

DISERTASI
KARAKTERISTIK MORTAR NANOSELULOSA BERBAHAN
DASAR LIMBAH KERTAS MENGGUNAKAN METODE
SINTESIS ALKALI DENGAN TEMPERATUR RENDAH



Nama	: Pengki Suanto
NIM	: 03013682227002
BKU	: Teknik Sipil
Promotor	: Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
Ko - Promotor	: Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

DISERTASI
KARAKTERISTIK MORTAR NANOSELULOSA
BERBAHAN DASAR LIMBAH KERTAS
MENGGUNAKAN METODE SINTESIS ALKALI
DENGAN TEMPERATUR RENDAH

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Doktor**



PENGKI SUANTO
NIM. 03013682227002

Promotor : Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
Ko-Promotor : Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

HALAMAN PENGESAHAN

DISERTASI

(TKT7105)

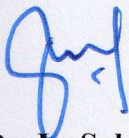
KARAKTERISTIK MORTAR NANOSELULOSA BERBAHAN DASAR LIMBAH KERTAS MENGGUNAKAN METODE SINTESIS ALKALI DENGAN TEMPERATUR RENDAH

Oleh:

PENGKI SUANTO
NIM. 03013682227002

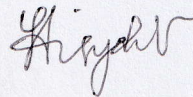
Telah disetujui
Pada Tanggal 14 April 2025

Promotor



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

Ko-Promotor



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

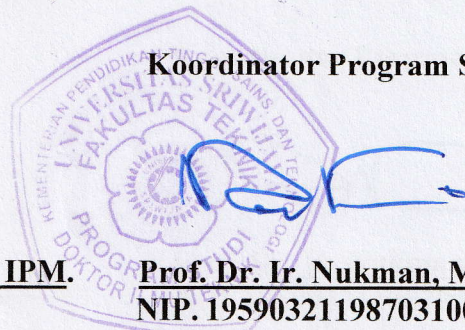
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502112003121002

Koordinator Program Studi



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

HALAMAN PERSETUJUAN

Disertasi berjudul "Karakteristik Mortar Nanoselulosa Berbahan Dasar Limbah Kertas Menggunakan Metode Sintesis Alkali dengan Temperatur Rendah" Telah dipresentasikan dihadapan Tim Penguji Disertasi pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Senin, 14 April 2025.

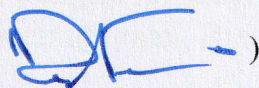
Palembang, 14 April 2025

Tim Penguji Disertasi berupa Disertasi:

Ketua Tim Penguji:

Nama : Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.

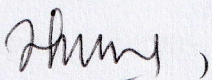
NIP : 195903211987031001

()

Anggota Tim Penguji:

1 . Nama : Prof. Dr. Ir. Jonbi, M.T., M.M., M.Si., INV

NIDN : 0301106303

()

2 . Nama : Prof. Dr. rer.nat. Risfidian Mohadi, M.Si.

NIP : 197711272005011003

()

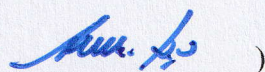
3 . Nama : Dr. Azizah Husin, M.Pd.

NIP : 196006111987032001

()

4 . Nama : Dr. Ir. Arie Putra Usman, S.T., M.T.

NIP : 198605192019031007

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,


Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502112003121002

Koordinator Program Studi


Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pengki Suanto
NIM : 03013682227002
Program Studi : Doktor Ilmu Teknik
BKU : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi saya dengan judul “Karakteristik Mortar Nanoselulosa Berbahan Dasar Limbah Kertas Menggunakan Metode Sintesis Alkali Dengan Temperatur Rendah”, bebas dari fabrikasi, falsifikasi, plagiat, kepengarangan yang tidak sah dan konflik kepentingan dan pengajuan jamak, seperti yang tercantum dalam Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021.

Bilamana ditemukan ketidak sesuaian dengan hal-hal di atas, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Palembang, 14 April 2025

Yang menyatakan



Pengki Suanto

NIM. 03013682227002

ABSTRAK

Nanoselulosa merupakan material berbasis selulosa dengan struktur nano, telah mendapat perhatian dalam berbagai penelitian karena kekuatannya yang tinggi dan sifatnya yang ramah lingkungan. Salah satu potensi utamanya adalah penggunaannya dalam industri konstruksi, khususnya sebagai bahan tambahan dalam campuran mortar untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sintesis nanoselulosa dari limbah kertas menggunakan metode alkali pada temperatur rendah dan metode mekanis. Hal ini juga bertujuan untuk mengevaluasi penerapannya dalam campuran mortar untuk meningkatkan sifat material. Proses sintesis nanoselulosa diawali dengan penggunaan larutan alkali NaOH dan NaClO untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa dari serat selulosa. Hasil sintesis menunjukkan bahwa nanoselulosa yang dihasilkan memiliki dimensi partikel berkisar antara 80–500 nm, dengan morfologi seperti jarum dan sifat mekanik yang sangat baik. Metode alkali pada temperatur rendah memberikan keunggulan dibandingkan metode kimia konvensional, yaitu lebih ramah lingkungan. Karakterisasi nanoselulosa menggunakan PSA, FTIR, XRD, SEM, dan EDX menunjukkan adanya perubahan struktur dan komposisi yang signifikan, antara lain penurunan kristalinitas, terbentuknya selulosa amorf, dan peningkatan kandungan silika dalam nanoselulosa. Dalam aplikasi mortar, penambahan nanoselulosa secara signifikan meningkatkan sifat mekanik dan fisik. Hasil uji *Slump Flow* menunjukkan nilai aliran berfluktuasi tergantung pada kandungan selulosa, dengan nilai aliran tertinggi sekitar 160 mm diamati pada kelompok kontrol (selulosa 0%) dan nilai aliran terendah sekitar 140 mm pada selulosa 4%. Kepadatan mortar dengan nanoselulosa mencapai 2000 kg/m³ pada selulosa 4%, melebihi nilai kontrol. Nanoselulosa juga mempengaruhi penyerapan air pada mortar, dengan berkurangnya penyerapan pada perlakuan CA dan NC. Kuat tekan mortar dengan nanoselulosa mencapai 30 MPa pada umur 28 hari untuk konsentrasi 2%. Hasil FTIR, XRD, SEM, dan EDX juga menunjukkan perbaikan struktur mikro dan interaksi antara nanoselulosa dan produk hidrasi semen. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa nanoselulosa dari limbah kertas dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kualitas mortar, mendukung keberlanjutan industri konstruksi, dan memberikan manfaat dalam pengelolaan limbah.

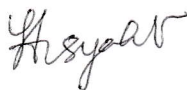
Kata kunci : Nanoselulosa, limbah kertas, sintesis alkali, suhu rendah, mortar, sifat mekanik, kuat tekan, penyerapan air, pembangunan berkelanjutan.

Promotor,



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

Ko. Promotor,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Mahasiswa,



Pengki Suanto
NIM. 03013682227002

Mengetahui,

Koord. Program Studi
Doktor Ilmu Teknik,


Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

ABSTRACT

Nanocellulose, a cellulose-based material with a nanostructure, has gained attention in various studies due to its high mechanical strength and environmentally friendly properties. One of its primary potentials is its use in the construction industry, particularly as an additive in mortar mixtures to enhance the material's mechanical and physical properties. This study aims to investigate the synthesis of nanocellulose from paper waste using alkali methods at low temperatures and mechanical methods. It also aims to evaluate its application in mortar mixtures to improve the material's properties. The nanocellulose synthesis process begins with using alkali solutions such as NaOH and NaClO to remove lignin and hemicellulose from cellulose fibres. The synthesis results showed that the produced nanocellulose had particle dimensions ranging from 80–500 nm, with a needle-like morphology and excellent mechanical properties. The alkali method at low temperatures provides advantages over conventional chemical methods, being more environmentally friendly. Characterization of nanocellulose using PSA, FTIR, XRD, SEM, and EDX revealed significant changes in structure and composition, including a decrease in crystallinity, the formation of amorphous cellulose, and an increase in silica content in the nanocellulose. In mortar applications, adding nanocellulose significantly improved mechanical and physical properties. The Slump Flow test results indicated fluctuating flow values depending on the cellulose content, with the highest flow value of around 160 mm observed in the control group (0% cellulose) and the lowest flow value of around 140 mm at 4% cellulose. The bulk density of the mortar with nanocellulose reached 2000 kg/m³ at 4% cellulose, exceeding the control value. The nanocellulose also affected water absorption of the mortar, with reduced absorption in the CA and NC treatments. The compressive strength of the mortar with nanocellulose reached 30 MPa at 28 days for the 2% concentration. FTIR, XRD, SEM, and EDX results also showed improvements in microstructure and interaction between nanocellulose and cement hydration products. The findings of this study indicate that nanocellulose from paper waste can be an effective solution to improve the quality of mortar, support the sustainability of the construction industry, and provide benefits in waste management.

