yang Bude bagikan. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini, atas keramahan, kebaikan, dan tempat yang selalu terbuka untuk kami. Semoga segala kebaikan yang Bude berikan menjadi kenangan yang selalu melekat dalam perjalanan hidup kami, dan setiap pelajaran yang pernah disampaikan menjadi bekal untuk melangkah lebih jauh.

8. Untuk mentor terbaik, Kak M. Agus Wahyudi, S.Kom. dan Mba Ir. Ar. Nur Hadiyatun Nabawi, S.T., M.Ars., IAI., Terima kasih atas setiap arahan, nasihat, dukungan, dan waktu yang telah diberikan. Kehadiran Kakak dan Mba bukan hanya sebagai mentor, tetapi juga sebagai sosok yang banyak mengajarkan arti proses, ketekunan, dan keberanian untuk terus melangkah. Semoga segala ilmu, kebaikan, dan ketulusan yang diberikan menjadi bekal berharga dalam perjalanan saya dan mendapatkan balasan terbaik.
9. Almamater tercinta, Universitas Muhammadiyah Palembang, tempat di mana ilmu, pengalaman, dan perjuangan menjadi bagian dari perjalanan menuju masa depan. Terima kasih telah menjadi ruang untuk belajar, bertumbuh, dan menempa diri, bukan hanya dalam bidang akademik, tetapi juga dalam menghadapi kehidupan. Semoga segala ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama menempuh pendidikan dapat menjadi bekal untuk membawa nama baik almamater di setiap langkah dan pengabdian di masa yang akan datang.
10. Kepada seseorang yang tak kalah penting dan tanpa sengaja hadir sejak penulis duduk di bangku SMA hingga saat ini, Nadila, S.Farm., terima kasih telah menjadi bagian berharga dalam perjalanan hidup penulis, Terima kasih atas segala kontribusi, waktu, tenaga, dukungan, serta perhatian yang telah diberikan selama proses penyusunan karya tulis ini. Terima kasih karena selalu hadir untuk mendengarkan setiap keluh kesah, serta menjadi penyemangat agar penulis tetap kuat dan selalu meyakinkan bahwa penulis mampu dan bisa menyelesaikan penyusunan, *you have done too much good for me.*

11. Terakhir penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri, Mu'iz Ferdi Ikromi Terima kasih telah memilih untuk tetap berdiri, bahkan ketika keadaan berkali-kali memaksamu untuk berhenti. Terima kasih untuk setiap lelah yang kau tahan, setiap keraguan yang kau lawan, dan setiap langkah yang tetap kau lanjutkan meski jalan di depan tidak selalu mudah. Tidak semua perjuangan perlu disaksikan, dan tidak semua luka harus diceritakan. Ada banyak hal yang cukup kau dan Tuhan yang tahu. Namun hari ini, setelah melewati begitu banyak proses, izinkan dirimu mengakui satu hal sederhana: kau telah melakukan yang terbaik untuk sampai di titik ini. Jangan berhenti di pencapaian ini. Jadikan segala yang telah dilalui sebagai bekal untuk melangkah lebih jauh, berdiri lebih teguh, dan menjadi laki-laki yang lebih baik dari hari kemarin. Terima kasih telah bertahan. Terima kasih telah berjuang. Dan yang paling penting, terima kasih karena tidak menyerah pada dirimu sendiri.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang.

Laporan tugas akhir ini di susun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan jenjang Strata 1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang. Dalam pelaksanaan penulisan tugas akhir ini, penulis mendapat banyak bantuan dan bimbingan, serta dorongan dan semangat dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih sebanyak– banyaknya kepada :

1. Bapak Dr. Abid Djazuli, S.E., M.M. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Ibu Ir. Mira Setiawati, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Ibu Ir. Revisdah, M.T selaku Dosen Pembimbing I , yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan, serta berbagai masukan dan koreksi yang membangun dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga penulis lebih percaya diri dalam menghadapi setiap tahapan ujian hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Dr. Verinazul Septriansyah, S,T.,M.T selaku Dosen Pembimbing II, yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta ilmu yang sangat berharga kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak Ir. Noto Royan, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta nasihat kepada penulis

selama menjalani proses perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dan penyusunan skripsi ini.

7. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan para Staf Karyawan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang.
8. Kedua orang tua tercinta yang telah mengorbankan waktu, tenaga, pikiran, dan kasih sayang demi masa depan penulis. Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, dukungan moril dan materil, serta kepercayaan yang selalu diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dan tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan petunjuk, dalam menyelesaikan laporan ini, yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan dan penyempurnaan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan dan pengetahuan, khususnya dalam bidang Teknik Sipil dan teknologi beton, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Palembang, 27 Agustus 2026

Penulis,
Muiz Ferdi Ikromi

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
INTISARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
MOTTO.....	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Beton	6
2.2. Jenis-jenis Beton	7
2.3. Semen dan Proses Hidrasi.....	8
2.4. Abu Tempurung Kelapa	10
2.5. Abu Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Semen.....	11

2.6.	Mikrostruktur Beton.....	12
2.7.	Porositas dan Distribusi Pori.....	13
2.8.	Mikroretak.....	14
2.9.	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	15
2.10.	Analisis Berbasis Citra Digital.....	16
2.11.	Hubungan Mikrostruktur dan Kuat Tekan.....	17
2.12.	Penelitian Terdahulu	19
BAB III METODELOGI PENELITIAN		23
3.1	Lokasi Penelitian.....	23
3.2	Jenis Penelitian.....	23
3.3	Data Primer	24
3.4.1	Preparasi Sampel.....	24
3.4.2	Pengujian SEM	25
3.4.3	Pengolahan Citra <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	27
3.4.4	Analisis Mikrostruktur	28
3.4	Data Sekunder.....	29
3.5	Bagan Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		52
4.1	Hasil Pengujian XRF	52
4.2	Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	54
4.3	Hasil Pengujian Mikrostruktur Beton Normal	55
4.4	Hasil Pengujian Mikrostruktur Beton Variasi 1,25%.....	57
4.5	Hasil Pengujian Mikrostruktur Beton Variasi 2,5%.....	59
4.6	Hasil Pengujian Mikrostruktur Beton Variasi 3,75%.....	61
4.7	Hasil Pengujian Mikrostruktur Beton Variasi 5%.....	63

4.8	Hasil Pengujian Mikrostruktur Beton Variasi 6,25%.....	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		70

DAFTAR TABEL

Table 3. 1 Kebutuhan Material Beton Normal dan Campuran.....	29
Table 3. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Halus	35
Table 3. 3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	37
Table 3. 4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	37
Table 3. 5 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus.....	38
Table 3. 6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	39
Table 3. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	41
Table 3. 8 Nilai <i>Slump</i> pada Tiap Variasi	43
Table 3. 9 Hasil Kuat Tekan Rata- Rata	45
Table 4. 1 Hasil Pengujian XRF	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gambar Material Utama Pembentuk Beton	6
Gambar 2. 2 Gambar Beton Silinder.....	7
Gambar 2. 3 Mekanisme Hidrasi Semen	9
Gambar 2. 4 Diagram Perkembangan Pori	14
Gambar 2. 5 Gambar mikroskopis sampel di bawah SEM	16
Gambar 3. 1 Grafik Gradasi 20 mm.....	35
Gambar 3. 2 Grafik Gradasi 20 mm.....	40
Gambar 3. 3 Grafik Nilai <i>Slump</i> Beton.....	44
Gambar 3. 4 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton	46
Gambar 4. 1 Distribusi Partikel Beton Normal.....	56
Gambar 4. 2 Hasil Morfologi SEM Beton Normal	57
Gambar 4. 3 Distribusi Partikel BN + ATK 1,25%.....	58
Gambar 4. 4 Hasil Morfologi SEM BN + ATK 1,25%	59
Gambar 4. 5 Distribusi Partikel BN + ATK 2,5%.....	60
Gambar 4. 6 Hasil Morfologi SEM BN + ATK 2,5%	61
Gambar 4. 7 Distribusi Partikel BN + ATK 3,75%.....	62
Gambar 4. 8 Hasil Morfologi SEM BN + ATK 3,75%	63
Gambar 4. 9 Distribusi Partikel BN + ATK 5%.....	64
Gambar 4. 10 Hasil Morofologi SEM BN + ATK 5%	65
Gambar 4. 11 Distribusi Partikel BN + ATK 6,25%	66
Gambar 4. 12 Hasil Morfologi SEM BN + ATK 6,25%	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan teknik sipil. Material ini terbentuk dari campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar, serta bahan tambahan tertentu yang digunakan sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik beton yang direncanakan. Dalam penerapannya, beton memiliki cakupan penggunaan yang luas, mulai dari konstruksi bangunan hingga berbagai jenis infrastruktur transportasi.(Alhidayat et al., 2025.) Dalam konstruksi bangunan, beton digunakan sebagai material pembentuk berbagai elemen struktural, seperti pondasi, kolom, balok, dan pelat. Adapun pada bidang transportasi, pemanfaatan beton dapat dijumpai pada perkerasan kaku (*rigid pavement*), gorong-gorong, saluran tepi jalan, serta berbagai struktur pendukung lainnya. Luasnya penerapan tersebut menunjukkan bahwa beton memiliki peranan penting dan menjadi salah satu material yang hampir selalu digunakan dalam berbagai jenis pekerjaan konstruksi.

