

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan yang terjadi di sektor konstruksi saat ini menyebabkan peningkatan terhadap permintaan dan produksi bahan bangunan, salah satunya semen. Semen berperan sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton (Nikita et al., 2022). Sektor konstruksi di Indonesia umumnya menggunakan beberapa jenis semen yang berbeda, seperti semen portland putih, semen portland pozzolan/*portland pozzolan cement* (PCC), semen portland/*Ordinary Portland Cement* (OPC), semen portland campur, semen *masonry*, dan semen portland komposit (Tanubrata, 2015).

Inovasi terhadap bahan tambahan pembuatan semen komposit semakin berkembang. Beberapa peneliti sudah mulai melakukan penelitian yang bertujuan meningkatkan kualitas semen (Miller et al., 2018). Beberapa cara yang dilakukan diantaranya dengan menggunakan bahan alternatif dan bahan tambah (Letournel et al., 2023), seperti limbah sisa pembakaran batu bara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) digunakan sebagai bahan campuran semen (Permatasari, 2024), penggunaan kapur dan *silica fume* yang juga digunakan sebagai bahan campuran semen (Hadrian & Rahmawati, 2025).

Teknologi nano adalah prinsip manipulasi atom melalui pengendalian struktur, materi pada tingkat molekuler yang memiliki dimensi setidaknya tidak lebih dari 100 nm (R. Singh & Singh, 2017). Penggunaan teknologi nano termasuk nano-selulosa bakteri diminati oleh peneliti untuk dijadikan penelitian yang signifikan karena potensinya yang besar untuk menghasilkan berbagai komposit bernilai tinggi dengan dampak lingkungan yang minim. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Nugroho et al., 2022) yang melakukan penelitian dengan menggabungkan nano-selulosa bakteri dengan serat kayu dengan menggunakan teknik pemadatan dan menghasilkan komposit kayu menjadi lebih kuat dan tangguh. Modifikasi semen berbasis nanoteknologi yang dimanfaatkan dalam beton mampu menghasilkan kualitas beton yang baik dan menjanjikan (Sanchez & Sobolev, 2010).

Nanoteknologi pada semen bukanlah hal yang baru, terbukti dari sifat beton yang memiliki bahan dasar semen terdiri dari beberapa campuran bahan nano yang berbeda (Naskar & Chakarborty, 2016). Peran nano teknologi dalam campuran beton adalah mengurangi porositas dalam pasta terhidrasi, membantu peningkatan kekuatan mekanik dan konsistensi pasta, serta menyeimbangkan material campuran dalam semen (Shakrani et al., 2018). Campuran nano material dengan agregat pada campuran beton juga mempengaruhi ikatan antara pasta semen dengan agregat pada beton. Selain itu terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari pencampuran material beton dengan nano teknologi, yaitu 1) ketahanan terhadap segregasi dan peningkatan kelecakan campuran melalui distribusi nano material yang baik di mana pada fase cair, membantu peningkatan kekentalan campuran beton dan membantu pengikatan antara agregat dan semen; 2) nano material membantu mengisi rongga kosong dan mencegah pergerakan air bebas (*free water*) di antara butir semen ; 3) kristalisasi semen terjadi karena proses percepatan hidrasi melalui distribusi nano material yang baik; 4) pengembangan kristal kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) berukuran kecil dan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang cocok sebagai bahan pendukung nanomaterial; 5) reaksi kimia yang dimiliki kalsium hidroksida dan kalsium silikat hidrat tambahan memiliki peran dalam pembuatan nanomaterial ; 6) penggunaan nano teknologi pada semen membantu meningkatkan struktur area kontak sehingga menghasilkan ikatan yang lebih baik antar agregat dan pasta semen; dan 7) nano material membantu meningkatkan kekuatan geser, lentur, tarik, dan memiliki kemampuan mencegah retakan dan saling menghubungkan antara bidang slip (Shakrani et al., 2018).