Keywords: Nanocellulose, paper waste, alkali synthesis, low temperature, mortar, mechanical properties, compressive strength, water absorption, sustainable development.

Promotor,



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

Ko. Promotor,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Mahasiswa,



Pengki Suanto
NIM. 03013682227002

Mengetahui,

**Koord. Program Studi
Doktor Ilmu Teknik,**




Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001

KATA PENGANTAR

Puji dan rasa syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas rahmat dan limpahan karunia-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan Disertasi ini dengan hasil yang sangat baik. Dalam penyusunan, penulis banyak mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si. selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T., selaku Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. selaku Promotor.
5. Ibu Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T, selaku Ko. Promotor.
6. Dosen, Tenaga Pendidik di Fakultas Teknik Program Studi Doktor Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Orang Tua, Mertua, Istri, Anak – Anak, Saudara – Saudara, dan Teman Angkatan 2022 yang selalu memberikan doa, nasehat, semangat dan motivasi kepada penulis.

Akhir kata penulis sangat menyadari dalam penulisan Disertasi ini yang telah dilakukan masih jauh dari kata sempurna, maka kritik dan saran dari pembaca sangat diperlukan dalam hal membangun dalam bidang ilmu. Semoga Laporan Kemajuan Penelitian yang telah di buat dapat bermanfaat untuk diri penulis sendiri dan juga bagi pembaca.

Indralaya, 14 April 2025

Pengki Suanto

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Posisi Penelitian	6
1.6.1. Sintesis Nanoselulosa	6
1.6.2. Karakteristik Komposit Nanoselulosa	7
1.7. Keterbaruan Penelitian	18
1.8. Metode Pengumpulan Data	18
1.9. Sistematika Penulisan	18
2. TINJAUAN PUSTAKA	20
2.1. Pengertian <i>Nanomaterial</i>	20
2.2. Nanoselulosa (NC).....	21
2.3. Sintesis Nanoselulosa	26
2.3.1. Material Sintesis Nanoselulosa.....	26

2.3.2. Metode Sintesis Nanoselulosa	32
2.3.3. Karakterisasi Nanoselulosa.....	35
2.4. Mortar Nanoselulosa.....	40
2.4.1. Material Penyusun Mortar Nanoselulosa	42
2.4.2. Faktor Pengaruh Mortar Nanoselulosa	45
2.4.3. Sifat Mekanik Mortar Nanoselulosa.....	50
2.4.4. Mikrostruktur Mortar Nanoselulosa	52
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	57
3.1. Studi Literatur	57
3.2. Alur Penelitian	57
3.3. Persiapan Material dan Alat.....	60
3.3.1. Material Sintesis Nanoselulosa.....	60
3.3.2. Material Mortar Nanoselulosa	60
3.3.3. Alat Sintesis Nanoselulosa	61
3.3.4. Alat Pembuatan Mortar Nanoselulosa	62
3.4. Tahap Penelitian	63
3.4.1. Tahap Persiapan.....	63
3.4.2. Tahap 1	63
3.4.3. Tahap 2	64
3.4.4. Tahap 3	66
3.4.5. Tahap 4	67
3.5. Tempat dan Jadwal Penelitian	70
3.5.1. Tempat Penelitian	70
3.5.2. Jadwal Penelitian	70
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	72
4.1. Analisis Metode Sintesis Kimia	72
4.2. Analisis Metode Sintesis Mekanis.....	72
4.3. Analisis Karakterisasi Nanoselulosa.....	73
4.3.1. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	73
4.3.2. <i>Forier-transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	76
4.3.3. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	81

4.3.4.	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	84
4.3.5.	<i>Energy Dispersive X-Ray (EDX)</i>	87
4.4.	Analisis Campuran Mortar Nanoselulosa	90
4.5.	Analisis Mortar Segar	91
4.5.1.	<i>Slump Flow</i>	91
4.6.	Analisis Karakteristik Mortar Nanoselulosa.....	93
4.6.1.	Kuat Tekan.....	93
4.6.2.	<i>Forier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	97
4.6.3.	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	101
4.6.4.	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	102
4.6.5.	<i>Energy Dispersive X-Ray (EDX)</i>	108
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	115
5.1.	Kesimpulan	115
5.2.	Saran	118
	DAFTAR PUSTAKA	119
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
1.1. Hasil penelusuran karakterisasi nanoselulosa ditinjau dari jenis, sumber bahan, metode sintesis, dan karakteristik khusus.....	9
1.2. Hasil penelusuran karakteristik komposit nanoselulosa	11
1.3. Posisi penelitian sintesis nanoselulosa	17
1.4. Posisi penelitian komposit nanoselulosa	17
2.1. Gradasi saringan agregat halus (ASTM C 33-03)	17
3.1. Temperatur pemanasan.....	64
3.2. Persentase komposisi selulosa (SL) terhadap berat semen.....	66
4.1. Distribusi ukuran diameter partikel serat selulosa sintesis alkali pada temperatur rendah	75
4.2. Distribusi ukuran diameter partikel selulosa sisa proses pembakaran pada temperatur tinggi	76
4.3. Distribusi ukuran diameter partikel serat selulosa tanpa proses sintesis	76
4.4. Persentase struktur amorf serat selulosa	84
4.5. Komposisi kimia selulosa	90
4.6. Nilai <i>Slump flow test</i> mortar nanoselulosa	91
4.7. Kuat tekan mortar nanoselulosa	94
4.8. Komposisi kimia mortar selulosa.....	111

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Metode sintesis <i>nanomaterial</i> (Abidin dkk., 2024).....	20
2.2. Kuat tekan UHPC dengan campuran CF/SF (Hisseine dkk., 2020)	23
2.3. Kuat lentur UHPC dengan campuran CF/SF (Hisseine dkk., 2020)	23
2.4. <i>Slump flow</i> dan campuran HRWRA, dimana CF mengacu pada <i>cellulose filament</i> dalam persentase berat semen (Hisseine dkk., 2019).....	24
2.5. Nilai kuat tekan (f_c) dalam campuran pasta semen yang diuji, di mana CF merujuk pada <i>cellulose filament</i> pada persentase dari berat semen (Hisseine dkk., 2019).....	25
2.6. Perkembangan kuat tekan berbagai campuran (Shubbar dkk., 2020). ...	27
2.7. Asimetri mikroskopis dari serat kertas limbah (Salahuddin, 2022)	28
2.8. AFM yang representatif dari nanofibril selulosa apel dan nanokristal selulosa wortel (CCNC) pada bar 500 nm (Hunek dkk., 2019).....	29
2.9. Proses sintesis mekanisasi limbah kertas (Zaki dkk., 2019).....	33
2.10. SEM Kertas Limbah (Hospodarova dkk., 2018)	34
2.11. Alat uji <i>flow test</i>	50
2.12. Kuat tekan beton nanoselulosa kulit durian (Damasco dkk., 2022)	52
2.13. SEM a. Kontrol 10000x b. CNC/C 10000x c. Kontrol 50000x d. CNC/C 50000x (Fan dkk., 2022).....	55
3.1. Diagram alir sintesis dan karakterisasi nanoselulosa.....	58
3.2. Diagram alir karakteristik mortar nanoselulosa.....	59
3.3. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	71
4.1. Distribusi ukuran diameter partikel serat selulosa.....	74
4.2. Pola spektrum FTIR serat selulosa.....	78
4.3. Difraktogram XRD serat selulosa	81
4.4. Morfologi SEM nanoselulosa sintesis menggunakan alkali pada temperatur rendah	85
4.5. Morfologi SEM serat selulosa sisa pembakaran pada temperatur tinggi.	85
4.6. Morfologi SEM serat selulosa tanpa sintesis	86

