

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton dalam industri konstruksi telah menjadi hal yang umum, khususnya dalam pengembangan infrastruktur. Beton dimanfaatkan secara luas dalam berbagai aplikasi struktural dan merupakan bahan yang sangat penting. Untuk itu, diperlukan banyak cara dalam mengoptimalkan potensi penggunaan beton yang saat ini telah banyak penelitian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja beton. Adapun salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas beton adalah melakukan pengujian kekuatan tekan. Selain itu, beton harus memiliki proses pengerasan atau *curing* yang baik sebagai syarat untuk memenuhi kekuatan tekannya. Menurut Neville & Brooks (2010), beton dengan proses *curing* yang baik dapat meningkatkan kekuatan tekan hingga 30% dibandingkan dengan beton yang tidak melalui proses *curing* yang cukup.

Selain kekuatan tekan, kuat tarik belah juga merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja beton untuk melihat capaian mutu strukturalnya. Pada dasarnya beton memiliki kelemahan terhadap gaya tarik, sedangkan, retakan awal yang sering kali terbentuk pada elemen struktural disebabkan oleh tegangan tarik yang melebihi kapasitas beton. Oleh karena itu, pengujian kuat tarik belah menjadi relevan dalam mengevaluasi ketahanan beton terhadap potensi retak. Menurut ACI 224R-01 (2001), kuat tarik belah memiliki hubungan langsung dengan ketahanan retak dan perilaku lentur beton, terutama pada elemen struktural seperti balok, pelat dan kolom. Dengan penambahan material berserat seperti limbah tisu basah, berpotensi memperbaiki sifat tarik beton dengan menahan propagasi retak mikro (*crack bridging*) selama proses pembebanan.

Di samping itu, durabilitas atau ketahanan beton terhadap pengaruh lingkungan eksternal juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan material konstruksi modern saat ini. Beton dengan durabilitas yang baik akan memiliki umur layan yang panjang sehingga lebih minim perawatan. Adapun indikator sederhana yang jarang diperhatikan namun efektif untuk menilai durabilitas jangka panjang adalah pengujian penyerapan air (absorpsi) dan porositas. Beton dengan porositas rendah akan lebih tahan terhadap infiltrasi air dan zat berbahaya lainnya, sehingga resiko kerusakan dini akibat korosi tulangan atau reaksi kimia dapat diminimalkan. Menurut Neville (2011), pengendalian absorpsi dan porositas merupakan kunci utama dalam menghasilkan beton yang tahan lama dan efisien secara struktural.

Selain perlakuan dalam hal evaluasi kinerja beton yang telah dipaparkan sebelumnya, diperlukan juga perlakuan dalam hal perawatan beton yang juga memiliki pengaruh besar dalam menghasilkan beton yang berkualitas. Salah satu metode *curing* atau perawatan beton yang umum digunakan adalah metode *wet curing*, dimana, beton dijaga kelembabannya selama periode tertentu setelah proses pengecoran. Hal ini bertujuan untuk memperlambat proses penguapan air dari beton, sehingga memberikan waktu yang cukup bagi reaksi hidrasi semen secara optimal. Menurut Kosmatka et al

(2002) *wet curing* dapat menghidrasi semen secara menyeluruh, sehingga menjadi penting guna mendapatkan kekuatan dan daya tahan beton yang optimal.

Pada saat yang sama, isu lingkungan yang disebabkan oleh kebutuhan pasokan bahan dalam hal proses pengolahan beton yang melonjak menjadi perhatian utama dalam industri konstruksi. Banyaknya limbah industri yang terbuang dan sulit terurai juga menjadi perhatian umum karena dapat mencemari lingkungan. Limbah tisu basah, yang merupakan salah satu limbah dari industri, memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam beton. Limbah merupakan sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali untuk mengurangi dampak lingkungan dan juga memberikan nilai tambah pada produk beton. Menurut Meyer (2009) penggunaan bahan daur ulang dalam pembuatan beton sebagai pengembangan teknologi bahan dan material konstruksi dapat mengurangi jumlah limbah yang terbuang.

Pabrik tisu basah di Indonesia terletak di banyak daerah seperti Mojokerto, Surabaya, Kabupaten Sidoarjo, Jakarta Barat dan tempat lainnya. Karena ketersediaannya yang melimpah dari berbagai industri pengolahan, limbah tisu basah menjadi subjek penelitian dalam konteks ini. Penggunaan limbah ini tidak hanya dapat mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan, tetapi juga dapat meningkatkan kualitas beton.

Berdasarkan data terbaru dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), total limbah tisu yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 25.000 ton per tahun. Selain itu, berdasarkan survei yang dilakukan oleh *Sigma Research* kepada 1.200 Ibu yang memiliki anak berusia di bawah 2 tahun di 11 kota besar di Indonesia. Beberapa diantaranya adalah Jakarta, Medan, Bandung, Semarang, Surabaya, Balikpapan dan Makassar. Hampir 70% Ibu menggunakan tisu basah untuk kebutuhan harian anaknya. Satu ibu dapat menghabiskan kurang lebih 6 – 10 lembar tisu basah setiap hari, atau bahkan dapat mencapai lebih dari 15 lembar per harinya. Dari survei tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan tisu basah harian memberikan sumbangsi limbah yang cukup besar setiap harinya. Pemerintah juga telah berupaya mengambil langkah-langkah untuk meningkatkan pengelolaan limbah di Indonesia, akan tetapi masih diperlukan banyak upaya.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, penelitian tentang penambahan material baru pada beton dari limbah tisu basah menjadi relevan. Hal ini sejalan dengan upaya untuk mengurangi jejak karbon, memanfaatkan kembali limbah dan mengembangkan teknologi konstruksi yang lebih ramah lingkungan. "Integrasi limbah dalam bahan konstruksi merupakan langkah penting menuju ekonomi sirkular dan pengurangan emisi karbon di sektor konstruksi" (Yu et al., 2021). Meskipun telah banyak penelitian yang mengkaji pengaruh penambahan limbah pada beton, namun masih terdapat gap terkait dengan pengaruh pemanfaatan limbah tisu basah terhadap kekuatan tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton melalui metode *wet curing*. "Pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana limbah industri dapat dimanfaatkan dalam komposisi beton dapat membuka jalan bagi inovasi bahan bangunan yang lebih berkelanjutan" (Torgal & Jalali, 2011).

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan beton yang ramah lingkungan dan tetap memenuhi standar yang dibutuhkan dalam aplikasi konstruksi. Menurut Marinković et al (2017), temuan penelitian

ini akan berkontribusi pada pembentukan standar baru untuk penggunaan limbah sebagai bahan tambahan dalam beton, yang pada akhirnya akan meningkatkan keberlanjutan di industri konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah disusun untuk memperjelas permasalahan pokok yang menjadi dasar dilaksanakannya penelitian. Adapun rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah tisu basah terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan durabilitas (Absorpsi) beton dari berat semen dengan variasi penambahan 0.15%, 0.20% dan 0.25% pada umur 7, 14 dan 28 hari?
2. Bagaimana pola retak yang dihasilkan melalui pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah?
3. Bagaimana korelasi antara kuat tekan, kuat tarik belah dan durabilitas (absorpsi)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berfungsi untuk menjelaskan sasaran utama yang ingin dicapai dari kegiatan penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengungkapkan pengaruh penambahan limbah tisu basah terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan durabilitas (absorpsi) beton dari berat semen dengan variasi penambahan 0.15% dan 0.20% dan 0.25% pada umur 7, 14 dan 28 hari.
2. Mengungkapkan pola retak yang dihasilkan melalui pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah.
3. Menghasilkan penjabaran korelasi antara kuat tekan, kuat tarik belah dan durabilitas (absorpsi).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi:

1. Pengembangan Teknologi Konstruksi
Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan teknologi konstruksi yang lebih inovatif dan berkelanjutan, mengintegrasikan limbah ke dalam bahan bangunan sehingga dapat menjadi pijakan bagi pengembangan material konstruksi di masa mendatang.
2. Referensi dan Acuan
Temuan penelitian dapat menjadi referensi dan acuan bagi peneliti, praktisi dan industri konstruksi dalam mengembangkan dan meningkatkan pembuatan beton yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dari penelitian ini mencakup:

1. Fokus pada kuat tekan, kuat tarik dan durabilitas
 Penelitian ini berfokus pada analisis kekuatan tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton sebagai parameter utama yang dievaluasi. Aspek lain seperti ketahanan terhadap korosi, permeabilitas dan sifat-sifat lain dari beton tidak dibahas dalam penelitian ini.
2. Skala laboratorium
 Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, sehingga hasilnya tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi yang terjadi di lapangan pada skala yang lebih besar.
3. Waktu *curing*
 Durasi waktu *curing* yang digunakan dalam penelitian ini menjadi faktor pembatas (28 hari), dimana variasi waktu *curing* yang lebih luas tidak diteliti.
4. Penggunaan material lain
 Penelitian ini tidak mencakup penggunaan material bahan tambah lain selain limbah tisu basah. Penggunaan bahan tambah lain yang umum digunakan dalam industri beton, seperti *fly ash* atau *slag*, tidak dibahas dalam penelitian ini.
5. Variasi jumlah limbah
 Penelitian ini membatasi variasi jumlah limbah yang ditambahkan ke dalam campuran beton (yaitu 0.15%, 0.20% dan 0.25%).
6. Kondisi lingkungan
 Faktor-faktor lingkungan tertentu seperti suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi hasil penelitian, namun penelitian ini tidak mencakup semua variasi kondisi lingkungan.
7. Ukuran sampel
 Penelitian ini menggunakan ukuran sampel yang terbatas dalam pengujian kekuatan tekan beton (menggunakan silinder beton berukuran 10 x 20 cm), sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati.

Dengan memperhatikan batasan-batasan ini, penelitian dapat tetap memberikan kontribusi yang bernilai dalam konteks penggunaan limbah tisu basah pada beton melalui metode *wet curing*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini disusun untuk memberikan kerangka yang teratur dan terarah sehingga setiap bagian penelitian disajikan secara runtut, logis dan saling berkaitan. Penyusunan ini bertujuan memudahkan pembaca memahami alur penelitian mulai dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan, hingga kesimpulan dan saran, sekaligus memastikan tesis ini memenuhi kaidah pedoman penulisan yang sesuai. Adapun sistematika penulisan terbagi atas:

1. Bagian Awal

Bagian awal tesis terdiri dari halaman judul, halaman pengajuan, halaman pengesahan tesis, pernyataan keaslian tesis, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran.

2. Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian yang menguraikan permasalahan penggunaan beton di industri konstruksi, urgensi pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan durabilitas (absorpsi), perlakuan metode perawatan *wet curing* serta potensi pemanfaatan limbah tisu basah dalam beton yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Rumusan masalah dirumuskan dalam bentuk pertanyaan penelitian yang menjadi fokus kajian. Tujuan penelitian memaparkan sasaran yang hendak dicapai, sedangkan manfaat penelitian menjelaskan kontribusi praktis dan akademis yang dihasilkan. Batasan penelitian menguraikan ruang lingkup, parameter yang diuji, skala laboratorium, dan kondisi yang tidak dibahas. Keaslian penelitian memuat ringkasan studi yang memperlihatkan *research gap* serta kebaruan dalam penelitian, sementara alur pikir menggambarkan logika penelitian dari permasalahan hingga kesimpulan. Selain itu, terdapat penyajian landasan teori mulai dari konsep dasar beton, macam-macam pengujian beton serta pemaparan teori dan teknis lainnya.

3. Bab II Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan secara rinci metode yang digunakan dalam penelitian. Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif, dilaksanakan di Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan Universitas Hasanuddin. Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, terikat, dan kontrol, termasuk variasi persentase limbah tisu basah yang digunakan. Bahan dan alat yang digunakan dijelaskan secara detail, mulai dari semen, agregat, air hingga peralatan uji yang digunakan dipaparkan secara rinci. Tahapan penelitian diuraikan mulai dari persiapan bahan, pemeriksaan material, perhitungan *mix design*, pembuatan beton segar, pengujian *slump*, pencetakan benda uji, proses *wet curing*, hingga pengujian kuat tekan, kuat tarik, durabilitas dan pengecekan pola retak. Bagian ini diakhiri dengan penjelasan tentang pengolahan dan analisis data serta alur penelitian.

4. Bab III Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pengujian beton yang telah dilakukan, meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, durabilitas (absorpsi) dan pola retak pada setiap variasi penambahan limbah tisu basah. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik serta melakukan observasi penampang untuk memudahkan interpretasi. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan standar teknis serta penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi kesesuaian dan keunggulan hasil yang akan dipaparkan. Pembahasan dilakukan secara mendalam untuk menjelaskan hubungan antara hasil penelitian dengan teori yang ada, serta faktor-faktor yang mempengaruhi hasil.

5. Bab IV Kesimpulan dan Saran

Bab ini merangkum temuan utama penelitian yang secara langsung menjawab rumusan masalah. Kesimpulan diuraikan dalam bentuk tabel untuk memperlihatkan

keterkaitan dari hasil penelitian dan tujuan penelitian. Saran diberikan sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya agar kajian terkait pemanfaatan serat limbah tisu basah dapat dikembangkan lebih luas.

6. Bagian Akhir

Bagian akhir memuat daftar pustaka yang berisi referensi yang digunakan dalam penyusunan tesis. Lampiran juga disertakan untuk menyajikan data pendukung seperti hasil pengujian karakteristik material, perhitungan *mix design*, dokumentasi penelitian, hasil olah data serta pendukung lainnya yang relevan dengan penelitian.

1.7 Keaslian Penelitian

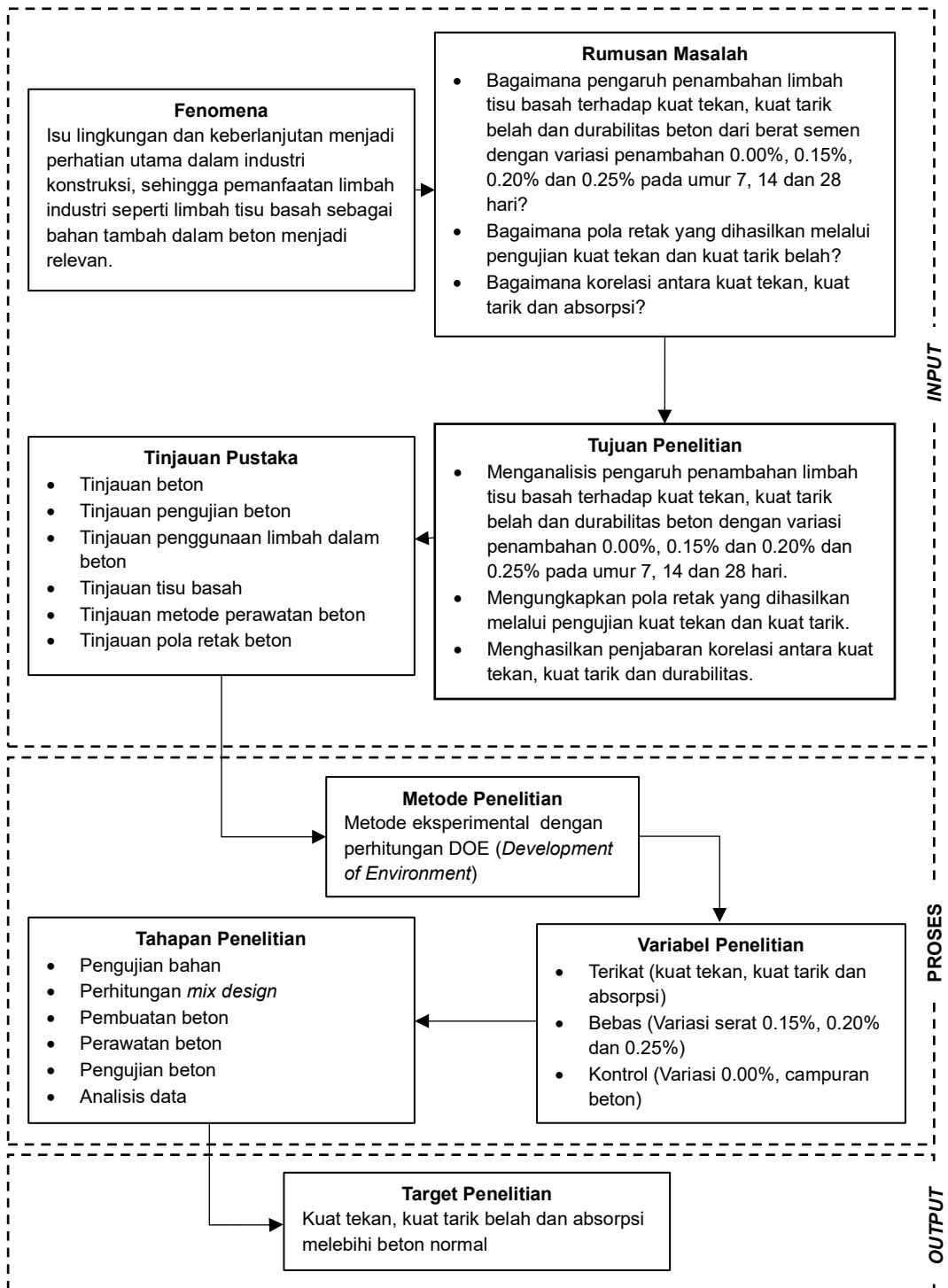
Tabel 1. Keaslian penelitian

Peneliti	Tumpu et al.	Kilmartin-Lynch et al.	Bahij et al.	El Aal et al.	Alia Salsabila Farhani
Tahun Penelitian	2019	2021	2022	2022	2025
Judul Penelitian	<i>The Effect of Textile on Compressive Strength of Concrete</i>	<i>Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibers from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete</i>	<i>Effect of Non-Woven Polyethylene Terephthalate (PET) Tissue on Fresh and Hardened Properties of Concrete</i>	<i>Advances on concrete strength properties after adding polypropylene fibers from health personal protective equipment (PPE) of COVID-19: Implication on waste management and sustainable environment</i>	<i>Analisis Penambahan Limbah Tisu Basah Pada Kuat Tekan, Kuat Tarik Dan Durabilitas Beton Dengan Metode Wet Curing</i>
Cetakan	Kubus 100 x 100 x 100 mm ³	Silinder 100 x 200 mm untuk uji kuat tekan dan Silinder 150 x 300 mm untuk uji kuat tarik belah	Silinder 100 x 200 mm	Kubus 100 x 100 x 100 mm ³ untuk uji kuat tekan, pengujian lainnya menggunakan silinder 100 x 200 mm	Silinder 100 x 200 mm

	Uji kuat tekan beton	Uji kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan kecepatan gelombang ultrasonik beton (UPV)	Uji kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, kecepatan gelombang ultrasonik beton (UPV)	Uji kuat tekan beton, kuat tarik belah, kuat lentur dan kecepatan gelombang ultrasonik (UPV)	Uji Kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi
Variabel	Variasi beton 0%, 0.1%-1% dari berat beton	Variasi beton 0%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25% dari volume beton	Variasi beton 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%	Variasi beton 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2.0%, 2.5% dari volume beton	Variasi beton 0.00%, 0.15%, 0.20%, 0.25% dari berat semen
	Serat tekstil ukuran 25 x 5 mm	Serat masker sekali pakai 20 x 5 mm	Serat <i>non-woven</i> 10 x 10 mm	Serat Alat Pelindung Diri (APD) 10 x 10 mm	Serat tisu basah 2 x 15 mm
	Pengujian pada umur 14 dan 28 hari	Pengujian pada umur 28 hari	Pengujian pada umur 7, 14, 28 hari	Pengujian pada umur 28 hari	Pengujian pada umur 7, 14, 28 hari
	Wet curing	Wet curing	Wet curing	Wet curing	Wet curing
Kekuatan Beton	Rencana f'c 20 MPa	-	-	-	Rencana f'c 20 MPa

Berdasarkan tabel diatas, belum dilakukan kajian mendalam terkait material limbah tisu basah yang menjadikan penelitian ini mampu memberikan kontribusi baru dalam konteks pemanfaatan serat dan limbah rumah tangga non konvensional. Adapun gap yang membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah metode pencampuran serat, dimana, penelitian sebelumnya menambahkan serat dalam kondisi kering yang dapat mengganggu proses hidrasi semen. Sedangkan penelitian ini menambahkan serat dalam kondisi SSD yang terkontrol. Selain itu, pengujian absorpsi belum banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah penelitian sebelumnya sekaligus memberikan kontribusi baru dalam pemanfaatan limbah.