Salah satu bahan yang dapat dijadikan nanomaterial untuk dicampurkan dengan semen adalah selulosa. Selulosa adalah biopolimer yang sangat melimpah yang dapat ditemui di alam dan merupakan bagian penting pada dinding tumbuhan (Szafraniec et al., 2022). Selulosa dapat dijadikan sebagai bahan campuran semen karena memiliki beberapa keunikan seperti, kepadatan yang rendah, sifat kimia yang reaktif saat pencampuran dengan material lain, luas permukaan yang tinggi, modulus elastis tinggi, dan kuat tarik yang tinggi (Kamasamudram et al., 2021). Selain berasal dari tumbuhan, selulosa juga bisa didapatkan dengan bantuan bakteri. Berbeda dari selulosa tumbuhan, selulosa bakteri memiliki indeks kristalinitas dan polimerisasi serta kemurnian yang lebih

tinggi (Akhlaghi et al., 2020). Selain itu, selulosa yang berasal dari bakteri juga memiliki kemampuan dalam penyerapan air yang baik dan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa yang berasal dari tumbuhan (Chawla et al., 2008).

Penelitian menggunakan nano selulosa bakteri sebagai bahan campuran semen sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Akhlaghi et al., 2020), nano selulosa bakteri yang digunakan diubah menjadi dua bentuk yang berbeda, yaitu gel dan bubuk. Hasil yang didapat pada penelitian ini adalah nano selulosa bakteri meningkatkan kekuatan tekan dengan hasil peningkatan tertinggi sebesar 22% terhadap benda uji kontrol dengan penambahan nano selulosa bakteri bentuk bubuk sebanyak 0,3% dari berat semen, sedangkan hasil uji lentur menunjukkan peningkatan tertinggi sebesar 88% terhadap benda uji kontrol dengan penambahan nano selulosa bakteri bentuk gel sebanyak 0,3% dari berat semen. Di sisi lain, penambahan nano selulosa bakteri bentuk bubuk memberikan penambahan kekuatan lentur tertinggi sebesar 104% untuk tambahan sebanyak 0,5% dari berat semen. Hasil yang didapat dari analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan keberadaan nano selulosa bakteri ini dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dan menyebabkan lebih banyak ikatan dengan matriks semen.

(Mohammadkazemi et al., 2015) juga melakukan penelitian mengenai pemanfaatan nano selulosa bakteri sebagai bahan campuran semen komposit dengan bentuk nano selulosa berupa gel dan bubuk yang langsung ditambahkan oleh peneliti ke dalam semen; dan modifikasi nano selulosa pada serat tebu sebagai campuran semen komposit. Hasil yang didapat pada penelitian ini adalah nano selulosa bakteri yang digunakan untuk melapisi serat tebu memiliki hasil uji yang sangat tinggi dibandingkan dengan nano selulosa bakteri berbentuk gel dan bubuk. Hal tersebut terjadi karena nano selulosa bakteri membantu keterikatan antara serat tebu dengan semen, sehingga kuat tarik meningkat sebesar 68,28% terhadap benda uji kontrol dan kuat lentur sebesar 20% (5,55 GPa) terhadap benda uji kontrol dengan berat penggunaan nano selulosa bakteri sebanyak 6% dari berat semen yang digunakan. Analisis *Energy Dispersive X-ray* (EDX) menunjukkan tidak terjadinya mineralisasi pada serat tebu yang dilapisi nano selulosa bakteri. Hal ini terjadi karena nano selulosa bakteri melindungi serat tebu dari ion alkali yang berupaya masuk ke dalam serat tebu.

(Hisseine et al., 2019) melakukan penelitian yang menggunakan nano-selulosa sebagai bahan tambah penguat kinerja beton dengan pengujian makro dan mikro. Peningkatan sifat mekanik hingga 26% pada kompresi, 18% pada modulus elastisitas, 21% pada kelenturan, dan 74% pada penyerapan energi diperoleh dengan penggunaan dosis 0,05-0,1% serat nano-selulosa (CF). Menariknya, peningkatan di semua sifat mekanik yang diuji (kecuali penyerapan energi) diperoleh pada konsentrasi CF yang rendah (0,05-0,10%) di mana dispersi CF (dan karenanya efektivitasnya) diyakini lebih jelas. Hasil tes mikro yang didapatkan adalah nano selulosa meningkatkan derajat semen hidrasi hingga 15% pada umur 28 hari. Peningkatan derajat hidrasi disebabkan oleh *hidrofilisitas* dan *higroskopisitas* nano selulosa yang menyebabkan, masing-masing retensi air dan pelepasan air, sehingga menyediakan air tambahan (selama hidrasi) untuk reaksi lebih lanjut dari butiran semen anhidrat.