4.7. EDX nanoselulosa sintesis menggunakan alkali pada temperatur rendah	88
4.8. EDX serat selulosa sisa pembakaran pada temperatur tinggi.....	88
4.9. EDX serat selulosa tanpa sintesis.....	88
4.10. Nilai <i>Slump flow test</i> mortar nanoselulosa.....	91
4.11. Kuat tekan mortar nanoselulosa	93
4.12. Pola FTIR mortar	97
4.13. Pola XRD mortar	101
4.14. SEM campuran mortar (N) Pembesaran 500x, dan 1000x.....	103
4.15. SEM campuran mortar (CF) Pembesaran 500x, dan 1000x.....	103
4.16. SEM campuran mortar (NC) Pembesaran 500x, dan 1000x	103
4.17. SEM campuran mortar (CA) Pembesaran 500x, dan 1000x	103
4.18. EDX campuran mortar (N)	109
4.19. EDX campuran mortar (CF) 2%	109
4.20. EDX campuran mortar (NC) 2%.....	109
4.21. EDX campuran mortar (CA) 2%.....	110

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri konstruksi yang terus berkembang menjadi salah satu indikator kemajuan suatu negara, termasuk di Indonesia. Namun, dalam pengembangannya, industri konstruksi masih banyak bergantung pada material yang tidak ramah lingkungan, seperti semen. Produksi semen memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, terutama CO₂. Produksi semen bertanggung jawab atas sekitar 5% hingga 8% emisi CO₂ global, di mana setiap ton semen yang diproduksi menghasilkan sekitar 0,8 ton CO₂ (Mohamad dkk., 2021).

Di sisi lain, limbah menjadi masalah yang juga dihadapi oleh berbagai negara, termasuk Indonesia. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Tahun 2024, limbah kertas mencapai 2,77 juta ton, atau sekitar 10% dari jumlah sampah yang dihasilkan di Indonesia. Limbah kertas dapat berdampak buruk terhadap lingkungan karena mengandung klorin, logam berat, senyawa organik, perekat berbasis bahan kimia, serta karbon monoksida (CO) yang dihasilkan saat proses pembakarannya. Zat-zat tersebut memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Kumar dkk., 2020).

Namun, limbah kertas juga berpotensi sebagai bahan baku alternatif yang kompeten karena ketersediaannya yang melimpah dan kandungan selulosa yang tinggi (60–70%), dengan hemiselulosa yang lebih rendah (10–20%) dan lignin (5–10%). Kandungan selulosa yang tinggi menjadikan limbah kertas sebagai bahan baku yang menarik untuk berbagai aplikasi, seperti produksi nanoselulosa yang dapat digunakan dalam berbagai industri, termasuk industri material dan farmasi. Limbah kertas ini dapat diproses tanpa perlakuan yang rumit dan dengan biaya yang relatif rendah, menjadikannya pilihan yang efisien dan ramah lingkungan (Kumar dkk., 2020). Selain itu, pemanfaatan limbah kertas sebagai bahan baku tidak hanya mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah tersebut, tetapi juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional yang lebih mahal dan tidak ramah lingkungan.

Perkembangan nanoteknologi telah mendorong untuk melakukan berbagai penelitian dalam bidang teknologi terbarukan. Salah satunya dengan melakukan penelitian terkait *nanomaterial* yang disintesis dari berbagai sumber dan dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. Sehingga dalam proses sintesis *nanomaterial* sangat berpengaruh pada metode sintesis yang digunakan untuk memperoleh serat nano dengan cara yang lebih mudah dan hemat energi serta hemat biaya.

Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti semakin berfokus pada penggunaan bahan biodegradasi yang bersifat terbarukan seperti limbah organik atau limbah yang memiliki kandungan serat selulosa yang tinggi. Namun penggunaan bahan baku terbarukan dan ramah lingkungan, termasuk serat selulosa dari kertas limbah masih terkendala dengan proses sintesis yang menggunakan waktu yang cukup lama (Suanto dkk., 2022), serta membutuhkan energi yang tinggi hingga menghasilkan serat nano (Devi S dkk., 2022).

Selama bertahun – tahun, proses yang berbeda telah digunakan untuk mendapatkan nanoselulosa yang sangat murni berdasarkan sumber dan aplikasi akhir. Sintesis nanoselulosa limbah kertas meliputi mekanis, kimia, dan perawatan biologis tergantung pada pra-perawatan yang diperlukan. Persiapan nanoselulosa yang berasal dari tanaman biasanya mencakup penghancuran mekanis seperti tekanan tinggi homogenisasi, penggilingan, sonikasi, dan perawatan kimia dengan berbagai acid dan alkali atau kombinasi keduanya. Proses hidrolisis asam menghasilkan sejumlah besar air limbah yang mengandung asam dan menghasilkan indek kristalin yang tinggi (Nasir dkk., 2022).

Metode mekanis yang menggunakan terlalu banyak energi, oksidasi dan metode cairan ionik memerlukan reagen yang mahal. Selanjutnya, pencernaan enzimatik juga digunakan untuk menyiapkan nanoselulosa berbasis kayu membuat keaslian serat sudah berubah. Oleh karena itu, selain penyelesaian lebih lanjut kendala yang ada dalam suatu metode tertentu, maka perlu juga dicari berbagai metode baru untuk mendapatkan serat selulosa berukuran nano dan mungkin tipe baru dari nanoselulosa dengan sifat geometri struktur nanoselulosa berbentuk panjang, dengan diameter 100-1000nm terutama tergantung pada asal serat selulosa dan proses ekstraksi yang dapat mempengaruhi sifat pada aplikasi akhir selulosa yang berukuran nano (Szafraniec dkk., 2022).

Limbah kertas yang disintesis menggunakan metode alkali sangat berpotensi untuk digunakan pada campuran mortar karena mengandung sifat alkali pada proses sintesis maka persentase amorf yang tinggi dan kristalin yang rendah sehingga berpengaruh secara signifikan untuk meningkatkan sifat mekanik dan mikrostruktur mortar. Pengaruh terhadap kuat tekan, berat jenis, dan kepadatan mortar, yang menggunakan campuran nanoselulosa telah digunakan sebagai bahan konstruksi (Szafraniec dkk., 2022).

Metode sintesis alkali pada nanoselulosa adalah proses kimia yang digunakan untuk mengekstraksi nanoselulosa dari material yang memiliki kandungan selulosa. Keuntungan metode alkali adalah dapat digunakan pada temperatur yang relatif rendah, mengurangi konsumsi energi dan menjaga integritas kaslian struktur serat selulosa. Penggabungan nanoselulosa dalam mortar merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan, dan kinerjanya sangat dipengaruhi oleh sifat bahan penyusun. Nanoselulosa dapat digunakan dalam campuran mortar untuk meningkatkan sifat-sifat :

- a. Kekuatan Mekanik, nanoselulosa dapat meningkatkan kuat tarik dan tekan mortar dengan peran sebagai material penguat atau sebagai material pengikat.
- b. Daya Tahan, dapat meningkatkan durabilitas mortar dengan meningkatkan ketahanannya terhadap retak dan susut karena material berskala nano maka mortar lebih padat.
- c. Kemampuan kerja, nanoselulosa dapat mempengaruhi sifat reologi mortar, berpotensi meningkatkan kinerja dan kemudahan penerapannya.
- d. Manfaat Lingkungan dan Ekonomi, pemanfaatan limbah kertas untuk memproduksi nanoselulosa pada mortar menawarkan beberapa manfaat lingkungan dan ekonomi.
- e. Pengurangan Limbah, membantu mengurangi jumlah limbah kertas di tempat pembuangan sampah.
- f. Keberlanjutan, mempromosikan penggunaan material terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada material konstruksi konvensional.
- g. Efektivitas Biaya, memanfaatkan material limbah bisa lebih hemat biaya dibandingkan dengan sumber bahan baku yang memerlukan proses yang sulit dengan biaya yang relatif tinggi.