1.8 Alur Pikir



1.9 Konsep Dasar Beton

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari campuran semen, air, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan bahan tambahan lainnya (*admixture*) jika diperlukan. Beton memiliki sifat kuat dan tahan lama, sehingga menjadikannya material yang ideal untuk konstruksi bangunan dan infrastruktur.

1.9.1 Proses Pembentukan Beton

Proses pembentukan beton merupakan tahapan penting yang bertujuan menghasilkan benda uji yang berkualitas dan sesuai dengan standar dan rencana campuran. Adapun tahapan pembentukan beton sebagai berikut:

1. Pencampuran

Semen, air, agregat halus dan agregat kasar dicampur dengan perhitungan yang tepat atau biasa disebut dengan *mix design*. *Mix design* berperan penting dalam menentukan kualitas beton yang dihasilkan.

2. Pengadukan

Seluruh bahan beton dicampur hingga merata dan homogen. Pengadukan yang baik dan konsisten akan menghasilkan beton yang seragam dan kuat.

3. Pengecoran/pencetakan

Campuran beton segar kemudian dituang ke dalam cetakan yang telah disiapkan dan telah dilumuri oli agar proses pelepasan cetakan dapat dilakukan dengan mudah. Cetakan harus bersih, kuat dan kedap air.

4. Pemadatan

Beton yang telah dicetak dipadatkan untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap. Pemadatan dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti menggunakan *vibrator*, *stamping*, atau *rodding* dengan merojok beton sebanyak 25 kali.

5. Pengeringan dan Perawatan

Beton dibiarkan selama 24 jam sampai mengeras kemudian dilakukan perawatan beton dengan cara menutup permukaan beton atau melakukan penyiraman air secara berkala untuk memastikan proses hidrasi semen berjalan optimal. Dalam skala laboratorium, beton dapat direndam di dalam bak perendaman atau disemprot secara berkala. Hidrasi semen adalah proses kimia yang menghasilkan ikatan antara semen dan agregat.

1.9.2 Sifat-sifat Beton

Beton memiliki beberapa sifat penting yang membuatnya menjadi material ideal untuk konstruksi bangunan diantaranya:

1. Kekuatan tekan
Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, sehingga mampu menahan beban tekan yang besar. Kekuatan tekan beton diukur dalam satuan MPa (*Megapascal*).
2. Ketahanan
Beton tahan terhadap cuaca dan serangan kimia, sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Ketahanan lama beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kualitas material, *mix design* serta perawatannya.
3. Kemampuan kerja
Beton mudah dibentuk dan diaplikasikan pada berbagai bentuk struktur. Kemampuan kerja beton juga dipengaruhi oleh *slump* yang biasa disebut *workability* atau kemampuan dan kemudahan beton dalam pencampuran tanpa kehilangan homogenitas.
4. Harga yang ekonomis
Beton merupakan material yang relatif murah dibandingkan dengan material konstruksi lainnya dan banyak dimanfaatkan karena ketahanannya. Biaya beton dipengaruhi oleh harga material dan biaya pengerjaan.

1.9.3 Jenis-jenis Beton

Terdapat berbagai jenis beton yang dapat dikategorikan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain:

Tabel 2. Jenis-jenis beton

No.	Klasifikasi	Jenis	Kegunaan
1	Kekuatan	Beton normal	Kekuatan tekan berkisar antara 10 - 30 MPa.
		Beton mutu tinggi	Kekuatan tekan > 30 MPa.
2	Berat	Beton normal	Berat jenis sekitar 2400 kg/m ³ .
		Beton ringan	Berat jenis < 2000 kg/m ³ .
3	Metode pembuatan	Beton pracetak	Dibuat di pabrik dan kemudian diangkut ke lokasi proyek
		Beton tuang di tempat	Dibuat langsung di lokasi proyek
4	Tulangan	Beton bertulangan	Diperkuat dengan tulangan baja untuk meningkatkan kekuatan tariknya.
		Beton tanpa tulangan	Tidak diperkuat dengan tulangan baja.

Pemaparan klasifikasi beton berdasarkan tabel 2 terbagi atas beberapa parameter termasuk kekuatan beton, berat jenis, metode pembuatan serta penggunaan tulangan. Pemilihan jenis beton yang tepat dapat mempengaruhi efisiensi struktural dan daya

tahan atau durabilitas beton untuk jangka waktu yang panjang dikarenakan masing-masing parameter memiliki standar pembuatan dan metode yang di Indonesia sendiri umumnya menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI).

1.9.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kualitas Beton

Kualitas beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Kualitas material

Semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus berkualitas baik. Maka dari itu, diperlukan pengecekan kelayakan masing-masing material agar beton yang dihasilkan berkualitas.

2. *Mix design*

Mix design harus tepat untuk menghasilkan beton yang sesuai dengan kebutuhan. Perhitungan campuran perlu dilakukan dengan hati-hati karena perbandingan campuran juga sangat mempengaruhi hasil akhir kekuatan beton. Proses perhitungan *mix design* harus memperhatikan hasil uji karakteristik bahan agar mendapatkan perbandingan campuran yang sesuai.

3. Proses pengerjaan

Pencampuran, pengadukan, pengecoran serta pemadatan harus dilakukan dengan benar. Pada proses ini, metode pengerjaan yang digunakan juga menjadi fokus utama karena harus memperhatikan tahapan pencampuran beton seperti tahapan memasukan bahan sebelum dilakukan pengadukan, konsistensi waktu pengadukan serta pemadatan agar tidak terbentuk void atau rongga di dalam beton.

4. Perawatan

Beton harus dirawat dengan benar selama proses hidrasi semen. Perawatan beton juga menjadi faktor utama keberhasilan pembuatan beton dikarenakan terdapat beberapa jenis metode perawatan yang dapat dilakukan agar hidrasi semen dapat diatasi dengan baik sehingga beton dapat melakukan *curing* dan menghasilkan beton yang berkualitas.

Beton merupakan material yang penting dalam konstruksi bangunan dan infrastruktur. Dengan sifat-sifatnya yang kuat, tahan lama, mudah dibentuk dan ekonomis, beton menjadi pilihan ideal untuk berbagai jenis struktur.

1.10 Macam-macam Pengujian Beton

Beton sebagai material konstruksi harus memenuhi berbagai persyaratan teknis yang tidak hanya mencakup kekuatan mekanik tetapi juga daya tahannya terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengujian beton dilakukan secara menyeluruh baik secara destruktif maupun non-destruktif untuk memastikan kualitas dan umur layan struktur beton. Adapun pengujian beton terbagi atas:

Tabel 3. Macam-macam pengujian beton

No	Jenis Pengujian	Tujuan Pengujian	Acuan Standar
1	Kuat Tekan Beton	Mengetahui daya tahan beton terhadap beban tekan	(SNI 1974:2011, 2011) / (ASTM C39, 2003)
2	Kuat Tarik Belah Beton	Menilai kekuatan beton terhadap gaya tarik	(SNI 2491:2014, 2014)
3	Kuat Lentur Beton	Menguji kekuatan beton dalam kondisi lenturan	(SNI 03-4431-1997, 1997) / (ASTM C78, 2010)
4	Penyerapan Air	Menilai daya tahan beton terhadap serapan air sebagai indikator durabilitas	(SNI 03-6434-2000, 2000)
5	Porositas Beton	Menentukan volume rongga dalam beton yang berpengaruh pada kekuatan dan ketahanan	(Literatur teknis umum)
6	Permeabilitas Air	Mengetahui seberapa mudah air menembus beton	(ASTM D5084 24, 2010) / internal
7	<i>Rebound Hammer Test (Schmidt Hammer)</i>	Mengukur kuat tekan permukaan beton secara non-destruktif	(ASTM C805, 2008)
8	<i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)</i>	Menilai kepadatan dan homogenitas beton menggunakan gelombang ultrasonik	(ASTM C597, 2002)
9	Ketahanan Sulfat/Klorida	Menguji ketahanan beton terhadap lingkungan kimia agresif	(ASTM C1012, 2018) / internal
10	<i>Freeze–Thaw Resistance</i>	Menilai ketahanan beton terhadap siklus pembekuan dan pencairan	(ASTM C666, 2003)

Pengujian kuat tekan beton (*compressive strength test*) merupakan uji dasar yang paling umum dilakukan untuk menentukan mutu beton sesuai dengan SNI 1974:2011. Pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder atau kubus yang ditekan secara aksial hingga pecah. Selain itu, uji kuat tarik belah beton (*splitting tensile strength test*) dan uji kuat lentur beton (*flexural strength test*) juga penting untuk menilai kemampuan beton dalam menahan gaya tarik dan lentur, mengingat beton secara alami memiliki kelemahan dalam aspek tersebut.

Dalam hal durabilitas, dapat dilakukan beberapa jenis pengujian fisik, seperti uji penyerapan air, porositas dan permeabilitas. Penyerapan air dan porositas memberikan gambaran terhadap potensi beton menyerap air dan kemudahan bahan kimia agresif

dapat masuk ke dalam struktur beton. Beton yang baik memiliki nilai penyerapan air kurang dari 5% dan porositas kurang dari 15%.

Selain pengujian destruktif, terdapat juga metode non-destruktif seperti *rebound hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV). *Rebound hammer test* digunakan untuk menilai kekuatan permukaan beton secara cepat di lapangan, sementara UPV digunakan untuk menilai kepadatan dan mendeteksi adanya retakan internal dalam beton.

Dalam konteks penelitian ini, pengujian yang paling relevan meliputi uji kuat tekan, uji kuat tarik belah dan uji penyerapan air. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menilai sejauh mana tisu basah mempengaruhi kekuatan dan ketahanan beton baik dalam aspek struktural maupun durabilitas jangka panjang. Pengujian ini dilakukan sebagai uji awal dikarenakan pemanfaatan serat limbah tisu basah belum banyak digunakan dalam aspek penambahan ke dalam beton. Penelitian lainnya seperti uji kuat lentur, permeabilitas, klorida dan lainnya tidak dilakukan dalam penelitian ini.

1.11 Penggunaan Limbah dalam Beton

Penggunaan limbah dalam beton merupakan salah satu cara untuk meningkatkan keberlanjutan dan mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan. Beberapa jenis limbah yang dapat dimanfaatkan dalam beton antara lain:

1. Limbah agregat
Limbah beton, batu bata, keramik dan aspal dapat dihancurkan dan digunakan kembali sebagai pengganti agregat kasar atau halus ke dalam beton baru.
2. Limbah bubuk batu bara (*fly ash*)
Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang dapat digunakan sebagai bahan tambah semen (*admixture*) untuk meningkatkan *workability* dan kekuatan beton.
3. Limbah *slag*
Slag adalah limbah hasil produksi baja yang dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar atau halus dalam beton.
4. Limbah plastik
Limbah plastik dapat diolah menjadi serat atau partikel kecil dan digunakan sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton. Limbah plastik saat ini banyak dimanfaatkan karena buangan limbahnya yang melimpah tetapi dapat dimanfaatkan kembali sebagai pengganti maupun bahan tambah dalam beton.

Proporsi limbah yang digunakan dalam beton juga tergantung pada beberapa faktor, yaitu:

1. Jenis limbah
Setiap jenis limbah memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga proporsi penggunaannya juga berbeda.

2. Karakteristik beton
Proporsi limbah harus disesuaikan dengan kekuatan tekan, *workability* dan ketahanan lama beton yang diinginkan.
3. Ketersediaan limbah
Proporsi limbah yang digunakan dapat disesuaikan dengan ketersediaan limbah di lokasi proyek. Faktor ini memudahkan pengumpulan limbah sehingga mampu menekan biaya tambahan lain.

1.12 Kelebihan dan kekurangan Penggunaan Limbah dalam Beton

Penggunaan limbah dalam beton memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Mengurangi penggunaan sumber daya alam
Penggunaan limbah sebagai bahan baku beton dapat mengurangi penggunaan sumber daya alam seperti pasir, kerikil dan batu bara.
2. Mengurangi emisi gas rumah kaca
Produksi semen dan agregat merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan. Penggunaan limbah dalam beton dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.
3. Mengurangi pembuangan limbah
Penggunaan limbah dalam beton dapat mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA).
4. Meningkatkan sifat beton
Beberapa jenis limbah, seperti *fly ash* dan *slag*, dapat meningkatkan sifat beton seperti *workability*, kekuatan dan ketahanan beton.

Penggunaan limbah dalam beton juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya:

1. Memerlukan penelitian dan pengujian yang lebih dalam untuk memastikan kualitas beton dengan penggunaan limbah dalam beton.
2. Adanya potensi efek negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan jika limbah tidak diolah dengan benar. Oleh sebab itu, pengolahan limbah juga memerlukan banyak prosedur dan harus ditangani secara tepat agar tidak merugikan pengguna di masa yang akan datang.

1.13 Tantangan dan Persyaratan

Penggunaan limbah dalam beton masih memiliki banyak tantangan, diantaranya:

1. Ketersediaan limbah
Ketersediaan limbah yang berkualitas baik masih menjadi kendala. Diakibatkan minimnya pengolahan limbah di Indonesia, sampah buangan lebih banyak dibuang secara cuma-cuma tanpa pengolahan lanjutan.

2. Variabilitas sifat limbah

Sifat limbah dapat bervariasi, sehingga perlu dilakukan pengujian dan kontrol kualitas yang ketat. Limbah buangan memiliki karakteristik masing-masing sehingga diperlukan pengecekan dan pengujian terkait kelayakan limbah.

3. Dampak lingkungan

Penggunaan beberapa jenis limbah seperti *fly ash* dapat berdampak negatif terhadap lingkungan jika tidak diolah dengan benar.

Meskipun terdapat beberapa tantangan, penggunaan limbah dalam beton merupakan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi yang kian banyak. Dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, penggunaan limbah dalam beton dapat menjadi praktik yang lebih umum dan diterima secara luas.

Penggunaan limbah dalam beton memiliki banyak manfaat, seperti mengurangi penggunaan sumber daya alam, emisi gas rumah kaca dan pembuangan limbah. Standar Nasional Indonesia (SNI) yang secara khusus mengatur tentang penggunaan limbah dalam beton (SNI 03-6468-2000) tentang Penggunaan Limbah Industri dan Limbah Domestik Sebagai Bahan Baku Agregat Dalam Beton. Limbah yang digunakan dalam beton harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu:

1. Bebas dari bahan pencemar

Limbah tidak boleh mengandung bahan pencemar yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

2. Memiliki karakteristik yang sesuai

Limbah harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan beton, seperti kuat tekan, *workability* dan ketahanan beton.

3. Telah melalui proses pengolahan

Limbah harus diolah terlebih dahulu untuk menghilangkan bahan pencemar dan memastikan karakteristiknya sesuai dengan kebutuhan beton.

1.14 Kain Nonwoven

Kain nonwoven merupakan jenis kain yang dibuat tanpa melalui proses menenun atau merajut, melainkan dengan menggabungkan serat atau filamen melalui berbagai metode mekanis, termal atau kimia. Kain nonwoven memiliki struktur yang khas dan memiliki berbagai karakteristik yang bermanfaat untuk berbagai aplikasi di industri maupun penggunaan konsumen.

1.14.1 Proses Produksi Kain Nonwoven

Terdapat beberapa proses produksi kain nonwoven yang umum dilakukan di industri untuk menghasilkan kain-kain yang berkualitas dan banyak dimanfaatkan dalam keseharian. Beberapa diantaranya ada proses:

1. *Spunbond*

Serat sintetis, seperti *polypropylene* atau *polyester*, dipanaskan dan diekstrusi (dikeluarkan) melalui spinneret untuk menghasilkan filamen benang yang kemudian dihamparkan secara acak atau terarah di atas conveyor belt. Filamen-filamen ini kemudian digabung melalui proses termal menggunakan rol panas atau udara panas.

2. *Meltblown*

Polimer dipanaskan dan diekstrusi (dikeluarkan) melalui *nozzle* yang sangat kecil, kemudian dihembuskan oleh udara panas sampai membentuk filamen yang sangat halus. Hasil dari pembuatan serat ini sering dimanfaatkan dalam aplikasi filtrasi dan penyerapan karena seratnya yang tipis dan halus sehingga memiliki kemampuan menahan partikel kecil.

3. *Needle-Punching*

Serat-serat (baik alami maupun sintetis) disusun dalam lapisan kemudian ditusuk berulang kali menggunakan jarum yang memiliki pengait untuk mengait kemudian menggabungkan dan mengunci serat-serat tersebut. Pembuatan serat ini menghasilkan kain yang memiliki tekstur yang tebal dan kokoh sehingga sering digunakan untuk membuat karpet dan bahan penyekat.

4. *Hydroentangling (Spunlace)*

Serat-serat ditempatkan secara acak di atas *conveyor belt*, kemudian disemprot menggunakan air bertekanan tinggi sampai serat-serat saling mengikat tanpa menggunakan perekat/lem. Kain yang dihasilkan sangat lembut dan lentur, umumnya digunakan dalam produk perawatan pribadi seperti tisu basah dan kapas kosmetik.