Sejalan dengan perkembangan pembangunan yang terus meningkat, kebutuhan semen sebagai salah satu bahan utama penyusun beton juga mengalami peningkatan. Di sisi lain, proses produksi semen dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan, terutama akibat tingginya emisi karbon dioksida yang dihasilkan. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif untuk menekan penggunaan semen, salah satunya melalui pemanfaatan material pengganti yang lebih ramah lingkungan dengan tetap mempertahankan mutu dan kinerja beton.

Salah satu bahan alternatif yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam campuran beton adalah abu tempurung kelapa (*Coconut Shell Ash/CSA*). Material ini dihasilkan melalui proses pembakaran tempurung kelapa yang selanjutnya dihancurkan dan dihaluskan hingga mencapai ukuran partikel tertentu. Sejumlah penelitian telah mengkaji penggunaan abu tempurung kelapa sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton dengan berbagai persentase substitusi.

Penggunaan material tersebut diharapkan dapat mengurangi kebutuhan semen sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan limbah tempurung kelapa serta mendukung penerapan prinsip pembangunan yang lebih berkelanjutan. (Santosa *et al.*, 2023).

Selain pengujian terhadap sifat mekanis, pengamatan mikrostruktur beton juga diperlukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik material. Kondisi mikrostruktur, seperti porositas, penyebaran pori, dan terbentuknya retakan mikro, dapat memberikan pengaruh terhadap kekuatan serta durabilitas beton. Oleh sebab itu, diperlukan metode pengujian yang mampu mengidentifikasi kondisi struktur beton pada skala mikroskopis. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Scanning Electron Microscope* (SEM), yaitu teknik pengamatan yang memanfaatkan pemindaian berkas elektron untuk menghasilkan citra permukaan material secara detail pada tingkat mikroskopis. (Yang *et al.*, 2025).

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan abu tempurung kelapa sebagai substitusi sebagian semen terhadap karakteristik mikrostruktur beton melalui pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh abu tempurung kelapa terhadap kondisi mikrostruktur beton serta menjadi informasi pendukung dalam pemanfaatannya sebagai material alternatif yang lebih ramah lingkungan pada campuran beton.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh mikrostruktur beton dengan substitusi abu tempurung kelapa pada berbagai kadar?
2. Bagaimana perubahan pori, mikroretak, dan distribusi partikel beton akibat peningkatan kadar abu tempurung kelapa?
3. Pada kadar berapa abu tempurung kelapa menghasilkan pengaruh mikrostruktur beton yang paling baik berdasarkan hasil SEM?