Hal tersebut sedang dieksplorasi dalam berbagai pengembangan material konstruksi sebagai cara untuk menciptakan material baru yang lebih berkelanjutan dengan ketersediaan berlimpah material ini sangat mudah untuk diperoleh. Merujuk pada pembahasan diatas maka penelitian ini berfokus tentang **“Karakteristik Mortar Nanoselulosa Berbahan Dasar Limbah Kertas Menggunakan Metode Sintesis Alkali dengan Temperatur Rendah”**.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah dalam penelitian dapat dirumuskan di dasari oleh latar belakang yang telah diuraikan di atas, antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik nanoselulosa berbahan dasar limbah kertas menggunakan metode sintesis alkali dengan temperatur rendah, menggunakan pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA), *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Elektron Microscope* (SEM)/*Energy Dispersive X-Ray* (EDX)?
2. Bagaimana pengaruh campuran nanoselulosa hasil sintesis menggunakan metode alkali pada temperatur rendah terhadap karakteristik mortar dengan pengujian *slump flow*, kuat tekan, *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Elektron Microscope* (SEM)/*Energy Dispersive X-Ray* (EDX)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini mencakup hal-hal yang telah diuraikan dalam perumusan masalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan karakteristik nanoselulosa berbahan dasar limbah kertas menggunakan metode sintesis alkali dengan temperatur rendah menggunakan pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA), *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Elektron Microscope* (SEM)/*Energy Dispersive X-Ray* (EDX).
2. Menghasilkan campuran nanoselulosa hasil sintesis menggunakan alkali pada temperatur rendah terhadap karakteristik mortar dengan pengujian *slump flow*, kuat tekan, *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Elektron Microscope* (SEM), dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang penelitian mencakup beberapa pokok ruang lingkup antara lain :

1. Limbah kertas sebagai material dasar nanoselulosa.
2. Metode sintesis nanoselulosa menggunakan larutan alkali NaOH sebanyak 6% dan NaClO sebanyak 2%.
3. Temperatur rendah yang digunakan antara 30 – 50°C sebagai pembanding digunakan temperatur tinggi (metode pembakaran) dan tanpa sintesis (serat asli selulosa).
4. Karakterisasi nanoselulosa meliputi PSA, FTIR, XRD, dan SEM/EDX.
5. Penggunaan Nanoselulosa pada campuran mortar dengan persentasi 0%, 2%, dan 4 % dari berat semen.
6. *Superplasticizer* 1% dari berat semen.
7. *Water cement rasio* 0.5.
8. Pengurangan air sebanyak 10% hasil dari penambahan *Superplasticizer* 1%.
9. Pengujian mortar segar meliputi *slump flow*.
10. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 50x50x50 mm.
11. Pengujian karakteristik mortar meliputi kuat tekan, FTIR, XRD, SEM/EDX.
12. Standar pengujian menggunakan American Standard Testing and Material (ASTM).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah penggunaan material ramah lingkungan dan berkelanjutan serta persediaan yang berlimpah adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan metode sintesis nanoselulosa mendukung perkembangan nanoteknologi, terutama melalui eksplorasi material berbasis limbah. Proses pengolahan menggunakan metode temperatur rendah yang lebih ramah lingkungan.
2. Peningkatan kinerja material pada campuran nanoselulosa berpotensi digunakan sebagai material tambahan atau pengganti material konvensional pada komposisi beton dan mortar, sehingga meningkatkan kualitas dan berkelanjutan material konstruksi yang ramah lingkungan. Penggunaan nanoselulosa dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta meningkatkan kinerja material konstruksi.

1.6. Posisi Penelitian

1.6.1. Sintesis Nanoselulosa

Dari hasil penelusuran penelitian sebelumnya tentang sintesis nanoselulosa dan karakteristik nanoselulosa sebagai berikut :

1. Devi DS dkk., 2022. PSA menghasilkan parikel berukuran 255nm – 513nm. EDX menghasilkan kandungan kimia kertas limbah 40% CaO, 9.6% SiO₂, 6.3% Al₂O₃, 3.34% MgO. Pengujian SEM dengan persentase campuran NaOH sebanyak 15% menghasilkan struktur serat lebih bersih jika dibandingkan dengan NaOH 5% dan 10%. XRD didapatkan dengan menggunakan NaOH 5% dengan temperatur 125⁰C memiliki kandungan amorf 60.8% sedangkan dengan persentase NaOH 10% dan temperatur 125⁰C memiliki kandungan amorf sebesar 80.6% lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi NaOH yang lain.
2. Suanto P dkk., 2022. XRD memperoleh 79.68% amorf dengan persentase NaOH 15% dan 6 jam waktu pemanasan dengan temperatur 125⁰C sedangkan kandungan amorf terendah yaitu pada persentase 5% dengan durasi pemanasan selama 4 jam yaitu 63.69%. FTIR dapat disimpulkan bahwa sintesis kimia menggunakan NaOH dan NaClO dapat menghilangkan lignin dan struktur hemiselulosa ditemukan dalam serat selulosa. Pengujian SEM menunjukkan bahwa dengan menggunakan persentase NaOH yang tinggi serat selulosa terlihat lebih terurai serta memiliki permukaan yang reaktif. EDX menggambarkan karakterisasi nanoselulosa menggunakan bahan kimia NaOH dan NaClO mampu menghilangkan kandungan karbon pada limbah kertas.
3. Abdo I dkk., 2023. Hasil percobaan menunjukkan NC dari sisa serat tebu berbentuk tongkat dan ikatan dibentuk dengan ukuran yang relatif sama. XRD dan FTIR mengungkapkan bahwa struktur NCs terdiri dari domain kristalin dan domain amorf. Perlakuan hidrolisis asam dikonsentrasi asam 60% dan waktu 20 menit menghasilkan ukuran lebih kecil, CI lebih rendah dan struktur lebih lembut dibandingkan dengan sampel lain karena pembelahan lebih lanjut selama proses hidrolisis.
4. Brant dkk., 2020. Penyaringan vakum berturut-turut dan pencucian dengan air suling dapat menyebabkan penurunan yang wajar dalam hasil selulosa. NaOH/KOH pada konsentrasi di atas 4% (m/v), berhubungan dengan temperatur

dari 100°C dan waktu memasak di atas 2 jam dengan pengadukan mekanis atau magnetik, selulosa yang diekstraksi dari ampas tebu (SCB24-Na-I dan SCB24-Na-II dengan hasil Ca sebanyak 37% dan 41%, masing-masing) menunjukkan karakteristik sangat dekat satu sama lain, berdasarkan hasil keduanya produk dianggap menjanjikan dalam hal pewarnaan yang putih dan lebih bersih.

1.6.2. Karakteristik Komposit Nanoselulosa

Penelitian sebelumnya tentang karakteristik komposit nanoselulosa yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Hisseine dkk., (2019) melaporkan bahwa campuran dengan kandungan CF 0,05% dan 0,10% menjelaskan terjadi peningkatan kuat tekan pada setiap varian sebesar 22% dan 10%. Pada CF 0,20% memiliki kuat tekan sebanding sama referensi, sementara kandungan CF 0,30% menghasilkan kuat tekan lebih kecil (5%) dibandingkan dengan sampel referensi. Pengaruh signifikan CF terhadap kekuatan tekan terutama terlihat pada usia 7 dan 28 hari, di mana seluruh varian persentase CF memperoleh kuat tekan lebih tinggi, dengan peningkatan paling signifikan pada kandungan CF 0,05% dan 0,10%. Di usia 7 hari, kandungan CF 0,05% dan 0,10% meningkatkan kekuatan tekan sebesar 25% dan 15%, sedangkan CF 0,20% hanya memberikan peningkatan kecil (5%), dan CF 0,30% tidak menunjukkan peningkatan dibandingkan referensi. Tren ini juga terlihat pada kuat tekan di hari ke-28, di mana campuran dengan CF 0,05% dan 0,10% memperlihatkan terjadi peningkatan masing-masing 26% dan 17%. Sebaliknya, pada varian CF 0,20% dan 0,30% menunjukkan peningkatan yang lebih kecil, dengan nilai peningkatan masing-masing sebesar 11%.
2. Aziz dkk., 2021. Tes Schmid hammer-membandingkan rata-rata mencatat nomor pantulan SH untuk setiap jenis CNC, yang selanjutnya dipilah berdasarkan proporsi CNC. Hasil menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya proporsi nanokristal selulosa, Kuat tekan umur 21 hari peningkatan campuran CNC 2 pada persentase 0.75% menghasilkan 28 MPa. Untuk CNC 3 pada persentase 0.5% menghasilkan 28 MPa.
3. Akhlaghi dkk., 2020. Kuat tekan dengan penambahan 0.3% BNC gel berkontribusi paling signifikan peningkatan kekuatan sebesar 22% dibandingkan dengan sampel kontrol. Melihat konten BNC persentase, kekuatan

meningkat dalam 5 dari 6 kasus, tetapi penambahan 0.5% BNC gel menghasilkan penurunan kekuatan 8% dibandingkan dengan sampel referensi.