5. *Chemical Bonding*

Serat-serat digabung menggunakan perekat kimia yang kemudian diberi panas atau uap sampai serat-serat menyatu. Metode ini sering digunakan dalam pembuatan kain tekstil yang memiliki karakteristik khusus seperti kain anti air atau tahan api.

1.14.2 Karakteristik Kain Nonwoven

Kain nonwoven memiliki karakteristik diantaranya:

1. Serbaguna

Dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi mulai dari produk kesehatan dan kebersihan hingga konstruksi dan otomotif.

2. Kuat dan Tahan Lama

Walaupun tanpa tenunan, kain nonwoven sangat kokoh dan tahan lama bergantung pada metode pembuatannya.

3. Ringan

Umumnya sangat ringan dibandingkan dengan kain tenun atau rajut lainnya.

4. Ekonomis

Proses produksi umumnya lebih cepat dan lebih murah dibandingkan dengan proses tenun atau rajut.

1.14.3 Properties PET dalam Kain Nonwoven

1. $[\eta]$ (*Intrinsic Viscosity*, IV) $> 0.7 \text{ dl g}^{-1}$
IV mengukur kekentalan larutan PET dalam pelarut tertentu dan mengaitkannya dengan berat molekulnya. Nilai $>0.7 \text{ dl/g}$ menunjukkan bahwa PET memiliki berat molekul yang cukup besar dalam mempertahankan sifat mekanis dan termal yang baik.
2. T_m (*Melting Temperature*) $> 240^\circ\text{C}$
Suhu leleh $> 240^\circ\text{C}$ menunjukkan bahwa PET memiliki tingkat kristal yang cukup tinggi, dimana PET memiliki ketahanan panas yang baik sehingga cocok digunakan untuk aplikasi industri seperti tekstil dan bahan bangunan.
3. *Water Content* $< 0.02 \text{ wt}\%$
Kandungan air $< 0.02\%$ menunjukkan bahwa PET memiliki tingkat kelembaban yang sangat rendah, sehingga kemungkinan terjadi hidrolisis saat dipanaskan menjadi minim.
4. *Flake Size* $0.4 < D < 8 \text{ mm}$
Serpihan dengan ukuran antara 0.4 hingga 8 mm merupakan serpihan yang paling optimal untuk proses peleburan dan pembuatan kembali produk berbasis PET tanpa menimbulkan masalah dalam proses pencampuran atau pemrosesan ekstrusi.
5. *Dyestuff Content* $< 10 \text{ ppm}$
Kandungan pewarna $<10 \text{ ppm}$ menandakan bahwa tingkat pewarna dalam material PET sangat rendah sehingga menjadi krusial untuk menjaga transparansi dan kemurnian warna PET dalam pengaplikasiannya pada kemasan makanan dan tekstil.
6. *Yellowing Index* < 20
Indeks penguningan < 20 menunjukkan bahwa PET masih dalam keadaan baik dan belum mengalami degradasi atau penurunan yang signifikan yang dapat mempengaruhi tampilan atau karakteristik mekanisnya.
7. *Metal Content* $< 3 \text{ ppm}$
Kandungan logam $<3 \text{ ppm}$ menunjukkan bahwa kontaminasi logam sangat rendah, yang penting untuk menjaga kemurnian dan sifat fisik PET, khususnya dalam penggunaan kemasan untuk makanan dan obat-obatan.
8. *PVC Content* $< 50 \text{ ppm}$
PVC (*Polyvinyl Chloride*) $<50 \text{ ppm}$ menunjukkan bahwa hampir tidak ada kontaminasi PVC.
9. *Polyolefin Content* $< 10 \text{ ppm}$
Poliolefin (seperti polietilena dan polipropilena) $<10 \text{ ppm}$ menunjukkan bahwa PET memiliki kemurnian tinggi dengan sangat sedikit kontaminasi dari plastik lain. Hal ini menjadi penting dikarenakan poliolefin memiliki titik leleh lebih rendah dan dapat menyebabkan kerusakan atau cacat pada produk akhir jika jumlahnya terlalu tinggi.

1.14.4 Structural Properties of r-PET and v-PET Fbers

Tabel ini membandingkan karakteristik struktural antara v-PET dan r-PET berdasarkan beberapa parameter diantaranya:

Tabel 4. Karakteristik struktural PET

Parameter	Penjelasan
<i>Fiber Type</i>	Jenis serat: v-PET (<i>virgin</i>) dan r-PET (<i>recycled</i>).
<i>Crimp</i> (1 cm)	Jumlah lekukan atau tekstur dalam setiap 1 cm serat. Serat v-PET memiliki lebih banyak <i>crimp</i> dibandingkan r-PET yang menunjukkan bahwa v-PET lebih bertekstur dibandingkan r-PET.
<i>Fiber Strength</i> (cN/dtex)	Kekuatan serat dalam satuan centiNewton per dtex (daytex, ukuran linear density serat). Serat r-PET memiliki kekuatan tarik lebih tinggi (5.06 cN/dtex) dibandingkan v-PET (3.39 cN/dtex), yang berarti r-PET lebih tahan terhadap gaya tarik.
<i>CV Strength</i> (%)	Koefisien variasi kekuatan serat. Nilai lebih rendah menunjukkan serat lebih seragam dalam kekuatannya. Serat r-PET memiliki variasi yang lebih kecil (14.4%) dibandingkan v-PET (17.9%), artinya r-PET lebih konsisten dalam kekuatan tariknya.
<i>Breaking Extension</i> (%)	Persentase perpanjangan serat sebelum putus. Serat r-PET memiliki <i>breaking extension</i> lebih tinggi (44.75%) dibandingkan v-PET (31.07%), menunjukkan bahwa r-PET lebih elastis atau dapat meregang lebih jauh sebelum putus.
<i>CV Breaking Extension</i> (%)	Koefisien variasi dari perpanjangan sebelum putus. Nilai lebih tinggi berarti perbedaan antar sampel lebih besar. r-PET memiliki nilai 25.22%, lebih tinggi dibandingkan v-PET (19.1%), yang berarti ada sedikit lebih banyak variasi dalam elastisitas serat r-PET dibandingkan v-PET.
<i>Fiber Fineness</i> (dtex)	Kehalusan serat dalam satuan dtex. Kedua jenis serat memiliki nilai yang sama (3 dtex), menunjukkan bahwa kehalusan serat r-PET dan v-PET adalah setara.
<i>Fiber length</i> (mm)	Panjang serat. Kedua jenis serat memiliki panjang yang sama (60 mm).

Sumber: Gaffin & Imhoff (2017)

1. *Drape* (%)

Drape mengukur kemampuan kain untuk jatuh dan membentuk lipatan alami. Nilai *drape* berkisar antara 88.68% (rendah) hingga 98.60% (tinggi). Kain dengan 100% v-PET memiliki *drape* tertinggi, sedangkan kain dengan 100% r-PET memiliki *drape*

yang lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa r-PET membuat kain lebih kaku dibandingkan v-PET.

2. **Bending Rigidity** (mg.cm) - Kekakuan Tekukan
Mengukur seberapa kaku kain dalam arah MD (*Machine Direction*) dan CD (*Cross Direction*).
3. **Tensile Strength** (N) - Kekuatan Tarik
Mengukur kekuatan kain saat ditarik hingga putus dalam arah MD dan CD. Semakin tinggi nilai *tensile strength*, semakin kuat kain menahan tarikan. Kain berbahan r-PET lebih kuat secara mekanis dibandingkan v-PET.
4. **Breaking Elongation** (%) - Kemampuan Regang Sebelum Putus
Menilai sejauh mana kain dapat meregang sebelum putus. Nilai *breaking elongation* bervariasi antara 11.77% sampai 26.15%. Kain berbasis v-PET lebih elastis dibandingkan kain r-PET. r-PET cenderung lebih kaku dan kurang fleksibel dibandingkan v-PET.
5. **Weight and Thickness Value of Results**
 - a) Berat kain (*Weight* g/m²)
Kain 100% PES memiliki berat tertinggi (70.52 g/m²).
Kain 50% PES/50% CV memiliki berat terendah (50.43 g/m²).
Berat kain berpengaruh terhadap kepadatan dan ketebalan kain.
 - b) Ketebalan kain (*Thickness* mm)
Ketebalan bervariasi dari 0.51 mm hingga 0.90 mm.
60/40% PES/CV memiliki ketebalan tertinggi (0.90 mm).
100% PES memiliki ketebalan terendah (0.51 mm).
 - c) Porositas (%)
Hampir semua kain memiliki porositas tinggi (99.9%) yang menandakan kain memiliki ruang kosong yang cukup banyak dan cocok untuk aplikasi penyerap cairan seperti tisu basah.
 - d) Kepadatan kain (*Fabric Density* kg/m³)
100% PES memiliki kepadatan tertinggi (94.03 kg/m³).
50% PES/50% CV memiliki kepadatan terendah (67.25 kg/m³).

1.14.5 Aplikasi Kain Nonwoven

1. Produk Kesehatan dan Kebersihan
 - a) Tisu Basah, menggunakan kain nonwoven yang lembut dan menyerap cairan dengan baik.
 - b) Pembalut Wanita dan Popok, menggunakan kain nonwoven yang nyaman dan memiliki daya serap tinggi.
 - c) Masker Medis dan Pakaian Pelindung, menggunakan kain nonwoven yang memiliki sifat filtrasi dan perlindungan.
2. Industri Konstruksi

- a) Geotekstil, kain nonwoven digunakan untuk stabilisasi tanah, drainase, dan penguatan jalan.
 - b) Isolasi digunakan sebagai bahan penyekat karena sifat termal dan akustiknya.
3. Otomotif
- a) Pelapis Interior, digunakan untuk pelapis kursi, atap, dan lantai kendaraan.
 - b) Filter, kain nonwoven digunakan dalam filter udara dan oli.
4. Produk Konsumen
- a) Tas Belanja, menggunakan kain nonwoven yang kuat dan dapat didaur ulang.
 - b) Pakaian Sekali Pakai, digunakan untuk pakaian sekali pakai di laboratorium atau ruang operasi.
5. Aplikasi Filtrasi
- a) Filter Udara dan Air, kain nonwoven dengan serat halus digunakan untuk memfilter partikel kecil dan polutan.

Kain nonwoven menawarkan fleksibilitas, kekuatan dan sifat-sifat khusus yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi mulai dari produk kebersihan hingga konstruksi dan otomotif.

1.15 Tisu Basah

Tisu basah adalah produk pembersih yang terdiri dari lembaran kain nonwoven yang telah dresapi dengan larutan pembersih dan dikemas dalam kemasan dengan tujuan untuk menjaga kelembabannya. Tisu basah sering digunakan untuk berbagai tujuan, diantaranya kebersihan pribadi, pembersihan permukaan benda, perawatan bayi juga pada aplikasi medis. Tisu basah terbuat dari bahan-bahan berikut:

1. Kain Nonwoven (*Nonwoven Fabric*)

Kain nonwoven merupakan material utama yang digunakan untuk memproduksi tisu basah. Kain ini terbentuk dari serat-serat yang diikat bersama melalui berbagai proses tanpa penenunan atau perajutan. Beberapa jenis serat yang biasanya digunakan antara lain:

a) *Viscose Rayon*

Serat yang terbuat dari selulosa regeneratif, viscose rayon dipilih karena kelembutannya dan kemampuan menyerap cairan dengan baik.

b) *Polyester*

Serat sintetis yang kuat dan tahan lama, sering dicampur dengan viscose untuk memberikan kekuatan tambahan pada tisu.

c) *Polypropylene*

Serat sintetis lain yang digunakan karena kekuatannya, daya tahannya, dan harganya yang relatif murah.

d) *Cotton* (Kapas)

Digunakan pada tisu basah premium untuk memberikan kelembutan dan daya serap yang tinggi.

2. Larutan Pembersih (*Cleaning Solution*)

Larutan ini diresapi ke dalam kain nonwoven untuk memberikan sifat pembersih dan perawatan tertentu. Komponen utama larutan pembersih meliputi:

- a) Air (*Water*) digunakan sebagai pelarut untuk bahan lainnya.
- b) Surfaktan (*Surfactants*) yang dapat membantu mengemulsikan minyak dan kotoran sehingga dapat diangkat oleh tisu. Contoh surfaktan adalah *cocamidopropyl betaine* dan *sodium laureth sulfate* (SLS).
- c) Pengawet (*Preservatives*) digunakan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dalam tisu basah. Contoh pengawet termasuk *phenoxyethanol*, *parabens*, dan *benzalkonium chloride*.
- d) Pelembap (*Moisturizers*) untuk menjaga kelembaban kulit.
- e) Agen Antibakteri (*Antibacterial Agents*) digunakan untuk membunuh bakteri.
- f) Pewangi (*Fragrances*) ditambahkan untuk memberikan aroma yang menyenangkan pada tisu basah, bisa berupa bahan alami atau sintetis.
- g) Pengatur pH (*pH Adjusters*) seperti *citric acid* atau *sodium hydroxide* digunakan untuk menyesuaikan pH larutan agar sesuai dengan pH kulit.

3. Bahan Tambahan

Selain bahan utama diatas, beberapa bahan ekstra sering dimasukkan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas tisu basah seperti:

- a) Emolien (*Emollients*) bahan seperti lanolin, minyak mineral atau *dimethicone* digunakan untuk melembutkan dan melindungi kulit.
- b) Ekstrak Alami seperti *chamomile*, *calendula*, dan *tea tree oil* yang sering ditambahkan untuk memberikan manfaat tambahan seperti efek menenangkan atau antiseptik.
- c) Agen Pengental (*Thickeners*) seperti *xanthan gum* atau *hydroxyethyl cellulose* dapat digunakan untuk memberikan kekentalan tertentu pada larutan pembersih.

Tisu basah terdiri dari kain nonwoven yang terbuat dari serat *viscose*, *polyester*, *polypropylene*, atau kapas yang diresapi dengan larutan pembersih yang mengandung air, surfaktan, pengawet, pelembap, pewangi, dan bahan tambahan lainnya. Dengan kombinasi bahan tersebut, tisu basah memiliki sifat pembersih, memberikan kelembutan dan kelembaban yang diperlukan untuk berbagai aplikasi. Secara umum, tisu basah banyak digunakan dalam berbagai aspek seperti pada tabel berikut:

Tabel 5. Penggunaan tisu basah dalam berbagai aspek

Kebersihan Pribadi	Perawatan Bayi	Membersihkan kulit bayi saat mengganti popok.
	Pembersihan Tangan	Membersihkan tangan saat tidak ada akses ke air dan sabun.
Pembersihan Rumah Tangga	Permukaan Dapur dan Kamar Mandi	Membersihkan permukaan seperti meja dapur, wastafel, dan toilet.

Aplikasi Medis	Disinfeksi	Tisu basah yang mengandung alkohol atau agen antibakteri digunakan untuk mendisinfeksi tangan dan permukaan medis.
	Perawatan Luka	Digunakan untuk membersihkan luka ringan atau area kulit sebelum penanganan medis.
Kebutuhan Perjalanan	Mobil dan Peralatan Pribadi	Tisu basah sering dibawa dalam perjalanan untuk membersihkan tangan, wajah, dan permukaan kendaraan.

Tisu basah merupakan produk yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan tabel di atas, penggunaan tisu basah memberikan kemudahan dalam berbagai aspek karena kepraktisannya sehingga menunjang banyak aktivitas dalam keseharian.

4. Karakteristik fisik tisu basah *non-flushable* dalam kondisi seperti yang diterima dari kemasan (*moist state*) mencakup:
 - a) **Sheet Mass** (g/sheet)
Berat total per lembar tisu dalam gram. Rata-rata 4.6 g/sheet, dengan rentang 2.6 – 7.2 g/sheet.
 - b) **Surface Area** (cm²)
Luas permukaan tisu dalam satuan sentimeter persegi. Rentang 213 – 371 cm², dengan rata-rata 300 cm².
 - c) **Sheet Thickness** (μm)
Ketebalan tisu dalam mikrometer. Rentang 213 – 376 μm, dengan rata-rata 313 μm.
 - d) **Sheet Volume** (cm³)
Volume total dari satu lembar tisu dalam cm³. Rentang 5.8 – 13.6 cm³, dengan rata-rata 10.2 cm³.
 - e) **Basis Weight** (g/m²)
Berat dasar tisu dalam gram per meter persegi. Rentang 40 – 66 g/m², dengan rata-rata 56 g/m².
 - f) **Specific Volume** (dm³/kg)
Volume spesifik dalam desimeter kubik per kilogram, menggambarkan seberapa tebal dan ringan bahan tersebut. Rentang 11 – 34 dm³/kg, dengan rata-rata 22 dm³/kg.
5. Karakteristik fisik tisu *non-flushable* dalam kondisi kering setelah dikeringkan pada 40°C selama 24 jam.
 - a) **Sheet Mass** Berkurang
Massa rata-rata menjadi 1.8 g/sheet dibandingkan 4.6 g/sheet dalam kondisi basah, menunjukkan bahwa sebagian besar berat tisu basah berasal dari air.
 - b) **Ketebalan** Berkurang

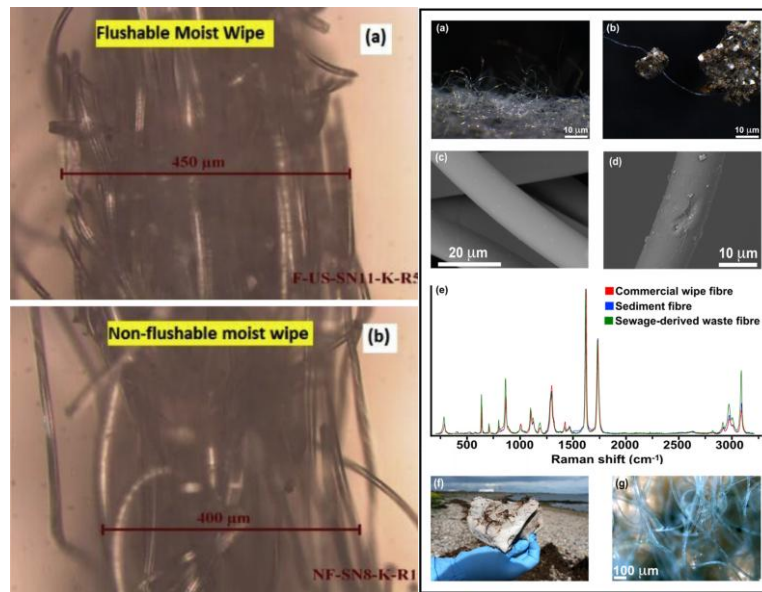
Dari 313 μm (basah) menjadi 312 μm (kering) secara rata-rata, menunjukkan bahwa pengeringan tidak terlalu mempengaruhi ketebalan.

c) *Basis Weight* Berkurang

Dari 56 g/m^2 (basah) menjadi 51 g/m^2 (kering), akibat penghilangan kandungan air.

d) *Moisture Content* (%)

Rentang 56 – 76%, menunjukkan bahwa sampel memiliki kadar air yang cukup tinggi dalam kondisi awalnya.