Penelitian yang dilakukan (Mohammadkazemi et al., 2017) menggunakan tiga bentuk nano selulosa bakteri, yaitu gel, bubuk, dan melapisi serat tebu. Pada penelitiannya kali ini benda uji yang digunakan memiliki ukuran $25 \times 25 \times 12\text{mm}^3$. Hasil dari penelitiannya setelah dilakukan uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) adalah nano selulosa bakteri bubuk meningkatkan pengikatan antara molekul dalam campuran semen sebanyak 10% dan pada benda uji nano selulosa bakteri yang berbentuk gel meningkatkan pengikatan antara molekul dalam campuran semen sebanyak 138%. Hasil ini menunjukkan bahwa nano selulosa bakteri gel sangat signifikan dalam meningkatkan pengikatan antara molekul dalam campuran semen, karena dapat membantu mengurangi kadar basa dalam campuran semen. Kadar porositas menjadi lebih rendah saat nano selulosa bakteri digunakan.

Pada penelitian yang (Onuaguluchi & Banthia, 2023), nano selulosa dijadikan sebagai bahan tambah dalam semen OPC yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan sulfat dari semen komposit yang mengandung nano selulosa. Pada hasil uji kuat tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik benda pada 2 bulan awal menjadi sedikit lebih tinggi, Namun, pada bulan keempat pengujian, benda uji mengalami penurunan kuat tarik yang signifikan. Kuat tarik rata-rata akhir campuran adalah $0,9 \pm 0,2$ MPa untuk mortar polos, $1,5 \pm 0,2$ MPa untuk mortar polos + 0,1% serat nano selulosa (NFC), $1,8 \pm 0,3$ MPa untuk mortar yang diperkuat serat (FRM), dan $2,2 \pm 0,3$ MPa untuk FRM + 0,1% NFC.

Hasil akhir persentase pengurangan kekuatan tarik adalah 73,4% untuk mortar polos, 62,1% untuk mortar polos + 0,1% NFC, 57,6% untuk FRM, dan 41,6% untuk FRM + 0,1% NFC. Berdasarkan hasil analisis *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared-Attenuated Total Reflectance* (FTIR-ATR) mengindikasikan adanya perubahan fase komposisi dan struktur kimia pasta semen, dengan kata lain semen mengalami pengembangan dalam struktur mikro dan memiliki ketahanan terhadap sulfat yang dipengaruhi oleh pelarutan fase semen portland dan semen yang mengandung kalsium lebih tinggi. Peneliti memperoleh hasil ini setelah melakukan pengujian untuk pasta semen yang mengandung 0,1% NFC.

(Gregory et al., 2021) menyebutkan bahwa nano selulosa bakteri memiliki banyak kegunaan, salah satunya dalam pembuatan *bioconcrete*. Nano selulosa bakteri menjadi bahan pelapis serat tebu untuk campuran dalam pembuatan *bioconcrete*. Hasil yang didapatkan dari penggunaan nano selulosa bakteri dalam *bioconcrete* adalah meningkatnya elastisitas beton, mencegah perpindahan ion alkali pada semen ke dalam serat tebu sehingga retak pada beton bisa diminimalisir, dan mempercepat proses hidrasi pada campuran semen.

Penelitian oleh (Balea et al., 2019) menunjukkan penggunaan 3% campuran nano selulosa bakteri untuk melapisi serat tebu dalam campuran semen komposit sudah cukup untuk meningkatkan kuat tarik beton sebesar 50%, kuat elastis beton sebesar 40%, dan melindungi terjadinya perpindahan ion alkali pada serat tebu sehingga mampu meningkatkan durabilitas beton.

Untuk menghasilkan nano selulosa sebagai bahan tambah semen komposit penggunaan *blender* untuk proses menghancurkan nano-selulosa bakteri (*nata de coco*) lazim dilakukan sebelum mengubahnya menjadi bentuk bubuk dan gel. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menggunakan 2 metode yang berbeda yaitu menggunakan metode mekanis dan elektrolisis untuk menghancurkan nano-selulosa. Tujuan menggunakan 2 metode yang berbeda adalah membandingkan metode mana yang akan menghasilkan bubuk selulosa yang efektif digunakan untuk tambahan semen komposit. Karena hasil penghacuran dari kedua metode ini memiliki hasil yang berbeda. Metode elektrolisis menghancurkan nata de coco dengan memecah struktur molekul secara halus, sedangkan metode mekanis hanya memecah nata de coco menjadi ukuran yang lebih kecil dan