4. Nasir dkk., 2022. Uji kuat tekan dilaksanakan di 3 interval 7, 14, serta 28 hari. Membandingkan kekuatan setelah 28 hari, terlihat bahwa peningkatan terbesar terjadi pada mortar C1, untuk dosis 0.75%, 1.0%, dan 1.5%.
5. Hunek dkk., 2019. Kuat tekan sebesar 37.9% ketika 1.0% CNC ditambahkan ke campuran dasar. Peningkatan yang paling signifikan dibandingkan semua beton dengan NC. Dan dibandingkan dengan beton tanpa NC.
6. Fan dkk., 2022. Kuat tekan PPCNC meningkat sebesar 11% dibandingkan untuk referensi sampel. Hasil terbaik dicapai saat CNC-C digunakan di dosis 0.05% dalam hal ini, kuat tekan meningkat sebesar 22.28% dibandingkan dengan sampel referensi.
7. Diamanti dkk., 2022. Kuat tekan dengan penambahan ONC 2.4% paling berkontribusi meningkatkan kuat sebesar 34% dibandingkan dengan sampel referensi.

Tabel 1.1. Hasil penelusuran karakterisasi nanoselulosa ditinjau dari jenis, sumber bahan, metode sintesis, dan karakteristik khusus.

Jenis	Sumber	Metode Sintesis	Karakteistik	Ref.
Nanoselulosa	Limbah kertas HVS 70/80gsm	NaOH dengan persentase 5%, 10% dan 15%. NaClO dengan pesentase 2%. Durasi waktu pemanasan 2 jam. Temperatur 100 ⁰ C, 125 ⁰ C dan 150 ⁰ C. pada pH netral	PSA menghasilkan parikel berukuran 255 nm – 513 nm dan pengujian Hasil EDX kandungan kimia kertas limbah 40% CaO, 9,6% SiO ₂ , 6,3% Al ₂ O ₃ , 3,34% MgO.	Devi DS dkk., 2022
	Limbah kertas HVS 70/80gsm	NaOH dengan persentase 5%, 10% serta 15%. NaClO pada pesentase 2%. Waktu pemanasan 2, 4, dan 6 jam. Temperatur 125 ⁰ C. pH netral	XRD memperoleh 79,68% amorf dengan persentase NaOH 15% dan 6 jam waktu pemanasan dengan temperatur 125 ⁰ C	Suanto P dkk., 2022
Selulosa Nanokristal (CNC)	Serat kapas	Amonium pembengkakan yang dibantu dengan sulfat, diikuti oleh oksidasi yang stabil	Indeks kristalinitas yang tinggi 90,5% stabil secara termal dispersibilitas yang sangat baik	Wei J dkk., 2019
	Mikrokristalin selulosa	hidrolisis yang mudah dan cepat dengan menggunakan H ₂ SO ₄ /HNO ₃ campuran asam	Aspek rasio sangat tinggi	Cheng M dkk., 2020
	Lignoselulosa biomassa	Hidrolisis oleh logam transisi Ni(II). garam diikuti dengan mencuci menggunakan air suling, sentrifugasi, sonikasi, dan dialisis	Indeks kristalinitas: 78,8–90,5% dan diameternya kurang dari 100 nm (mulai dari 8,8 hingga 67,8 nm)	Yahya M dkk., 2018

Nanofibril selulosa (CNF)	Kulit pisang	Perawatan alkali, pemutihan, dan hidrolisis asam, dan alkali pengolahan dan hidrolisis dengan xilanase	N-metilmorfolin-N-mertode oksida	Tibolla H dkk., 2014
	Ampas tebu	Kumpulan enzim rekombinan: endoglukanase, xilanase dan litik polisakarida monooksigenase	Rasio aspek yang lebih tinggi suspensi lebih stabil	Rossi, B.R dkk., 2021
	Pohon cemara, pulp selulosa dan serat selulosa	N-metilmorfolin-N-mertode oksida	Diameter <500 nm	Kulpinski P dkk., 2005
Bakteri nanoselulosa (BNC)	Ketegangan bakteri Komagataeibacter xylinus (BCC529)	Pemasanasan dilakukan dengan kecepatan 300 putaran/menit dan pada temperatur 30 °C selama 96 jam, dan laju aerasi 1,0 vvm. Suspensi dihomogenisasi dan disentrifugasi (9000) putaran/menit, 5 menit). Produk kemudian dicuci dua kali dengan air suling, dan direbus dalam NaOH 1% selama 30 menit. Setelah dingin ke kamar suhu, produk disentrifugasi (9000 putaran/menit, 5 menit) dan dinetralkan dengan asam asetat 1%. Produk dicuci terus menerus dengan air suling menjadi netral.	Seragam dalam bentuk film 20–40nm tahan terhadap temperatur tinggi dan ketahanan api yang baik	Gao H dkk., 2020

Tabel 1.2. Hasil penelusuran karakteristik material komposit nanoselulosa.

Jenis Komposit	Material	Metode	Karakteristik	Ref.
Beton	Semen Portland Tipe I (PC). Serat murni bubuk kayu (CF). Polikarboksilat (HRWRA). Air	Nanoselulosa dari serat kayu murni. 0,0% CF, 0,05% CF, 0,10% CF, 0,20% CF, 0,30% CF dari berat semen. 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% Polikarboksilat (HRWRA). w/c : 0,3	Kuat tekan mengindikasikan bahwa pengaruh CF terhadap kekuatan bervariasi tergantung pada usia pengawetan. Campuran dengan kandungan CF 0,05% dan 0,10% masing-masing menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 22% dan 10% dibandingkan dengan beton normal.	Hisseine dkk., 2019
	Semen Portland Tipe I (PC). <i>Cellulose nanocrystal</i> (CNC). Limbah kertas tanpa tinta. Pasir (Agregat halus). Batu kapur yang dihancurkan (Agregat Kasar). Air	Cellulose nanocrystal (CNC) dari kertas limbah kantor tanpa tinta disintesis menggunakan asam sulfat sebagai metode hidrolisis. 0,25%, 0,50%, 0,75%, dan 1,00% <i>cellulose nanocrystals</i> dari berat semen. Variasi campuran CNC 1, CNC 2 dan CNC 3. w/c : 0,5	Kuat tekan umur 21 hari peningkatan dengan campuran CNC 2 pada persentase 0,75% menghasilkan 28 MPa. Untuk CNC 3 pada persentase 0,5% menghasilkan 28 MPa	Aziz dkk., 2021

Beton	Semen Portland Tipe I (PC). <i>Cellulose nanocrystals</i> (CNC). <i>Cellulose nanofibrils</i> (CNF). Pasir kuarsa. Agregat halus 2-8 mm. Agregat kasar 8-16 mm. Air	Cellulose nanocrystals (CNC) dari selulosa apel. Cellulose nanofibrils (CNF) dari selulosa wortel. 0.5%, dan 1,0%, berbanding berat semen. Index CrI (CNC 80,90%) dan (CNF 74,98%). w/c : 0,45	Kuat tekan sebesar 37.9% ketika 1.0% CNC ditambahkan ke campuran dasar. Peningkatan yang paling signifikan dibandingkan semua beton dengan NC. Dan dibandingkan dengan beton tanpa NC.	Hunek dkk., 2019
Beton Penyembuhan Diri	Semen Portland (PC). Nanoselulosa (NC). Agregat kasar. Agregat halus. Agen penyembuhan diri (SiO ₂)	Nanoselulosa (NC) dari kulit durian. 5,0% dari berat semen. Bubuk—SiO ₂ digabungkan dengan NC dan UF dicampur dalam matriks semen. Penggabungan SiO ₂ dengan urea-formaldehida (SiUF). SiO ₂ juga digabungkan dengan NC dan UF (SiUFNC). w/c : 0,5	Kuat tekan dan kuat tarik-peningkatan kekuatannya sedikit untuk SiUFNC dibandingkan dengan SiO ₂ (beton baru). Kekuatan sampel beton yang telah disembuhkan diikut tren yang sama, yaitu SiO ₂ , SiUF, dan SiUFNC meningkat kekuatannya dibandingkan terhadap beton acuan-nilai tertinggi dibandingkan semua beton telah dicapai oleh beton dengan SiUFNC memiliki nilai kekuatan 28,6% lebih tinggi dibandingkan dengan beton referensi.	Damasco dkk., 2022