Gambar 1. Penampang tisu basah
Sumber: Durukan & Karadagli (2020)

Potongan melintang (*cross-sections*) dari dua jenis tisu basah di bawah mikroskop cahaya:

a) *Flushable Moist Wipe* (Tisu Basah yang Dapat Terflush)

Memiliki ketebalan sekitar 450 μm . Serat tampak lebih longgar dan tersusun dengan lebih banyak ruang kosong.

b) *Non-Flushable Moist Wipe* (Tisu Basah Non-Flushable)

Memiliki ketebalan sekitar 400 μm . Serat tampak lebih padat dan lebih menyatu dibandingkan dengan *flushable wipes*.

Tisu basah yang dapat *terflush* memiliki struktur lebih longgar dan lebih berpori, memungkinkannya lebih mudah terurai dalam air. Tisu basah *non-flushable* memiliki struktur yang lebih padat, membuatnya lebih kuat tetapi lebih sulit hancur saat terkena air. Akan tetapi, dalam kenyataannya, tisu basah yang dapat *terflush* juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Walaupun serat yang digunakan tergolong alami, serat tidak serta merta langsung dapat larut dan terurai sehingga tetap membutuhkan waktu dalam hal penguraiannya. Dalam hal tersebut, tisu basah yang

dapat *terflush* juga memiliki potensi menyumbat saluran pembuangan. Sehingga tisu basah yang dapat *terflush* tersebut juga memiliki potensi yang sama dengan tisu basah *nonflushable* yang dapat dimanfaatkan kembali.

6. Kategori Tingkat Kekotoran Limbah Tisu Basah

Berdasarkan adaptasi dari praktik tekstil dan pengelolaan limbah tekstil, berikut beberapa kategori kontaminasi (tingkat kekotoran) limbah yang dapat digunakan:

Tabel 6. Kategori kekotoran limbah tisu basah

Level	Kategori kekotoran	Ciri-ciri
1	Ringan/cukup bersih	• Tisu belum dipakai atau hanya sekali pakai • Tidak berwarna (putih) atau sedikit noda ringan • Kondisi fisik masih utuh, tidak robek, tidak mengandung banyak zat kimia atau residu kosmetik
2	Sedang	• Tisu sudah dipakai beberapa kali atau banyak kotoran ringan (misalnya sisa kosmetik, cairan tubuh kecil) • Terdapat pewarna ringan atau noda, atau zat surfaktan (bersumber dari sabun) • Kondisi fisik masih relatif baik
3	Berat/tinggi kontaminan	• Tisu sangat kotor, misalnya setelah penggunaan (cairan tubuh, kosmetik, kotoran organik) • Pewarna kuat, noda sulit hilang, mungkin ada logam jejak atau bahan kimia • Kondisi tisu sudah rusak fisik (sobek, robek) atau saturasi kimia tinggi

Adapun beberapa implikasi pada pembersihan atau praperlakuan limbah dapat dilakukan proses cuci ringan dengan air dan deterjen, *scouring* ringan, serta bilasan deionisasi sederhana untuk kategori kekotoran limbah yang ringan. Proses *scouring* pada tekstil biasanya digunakan untuk menghilangkan minyak dan kotoran alami dari serat.

Sedangkan untuk kategori sedang dapat dilakukan *scouring* ringan untuk menghilangkan minyak, sisa kosmetik atau sabun. Kemudian melakukan netralisasi kimia dengan membilas tekstil menggunakan aquadest untuk mengeluarkan residu surfaktan atau ion. Adapun pada kategori berat, pada limbah yang keadaannya tergolong masih utuh akan tetapi terdapat kotoran atau pewarna perlu dilakukan *pretreatment* dengan menghilangkan warna dan kontaminan organik menggunakan larutan H_2O_2 kemudian dilakukan netralisasi, perendaman ulang di aquadest dan analisis residu (seperti uji pH, analisis ion) sebelum serat siap digunakan dalam beton.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ghosh et al. (2025) dalam artikelnya *Chemical Valorization of Textile Waste* (PMC), penulis menjelaskan bahwa limbah tekstil mengandung berbagai kontaminan organik dan anorganik, dan perlu

pretreatment kimia (alkali, oksidasi) agar dapat digunakan kembali sebagai bahan serat. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Andari et al. (2022) terkait “Pengaruh Konsentrasi Hidrogen Peroksida dan Waktu Proses Bleaching terhadap Karakteristik Selulosa Serat Sabut Kelapa” menjelaskan bahwa H_2O_2 digunakan sebagai pemutih (*bleaching*) pada serat selulosa (sabut kelapa). H_2O_2 mampu membantu menghilangkan lignin, hemiselulosa dan zat pengotor lain tanpa merusak struktur selulosa.

1.16 Metode *Wet Curing* Beton

1. Pengertian *Wet Curing*

Wet Curing atau perawatan basah beton adalah metode yang dilakukan untuk menjaga beton agar tetap lembab selama periode awal proses hidrasi semen. Hidrasi semen merupakan proses kimia yang menghasilkan ikatan antara semen dan agregat sehingga menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama.

2. Tujuan *Wet Curing*

Tujuan utama *wet curing* diantaranya:

- a. Menjaga kadar air beton
Hidrasi semen membutuhkan air, sehingga *wet curing* membantu menjaga kadar air beton agar tetap optimal selama proses hidrasi.
- b. Mencegah penguapan air
Beton yang baru dicetak rentan terhadap penguapan air, yang dapat menyebabkan pengeringan prematur dan retak pada permukaan beton. *Wet curing* membantu mencegah penguapan air dan menjaga permukaan beton tetap lembab.
- c. Menurunkan suhu beton
Hidrasi semen melepaskan panas, yang dapat menyebabkan retak pada beton. *Wet curing* membantu menurunkan suhu beton dan mencegah retak.

3. Metode *Wet Curing*

Terdapat beberapa metode *wet curing* yang umum digunakan, antara lain:

- a. Penyiram air
Beton disiram dengan air secara berkala, biasanya setiap beberapa jam.
- b. Penggenangan air
Beton direndam dalam air selama beberapa hari.
- c. Penutupan dengan lembaran plastik
Beton ditutup dengan lembaran plastik untuk mencegah penguapan air.
- d. Penggunaan bahan penyembuh
Bahan penyembuh (*curing compound*) dioleskan pada permukaan beton untuk mencegah penguapan air.

4. Durasi *Wet Curing*

Durasi *wet curing* tergantung pada beberapa faktor, seperti:

- a. Jenis semen

Semen dengan hidrasi cepat membutuhkan *wet curing* yang lebih singkat dibandingkan dengan semen dengan hidrasi lambat.

- b. Ukuran elemen beton
Elemen beton yang lebih besar membutuhkan *wet curing* yang lebih lama dibandingkan dengan elemen beton yang lebih kecil.
- c. Kondisi lingkungan
Wet curing di lingkungan yang kering dan panas membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *wet curing* di lingkungan yang lembab dan dingin.

Wet curing merupakan metode penting yang bertujuan menjaga kadar air beton agar tetap optimal selama periode awal proses hidrasi semen. Dengan *wet curing* yang tepat, beton akan mencapai kekuatan dan ketahanan yang maksimal. *Wet curing* harus dilakukan secara kontinyu selama periode yang ditentukan. Permukaan beton harus selalu diperiksa untuk memastikan beton tetap lembab.

1.17 Pola Retak Beton

Retak pada beton merupakan salah satu indikasi adanya kerusakan struktural yang dapat mempengaruhi kinerja dan daya tahan beton. Retak dapat terjadi karena berbagai faktor, seperti beban berlebih, perubahan suhu, penyusutan, dan reaksi kimia dalam beton. Oleh karena itu, pengujian pola retak beton menjadi penting guna menganalisis penyebab dan dampaknya terhadap struktur.

1. Jenis Retak pada Beton

Menurut beberapa penelitian, retak pada beton dapat dikategorikan berdasarkan penyebab dan orientasinya:

- a. Retak akibat beban struktural (retak lentur, geser, dan tekan)
- b. Retak akibat penyusutan (plastik dan kering)
- c. Retak akibat perubahan suhu (*thermal cracking*)
- d. Retak akibat reaksi kimia (reaksi alkali-agregat dan korosi tulangan)

2. Klasifikasi Pola Retak (SNI 1974:2011)

Indikasi pola retak pada beton umumnya berkaitan dengan mekanisme keruntuhan dan kondisi material saat diberi pembebanan. Adapun klasifikasi pola retak akibat beban struktural terbagi atas:

a. Kerucut (*Cone*)

Indikasi:

- Umumnya terjadi pada *pull-out failure* atau tarikan pada beton yang mengelilingi tulangan/anker.
- Beton masih relatif utuh di bagian badan, keruntuhan fokus di zona tarik.

Makna:

- Kekuatan geser pada beton cukup tinggi, tapi ikatan antara tulangan dan beton bisa lepas bila beban cukup besar.
- Umumnya material tidak mengalami retak menyebar sebelum keruntuhan.

b. Kerucut + Belah (*Cone & Split*)

Indikasi:

- Kombinasi kerucut di ujung dan retakan vertikal yang membelah badan beton.
- Beton mengalami tegangan tarik membelah sekaligus tarik kerucut.

Makna:

- Beton kemungkinan memiliki kelemahan pada arah longitudinal (arah sumbu), sering dikaitkan dengan kualitas ikatan tulangan yang kurang baik atau distribusi agregat tidak merata.

c. Kerucut + Geser (*Cone & Shear*)

Indikasi:

- Ada kerucut di ujung + retakan miring.
- Keruntuhan akibat kombinasi geser dan tarik.

Makna:

- Beton sudah mulai menunjukkan keruntuhan geser sebelum kerucut terbentuk.
- Menandakan beban lateral/eksentris cukup signifikan saat pengujian.

d. Geser (*Shear*)

Indikasi:

- Retakan miring tunggal memotong benda uji.
- Khas keruntuhan geser murni akibat tegangan geser melampaui kapasitas.

Makna:

- Beton memiliki kekuatan tarik yang rendah, sehingga retak geser cepat terbentuk.
- Mengindikasikan bahwa bentuk benda uji atau kondisi beban menyebabkan gaya geser dominan.

e. Sejajar Sumbu (*Columnar*)

Indikasi:

- Retakan vertikal paralel dengan sumbu benda uji.
- Terjadi akibat keruntuhan tekan murni di mana beton hancur mengikuti arah tegak lurus bidang tekan.

Makna:

- Beton memiliki modulus elastisitas rendah atau mengalami keruntuhan getas.
- Umum terjadi pada beton dengan agregat kecil/halus dan kadar air tinggi.

3. Metode Pengujian Pola Retak Beton

Terdapat berbagai metode pengujian pola retak beton, baik destruktif maupun non-destruktif.

a. Pengamatan Visual

Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi lokasi, arah, dan pola retak secara langsung. Biasanya dilakukan dengan bantuan kamera resolusi tinggi atau drone untuk area yang sulit dijangkau.

b. Pengukuran Lebar Retak

- *Crack Gauge* merupakan alat sederhana berbentuk skala transparan yang ditempelkan pada permukaan beton untuk mengukur lebar retak.
- *Crack Width Ruler*: digunakan untuk mengukur lebar retak dengan tingkat akurasi hingga 0,1 mm.

c. Pengujian Ultrasonik (UPV - *Ultrasonic Pulse Velocity*)

Metode UPV digunakan untuk mengukur kecepatan gelombang ultrasonik yang melewati beton. Perubahan kecepatan menunjukkan adanya retak atau diskontinuitas dalam material.

d. Pengujian *Impact-Echo*

Menggunakan gelombang suara untuk mengidentifikasi keretakan dalam beton. Apabila terdapat rongga atau retak, gelombang tersebut akan dipantulkan dengan pola yang berbeda dari beton yang utuh.

e. Pengujian dengan *Digital Image Processing* (DIP)

Teknik pemrosesan gambar digital yang menggunakan *software* MATLAB atau ImageJ untuk melakukan identifikasi pola retak secara otomatis.

f. Pengujian dengan *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Digunakan untuk mengidentifikasi keretakan pada beton dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik.

4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pola Retak

- a. Kualitas material dimana komposisi campuran beton yang kurang baik dapat menyebabkan retak dini.
- b. Beban berlebih dimana gaya yang melampaui kemampuan struktur dapat menyebabkan kerusakan struktural.
- c. Lingkungan dimana terjadi fluktuasi suhu, kelembaban, dan zat kimia dapat mempercepat terjadinya retakan.
- d. Proses pengerasan dimana penyusutan selama proses *curing* dapat memicu terjadinya retakan plastis.

1.18 Korelasi

Korelasi merupakan ukuran statistik yang memberikan gambaran terkait arah kuat-lemah hubungan antara dua variabel tanpa adanya hubungan sebab-akibat. Koefisien korelasi memiliki rentang antara -1 sampai +1 dimana nilai positif menandakan adanya koneksi searah sedangkan nilai negatif menandakan adanya hubungan berlawanan, adapun nilai yang mendekati 0 menandakan tidak ada hubungan linear yang signifikan (Mukaka, 2012). Terdapat beberapa jenis analisis korelasi yang umum digunakan diantaranya:

1. Spearman's rank correlation (ρ)

Analisis ini merupakan koefisien non parametrik yang bertujuan untuk mengukur hubungan monotonik atau hubungan yang tidak harus linear

2. Kendall's tau (τ)

Analisis ini merupakan alternatif non parametrik yang umumnya lebih cocok digunakan untuk sample kecil.

3. *Pearson product moment correlation* (r)

Analisis ini bertujuan untuk melihat hubungan linear antara dua variabel yang bersifat kontinu (interval/rasio). Selain itu, untuk melihat kerentanan terhadap outlier yang memerlukan asumsi tertentu (Lani, 2013). Adapun nilai koefisien korelasi pearson (r) dijabarkan berdasarkan tingkat kekuatan hubungannya seperti pada tabel berikut:

Tabel 7. Variabel penelitian

Nilai r	Hubungan
0.00 – 0.19	Sangat lemah
0.20 – 0.39	Lemah
0.40 – 0.59	Sedang
0.60 – 0.79	Kuat
0.80 – 1.00	Sangat kuat

Adapun pada pengujian korelasi akan memperlihatkan hubungan positif yang menunjukkan hubungan searah, sedangkan tanda negatif menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik atau berlawanan.

1.19 Penelitian Terkait

Tabel 8. Penelitian terkait

No	Peneliti	Judul	Kesimpulan
1	Ahmed Abd El Aal, Gamil M.S. Abdullah, S.M. Talha Qadri, Abotalib Z. Abotalib, Abdullah Othman	<i>Advances on concrete strength properties after adding polypropylene fibers from health personal protective equipment (PPE) of COVID-19: Implication on waste management and sustainable environment</i>	Penambahan PPE sebesar 2% meningkatkan sifat mekanik beton: – Kuat tekan (UCS) meningkat hingga 9.4% pada 2% PPE. – Kuat tarik belah (STS) meningkat hingga 8.22% pada 2.5% PPE. – Kuat lentur (FS) meningkat hingga 33.4% pada 2% PPE. – <i>Pulse Velocity</i> (PV) meningkat, mengindikasikan struktur beton menjadi lebih padat. Penambahan lebih dari 2% PPE menyebabkan penurunan kekuatan beton akibat terbentuknya rongga udara dan lemahnya ikatan antara serat PPE dan beton.
2	Sifatullah Bahij, Safiullah Omary, Vincent Steiner, Françoise Feugeas, Mohammad Hashim Ibrahimkhil	<i>Effect of Non-Woven Polyethylene Terephthalate (PET) Tissue on Fresh and Hardened Properties of Concrete</i>	Peningkatan Sifat Mekanik: – Kuat tekan meningkat 13.40% pada spesimen yang diperkuat dibandingkan dengan referensi acuan. – Kuat tarik belah mengalami peningkatan 15.12% pada spesimen yang diperkuat. – Kuat lentur meningkat lebih dari 10% dengan PET sebagai penguat. Dampak negatif terhadap Konduktivitas Termal & Akustik: – Konduktivitas termal mengalami penurunan hingga 19.67% dengan PET non-woven. Absorpsi suara menurun hingga 26.30% pada variasi serat tertinggi.

No	Peneliti	Judul	Kesimpulan
3	Shannon Kilmartin-Lynch, Mohammad Saberian, Jie Li, Rajeev Roychand, Guomin Zhang	<i>Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibers from COVID-19 single- use face masks to improve the mechanical properties of concrete</i>	Peningkatan Sifat Mekanik Beton: – Kuat tekan meningkat hingga 17.06% pada 0.20% serat masker. – Kuat tarik belah meningkat hingga 12.23% pada 0.20% serat masker. – UPV juga mengalami peningkatan pada 0.20%. Dampak negatif pada 0.25% Serat PP: – Mutu beton menurun akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya ikatan antara serat PP dan semen. Kuat tekan dan tarik sedikit menurun dibandingkan beton dengan 0.20% serat PP.
4	Ahmed Abd El Aal, Gamil M.S. Abdullah, S.M. Talha Qadri, Abotalib Z. Abotalib, Abdullah Othman	<i>The Effect of Textile on Compressive Strength of Concrete</i>	Peningkatan kuat tekan hingga 0.6%: – Kuat tekan meningkat hingga 11.7% pada 0.6% limbah tekstil (setelah 28 hari <i>curing</i>). – Pada hari ke 14 curing, peningkatan kuat tekan mencapai 33% dibanding beton tanpa tekstil. Penurunan kuat tekan dengan >0.6% tekstil: – Kuat tekan mulai mengalami penurunan setelah 0,6% karena meningkatnya porositas.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan jenis penelitian kuantitatif. Analisis dan pengukuran data numerik yang dilakukan dalam konteks penelitian ini mencakup pengukuran kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton dari penambahan material limbah tisu basah. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk menghasilkan kesimpulan yang kuat.

2.2 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material, Struktur, dan Konstruksi Bangunan, Departemen Arsitektur, Kampus II Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa. Penelitian dilakukan setelah proses pengumpulan dan pengujian bahan material tambahan berkisar antara bulan Mei dengan waktu penelitian kurang lebih 3 bulan.

2.3 Variabel penelitian

Variabel penelitian dibedakan menjadi 3 diantaranya:

Tabel 9. Variabel penelitian

Variabel Terikat	Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Absorpsi dan Uji Slump
Variabel Bebas	Persentase bahan tambah (0.15%, 0.20%, 0.25%) Usia pengujian beton 28 hari Metode perawatan <i>wet curing</i>
Variabel Kontrol	Persentase 0.00% Campuran beton (air, semen, agregat)

Variabel kontrol bertujuan untuk menjaga keseragaman dalam sebuah penelitian, sedangkan variabel bebas merujuk pada elemen yang memberi pengaruh atau dampak dalam penelitian tersebut. Variabel terikat merupakan variabel yang diobservasi sebagai akibat dari pengaruh yang ditimbulkan oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini, mutu beton yang direncanakan adalah 20 Mpa untuk kuat tekan.