membuatnya menjadi serat panjang. Peneliti menerapkan metode elektrolisis pada *nata de coco* dengan cara merendamnya pada larutan elektrolit berupa air tawas ($KAl(SO_4)_2$) lalu mengalirinya dengan arus listrik menggunakan adaptor *DC Power Supply* dengan besar arus 12 volt dan 0,2-0,4 miliampere, menggunakan plat aluminium sebagai konduktor. Sedangkan penghancuran *nata de coco* metode mekanis dengan cara menggunakan *blender*.

Berdasarkan pembahasan di atas, maka penelitian dengan judul **“PEMANFAATAN NANO-SELULOSA BAKTERI (*ACETOBACTER XYLINUM*) SEBAGAI BAHAN TAMBAH PEMBUATAN SEMEN KOMPOSIT”** akan dilakukan. Pada penelitian ini nano selulosa yang digunakan berasal dari bakteri *Acetobacter Xylinum* dan akan digunakan sebagai bahan tambahan pada semen komposit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbedaan karakteristik nanomaterial selulosa bakteri yang dihasilkan dengan menggunakan metode elektrolisis dan metode mekanis sebagai bahan tambah pada semen komposit?
2. Bagaimana perbedaan pengaruh nanomaterial selulosa bakteri yang dihasilkan dengan menggunakan metode elektrolisis dan metode mekanis terhadap pengujian kuat tekan dan kuat lentur?
3. Bagaimana nanomaterial selulosa bakteri yang dihasilkan dengan menggunakan metode elektrolisis dan metode mekanis untuk memperkuat mikrostruktur campuran dalam semen (SEM)?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini dibatasi pada :

1. Jenis semen yang akan digunakan adalah PCC merk rajawali.
2. Bakteri dan media kultur yang digunakan sebagai nano selulosa pada penelitian ini adalah *Acetobacter Xylinum* dan air kelapa tua.
3. Sampel dalam penelitian ini akan menggunakan mortar dan pasta. Mortar untuk uji kuat tekan dan uji kuat lentur, pasta untuk uji TGA dan uji SEM. Untuk pengujian kuat

tekan menggunakan ukuran sampel dengan dimensi 40 mm × 40 mm × 40 mm dan untuk pengujian kuat lentur menggunakan dimensi 40 mm × 40 mm × 160 mm.

4. Menggunakan Faktor Air-Semen (FAS) 0,6.
5. Metode penghalusan nano selulosa menggunakan metode mekanis dan metode elektrolisis.
6. Dosis nano selulosa yang ditambahkan dalam semen sebanyak 0,05%, 0,1% dan 0,2% dari berat semen.
7. Umur pengujian sampel :
 - Uji *Thermogravimetric Analysis* (TGA) : 28 hari
 - Uji SEM : 28 hari
 - Uji kuat tekan : 7, 28 dan 56 hari
 - Uji kuat lentur : 7, 28 dan 56 hari
8. Pembuatan sampel mortar akan menggunakan standar ASTM-C 109. Uji yang dilakukan meliputi uji kuat lentur dengan standar ASTM-C 348 dan uji kuat tekan dengan standar ASTM C-349.
9. Pengujian karakteristik kimia meliputi XRD.
10. Pengujian mikrostruktur dan komposisi kimia menggunakan SEM-EDX.

1.4 Tujuan penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan dan menganalisis metode penghalusan dan bahan pembuatan campuran semen komposit menggunakan nano selulosa yang berasal dari bakteri.
2. Menganalisis pengaruh nano-selulosa bakteri terhadap sifat mekanik (kuat tekan dan kuat lentur).
3. Menganalisis karakteristik nano-selulosa sebagai bahan tambah dalam semen komposit.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, adapun manfaat yang diharapkan bagi penelitian ini yaitu :

1. Sebagai sumber referensi untuk penelitian selanjutnya.

2. Memberikan informasi prosedur pembuatan dan pengujian semen komposit dengan pemanfaatan bakteri *Acetobacter Xylinum* berupa *jobsheet* yang dapat digunakan dalam pembelajaran mata kuliah Praktik Uji Bahan.