Beton Busa	Cellulose nanofibrils (CNF). Bubuk zeolit. Air laut. Kalium hidroksida. Natrium silikat. Bahan pembusa hidrogen peroksida. Natrium lauret sulfat. Benzalkonium klorida.	Bacterial cellulose (BC) diproduksi oleh bakteri acetobacter xylinum. Cellulose nanofibrils (CNF) dari serat bubur kayu keras yang diputihkan dengan sulfat. 0,05%, 0,1%, 0,3% dari berat semen	Kepadatan pengaruh geopolimer menunjukkan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kepadatannya. Analisis menunjukkan penambahan nanoselulosa juga secara signifikan mempengaruhi kepadatan bahan akhir, berkisar dari 1.5 - 2,4 g/cm ³ . Menghasilkan dua beton busa geopolimer ultra-ringan dalam penelitian, yang memiliki kepadatan 1,486 g/cm ³ dan 1,496 g/cm ³ .	Tay dkk., 2022
Mortar	Semen Portland (PC). Cellulose nanocrystals (CNC). Serat polypropylene. Pasir. Air	Cellulose nanocrystals (CNC) dari bubur kayu dan kapas. CNC : gugus karboksil yang mengandung CNC-C dan sulfo yang mengandung CNC-S. CNC-C 0,01%, 0,05%, 0,1%, 0,3% dan CNC-S 0,5% dari berat semen. Serat polypropylene dilapisi dengan CNC (PPCNC). w/c : 0,55	Kuat tekan PPCNC meningkat sebesar 11% dibandingkan untuk referensi sampel. Hasil terbaik dicapai saat CNC-C digunakan di dosis 0,05% dalam hal ini, kekuatan tekan meningkat sebesar 22,28% dibandingkan dengan sampel referensi. penurunan kekuatan.	Fan dkk., 2022

Mortar	Semen Portland Tipe I (PC). <i>Polypropylene fibers coated</i> dengan BNC. BNC gel. BNC powder. Pasir (Agregat halus). Air dan <i>Superplasticizer</i> .	Bacterial nanocellulose (BNC) yang diproduksi oleh <i>Gluconacetobacter Xylinus</i> bakteri . 0,1%, 0,3%, dan 0,5% banding berat semen. w/c : 0,5	Kuat tekan dengan penambahan 0,3% BNC gel berkontribusi paling signifikan peningkatan kekuatan sebesar 22% dibandingkan dengan sampel kontrol. Melihat konten BNC persentase, kekuatan meningkat dalam 5 dari 6 variabel, tetapi penambahan 0,5% BNC gel menghasilkan penurunan kekuatan 8% dibandingkan dengan sampel kontrol	Akhlaghi dkk., 2020
	Semen Portland Tipe I (PC). Oxidized nanocellulose (ONC). Pasir. Air	Oxidized nanocellulose (ONC) dari kapas. 0,3%, 0.6%, 1,2%, dan 2,4% dari berat semen. Index CrI 65%. w/c : 0,48	Kuat tekan dengan penambahan ONC 2,4% paling berkontribusi meningkatkan kuat sebesar 34% dibandingkan dengan sampel kontrol. Penambahan 0,3% dan 0,6% tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan dan bahkan penurunan kekuatan setelah penambahan ONC 0,3% dibandingkan dengan sampel kontrol.	Diamanti dkk., 2022

Mortar	Semen Portland Tipe I (PC). Cellulose nanocrystals (CNC). Pasir. Air	Cellulose nanocrystals (CNC) dari limbah kertas kantor. 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1,0%, dan 1,5% dari berat semen. Varian campuran C1, C2 dan C3. Index CrI C1:79,91%, C2:84,23%, dan C3:89,31%. w/c : 0,50	Kuat tekan pada 3 interval setelah 7, 14, dan 28 hari. Membandingkan kekuatan setelah 28 hari, terlihat bahwa peningkatan terbesar terjadi pada mortar C1, untuk dosis 0,75%, 1,0%, dan 1,5%. Kuat tekan setelah 28 hari untuk dosis 0,75%. untuk C1, yang meningkatkan kekuatan sebesar 21,9% dibandingkan mortar kontrol. Untuk C2, sebuah peningkatan kekuatan tercatat untuk dosis 0,75% dan untuk C3 untuk dosis 0,25%, 0,5%, dan 1.0% dosis. Optimal dosis untuk CNC : C1, C2, dan C3, dosis 0,75%.	Nasir dkk., 2022
--------	--	---	---	------------------

Pasta Semen	Semen Portland Tipe I/II (PC), <i>Bacterial cellulose</i> (BC), <i>Cellulose nanofibrils</i> (CNF), Pasir, Air, <i>Superplasticizer</i>	<i>Bacterial cellulose</i> (BC) diproduksi oleh bakteri <i>acetobacter xylinum</i> . <i>Cellulose nanofibrils</i> (CNF) dari serat bubur kayu keras yang diputihkan dengan sulfat. 0,05%, 0,1%, 0,3% dari berat semen. w/c : Pasta semen 0,35 dan mortar 0,5	Kuat tekan dan lentur menunjukkan bahwa setelah 90 hari curing, kekuatan tekan dan lentur untuk kedua NC menghasilkan kekuatan peningkatan masing-masing sebesar 10% dan 60%. Penulis menentukan mana yang paling tepat dosis yang harus digunakan adalah 0,1%.	Haque dkk., 2022
Pasta Semen	Semen Portland (PC), Semen kalsium aluminat, <i>Cellulose nanocrystals</i> (CNC), Mikroselulosa kristal (CNF), <i>Superplasticizer</i> , Air	<i>Cellulose nanocrystals</i> (CNC) dari mikroselulosa kristal (CNF) pulp dari sisal. 0,1%, 0,2%, 0,4%, dan 0,8% dari berat semen. w/c : 0,0, 0,35, serta 0,40	Mikrostruktur-selama analisis struktur mikro, efek jembatan retak tercatat sampel dengan CNF. Namun, rendahnya kandungan CNF, atau degradasinya, berkontribusi terhadap hal ini pengurangan efek ini, sehingga menyebabkan penurunan sifat kekuatan.	Claramunt dkk., 2019

Tabel 1.3. Posisi Penelitian Sintesis Nanoselulosa

Jenis Serat	Metode Sintesis		Penelitian ini
	Variasi Temperatur	Variasi Durasi	
Nanoselulosa	Devi S dkk., 2022 NaOH 5%, 10% dan 15% NaClO 2% 100°C, 125°C, dan 150°C Durasi 120 Menit	Suanto P dkk., 2022 NaOH 5%, 10% dan 15% NaClO 2% 2, 4, serta 6 Jam Temperatur 125°C	NaOH 6% (w/v) dan NaClO 2%, (v/v), durasi pemanasan 30 menit, varian temperatur rendah 30° - 50°C

Tabel 1.4. Posisi Penelitian Komposit Mortar/Beton Nanoselulosa

Nanomaterial	Penelitian Sebelumnya	Penelitian ini
	(<i>Acid Treatment</i>)	(<i>Alkaline Treatment</i>)
Nanoselulosa	Diamanti dkk., 2022 <i>Hydrochloric acid</i> (HCl) Aziz dkk., 2021 <i>Sulfuric acid</i> (H ₂ SO ₄) Nasir dkk., 2022 <i>Sulfuric acid</i> (H ₂ SO ₄) Fan dkk., 2022 <i>Sulfuric acid</i> (H ₂ SO ₄)	<i>Sodium hydroxide</i> (NaOH) <i>Sodium hypochlorite</i> (NaClO)

1.7. Keterbaruan Penelitian

Keterbaruan penelitian pada penelitian ini meliputi nilai terbarukan, dengan mangadaptasi dan penggunaan material yang ramah lingkungan, berkelanjutan serta mudah untuk di dapatkan dengan ketersediaan berlimpah adalah sebagai berikut:

1. Metode sintesis alkali pada temperatur rendah dan durasi yang lebih singkat.
2. Komposisi yang berpengaruh positif terhadap mortar.