Adapun variabel penelitian terbagi atas:

Tabel 10. Penjabaran jumlah sampel benda uji

Perawatan	Perlakuan	Pengujian Kuat Tekan (Hari)			Pengujian Kuat Tarik Belah (Hari)			Pengujian Absorpsi (Hari)	Jumlah
		7	14	28	7	14	28	28	
<i>Wet Curing</i>	0.00%	2	2	2	2	2	2	2	14
	0.15%	2	2	2	2	2	2	2	14
	0.20%	2	2	2	2	2	2	2	14
	0.25%	2	2	2	2	2	2	2	14
Total									56

Dari variabel diatas, akan dibuat 56 sampel benda uji. Adapun jenis data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data primer dan sekunder dengan rincian sebagai berikut:

- Data primer merujuk pada data yang diperoleh langsung dari laboratorium.
- Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan melalui kajian pustaka berupa jurnal penelitian yang akurat dan relevan dengan topik yang akan diteliti.

2.4 Kode Beton

Sampel beton diberi penamaan atau pengkodean beton untuk memudahkan identifikasi antar beton, memudahkan dokumentasi, membedakan jenis/variasi campuran juga untuk pengendalian kualitas (*Quality Control*). Pemberian kode ditulis dengan:

[Pengujian] - [Umur benda uji] - [Persentase] - [Nomor beton]

Adapun pemberian kode pada beton dalam studi ini terbagi atas:

Tabel 11. Kode benda uji

<i>Testing</i>	<i>Wet Tissue Content</i>	<i>Curing Age (Days)</i>	<i>Number of Samples</i>	<i>Sample Code</i>
<i>Compressive Strenght Test</i>	0.00%	7	2	CT-07-000-01
				CT-07-000-02
		14	2	CT-14-000-01
	0.15%			CT-14-000-02
		28	2	CT-28-000-01
				CT-28-000-02
				CT-07-015-01

Testing	Wet Tissue Content	Curing Age (Days)	Number of Samples	Sample Code	
Tensile Split Test	0.20%	14	2	CT-07-015-02	
				CT-14-015-01	
		28	2	CT-14-015-02	
				CT-28-015-01	
		7	2	CT-28-015-02	
				CT-07-020-01	
		14	2	CT-07-020-02	
				CT-14-020-01	
		28	2	CT-14-020-02	
				CT-28-020-01	
		7	2	CT-28-020-02	
				CT-07-025-01	
	0.,25%	14	2	CT-07-025-02	
				CT-14-025-01	
		28	2	CT-14-025-02	
				CT-28-025-01	
		7	2	CT-28-025-02	
				TS-07-000-01	
		14	2	TS-07-000-02	
				TS-14-000-01	
		28	2	TS-14-000-02	
				TS-28-000-01	
		7	2	TS-28-000-02	
				TS-07-015-01	
	0.15%	14	2	TS-07-015-02	
				TS-14-015-01	
		28	2	TS-14-015-02	
				TS-28-015-01	
		7	2	TS-28-015-02	
				TS-07-020-01	
		0.20%	14	2	TS-07-020-02
					TS-14-020-01
			28	2	TS-14-020-02
					TS-28-020-01
			7	2	TS-28-020-02
					TS-07-025-01

Testing	Wet Tissue Content	Curing Age (Days)	Number of Samples	Sample Code
Absorption	0.00%	14	2	TS-07-025-02
				TS-14-025-01
		28	2	TS-14-025-02
				TS-28-025-01
		28	2	TS-28-025-02
				DU-28-000-01
	0.15%	28	2	DU-28-000-02
				DU-28-015-01
	0.20%	28	2	DU-28-015-02
				DU-28-020-01
	0.25%	28	2	DU-28-020-02
				DU-28-025-01
				DU-28-025-02
Total Sample			56	
Keterangan:				
CT = <i>Compressive Test</i>				
TS = <i>Tensile Splitting Test</i>				
DU = <i>Durability</i>				

Penamaan beton pada tabel di atas digunakan untuk memberikan identitas terhadap jenis beton berdasarkan persentase penambahan, umur beton dan pengujiannya. Pemberian kode juga memudahkan dokumentasi dan pengolahan data sehingga memberikan kemudahan identifikasi pada masing-masing beton.

2.5 Alat dan Bahan Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat dan bahan yang digunakan untuk mengukur, mengumpulkan, menyelidiki suatu gejala/masalah dan menyajikan data-data secara sistematis serta objektif dengan tujuan memecahkan suatu persoalan maupun pengujian (Mulatiningsih & Rindrayani, 2025).

2.5.1 Bahan Penelitian:

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dipaparkan pada tabel berikut yang menjelaskan sumber pengambilan material:

Tabel 12. Bahan penelitian

Limbah Tisu Basah	Limbah tisu basah yang telah dibersihkan dan dikeringkan dengan ukuran 2 mm x 15 mm. Limbah tisu basah berasal dari limbah rumah tangga.
Semen	Semen Portland Tipe I merek Tonasa dengan satuan 40kg/sak.
Agregat Halus	Pasir yang berasal di daerah Gowa, Sulawesi Selatan. Agregat halus yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan terhadap analisa saringan, kadar air, berat volume, kadar lumpur, kandungan zat organis, berat jenis dan penyerapan air
Agregat Kasar	Kerikil (Batu Pecah ukuran rata-rata 20 mm) yang digunakan adalah batu pecah yang berasal dari daerah Gowa.
Air	Air PDAM Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa. Air yang digunakan harus dipastikan sebagai air yang bersih, tidak mengandung lumpur, minyak garam dan zat-zat lain yang dapat larut dan dapat merusak beton.
Bahan Pencetak	Cetakan silinder 10 x 20 cm.

Bahan-bahan tersebut berfungsi sebagai komponen utama dalam pembuatan beton. Pemilihan bahan yang tepat merupakan hal yang sangat krusial karena kualitas akhir dari penelitian ini juga ditentukan oleh sifat atau karakteristik bahan yang digunakan. Setiap bahan dievaluasi berdasarkan sifat fisik dan kimianya sesuai kebutuhan penelitian.

2.5.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian merupakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang terdiri dari:

a. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur berat dari komponen bahan adukan. Dalam penelitian ini, timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan merek "*Kinlee Smartweight*" yang memiliki kapasitas 15 kg dan timbangan merek "*Henherr*" dengan kapasitas 150 kg. Untuk menghitung berat jenis, digunakan timbangan gantung merek "*Prohex*" kapasitas 40 kg benda uji dengan metode penimbangan yang digantung.



Gambar 2. Timbangan

Timbangan diatas dalam penelitian ini digunakan untuk menimbang bahan-bahan seperti pasir, keriki, semen dan air.

b. Oven

Oven berfungsi untuk mengeringkan material agregat halus, agregat kasar dan bahan tambahan lainnya. Oven ini digunakan untuk pengujian kadar air, kadar lumpur, analisis gradasi, berat jenis serta penyerapan (absorpsi) benda uji.



Gambar 3. Oven

Oven pada gambar diatas memiliki kapasitas yang cukup besar dan memiliki banyak kegunaan tetapi harus berhati-hati dalam proses pemakaiannya dan tetap dalam pengawasan. Oven dapat diatur suhunya sesuai kebutuhan.

c. Saringan/Ayakan

Ayakan baja yang digunakan mengikuti standar ASTM dengan merek "Sanpo" yang memiliki desain berbentuk ayakan lingkaran, dengan ukuran yang digunakan untuk agregat kasar mencakup 37,50 mm, 19,00 mm, 9,50 mm, 4,75 mm dan pan. Sedangkan untuk ayakan agregat halus ukuran ayakan yang digunakan diantaranya 2,36 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, 0,15 mm, 0,075 mm dan pan.



Gambar 4. Saringan

Saringan diatas digunakan untuk menyaring pasir dan kerikil ketika akan melakukan pengujian karakteristik bahan agar sesuai dengan ukuran masing-masing agregat yang lolos saringan. Selain itu, saringan bertujuan untuk mengurangi kadar lumpur yang menempel pada permukaan agregat.

d. Mesin Penggetar Ayakan (*Shieve shaker*)

Mesin penggetar ayakan yang digunakan adalah merek "*Freesia Macross*" yang berfungsi sebagai penopang sekaligus penggetar ayakan untuk memudahkan pekerjaan dalam melakukan penyaringan material dibanding dengan metode penggetaran secara manual. Pemakaian alat ini saat pengujian gradasi (*sieve analysis*) sangat cocok digunakan untuk penyaringan agregat halus maupun agregat kasar.



Gambar 5. Mesin penggetar ayakan

Mesin penggetar ayakan seperti pada gambar diatas dapat diatur waktu penyaringannya sesuai dengan kebutuhan dan dapat digunakan untuk menyaring agregat pada ukuran-ukuran tertentu.

e. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams dari baja digunakan untuk mengukur nilai slump adukan beton.



Gambar 6. Kerucut Abrams

Setelah proses pencampuran beton, dilakukan pengujian slump dengan memasukkan beton segar kedalam kerucut abrams dengan merojok beton sebanyak 25 kali dalam 3 tahapan beton segar yang dimasukkan.

f. *Universal Testing Machine*

Universal Testing Machine digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik pada benda uji beton.



Gambar 7. Mesin UTM

Mesin ini akan memperlihatkan nilai hasil pengujian yang nantinya dikonversi ke dalam bentuk *megapascal*. Beton berbentuk kubus, silinder maupun persegi dapat digunakan pada mesin ini. Akan tetapi, terdapat kapasitas maksimal mesin dapat menekan benda uji.

g. Mesin Pencampur Bahan (*Mixer/Molen*)

Molen merek "*Hercules*" dengan blade berputar bersamaan dengan mesin digunakan untuk proses pencampuran pada saat pembuatan benda uji beton.



Gambar 8. Molen

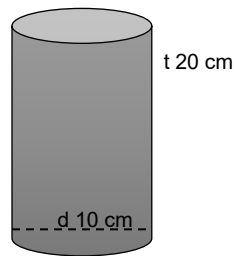
Mesin ini dapat diputar dan diatur kecepatannya sesuai dengan kebutuhan. Terdapat beberapa molen dengan berbagai kapasitas yang dapat menampung campuran beton. Banyaknya bahan yang akan dicampur dapat mempengaruhi perputaran molen dikarenakan adanya penyesuaian berat bahan dan kapasitas pada molen tersebut.

h. Mesin Pengaduk (*Electric Mixer*)

Mesin pengaduk (*electric mixer*) "*Krisbow*" adalah mesin pengaduk yang digerakkan menggunakan tangan. Alat ini berfungsi untuk mengaduk bahan tambah agar tercampur secara merata dalam beton segar yang telah dicampur secara homogeny dalam mesin molen.

i. Cetakan Benda Uji

Benda uji dalam penelitian berbentuk silinder, sehingga cetakannya pun berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.



Gambar 9. Benda uji silinder 10 x 20 cm

Cetakan benda uji terbuat dari besi tebal yang dapat dilepas pasang sehingga dapat mempermudah proses pelepasan cetakan.

j. Vibrator

Vibrator beton digunakan untuk memadatkan beton dan mengurangi gelembung udara yang terjebak didalam beton segar guna meminimalisir rongga pada beton.



Gambar 10. Vibrator

Vibrator pada gambar diatas dapat menampung 3-5 silinder beton sekaligus dan memakan waktu kurang lebih 3 menit setiap proses pemadatan.

k. Bak Perendaman

Bak Perendaman yang digunakan adalah bak perendam yang telah disediakan oleh Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa. Dimana suhu ruangan yaitu 20°C - 25°C yang difungsikan untuk melakukan proses curing pada benda uji yang telah dibuat.



Gambar 11. Bak Perendaman

Bak perendaman pada gambar diatas dapat menampung ratusan silinder beton. Bak yang berisi air tersebut mampu menjaga spesimen beton terhidrasi secara optimal. Dalam konteks penelitian ini, benda uji direndam dengan suhu ruang selama periode perawatan pada umur 7, 14 dan 28 hari.

I. Alat Bantu

Untuk memperlancar dan mempermudah pelaksanaan penelitian, digunakan beberapa alat bantu antara lain:

- a) Loyang digunakan sebagai tempat agregat halus, agregat kasar, semen dan bahan tambah material lainnya pada saat penimbangan dan pengeringan bahan di dalam oven untuk pengujian material.
- b) Keranjang sampel digunakan sebagai wadah agregat kasar saat menentukan berat di dalam air pada pengujian berat jenis agregat kasar. Piknometer 500 ml "Pyrex Iwaki" Thailand, digunakan sebagai tempat takaran untuk meneliti berat jenis agregat halus.
- c) Ember dan talam untuk tempat menyimpan material.
- d) Mistar untuk pengukuran nilai slump.
- e) Perojok besi berfungsi untuk memadatkan agregat pada pengujian berat volume dengan rojokan, pengujian slump, dan pencetakan benda uji.
- f) Skop jika diperlukan.

2.5.3 Pemilihan Bahan Dan Peralatan

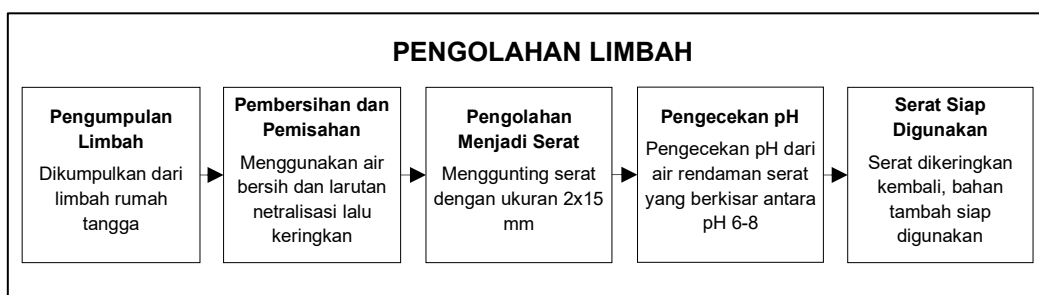
Bahan serta alat yang digunakan harus memiliki kualitas yang baik dan memenuhi standar yang berlaku. Pemilihan bahan dan alat harus disesuaikan dengan kebutuhan penelitian dan spesifikasi yang ada. Peneliti harus mematuhi prosedur keselamatan kerja yang sesuai saat menggunakan bahan dan alat penelitian selama penelitian berlangsung.

2.6 Pengolahan limbah

Pada tahap ini, mempersiapkan semua perlengkapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Memastikan bahwa semua yang dibutuhkan seperti alat dan bahan sudah lengkap dan dapat memulai penelitian. Persiapan bahan tambah pada penelitian ini yaitu limbah tisu basah. Adapun tahapan persiapan pengolahan limbah untuk penambahan yaitu:

1. Mengumpulkan limbah tisu basah dari limbah rumah tangga.
2. Limbah tisu basah dicuci menggunakan air bersih dan larutan netralisasi seperti NaOH dan H_2O_2 untuk menghilangkan residu kimia.
3. Tisu basah yang telah dibersihkan dikeringkan menggunakan pengeringan alami dengan menjemur limbah di bawah sinar matahari atau mengeringkan menggunakan oven pengering ($60-80^{\circ}C$) untuk mempercepat proses pengeringan dan menghilangkan kelembaban berlebih.

4. Setelah kering, tisu dipotong menjadi serat menggunakan gunting dengan ukuran 2x15 mm.
5. Serat yang telah digunting dicuci kembali untuk menghilangkan sisa kotoran yang menempel saat proses pengguntingan.
6. Dilanjutkan dengan pengecekan pH air rendaman untuk mengecek apakah masih terdapat sisa residu dari serat. Alat pH meter diletakkan pada air rendaman sampai muncul hasil pada layar. Pengecekan pH ini dilakukan secara terus menerus dengan mencuci serat limbah sampai mendapatkan pH netral dari hasil pencucian yang berkisar antara 6-8.
7. Jika telah mendapatkan pH yang sesuai, serat dikeringkan kembali menggunakan oven.
8. Bahan tambah siap digunakan.



Gambar 12. Tahapan pengolahan limbah

2.7 Tahap Pemeriksaan Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui apakah sifat dan karakteristik dari agregat telah memenuhi kriteria yang ditetapkan. Pemeriksaan agregat kasar dilakukan dengan cara visual dengan melihat kondisi fisik agregat lalu dilakukan pengujian material. Pemeriksaan agregat halus mencakup pemeriksaan secara visual, seperti memastikan pasir terdiri dari butir-butir tajam dan keras serta bersifat tahan lama, yang berarti tidak mudah pecah atau rusak akibat cuaca. Selain pemeriksaan visual, agregat juga harus melalui pengujian material dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 13. Spesifikasi pengujian material agregat

Uji Material	Agregat Halus	Agregat Halus
Berat Volume	Interval 1,4-1,9 kg/liter (SNI 03-4804-1998)	Interval 1,4-1,9 kg/liter (SNI 03-4804-1998)
Kadar Lumpur	Interval 2-5% (SNI 03-1971-1990)	Interval 0,5-2% (SNI 03-1971-1990)
Berat Jenis dan Penyerapan Air	Interval 1,6-3,3 (berat jenis)	Interval 1,6-3,3 (berat jenis)

Uji Material	Agregat Halus	Agregat Halus
Analisa Saringan	Interval 0,20-2,00%	Interval 0,20-2,00%
	(penyerapan air)	(penyerapan air)
	(SNI 03-1970-2008)	(SNI 03-1971-2008)
	Interval 2,20-3,10	Interval 5,50-8,50
	(SNI ASTM C136:2012)	(SNI ASTM C136:2012)

Sumber: Buku Pedoman Praktikum, Penuntun Laboratorium Struktur dan Bahan.

1. Pemeriksaan Semen
Pemeriksaan semen dilakukan secara visual dengan mengamati kondisi fisik yaitu semen dalam keadaan tertutup rapat dan setelah dibuka tidak ada gumpalan serta butirannya halus. Semen yang telah mengeras tidak dapat dicampurkan ke dalam beton.
2. Pemeriksaan Air
Pemeriksaan terhadap air dilakukan secara visual yaitu air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, dan garam sesuai dengan persyaratan.
3. Limbah tisu basah
Pemeriksaan limbah dilakukan secara visual yaitu limbah harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, garam ataupun bahan tertentu. Selain itu, meninjau apakah tisu basah memiliki bau yang tajam atau memiliki zat kimia tertentu yang membahayakan.
4. Pengujian kadar lumpur agregat halus
Beberapa ketentuan yang perlu dipenuhi adalah pasir harus dalam keadaan bersih dan tidak memiliki kandungan lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Apabila pasir mengandung lumpur yang lebih dari 5%, maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam pembuatan campuran beton.