1.3 Maksud Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi mikrostruktur beton yang mengalami substitusi sebagian semen dengan abu tempurung kelapa, dengan fokus pada tingkat porositas dan penyebaran partikel.
2. Mengetahui pengaruh penambahan abu tempurung kelapa terhadap pengaruh mikrostruktur beton serta meninjau kelayakannya sebagai material alternatif yang lebih ramah terhadap lingkungan.
3. Melakukan pengamatan mikrostruktur beton dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) guna memperoleh gambaran secara lebih jelas mengenai pengaruh struktur internal beton.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi kadar abu tempurung kelapa terhadap mikrostruktur beton.
2. Mengidentifikasi perubahan pori, mikroretak, dan distribusi partikel beton akibat peningkatan kadar abu tempurung kelapa.
3. Mengevaluasi kadar abu tempurung kelapa yang menghasilkan kondisi mikrostruktur beton paling baik berdasarkan hasil pengamatan SEM.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menjaga agar pelaksanaan penelitian tetap terfokus dan sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan, ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari penelitian Nova Eliza tahun 2026 yang berjudul “Pengaruh Substitusi Abu Tempurung Kelapa pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan Beton”. Benda uji terdiri atas variasi substitusi abu tempurung kelapa sebesar 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75%, 5%, dan 6,25%. Setiap variasi terdiri atas tiga benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

2. Analisis dalam penelitian ini difokuskan pada pengamatan karakteristik mikrostruktur beton dengan menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM).
3. Data hasil pengujian diolah dan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak Origin dan ImageJ untuk mendukung interpretasi hasil penelitian.
4. Parameter mikrostruktur yang diamati melalui pengujian SEM meliputi porositas, keberadaan retakan mikro, serta distribusi abu tempurung kelapa di dalam matriks beton.
5. Benda uji yang dianalisis lebih lanjut ditentukan berdasarkan variasi yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dari penelitian sebelumnya.
6. Penelitian ini dibatasi pada analisis mikrostruktur beton dan tidak melaksanakan pengujian sifat mekanik tambahan terhadap benda uji.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh pemanfaatan abu tempurung kelapa sebagai substitusi sebagian semen terhadap karakteristik mikrostruktur beton, khususnya perubahan porositas dan tingkat kepadatan matriks yang berkaitan dengan kualitas material beton.
2. Menjadi sumber referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan durabilitas dan karakterisasi mikrostruktur beton menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM), serta mendukung pengembangan material beton yang lebih ramah lingkungan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori mengenai beton, abu tempurung kelapa sebagai substitusi semen, Scanning Electron Microscope (SEM), serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan metode penelitian, sumber data, objek penelitian, prosedur pengujian, serta analisis mikrostruktur beton menggunakan SEM.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil analisis mikrostruktur dan pembahasan pengaruh substitusi abu tempurung kelapa terhadap beton.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- 03-2847-2022, S. (2002). *Perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*.
- A, Y. L. (2024). *Beton Agregat dengan Pemindaian Mikroskopi Elektron : Sebuah Tinjauan*. 25(6), 166–177.
- Alzate, A., Chica, L., Mera, C., Mari, L., Alzate, A., Mera, C., & Mari, L. (2022). *Porosity estimation and pore structure characterization of foamed cement paste using non-specialized image digital processing*. 6. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-02031-6>
- Becker, F., Kleiner, F., & Ludwig, H. (2024). *THEMED ISSUE ARTICLE A Python tool to determine the thickness of the hydrate layer around clinker grains using SEM-BSE images*. February, 146–154. <https://doi.org/10.1111/jmi.13283>
- Blesson, S., & Rao, A. U. (2023). Agro-industrial-based wastes as supplementary cementitious or alkali-activated binder material: a comprehensive review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(4), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01096-8>
- Campuran, P., Terbang, A. B. U., Ash, F. L. Y., Ditinjau, B., Kuat, D., & Beton, T. (n.d.). *Pengaruh campuran abu terbang (fly ash) terhadap beton ditinjau dari kuat tekan beton*. 1–10.
- Chang, J., Luo, S., Ailifeila, A., & Chong, L. (2022). *Effects of Coarse and Fine Crushed Clay Brick Content on the Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete and the Microscopic Mechanism*. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1341185>
- Coenen, M., Schack, T., Beyer, D., Heipke, C., & Haist, M. (2022). CONSISTANCY : learning instance representations for semi-supervised panoptic segmentation of concrete aggregate particles. *Machine Vision and Applications*, 33(4), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00138-022-01313-x>
- Fang, Y., Zhang, L., Li, L., Zhao, M., Wang, Q., & Mei, Y. (2023). *Preparation of Nano-Sized C-S-H and Its Acceleration Mechanism on Portland Cement Hydration at Different Temperatures*.