1.8. Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian dikumpulkan dengan dua metode yang akan diterapkan antara lain :

1. Data Primer

Pada penelitian ini, data primer diperoleh melalui pengujian dan eksperimen dilakukan langsung di Laboratorium.

2. Data Sekunder

Pada data sekunder didapatkan melalui penelusuran penelitian terdahulu atau hasil tinjauan artikel ilmiah yang telah dilakukan, yang kemudian digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

1.9. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan disertasi ini mengulas secara rinci proses karakterisasi mortar berbasis nanoselulosa yang memanfaatkan limbah kertas sebagai bahan baku utama. Nanoselulosa yang dihasilkan melalui proses sintesis kemudian dianalisis menggunakan berbagai metode, seperti PSA, XRD, FTIR, dan SEM-EDX. Selain itu, dilakukan juga serangkaian pengujian untuk menilai dampak nanoselulosa terhadap sifat mekanik dan karakteristik mortar yang mengandung komposit selulosa, sehingga memberikan gambaran menyeluruh terkait potensi aplikasinya dalam bidang konstruksi berbasis material ramah lingkungan.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan berbagai aspek penting penelitian, meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, keterbaruan, ruang lingkup, metode pengumpulan data, serta sistematika penulisan. Selain itu, pada bab 1 juga menjelaskan dasar-dasar yang melandasi penelitian untuk memberikan pemahaman mendalam tentang konteks serta pendekatan yang digunakan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tinjauan pustaka dalam menguraikan berbagai teori dari literatur dan referensi terkait nanomaterial, termasuk definisi, nanoteknologi, serta nanoselulosa. Selain itu, bab ini menjelaskan metode sintesis dan karakterisasi nanoselulosa, metode pencampuran beton berbasis nanoselulosa, serta pengujian karakteristik kimia, fisik, dan mikrostruktur beton nanoselulosa secara mendalam.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan berbagai aspek terkait nanoselulosa, mulai dari jenis bahan dasar yang digunakan dalam pembuatannya, peralatan yang mendukung proses sintesis, hingga tahap-tahap karakterisasi nanoselulosa. Selain itu, dijelaskan pula metode pencampuran nanoselulosa dalam beton, prosedur pengujian, lokasi pelaksanaan, rincian penelitian, serta jadwal kegiatan penelitian secara keseluruhan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memperlihatkan dan menjelaskan hasil penelitian diperoleh dari pengujian serta hasil analisis data yang dihasilkan dijelaskan secara rinci. Hal tersebut mencakup karakterisasi nanoselulosa dan pengaruhnya terhadap mortar. Pembahasan dilakukan dengan menginterpretasikan hasil penelitian di Laboratorium yang merujuk berdasarkan teori dan penelitian sebelumnya, sehingga memberikan pemahaman mendalam terhadap fenomena yang diamati.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang dirumuskan berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dan saran diberikan sebagai rekomendasi untuk penelitian lanjutan atau penerapan praktis. Kesimpulan menyoroti temuan utama, sedangkan saran bertujuan untuk memperbaiki atau mengembangkan penelitian di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abdo, N. I., Tufik, Y. M., & Abobakr, S. M. (2023). A comparison of nano-celluloses prepared with various terms of time and sulfuric acid concentration from bagasse derived cellulose: Physicochemical characteristics and process optimization. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 6, 100365.
- Abidin, M. Z. U., Ikram, M., Moeen, S., Nazir, G., Kanoun, M. B., & Goumri-Said, S. (2024). A comprehensive review on the synthesis of ferrite nanomaterials via bottom-up and top-down approaches advantages, disadvantages, characterizations and computational insights. *Coordination Chemistry Reviews*, 520, 216158.
- Ahmad, Afnan., Adil, Mohammad., Khalil, Ahmad., Rahman, Mujeebur. (2021). Mechanical properties and durability of boardcrete blocks prepared from recycled cardboard. *Journal of Building Engineering*. 33 : 101644.
- Akhlaghi, M. A., Bagherpour, R., & Kalhori, H. (2020). Application of bacterial nanocellulose fibers as reinforcement in cement composites. *Construction and Building Materials*, 241, 118061.
- Amirulhakim, H., Juwono, A. L., & Roseno, S. (2021, March). Isolation and characterization of cellulose nanofiber from subang pineapple leaf fiber waste produced using ultrafine grinding method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1098, No. 6, p. 062067). IOP Publishing.
- ASTM C 33, (2003). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 150, (2012). *Standard Specification for Portland Cement*, Annual Books of ASTM Standards, USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 1602, (2006). *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- Aziz, M. A., Zubair, M., & Saleem, M. (2021). Development and testing of cellulose nanocrystal-based concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00761.
- Brant, A. J. C., Naime, N., Lugão, A. B., & Ponce, P. (2019). Cellulose nanoparticles extracted from sugarcane bagasse and their use in biodegradable recipients for improving physical properties and water barrier of the latter. *Materials Sciences and Applications*, 11(1), 81-133.

- Cheng, M., Qin, Z., Hu, J., Liu, Q., Wei, T., Li, W., ... & Liu, B. (2020). Facile and rapid one-step extraction of carboxylated cellulose nanocrystals by $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ mixed acid hydrolysis. *Carbohydrate polymers*, 231, 115701.
- Claramunt, J., Ventura, H., Toledo Filho, R. D., & Ardanuy, M. (2019). Effect of nanocelluloses on the microstructure and mechanical performance of CAC cementitious matrices. *Cement and Concrete Research*, 119, 64-76.
- Damasco, I. Y., Gallawan, J. M. M., & Lawagon, C. P. (2022). Synthesis of nanocellulose from durian rinds for the preparation of a self-healing smart concrete with augmented mechanical properties. *Chemical Engineering Transactions*, 92, 667-672.
- Dejaeghere, Ines., Sonebi, Mohammed., Schutter, Geert De. (2019). Influence of nano-clay on rheology, fresh properties, heat of hydration and strength of cement-based mortars. *Construction and Building Materials*. 222 : 73–85.
- Devi, D. S., Saloma, S., Usman, A. P., Saggaff, A., & Ismail, M. (2022). Characteristics of Nanomaterials Based on Waste Paper with Variations in Heating Temperature and NaOH Concentration. *Trends in Sciences*, 19(18), 5815-5815.
- Deze, E. G., Cuenca, E., Násner, A. M. L., Iakovlev, M., Sideri, S., Sapalidis, A., ... & Ferrara, L. (2022). Nanocellulose enriched mortars: Evaluation of nanocellulose properties affecting microstructure, strength and development of mixing protocols. *Materials Today: Proceedings*, 54, 50-56.
- Egamberdiev, E. A., & Norboyev, S. K. (2022). Extraction of cellulose nanocrystals from secondary paper waste and their use in paper production. *Technical science and innovation*, 2022(3), 215-222.
- Fan, Q., Meng, X., Li, Z., Ma, G., Wang, Z., Zhang, K., ... & Meng, D. (2022). Experiment and molecular dynamics simulation of functionalized cellulose nanocrystals as reinforcement in cement composites. *Construction and Building Materials*, 341, 127879.
- Farooq, Amjad., Patoary, Mohammed Kayes., Zhang, Meiling., Mussana, Hassan., Li, Mengmeng., Naeem, Muhammad Awais., Mushtaq, Muhammad., Farooq, Aamir., Liu, Lifang. (2020). Cellulose from sources to nanocellulose and an overview of synthesis and properties of nanocellulose/zinc oxide nanocomposite materials. *International Journal of Biological Macromolecules*. 154 : 1050-107.
- Gao, H., Sun, Q., Han, Z., Li, J., Liao, B., Hu, L., ... & Jin, M. (2020). Comparison of bacterial nanocellulose produced by different strains under static and agitated culture conditions. *Carbohydrate polymers*, 227, 115323.