Tabel 14. Prosedur pengujian kadar lumpur agregat halus

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
– Timbangan digital	– Pasir kering ditimbang sebanyak 500g.
– Talam/wadah	– Pasir kering yang telah ditimbang kemudian dicuci menggunakan saringan.
– Oven	– Setelah itu air dibuang dan pasir dikeringkan menggunakan oven.
– Air	– Timbang pasir yang telah dicuci kemudian hitung berat sebelum dan sesudah proses pencucian berdasarkan rumus untuk mengetahui nilai kadar lumpurnya.
– Pasir dalam keadaan kering	

5. Pengujian kadar air agregat halus
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah atau kadar air yang terdapat dalam agregat halus melalui metode pengeringan. Kadar air agregat halus merupakan rasio antara berat air yang terdapat di dalam agregat halus dengan agregat dalam kondisi kering.

Tabel 15. Prosedur pengujian kadar air agregat halus

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
– Timbangan digital	– Pasir dalam keadaan asli ditimbang 1000g.
– Talam	– Pasir yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam oven selama 12 jam dengan suhu 220°C.
– Oven	– Keluarkan pasir dari oven, setelah itu timbang berat pasir dalam keadaan suhu ruang.
– Pasir dalam keadaan asli	

6. Pengujian kadar organik agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar organik dalam pasir. Hal ini disebabkan karena kadar organik yang terlalu banyak dalam agregat halus yang dapat menurunkan kualitas beton. Kandungan zat organik dalam agregat halus dapat diketahui melalui percobaan warna Abrams Harder dengan menggunakan larutan NaOH 3%. Observasi dilakukan dengan melihat warna air yang dihasilkan dari pemberian larutan tersebut. Perbandingan warna dari hasil pengamatan dapat disesuaikan dengan tabel berikut:

Tabel 16. Pengaruh kadar zat organik terhadap penurunan kualitas beton

Warna	Penurunan Kekuatan (%)
Jernih	0
Kuning muda	0-10
Kuning tua	10-20
Kuning kemerahan	20-30
Coklat kemerahan	30-50
Coklat tua	50-100

Sumber: Roosseno(1954)

7. Pengujian berat volume agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan menentukan berat isi dalam keadaan padat pada agregat halus.

Tabel 17. Prosedur pengujian berat volume agregat halus

Alat dan bahan	Prosedur pengujian
– Mould/alat penakar	– Mould ditimbang dalam keadaan kosong.
– Timbangan dengan ketelitian 0,1g	– Pasir dimasukkan ke dalam mould dalam dua keadaan yaitu padat dan juga lepas.
– Tongkat pemadat	– Mould yang telah terisi pasir kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya.
– Pasir dalam keadaan asli	

8. Pengujian specific grafiti dan absorpsi agregat halus

Berat jenis merupakan salah satu variabel yang sangat krusial dalam merencanakan komposisi campuran beton. Dengan mengetahui faktor ini, dapat diketahui jumlah agregat halus yang diperlukan. Oleh karena itu dilakukan pengujian specific gravity (perbandingan antara berat pasir dalam kondisi kering dengan volume pasir total), bulk specific gravity SSD (perbandingan antara berat pasir jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume pasir total), apparent specific gravity (perbandingan antara berat pasir kering dengan volume butir pasir) dan absorpsi (perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat pasir kering).

Tabel 18. Prosedur pengujian specific grafiti dan absorpsi agregat halus

Alat dan bahan	Prosedur pengujian
– Timbangan – Piknometer – Talam – Oven	– Benda uji dikeringkan menggunakan oven, kemudian ditimbang. Benda uji kemudian direndam dalam air selama 24 jam – Setelah 24 jam, benda uji kemudian dikeringkan hingga kering permukaan (SSD) dengan cara dijemur dan diangin-anginkan – Timbang berat piknometer + air (B) kemudian masukkan pasir sebanyak 500g ke dalam piknometer – Isi piknometer dengan air, lalu putar dan guncangkan selama 15-20 menit agar udara yang terperangkap dapat keluar dan keluarkan busa yang tersisa di dalam piknometer – Timbang piknometer berisi air + contoh pasir (Bt) – Keluarkan pasir dari piknometer lalu keringkan menggunakan oven selama 12 jam. – Timbang dalam keadaan kering (Bk).

9. Pengujian analisis saringan agregat halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui variasi diameter butiran pasir, proporsi dan modulus kehalusannya. Modulus kehalusan merupakan nilai yang menunjukkan seberapa halus atau kasar butiran agregat. Gradasi serta keseragaman ukuran agregat menjadi perhatian penting dibandingkan agregat kasar karena berdampak signifikan pada karakteristik dan sifat kohesi dari campuran beton. Selain itu, gradasi agregat halus juga sangat berpengaruh pada jumlah semen yang dibutuhkan dalam proses pembuatan beton. Standar yang digunakan untuk pengujian agregat halus adalah SNI 03-1986-1990.

Tabel 19. Prosedur pengujian analisis saringan agregat halus

Alat dan bahan	Prosedur pengujian
– Timbangan digital	– Pasir dikeringkan dalam oven selama 12 jam
– Oven	– Timbang masing-masing saringan dalam keadaan kosong
– Talam	– Pasir yang telah dikeringkan dengan menggunakan oven kemudian dimasukkan ke dalam saringan dengan saringan yang paling besar ditempatkan paling atas
– Mesin penggetar (<i>shieve shaker</i>)	– Saringan kemudian digetarkan menggunakan mesin <i>shieve shaker</i> selama 15 menit
– Satu set saringan ASTM dan pan	– Timbang kembali saringan serta berat isinya yang tertinggal pada masing-masing ayakan dan catat hasilnya
– Pasir keadaan asli	

10. Pengujian kadar lumpur agregat kasar

Tujuan dari pengujian ini untuk mengukur kadar lumpur dari agregat kasar.

Tabel 20. Prosedur pengujian kebersihan agregat kasar

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
– Timbangan digital	– Batu pecah kering ditimbang kemudian dicuci hingga air cucian menjadi jernih.
– Talam	– Benda uji dikeringkan kembali dalam oven selama ± 12 jam dengan suhu 220°C .
– Oven	– Setelah kering, timbang kembali untuk mendapatkan berat kering dan catat hasilnya.
– Batu pecah kering oven	

11. Pengujian kadar air agregat kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air agregat kasar dengan cara dikeringkan. Kadar air agregat kasar menggunakan perbandingan antara berat air yang dikandung agregat kasar dengan berat agregat kasar dalam keadaan jenuh.

Tabel 21. Prosedur pengujian kadar air agregat kasar

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
Timbangan digital	– Mould ditimbang dalam keadaan kosong.
Talam	– Batu pecah dalam keadaan asli ditimbang 2000g.
Oven	– Batu pecah yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam oven dan ditimbang beratnya setelah suhu ruang dan catat hasilnya.
Batu pecah dalam keadaan asli	

12. Pengujian volume agregat kasar (batu pecah)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi dalam kondisi padat atau gembur pada agregat kasar.

Tabel 22. Prosedur pengujian volume agregat kasar

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
– Mould/alat penakar	– Mould ditimbang dalam keadaan kosong
– Timbangan	– Batu pecah dimasukkan ke dalam mould
– Tongkat pemadat	– dalam dua keadaan yaitu padat dan lepas
– Batu pecah dalam keadaan asli	– Mould yang telah berisi batu pecah selanjutnya ditimbang

13. Pengujian spesifik grafiti dan absorpsi agregat kasar

Berat jenis merupakan salah satu unsur penting dalam perencanaan beton. Hal ini dikarenakan dengan berat jenis dapat diketahui volume dari agregat kasar yang dibutuhkan dalam campuran. Oleh karena itu dilakukan pengujian specific gravity untuk mengetahui nilai:

- Bulk specific gravity (perbandingan antara berat kerikil dalam kondisi kering dengan volume kerikil total)
- Bulk specific gravity SSD (perbandingan antara berat kerikil jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume kerikil total)
- Apparent specific gravity (perbandingan berat butiran kondisi kering dan selisih berat butiran dalam keadaan kering dengan berat dalam air)
- Absorpsi (perbandingan antara berat air yang diserap oleh kerikil jenuh dalam keadaan kondisi kering permukaan dengan berat kerikil kering)

Tabel 23. Prosedur pengujian grafiti dan absorpsi agregat kasar

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
– Timbangan digital	– Cuci dan keringkan benda uji dalam oven sampai beratnya tetap, timbang sesuai kebutuhan
– Oven	– Dinginkan benda uji pada suhu kamar kemudian ditimbang
– Keranjang	– Rendam dalam air selama ± 24 jam
– Saringan kawat kapasitas ± 2 kg	– Keluarkan benda uji dari, keringkan hingga mencapai kondisi SSD (kering permukaan) dan timbang
– Agregat ± 2 kg (tertahan saringan no.4)	– Letakkan benda uji dalam keranjang, tentukan beratnya dalam air

14. Pengujian analisis saringan agregat kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui variasi diameter butiran kerikil, persentase, dan modulus kehalusannya. Modulus kehalusan merupakan angka yang menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam agregat gradasi

dan keseragaman diameter agregat kasar menentukan pemakaian semen dalam pembuatan beton.

Tabel 24. Prosedur pengujian analisis saringan agregat kasar

Alat dan Bahan	Prosedur Pengujian
– Timbangan digital	– Batu pecah dikeringkan dalam oven selama 24 jam
– Oven dan pan	– Timbangan masing-masing saringan dalam keadaan kosong
– Agregat kasar dalam kondisi kering oven	– Batu pecah yang setelah di oven kemudian dimasukkan ke dalam saringan, dengan paling besar diletakkan paling atas
– Alat penggetar (shieve shaker)	– Saringan diguncangkan dengan menggunakan mesin penggetar selama 15 menit
– Satu set saringan ASTM (37.50 mm, 19.00 mm, 9.50 mm, 4.75 mm, dan pan)	– Timbang kembali masing-masing saringan beserta isinya dan catat isinya

2.8 Tahap Perhitungan *Mix Design*

Tahap perhitungan *Mix Design* menggunakan metode DOE (*Department of Environment*) yang umumnya digunakan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan diatur dalam buku Standar No. SK.SNI T-15-1990-03 yang berjudul "Prosedur Pembuatan Campuran Beton Normal":

1. Penetapan Kuat Tekan Beton Yang Disyaratkan (f'_c)

Nilai f'_c merupakan kuat tekan beton yang harus dicapai pada umur 28 hari sesuai dengan yang disyaratkan dalam desain struktur. Penetapan f'_c didasarkan pada sejumlah faktor, seperti kegunaan atau fungsi bangunan, keadaan lingkungan, dan peraturan bangunan yang berlaku. Secara umum, f'_c berkisar antara 15 MPa hingga 50 MPa tergantung pada kebutuhan struktural yang ingin dicapai. Kuat tekan beton yang ditentukan dalam penelitian ini adalah 20 MPa pada umur 28 hari. Adapun ketentuan mengenai persentase maksimum kegagalan benda uji sebesar 5%.

2. Penetapan Deviasi Standar (s)

Deviasi standar menunjukkan seberapa baik kualitas campuran beton dapat dikendalikan. Jika data historis proyek tidak tersedia, maka dapat menggunakan nilai deviasi standar yang disarankan dalam SNI. Nilai deviasi standar umumnya berkisar antara 2,8 MPa hingga 8,4 MPa, tergantung pada seberapa ketat pengendalian mutu yang dilakukan. Dalam situasi ini, pelaksana yang tidak memiliki data mengenai pengalaman hasil pengujian contoh beton sebelumnya, maka nilai S dapat dinilai berdasarkan tingkat pengendalian mutu benda uji. Tingkat pengendalian mutu "Jelek" menurut tabel umumnya diterapkan untuk pelaksana yang belum memiliki pengalaman tetapi tetap berada dalam pengawasan ahli.

Tabel 25. Nilai deviasi standar untuk tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	Deviasi standar
Memuaskan	2.8
Sangat baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7.0
Tanpa kendali	8.4

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 26. Penetapan deviasi standar

Isi pekerjaan		Deviasi standar		
Sebutan	Volume beton (m ³)	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	<1000	4.5 < S < 5.5	5.5 < S < 6.5	6.6 < S < 8.5
Sedang	1000 - 3000	3.5 < S < 4.5	4.5 < S < 5.5	6.5 < S < 7.5
Besar	>3000	2.5 < S < 3.5	3.5 < S < 4.5	4.5 < S < 6.5

3. Menghitung Nilai Margin (M)

Rumus:

$$M = K \times S_r \quad (1)$$

Keterangan:

M = nilai tambah

S_r = Standar deviasiK = 1,64 jika S_r < 4 Mpa2,64 jika S_r > 4 Mpa4. Perhitungan Kuat Tekan Rata-Rata Yang Disyaratkan (f'_{cr})

Perhitungan ini memastikan bahwa setidaknya 90% dari total beton yang dihasilkan memenuhi kuat tekan yang ditetapkan. f'_{cr} dihitung menggunakan rumus:

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2)$$

Keterangan:

f'_{cr} = kuat tekan rata-rataf'_c = kuat tekan disyaratkan

M = nilai tambah

5. Penetapan Jenis Semen Dan Ukuran Maksimum Agregat

Pemilihan jenis semen dilakukan berdasarkan kebutuhan akan kekuatan, durabilitas dan ketersediaan di lokasi. Dalam penelitian ini, jenis semen yang digunakan adalah Semen PCC Tonasa. Ukuran maksimal agregat ditentukan berdasarkan ketebalan selimut beton, jarak antar tulangan, dan dimensi elemen struktur. Ukuran maksimum agregat umumnya berada dalam rentang 10 mm hingga 40 mm.

6. Menetapkan Faktor Air Semen (Antara 0,4 – 0,6)

Faktor air semen adalah rasio antara jumlah air yang tidak terikat dengan berat semen dalam proses pembuatan campuran beton. Besar faktor air semen (FAS) ditentukan berdasarkan kuat tekan rata-rata (f'_{cr}) yang tercantum dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton. Dalam berbagai kondisi lingkungan tempat beton yang direncanakan akan dibangun, terdapat batasan maksimum untuk faktor air semen, yaitu FAS yang tidak boleh melewati standar. Hal ini telah ditentukan oleh sejumlah pedoman mengenai beton.

Tabel 27. Persyaratan faktor air semen maksimum

Jenis Pembetonan	FAS Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan:	
1. Keadaan keliling non-korosif	0.60
2. Keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau lainnya	0.52
Beton di luar ruang bangunan:	
1. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.55
2. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0.60
Beton yang masuk ke dalam tanah:	
1. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0.55
2. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Mengacu ke fas beton sulfat
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payas/air laut	Mengacu ke fas beton dalam air

Sumber: Petunjuk Praktikum Teknologi Bahan Beton, Perencanaan Campuran Beton di Laboratorium, Universitas Pasir Pengaraian, Sesuai standar (SNI 03-2834-2000)

7. Menetapkan Nilai *Slump*

Untuk menentukan nilai *slump*, dibutuhkan pengalaman dalam pengolahan beton. Namun, untuk perencanaan awal mengenai *slump*, dapat digunakan panduan tabel berikut berdasarkan jenis struktur beton seperti pada tabel berikut:

Tabel 28. Nilai slump berdasarkan fungsi beton

Pemakaian	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
Dinding, plat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12,5	5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15	7,5
Pengeras jalan	7,5	5
Pembuatan beton massal	7,5	2,5

8. Perkiraan Kadar Air Bebas

Kadar air bebas merupakan berat air yang diperlukan agar agregat berada dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Penentuan kadar air bebas (air yang

berada di luar keadaan jenuh) dilakukan berdasarkan nilai slump yang ditetapkan, ukuran maksimum agregat, serta jenis agregat yang digunakan.

Tabel 29. Persyaratan kadar air bebas

Slump (mm)	Maksimum (cm)	0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran Butir Maksimum (mm)	Jenis Agregat	-	-	-	-
10 mm	Batu tidak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20 mm	Batu tidak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40 mm	Batu tidak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Karena agregat yang digunakan adalah campuran tak dipecahkan (pasir) dan dipecahkan (batu pecah), maka nilai kadar air bebas dihitung menurut perhitungan berikut:

$$kadar\ air\ bebas = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \quad (3)$$

Dimana,

Wh = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

9. Menentukan Kadar Semen

Setelah mendapatkan kadar air bebas dan FAS, kadar semen dihitung dengan:

$$kadar\ semen = \frac{kadar\ air\ bebas}{FAS} \quad (4)$$

10. Menentukan Berat Jenis Spesifik Gabungan Pasir Dan Batu Pecah

Berat jenis spesifik gabungan pasir dan batu pecah sangat dibutuhkan dalam perencanaan campuran beton, terutama untuk menetapkan volume agregat dalam 1 m³ campuran beton. Menurut DOE (Department of Environment) dan SNI 03-2834-2000, berat jenis spesifik gabungan dihitung dengan rumus berikut:

$$Gsg = \frac{(Pf \times Gf) + (Pc \times Gc)}{Pf + Pc} \quad (5)$$

Di mana:

Gsg = Berat jenis spesifik gabungan

Pf = Persentase agregat halus (pasir) dalam campuran (%)

Pc = Persentase agregat kasar (batu pecah) dalam campuran (%)

Gf = Berat jenis pasir (agregat halus)

Gc = Berat jenis batu pecah (agregat kasar)

11. Menentukan Kadar Agregat Gabungan

$$\text{Kadar}_{\text{agr. gabungan}} = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air bebas} \quad (6)$$

12. Menentukan Berat Volume Beton Segar/Basah

Berat volume beton yang masih segar atau basah merupakan berat total berat dari campuran beton dalam keadaan plastis sebelum mengalami proses pengerasan. Perhitungan ini penting dalam *mix design* beton untuk memastikan setiap campuran tetap dalam batas standar yang ditetapkan. Berat volume beton segar dapat dihitung dengan:

$$\text{Berat Volume Beton Segar} = W_{\text{semen}} + W_{\text{air}} + W_{\text{ag. halus}} + W_{\text{ag. kasar}} \quad (7)$$

Atau

$$BJ \text{ Beton Segar} = \frac{\text{Total Berat Material (kg)}}{\text{Volume Beton (m}^3\text{)}} \quad (8)$$

13. Penetapan Porsi Agregat

Penentuan porsi agregat dalam metode DOE (Department of Environment) dan SNI 03-2834-2000 bertujuan untuk menetapkan proporsi agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah) dalam campuran beton agar memenuhi syarat workability, kekuatan, dan kepadatan yang optimal. Adapun prinsip penetapan proporsi agregat:

- a. Agregat kasar berperan dalam memberikan kekuatan dan stabilitas beton.
- b. Agregat halus mengisi rongga di antara agregat kasar agar beton lebih rapat, padat dan mudah dikerjakan.