- Ghasemi, O., Imani, M., & Fahimifar, A. (2026). *Crack propagation study in concrete and rock using discrete element method , digital image correlation and ultrasonic test*. 1–15.
- Golewski, G. L. (2023). *applied sciences Concrete Composites Based on Quaternary Blended Cements with a Reduced Width of Initial Microcracks*.
- Harahap, M. H., & Putri, A. E. (2020). *Effect of variations in the composition and size of red sand grains on the quality of K-225 concrete*. 30(4), 79–83.
<https://doi.org/10.14456/jmmm.2020.54>
- Hong, G., Oh, S., Choi, S., Chin, W., Kim, Y., & Song, C. (2021). *Correlation between the Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Cement Mortars Blended with Silica Fume : An Analysis of Microstructure and Hydration Kinetics*. 0–14.
- John, E. (2023). Cement hydration mechanisms through time – a review. *Journal of Materials Science*, 58(24), 9805–9833. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08651-9>
- Kasaniya, M., Thomas, M. D. A., Moffatt, T., & Hossack, A. (2024). Cement and Concrete Research Microstructure and microanalysis of portland cement pastes with high w /. *Cement and Concrete Research*, 183(December 2023), 107575. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107575>
- Langitan, G. M., Sumajow, M. D. J., & Dapas, S. O. (2022). Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Lokal dan Abu Arang Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 10(2), 135–141.
- No Title. (n.d.).
- Ogbonna, A. C., Federal, W., Birninkebbi, P., & State, K. (2021). *Characterization Of Coconut Shell Ash And Eggshell Powder As Supplementary Cementitious Materials In Roller Compacted Concrete Industrial Access Pavements And*. 10(5), 67–87. <https://doi.org/10.2478/Rjti-2021-0005>
- Qomariah, & Agustin Dita Lestari. (2022). Analisis Perambatan Retak Dan Hasil Sem Pada Beton Normal Dengan Substitusi Pasir Limbah Sunblasting. *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, 3(2), 134–140.

<https://doi.org/10.33795/jtia.v3i1.112>

- Santosa, B., Ginting, A., Adi, P., & Manasye, E. O. (2023). Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Abu Tempurung Kelapa terhadap Kinerja Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 278–292. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5286>
- Sathsara, K., Castillo, R., & Louise, C. (2023). Evaluation of the optimal concrete mix design with coconut shell ash as a partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 401(May), 132978. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132978>
- Science, E. (n.d.). *Coconut Shell Ash as Partial Substitute to Cement in Concrete Hollow Blocks Coconut Shell Ash as Partial Substitute to Cement in Concrete Hollow Blocks*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1184/1/012024>
- Setiawan, A., & Yuniarto, E. (2025). *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi Analisis Pengaruh Penambahan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan dan Tanpa Zat Tambah*. 3(3), 245–251. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v3i3.3203>
- SNI 2847-2013. (2013). SNI 2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Badan Standardisasi Nasional). *Badan Standardisasi Indonesia*.
- Trial, M., & Vi, K. (2022). *Teknologi Beton Teknologi Beton*.
- Ullrich, A., Garbev, K., & Stemmermann, P. (2026). Cement and Concrete Research Potential and challenges of in situ ATR-FTIR spectroscopy in the analysis of cement hydration : Combined evaluation with in-situ and ex-situ XRD. *Cement and Concrete Research*, 203(December 2025), 108185. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2026.108185>
- Wang, X., Li, D., Bai, R., Liu, S., Yan, C., & Zhang, J. (2023). *Evolution of the pore structure of pumice aggregate concrete and the effect on compressive strength*.
- Xu, X., Qi, C., Spagnoli, D., Manzano, H., & Aretxabaleta, X. M. (2024). *The initial stages of cement hydration at the molecular level*. March 2023, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46962-w>
- Yang, C. A., Fly, M., Bottom, A., Faba, A., Agnesa, E., Syahminan, M., Zaenal,

M., Ash, F., Ash, B., & Permukaan, M. (2025). *Analisis Morfologi Permukaan Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing*. 2.

Zhang, J., Dai, Y., Xu, J., Feng, J., & Ma, K. (2022). *The Influence of the Different Cementitious Material on Self-Healing of Microcracks in Shotcrete*. 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/3031048>