- Gigault, J., Ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P. Y., Gauffre, F., Phi, T. L., ... & Reynaud, S. (2018). Current opinion: what is a nanoplastic?. *Environmental pollution*, 235, 1030-1034.
- Güney, D., Kara, A., & Gül, S. (2019). Effect of water-to-cement ratio on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 203, 241-247.
- Guo, A., Sun, Z., Sathitsuksanoh, N., & Feng, H. (2020). A review on the application of nanocellulose in cementitious materials. *Nanomaterials*, 10(12), 2476.
- Hamad, A., Youssef, M., & El-Sayed, M. (2019). Effect of nano-cellulose on the mechanical properties of Portland cement mortar. *Construction and Building Materials*, 223, 610-617.
- Haque, M. I., Ashraf, W., Khan, R. I., & Shah, S. (2022). A comparative investigation on the effects of nanocellulose from bacteria and plant-based sources for cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 125, 104316.
- Hisseine, O. A., Soliman, N. A., Tolnai, B., & Tagnit-Hamou, A. (2020). Nano-engineered ultra-high performance concrete for controlled autogenous shrinkage using nanocellulose. *Cement and Concrete Research*, 137, 106217.
- Hisseine, O. A., Wilson, W., Sorelli, L., Tolnai, B., & Tagnit-Hamou, A. (2019). Nanocellulose for improved concrete performance: A macro-to-micro investigation for disclosing the effects of cellulose filaments on strength of cement systems. *Construction and Building Materials*, 206, 84-96.
- Hospodarova, Viola., Stevulova, Nadezda., Briancin, Jaroslav., Kostelanska, Katarina. 2018. Investigation of Waste Paper Cellulosic Fibers Utilization into *Cement Based Building Materials*.
- Ilakkiya, R., & Dhanalakshmi, G. (2018). Experimental investigation on concrete using waste paper. *Int. Res. J. Eng. Technol.(IRJET)*, 5, 1995-1999.
- Joshi, Gyanesh., Rana, Vikas., Naithani, Sanjay., Varshney, V.K., Sharma, Ashish., Rawat, Jaipal S. (2019). Chemical modification of waste paper: An optimization towards hydroxypropyl cellulose synthesis. *Carbohydrate Polymers*. 223 : 115082.
- Katakojwala, R., & Mohan, S. V. (2022). Multi-product biorefinery with sugarcane bagasse: Process development for nanocellulose, lignin and biohydrogen production and lifecycle analysis. *Chemical Engineering Journal*, 446, 137233.
- Kulpinski, P. (2005). Cellulose nanofibers prepared by the N-methylmorpholine-N-oxide method. *Journal of Applied Polymer Science*, 98(4), 1855-1859.

- Kumar, V., Pathak, P., & Bhardwaj, N. K. (2020). Waste paper: An underutilized but promising source for nanocellulose mining. *Waste management*, 102, 281-303.
- Li, M., Wang, L., Li, D., Cheng, Y. L., & Adhikari, B. (2020). Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 227, 115338.
- Li, M., Wu, Q., Song, K., Qing, Y., & Wu, Y. (2019). Cellulose nanoparticles as modifiers for rheology and fluid loss in bentonite water-based fluids. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(12), 12589-12597.
- Li, W., Huang, Z., Cao, F., Sun, Z., & Shah, S. P. (2020). Effects of nano-silica and nano-limestone on flowability and mechanical properties of ultra-high-performance concrete matrix. *Construction and Building Materials*, 246, 118436.
- Li, X., Wang, J., & Zhang, Y. (2020). Influence of nanocellulose on the microstructure and mechanical properties of cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 255, 119370.
- Liu, J., & Lv, C. (2021). Research Progress on Durability of Cellulose Fiber-Reinforced Cement-Based Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2021(1), 1014531.
- Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim, M. H. (2021). Environmental impact of cement production and Solutions: A review. *Materials Today: Proceedings*, 48, 741-746.
- Nasir, M., Aziz, M. A., Zubair, M., Ashraf, N., Hussein, T. N., Allubli, M. K., ... & Al-Harthi, M. A. (2022). Engineered cellulose nanocrystals-based cement mortar from office paper waste: Flow, strength, microstructure, and thermal properties. *Journal of Building Engineering*, 51, 104345.
- Rossi, B. R., Pellegrini, V. O., Cortez, A. A., Chiromito, E. M., Carvalho, A. J., Pinto, L. O., ... & Polikarpov, I. (2021). Cellulose nanofibers production using a set of recombinant enzymes. *Carbohydrate Polymers*, 256, 117510.
- Shubbar, AAF, Sadique, MM, Nasr, MS, Al-Khafaji, ZS and Hashim, KS. (2020). The impact of grinding time on properties of cement mortar incorporated high volume waste paper sludge ash. Karbala International. *Journal of Modern Science*, 6 (4) : 2405-609X.
- Solahuddin, B. A. (2022). A comprehensive review on waste paper concrete. *Results in Engineering*, 100740.
- Suanto, P., Usman, A. P., Saggaff, A., Ismail, M., & Khalid, N. H. A. (2022). The Characterization of Nanocellulose with Various Durations and NaOH Concentration. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 5(1), 18-29.

- Szafranec, M., Grabias-Blicharz, E., Barnat-Hunek, D., & Landis, E. N. (2022). A critical review on modification methods of cement composites with nanocellulose and reaction conditions during nanocellulose production. *Materials*, 15(21), 7706.
- Tay, C. H., Mazlan, N., Wayayok, A., Basri, M. S., Mustafa, M., & Abdullah, A. (2022). Nanocellulose reinforced zeolite based geopolymer concrete: Density analysis through response surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, 66, 2873-2882.
- Teixeira, Lucas Tonette., Braz, Wanderson Ferreira., Siqueira, Rogerio Navarro Correia de., Pandoli, Omar Ginoble., Geraldles, Mauro Cesar. (2021). Sulfated and carboxylated nanocellulose for Co⁺² adsorption. *Journal of materials research and technology*. 15 : 434-447.
- Tibolla, H., Pelissari, F. M., & Menegalli, F. C. (2014). Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and enzymatic treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1311-1318.
- Wang, Z. Y., Zhao, Z. W., Niu, B. B., Che, Y., & Li, Y. L. (2024). Preparation of ultrafine/nanometer MoO₂ via the hydrogen reduction of H₂MoO₅. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 121, 106638.
- Wu, Jun., Du, Xueyu., Yin, Zhibing., Xu, Shuang., Xu, Shuying., Zhang, Yucang. (2019). Preparation and characterization of cellulose nanofibrils from coconut coir fibers and their reinforcements in biodegradable composite films. *Carbohydrate Polymers*. 211 : 49-56.
- Yahya, M., Chen, Y. W., Lee, H. V., & Hassan, W. H. W. (2018). Reuse of selected lignocellulosic and processed biomasses as sustainable sources for the fabrication of nanocellulose via Ni (II)-catalyzed hydrolysis approach: a comparative study. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 2825-2844.
- Zaki, Harith Mohammed., Salih, Shakir Ahmed., Gorgis, Iqbal Naeem. 2019. Characteristics of Paper-cement Composite. *Journal of Engineering*. 4 (25) : 122-138.
- Zhao, Yunfeng., Lei, Hanwu., Liu, Yuhuan., Ruan, Roger., Qian, Moriko., Huo, Erguang., Huang., Zhiyang., Lin., Xiaona., Wang., Chenxi., Mateo, Wendy., Villota, Elmar M., Zhang, Qingfa. (2021). Microwave-assisted synthesis of bifunctional magnetic solid acid for hydrolyzing cellulose to prepare nanocellulose. *Science of the Total Environment*. 731 : 138751.
- Zhou, Xiaomin., Fu, Qiangang., Liu, Hu., Gu, Hongbo., Guo, Zhanhu. (2021). Solvent-free nanoalumina loaded nanocellulose aerogel for efficient oil and organic solvent adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*. 581 : 299–306.