Rumus yang digunakan untuk menentukan berat masing-masing agregat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus (pasir)} A &= a\% \times (D - W_s - W_a) \\ \text{Berat agregat kasar (batu pecah)} B &= b\% \times (D - W_s - W_a) \end{aligned} \quad (9)$$

Dimana:

- $a\%$ = persentase penggabungan agregat halus (pasir)
- $b\%$ = persentase penggabungan agregat kasar (batu pecah)
- D = berat volume beton basah (kg/m^3)
- W_s = kadar semen (kg/m^3)
- W_a = kadar air bebas (kg/m^3)
- A = berat agregat halus (pasir) kondisi SSD (kg/m^3)
- B = berat agregat agregat kasar (batu pecah) kondisi SSD (kg/m^3)

14. Menentukan Kebutuhan Agregat Halus Dan Kasar Per m³

Misal:

P = 40%

K = 60%

$$\begin{aligned} \text{Wagregat halus} &= \frac{P}{P+K} \times \text{Wagg camp} \\ \text{Wagregat kasar} &= \frac{K}{P+K} \times \text{Wagg camp} \end{aligned} \quad (10)$$

15. Menentukan Proporsi Berat Bahan

Proporsi berat antara semen : air : pasir : kerikil adalah;

$$W_s : W_a : \text{Wagregat halus} : \text{Wagregat kasar}$$

Kebutuhan semen : air : pasir : kerikil untuk satu kali adukan adalah banyaknya silinder dikali rata-rata kebutuhan untuk satu silinder.

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times H \quad (11)$$

$$V = 3.1416 \left(\frac{0.10}{2} \right)^2 \times 0.20$$

$$V = 3.1416 \times 0.0025 \times 0.20$$

$$V = 0.00157 \text{m}^3$$

16. Penyesuaian Proporsi Campuran

Penyesuaian dilakukan setelah uji coba pencampuran yang bertujuan untuk memastikan campuran beton telah memenuhi persyaratan kuat tekan yang direncanakan.

2.9 Tahap Pembuatan Beton Segar

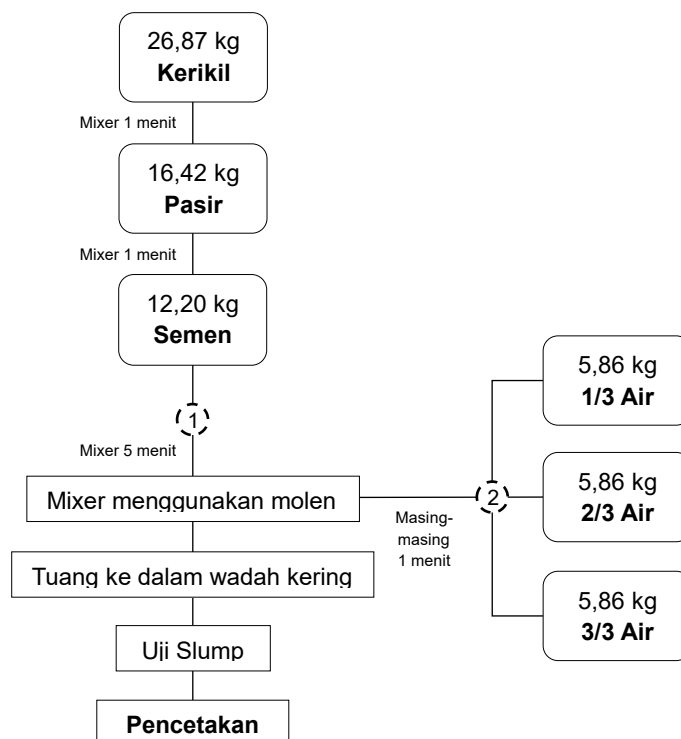
Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pencampuran Beton Segar" yang terdiri dari beberapa tahapan dalam pembuatan beton segar, yaitu:

2.9.1 Tahapan Pembuatan Beton Normal

1. Peralatan yang akan digunakan untuk membuat beton normal harus dalam keadaan bersih seperti ember, skop, saringan, timbangan, loyang, pejorok besi, sendok cekung.
2. Menimbang bahan-bahan yang akan digunakan berdasarkan komposisi dari perhitungan *mix design* yang telah ditentukan.
3. Sebelumnya, terlebih dahulu membasahi molen dengan air sampai lembab.

4. Menyalakan molen beberapa menit kemudian masukkan batu pecah. Setelah itu, masukkan secara perlahan pasir dan juga semen.
5. Biarkan dalam beberapa menit untuk memastikan ketiga material batu pecah, pasir, dan semen yang terlebih dahulu telah dimasukkan tercampur secara merata.
6. Setelah ketiga bahan tersebut tercampur secara merata, masukkan air sedikit demi sedikit. Air yang dimasukkan terlebih dahulu dibagi menjadi $\frac{1}{3}$ bagian dan $\frac{2}{3}$ bagian dengan lama pencampuran minimal 3 menit hingga campuran merata.
7. Masukkan $\frac{1}{3}$ bagian air terakhir lalu biarkan selama 1 menit.
8. Kemudian *mixer* hingga campurannya menjadi homogen.
9. Setelah campuran merata, beton segar siap dikeluarkan ke dalam wadah lalu dilanjutkan pengujian slump dan proses pencetakan.

Adapun skema pembuatan beton normal dapat dilihat berdasarkan gambar berikut:



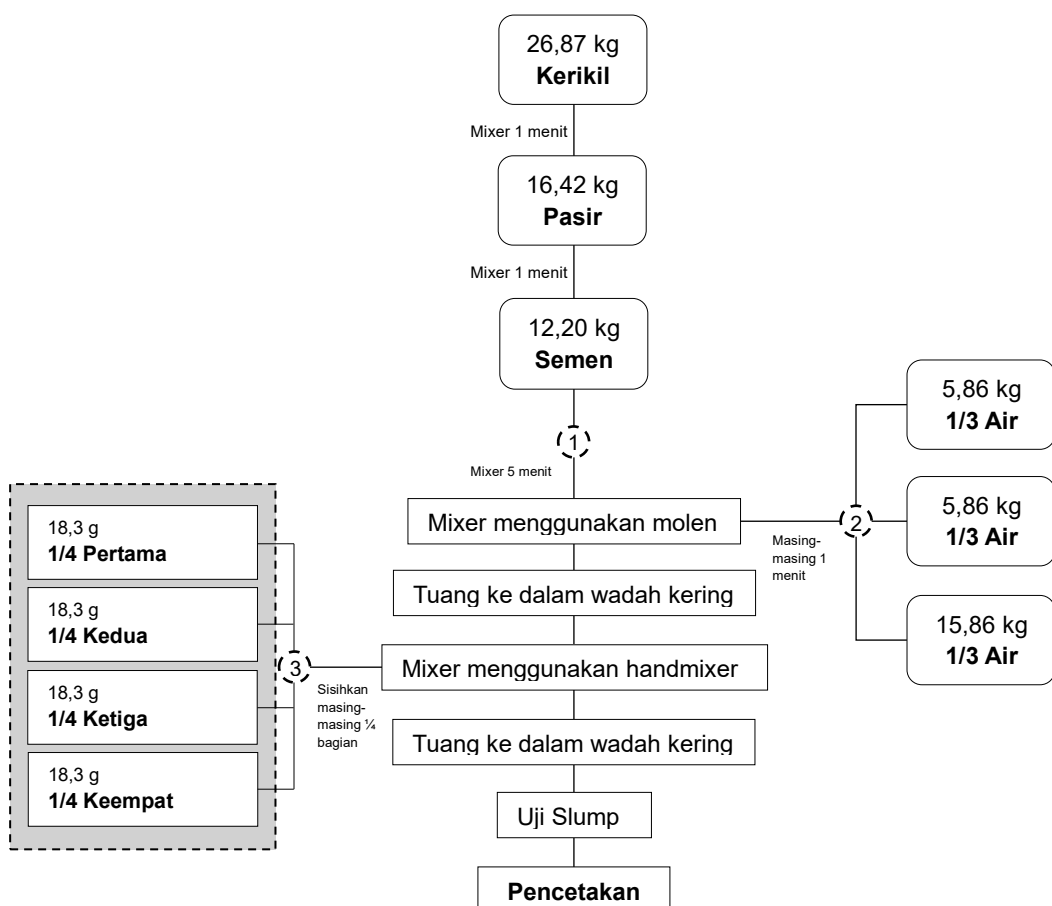
Gambar 13. Skema pembuatan beton normal

2.9.2 Tahapan Pembuatan Beton Variasi Serat Tissue Basah

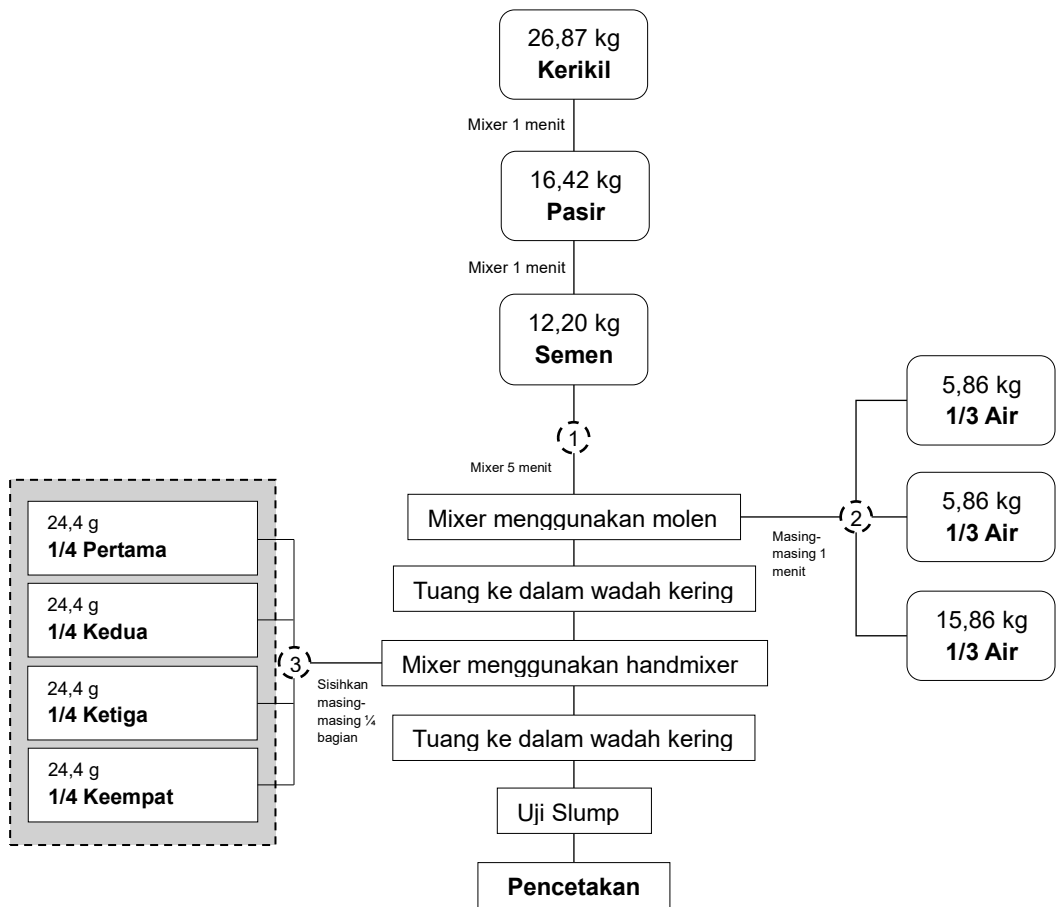
1. Tahapan pembuatan beton variasi serat dilakukan bertahap seperti beton normal sebelumnya (poin 1-9)
2. Campuran yang telah tercampur rata dikeluarkan dalam wadah yang disesuaikan dengan kebutuhan tiap variasi campuran serat tisu basah ke dalam wadah yang telah disediakan sebelumnya.

3. Tambahkan serat secara bertahap dengan metode 25%-25%-25%-25% untuk memastikan distribusi serat lebih merata dalam campuran beton dan mencegah penggumpalan. Masukkan 25% dari total serat ke dalam mixer dan aduk selama 1 menit. Tambahkan 25% berikutnya, aduk kembali selama 1 menit. Masukkan 25% selanjutnya, aduk lagi selama 1 menit. Terakhir, tambahkan sisa 25% serat, lalu lanjutkan pengadukan selama 2 menit hingga seluruh serat tersebar merata dalam campuran.
4. Campuran yang telah homogen atau tercampur rata dikeluarkan dari dalam wadah. Keluarkan campuran beton ke cetakan silinder ukuran 20 x 10 cm.
5. Pencampuran beton variasi dilakukan selama 4 kali pencampuran untuk setiap variasi serat (0.15%, 0.20%, dan 0.25%).

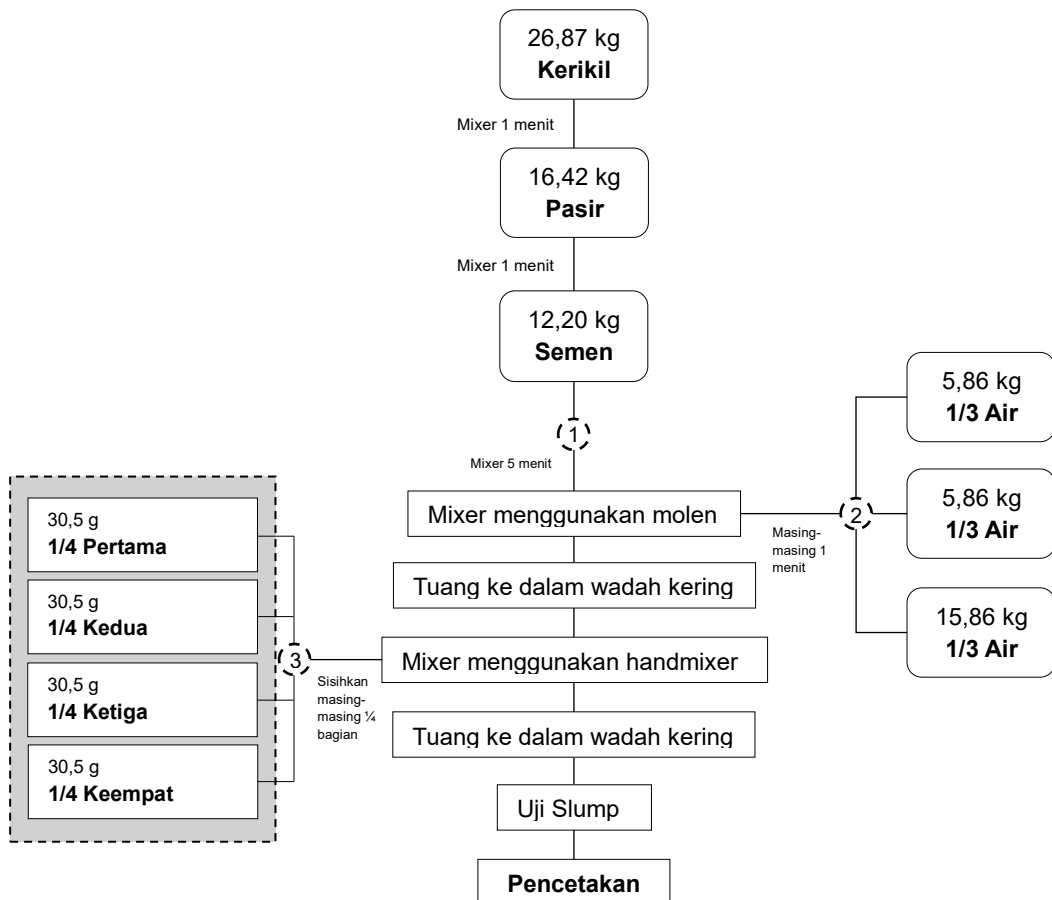
Adapun skema pembuatan beton dengan penambahan serat 0.15%, 0.20%, dan 0.25% dapat dilihat berdasarkan gambar berikut:



Gambar 14. Skema pembuatan beton variasi penambahan 0.15% serat tisu basah



Gambar 15. Skema pembuatan beton variasi penambahan 0.20% serat tisu basah



Gambar 16. Skema pembuatan beton variasi penambahan 0.25% serat tisu basah

2.10 Tahap Pengujian Slump Beton Menurut SNI 03-1974-1990

Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1974-1990 tentang "Metode Pengujian Slump Beton" mengatur tahapan pengujian slump beton sebagai berikut:

2.10.1 Persiapan

Alat dan bahan

1. Cetakan *slump* yakni kerucut abrams dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 15 cm, dan tinggi 30 cm
2. Batang baja
3. Papan datar
4. Alat ukur *slump*

2.10.2 Prosedur Pengujian

1. Peletakan cetakan:
 - a) Letakkan cetakan slump di atas papan datar yang telah diatur dengan keadaan datar, taruh cetakan tepat ditengah kemudian injak pegangan kerucut abrams agar tidak beton segar tidak merembes.
2. Pengisian cetakan:
 - a) Isi cetakan slump dengan beton segar dalam tiga lapisan. Dalam tiap lapisan berisi $\frac{1}{3}$ cetakan.
 - b) Padatkan setiap lapisan dengan 25 rojokan.
 - c) Ratakan permukaan beton dengan spatula atau sendok.
3. Pengangkatan cetakan:
 - a) Tepat setelah pengisian terakhir, angkat cetakan slump secara vertikal tegak lurus ke atas. Pengujian harus dilakukan dalam kurun waktu 2-3 menit agar beton tidak mengeras.
4. Pengukuran slump:
 - a) Segera setelah mengangkat cetakan, ukur jarak vertikal dari beton segar.
 - b) Catat hasil pengukuran nilai slump beton.
5. Pembersihan:
 - a) Bersihkan peralatan yang telah digunakan setelah pengujian untuk menghindari sisa beton segar mengeras pada alat.

2.11 Tahap Pencetakan Benda Uji

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1971-1990 tentang "Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan", tahap pencetakan benda uji beton meliputi:

2.11.1 Persiapan

1. Alat dan bahan:
 - a) Cetakan silinder
 - b) Minyak pelumas seperti oli atau agen pelepas cetakan
 - c) Lap
 - d) Alat getar (vibrator)
2. Pengambilan sampel beton:
 - a) Ambil sampel beton segar dari wadah

2.11.2 Prosedur Pencetakan

Perawatan cetakan:

1. Lumuri cetakan benda uji dengan minyak pelumas seperti oli untuk mempermudah pelepasan benda uji setelah pencetakan.

2. Cetakan benda uji harus dalam keadaan bersih dan kering.

2.11.3 Pengisian Cetakan

1. Isi cetakan benda uji dengan beton segar dalam tiga lapisan.
2. Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan batang baja atau batang beton secara merata.
3. Gunakan vibrator untuk memadatkan beton dan mengeluarkan gelembung udara.
4. Ratakan permukaan beton dengan spatula atau sendok.

2.11.4 Penyelesaian Permukaan:

1. Pastikan permukaan beton rata dan halus. Kemudian diamkan selama 24 jam.
2. Setelah 24 jam, lepask sampel dari cetakan kemudian lakukan proses perawatan benda uji.

2.12 Tahap Perawatan Wet Curing

Menurut SNI 03-1971-1990, tahap perawatan wet curing benda uji beton meliputi:

2.12.1 Prosedur Perawatan

1. Penyimpanan awal:
Simpan benda uji dalam cetakan selama 24 jam pertama setelah pencetakan. Jaga agar cetakan tetap lembab dengan menutupnya dengan plastik.
2. Pelepasan cetakan:
Setelah 24 jam, lepask cetakan benda uji dengan hati-hati. Pastikan permukaan benda uji tidak rusak.
3. Perawatan wet curing:
Perawatan dilakukan dengan meletakkan benda uji ke dalam bak perendaman. Lalu lakukan pengujian sampel pada umur 7, 14 dan 28 hari.

2.13 Tahap Pengujian Kuat Tekan Beton

Standar Nasional Indonesia (SNI) yang umum digunakan untuk pengujian kuat tekan beton adalah SNI 1974-2011 tentang "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder". Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* kapasitas 1000KN. Tahapan pengujian kuat tekan beton meliputi:

2.13.1 Persiapan

1. Alat dan bahan:

- a) Mesin UTM
- b) Silinder uji beton yang sudah berumur sesuai kebutuhan (7, 14, dan 28 hari).
- 2. Pengondisian benda uji:
 - a) Setidaknya 24 jam sebelum pengujian, keluarkan benda uji beton dari tempat perawatan (bak perendaman).
 - b) Lap bersih permukaan benda uji dan pastikan tidak ada material yang terlepas.
 - c) Bawa benda uji ke ruang dengan temperatur terkontrol (sekitar 20-27°C) minimal 1 jam sebelum pengujian.
 - d) Ukur diameter, tinggi dan berat benda uji.

2.13.2 Prosedur Pengujian

- 1. Penempatan benda uji:
Letakkan benda uji secara horizontal dan pastikan benda uji berada tepat ditengah penampang mesin.
- 2. Pembebanan:
Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan. Hentikan pembebanan ketika benda uji mengalami kerusakan atau mencapai batas kemampuan mesin uji tekan.

2.13.3 Pencatatan Hasil

Catat beban maksimum yang ditahan oleh benda uji sebelum kerusakan. Dokumentasikan pola kerusakan yang terjadi pada benda uji.

2.13.4 Analisis Data

Setelah mendapatkan hasil pengujian beban maksimum, lakukan analisis data untuk mendapatkan hasil kuat tekan beton dengan rumus berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (12)$$

Dimana:

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum yang ditahan benda uji (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Bandingkan hasil kuat tekan beton yang diperoleh dengan nilai kuat tekan minimum yang direncanakan yaitu 20 MPa.

2.14 Tahap Pengujian Kuat Tarik Beton

Pengujian ini mengacu pada SNI 03-2491-2002: "Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder", yang setara dengan ASTM C496/C496M. Pengujian dilakukan

dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan beton menahan gaya tarik secara tidak langsung dengan cara memberikan beban tekan pada silinder beton, sehingga menyebabkan retak sepanjang sumbu vertikal akibat tekanan pada sumbu horizontal. Adapun tahapan pengujian kuat tarik belah adalah sebagai berikut:

2.14.1 Persiapan

1. Alat dan bahan
 - a) Mesin UTM
 - b) Pelat penekan yang rata dan sejajar.
 - c) Silinder uji beton yang sudah berumur sesuai kebutuhan (7, 14, dan 28 hari).
2. Pengondisian benda uji
 - a) Pengondisian benda uji untuk pengujian kuat tarik belah sama dengan pengondisian benda uji untuk pengujian kuat tekan.

2.14.2 Prosedur Pengujian

1. Penempatan benda uji
Benda uji ditempatkan secara horizontal di antara dua pelat atau yang terletak di bagian kanan dan kiri benda uji.
2. Pembebanan
Beban diberikan secara merata hingga benda uji mengalami keretakan di bagian tengah (sepanjang sumbu vertikal).

2.14.3 Pencatatan Hasil

Catat beban maksimum yang ditahan oleh benda uji sebelum kerusakan. Hitung nilai kuat tarik belah dan ambil nilai rata-rata nya. Dokumentasi pola kerusakan yang terlihat pada benda uji.

2.14.4 Analisis Data

Setelah mendapatkan hasil pengujian, kuat tarik belah (f_{ct}) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (13)$$

Dimana:

f_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa)

P = beban maksimum yang ditahan benda uji (N)

L = panjang silinder beton (mm)

D = diameter silinder beton (mm)

$\pi \approx 3.1416$

2.15 Tahap Pengujian Durabilitas Beton

Durabilitas beton merujuk pada kapasitas beton dalam mempertahankan performanya dalam jangka waktu lama ketika terpapar oleh pengaruh lingkungan ekstrem seperti air, gas, suhu, kelembaban, serta bahan kimia tertentu (seperti sulfat dan klorida), dan siklus pembekuan serta pencairan. SNI 2847:2019 menyoroti pentingnya penilaian durabilitas beton khususnya untuk struktur yang berada di lingkungan ekstrem atau memiliki jangka waktu perencanaan yang panjang.

Durabilitas dapat diukur melalui berbagai parameter fisik yang mengindikasikan sejauh mana beton dapat tahan terhadap penetrasi air, udara, atau bahan kimia yang menyebabkan kerusakan beton. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana ketahanan beton terhadap absorpsi yang menjadi indikator utama untuk menilai ketahanan beton terhadap kerusakan dalam jangka waktu yang lama. Pengujian yang dilakukan untuk mengukur ketahanan beton dalam konteks eksperimen yang akan dilaksanakan adalah pengujian penyerapan air. Pengujian penyerapan air (*Water Absorption*), mengacu pada SNI 03-6434-2000 mengenai "Metode Pengujian Penyerapan Air Beton", yang bertujuan untuk mengetahui banyaknya air yang dapat diserap oleh beton. Semakin rendah nilai penyerapannya, maka semakin baik daya tahannya. Adapun langkah-langkah untuk pengujian absorpsi beton adalah sebagai berikut:

2.15.1 Persiapan

1. Alat dan bahan
Silinder uji beton yang sudah berumur sesuai kebutuhan (7, 14, dan 28 hari).
2. Pengondisian benda uji
 - a) Setidaknya 24 jam sebelum pengujian, keluarkan benda uji beton dari tempat perawatan (bak perendaman).
 - b) Keringkan benda uji dalam oven bersuhu 100–105°C selama 3-5 jam
 - c) Setelah kering, benda uji didinginkan dalam suhu ruang.

2.15.2 Prosedur Pengujian

1. Benda uji yang telah kering ditimbang (berat kering).
2. Kemudian direndam dalam air selama 24 jam.
3. Setelah perendaman, benda uji dikeluarkan, kemudian diamkan sampai kering permukaan (SSD) lalu timbang kembali beton.

2.15.3 Analisis Data

Persentase penyerapan air dihitung dengan rumus:

$$\text{Penyerapan Air (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (14)$$

Dimana:

W_s = berat jenuh setelah perendaman (gram)

W_d = berat kering setelah oven (gram)

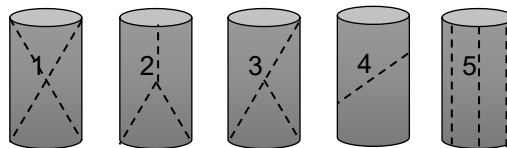
2.16 Pengujian Pola Retak Pada Beton

Berikut adalah tahapan metode penelitian yang dapat digunakan:

2.16.1 Tahapan Penelitian

1. Pengujian dan Pemberian Beban

Spesimen diberikan beban tekan atau tarik hingga muncul pola retak. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine* (UTM) sampai beton rusak. Adapun pola retak beton terbagi atas:



Dimana:

Gambar 1: bentuk kehancuran kerucut (*cone*)

Gambar 2: bentuk kehancuran kerucut dan belah (*cone and split*)

Gambar 3: bentuk kehancuran kerucut dan geser (*cone and shear*)

Gambar 4: bentuk kehancuran geser (*shear*)

Gambar 5: bentuk kehancuran sejajar sumbu (*columnar*)

2. Pengamatan visual
3. Analisis pola retak

2.16.2 Analisis Data

Data pola retak dikumpulkan, dianalisis, dan dibandingkan dengan standar ACI 224R-01.

2.17 Pengujian Korelasi

Pengujian ini diawali dengan memastikan seluruh data yang akan dianalisis layak digunakan dalam pengujian korelasi. Data yang digunakan merupakan hasil dari pengujian yang telah dilakukan meliputi hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton. Adapun tahapan analisis korelasi adalah sebagai berikut:

1. Data hasil pengujian dimasukkan ke dalam lembar kerja Microsoft Excel
2. Kemudian tentukan pasangan variabel seperti kuat tekan dan kuat tarik, kuat tarik dan absorpsi serta kuat tekan dan absorpsi.

3. Hitung koefisien yang telah dipasangkan menggunakan korelasi pearson pada fungsi CORREL di excel.
4. Nilai koefisien akan muncul dengan rentang antara -1 sampai +1 yang akan memperlihatkan arah dan kuat hubungan antar variabel.

2.18 Tahap Pengelolaan Data

Data yang diperoleh harus diedit dan dipilih agar sesuai dengan penelitian. Setelah itu, dilakukan pengumpulan dan pengelompokan data dalam bentuk tabel atau grafik. Data dianalisis melalui metode statistik kemudian dibandingkan dengan teori serta standar yang relevan dengan penelitian.

2.19 Tahapan Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan akan dianalisis untuk melihat hubungan antara variabel-variabel yang diuji. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan referensi serta standar untuk mengetahui pengaruh variasi material terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi.

2.18.1 Tahapan Analisis Pengujian Karakteristik Material

Tahapan ini membahas analisis pengujian karakteristik material dalam beberapa aspek diantaranya:

- a. Pengujian Analisis Agregat Kasar (Kerikil)
Modulus kekasaran agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$F = \frac{\Sigma \% \text{tertahan}}{100} \quad (15)$$

- b. Pengujian Specific Gravity dan Penyerapan Air Agregat Kasar
Bulk Specific Gravity:

$$BSG = \frac{a}{b - c} \quad (16)$$

Bulk Specific Gravity SSD (Saturated Surface Dry):

$$BSG \text{ SSD} = \frac{b}{b - c} \quad (17)$$

Apparent Specific Gravity:

$$ASG = \frac{a}{b - c} \quad (18)$$

Absorpsi (Penyerapan Air):

$$\text{Absorpsi} = \frac{b - a}{a} \times 100\% \quad (19)$$

Keterangan:

a = Berat agregat kasar kering (gr)

b = Berat agregat kasar kondisi SSD (setelah direndam 24 jam dan dikeringkan)

c = Berat agregat kasar dalam air (gr)

c. Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Rumus kadar air:

$$\text{kadar air} = \frac{C - D}{D} \times 100\% \quad (20)$$

Keterangan:

C = Berat benda uji (gr)

D = Berat benda uji kering (gr)

d. Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Rumus berat volume agregat kasar:

$$\text{Berat Volume} = \frac{D}{A} \times 100\% \quad (21)$$

Keterangan:

D = Berat benda uji (gr)

A = Volume mould (ltr)

e. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Rumus kadar lumpur:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{G^0 - G^1}{G^0} \times 100\% \quad (22)$$

Keterangan:

G^0 = Berat agregat kering sebelum dicuci (gr)

G^1 = Berat agregat setelah dicuci (gr)

f. Pengujian Analisis Agregat Halus (Pasir)

Modulus kekasaran agregat Halus (Pasir) dihitung dengan rumus:

$$F = \frac{\Sigma \% \text{tertahan}}{100} \quad (23)$$

- g. Pengujian Specific Gravity dan Penyerapan Air Agregat Halus (Pasir)
Bulk Specific Gravity:

$$BSG = \frac{a}{b + 500 - c} \quad (24)$$

Bulk Specific Gravity SSD (Saturated Surface Dry):

$$BSG \text{ SSD} = \frac{b}{b + 500 - c} \quad (25)$$

Apparent Specific Gravity:

$$ASG = \frac{a}{b + b - c} \quad (26)$$

Absorption (Penyerapan Air):

$$\text{Absorpsi} = \frac{500 - a}{a} \times 100\% \quad (27)$$

Keterangan:

a = Berat pasir kering oven (gr)

b = Berat Volumetric Flask air

c = Berat Volumetric Flask berisi agregat halus dalam keadaan SSD

500 = Berat agregat halus dalam keadaan kering permukaan

- h. Pengujian Kadar Air Agregat Halus (Pasir)

$$\text{kadar air} = \frac{C - D}{D} \times 100\% \quad (28)$$

Keterangan:

C = Berat benda uji (gr)

D = Berat benda uji kering (gr)

- i. Pengujian Berat Volume Agregat Halus (Pasir)
Rumus berat volume agregat Halus (Pasir):

$$\text{Berat Volume} = \frac{D}{A} \times 100\% \quad (29)$$

Keterangan:

D = Berat benda uji (gr)

A = Volume mould (ltr)

j. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus (Pasir)

Rumus kadar lumpur:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (30)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji (gr)

B = Tinggi pasir (cm)

k. Tahap Analisis Kuat Tekan Beton

Rumus kuat tekan beton:

$$f'c = \frac{F}{A} \quad (31)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

F = Beban (kN)

A = Luas penampang bidang tekan (m²) Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

l. Analisis SPSS atau Excel dengan Metode Regresi Linear Sederhana

Rumus regresi linear sederhana:

$$Y = a + bX \quad (32)$$

Keterangan:

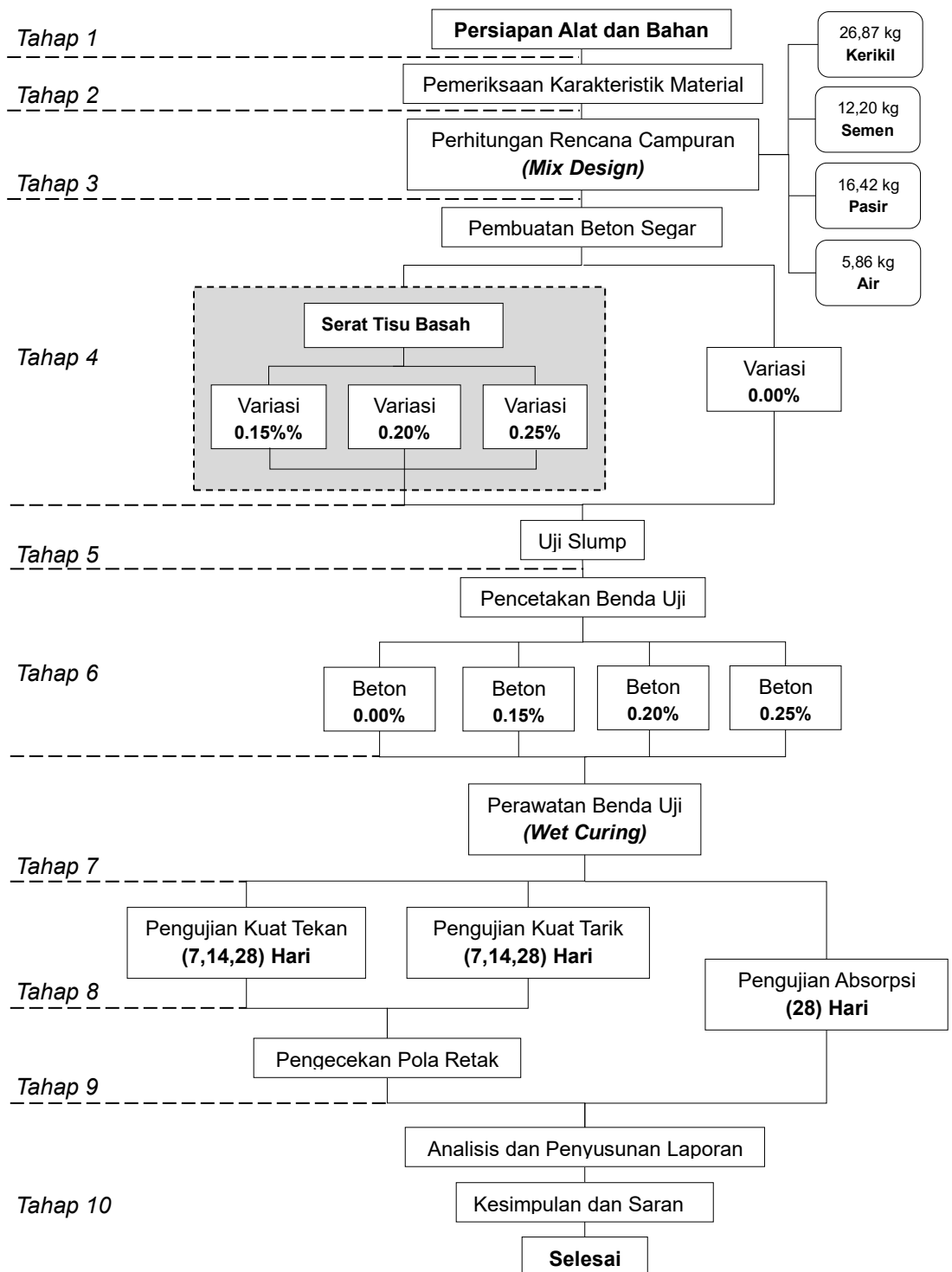
Y = Variabel terikat

$a = \frac{\text{Intersep}}{\text{konstanta}}$

$b = \text{Koefisien} \frac{\text{regresi}}{\text{slope}}$

X = Variabel bebas

2.20 Alur Penelitian



Gambar 17. Skema alur penelitian

Berdasarkan alur diatas, penelitian ini diawali dengan persiapan alat dan bahan serta pemeriksaan karakteristik material sebagai dasar perhitungan rencana campuran beton. Setelah komposisi campuran ditetapkan, beton segar dibuat dan serat limbah tisu basah ditambahkan dalam tiga variasi dari berat semen, yaitu 0.15%, 0.20%, dan 0.25%, serta campuran tanpa serat yaitu 0.00% sebagai beton kontrol. Beton segar kemudian diuji slumpnya kemudian dilakukan pencetakan. Seluruh benda uji dilakukan perawatan *wet curing* sampai batas waktu yang ditentukan. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari, sedangkan absorpsi diuji hanya pada umur 28 hari, disertai observasi pola retak. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui pengaruh serat terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton, kemudian dilakukan penarikan kesimpulan akhir penelitian.