



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia yang semakin maju dan serba canggih, teknologi beton mempunyai potensi yang luas dalam bidang konstruksi. Hal ini menyebabkan beton banyak digunakan untuk konstruksi bangunan gedung, jalan, jembatan dermaga dan lain-lain. Banyaknya jumlah penggunaan beton dalam konstruksi tersebut mengakibatkan peningkatan kebutuhan material beton, sehingga memicu pengembangan teknologi beton menggunakan material-material yang terjangkau dan ramah lingkungan. Menurut Mulyadi, dkk, (2017) beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam bidang konstruksi. Beton dikenal mempunyai kekuatan yang memadai, mudah dibentuk, mudah diproduksi secara lokal, dan mudah dalam perawatannya. Selain itu bahan penyusun beton mudah didapat karena sebagian besar dari bahan penyusun beton tersebut adalah bahan lokal (kecuali semen *portland* atau bahan tambah kimia). Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu cepat rupanya juga menyentuh aspek dunia konstruksi. Teknologi konstruksi sampai saat ini masih berpengaruh besar terhadap perkembangan dunia konstruksi. Oleh sebab itu untuk memahami dan mempelajari seluruh teknologi tersebut diperlukan pengetahuan karakteristik masing-masing komponen. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang homogen sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai keinginan (Kurniati, 2018).

Pada saat ini pembangunan di bidang konstruksi mengalami peningkatan yang tinggi. Beton adalah komponen utama yang sangat dibutuhkan dalam pekerjaan konstruksi salah satunya pada perkerasan kaku. Seiring dengan pembangunan konstruksi yang semakin tinggi, kebutuhan beton juga meningkat. Pada konstruksi jalan raya penggunaan beton sudah menjadi alternatif dalam meningkatkan daya



tahan terhadap retak dan deformasi permanen. Jenis perkerasan yang sering digunakan dan merupakan alternatif perkerasan di Indonesia. Selain perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan kaku atau juga disebut *rigid pavement*. Jenis perkerasan ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan perkerasan lentur antara lain cukup kuat, umur rencana dapat mencapai 20 tahun dan biaya pemeliharaan relatif rendah (Sirait 2022). Perkerasan kaku atau disebut juga dengan *rigid pavement* merupakan salah satu alternatif perkerasan di Indonesia dan sangat banyak digunakan karena sangat stabil dan tahan lama dibandingkan dengan perkerasan lentur. Saat ini perkerasan keras banyak digunakan terutama pada jalan raya nasional dan jalan tol. Pasalnya, ruas jalan tersebut sering dilalui kendaraan berat. Peningkatan beban kendaraan yang melintasi jalan dan dilakukan secara berulang juga menyebabkan kerusakan jalan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan yang tepat agar menghasilkan jalan yang tetap kuat dan tahan terhadap peningkatan lalu lintas dan iklim dalam jangka waktu yang lama.

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Perkerasan beton semen terdiri atas empat (4) jenis yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulang, perkerasan beton dengan tulangan, perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dan perkerasan beton semen prategang. Perkerasan beton adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, atau lapis permukaan beraspal. Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen (Sidabutar, dkk., 2021).

Menurut Nopriyanto dan Siswoyo (2021) lapis perkerasan jalan berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapis dibawahnya kemudian diteruskan ke tanah dasar. Perkerasan kaku mempunyai beberapa keuntungan antara lain, cocok untuk lalu lintas berat, lebih tahan terhadap cuaca panas, tidak



terjadi deformasi dan tahan terhadap pengaruh air. Kelemahan pada perkerasan kaku antara lain pada masa pelaksanaan, karena setelah pengecoran diperlukan waktu sekitar 30 hari untuk mencapai kekuatan rencana sebelum dibuka untuk lalu lintas. Keunggulan penggunaan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) sebagai konstruksi jalan raya adalah dari segi umur konstruksi yang lebih lama dibandingkan dengan konstruksi perkerasan lentur.

Permasalahan yang sering timbul pada pembuatan beton perkerasan kaku adalah munculnya gejala keretakan yang disebabkan oleh tegangan tarik dikarenakan sifat beton yang getas. Penambahan serat pada adukan beton merupakan salah satu solusi untuk mengatasi keretakan yang diakibatkan oleh tegangan tarik (Faldo dan Hudori, 2021). Salah satu cara untuk memperbaiki karakteristik beton pada perkerasan kaku adalah dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Baik untuk meningkatkan kuat tekan, kuat tarik ataupun kuat lentur (Ali, dkk., 2024). Oleh karena itu penambahan serat *polipropilena* pada campuran beton dapat meningkatkan sifat daktilitas beton itu sendiri. Penambahan serat polipropilena meningkatkan kinerja daktilitas pasca beban puncak, kekuatan tarik pra-retak, kekuatan patah, ketahanan benturan, kapasitas lentur, kinerja kelelahan dan lain-lain. Daktilitas beton serat bergantung pada kemampuan serat untuk menghambat retakan pada tingkat regangan yang tinggi. Untuk menghambat keretakan, cara yang digunakan, yaitu mencampur serat ke dalam campuran beton (Sultan, dkk., 2023).

Serat *polypropylene* sering kali dijumpai dalam kehidupan sehari-hari diantaranya adalah plastik pembungkus makanan ringan, karung beras, tali rafia, sedotan, kantong obat, dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini digunakan jenis serat *polypropylene*. Serat *polypropylene* mempunyai sifat tahan terhadap serangan kimia, permukaannya tidak basah sehingga mencegah terjadinya penggumpalan serat selama pengadukan. Serat ini mempunyai titik leleh 165°C dan mampu digunakan pada suhu lebih dari 100°C untuk jangka waktu pendek. Serat ini juga biasa digunakan sebagai bahan dasar dalam memproduksi bahan-bahan yang terbuat dari plastik. Material ini tersedia dalam bentuk filamen tunggal dan



mempunyai panjang 6 – 50 mm dengan tampang melingkar yang dapat dipotong-potong sesuai dengan yang diinginkan. Serat ini juga tersedia dalam bentuk bubuk yang memiliki daya rentang lebih rendah dari *polypropylene* bubuk (Gunawan, dkk., 2014).

Adapun serat plastik yang digunakan pada penelitian kali ini diperlihatkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Serat *Polypropylene*

Karena perkerasan kaku memiliki sifat kaku maka harus mampu menahan lenturan-lenturan dari beban roda kendaraan. Untuk meningkatkan kuat lentur maka pada campuran beton perkerasan kaku ditambahkan serat, dalam hal ini adalah serat *polypropylene* (Ali, dkk., 2024). Serat *polypropylene* merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan – bahan yang terbuat dari plastik. Pertama kali fiber digunakan dalam industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Material ini berbentuk filament yang ketika dicampurkan dalam adukan beton untaian itu akan terurai. Serat jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik lentur dan tekan beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sultan dkk, (2024) Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serat *polypropylene* ke dalam campuran beton perkerasan kaku dengan variasi 0,1%; 0,3%; 0,5%; 0,7%; dan 1,0% terhadap berat semen. Benda uji kontrol tanpa menggunakan serat *polypropylene*. Jumlah benda uji silinder 15x30 cm sebanyak 36 buah dan balok 15x15x60 cm sebanyak 18 buah.



Pengujian kuat tekan dan pengujian kuat lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat kuat lentur optimum pada kadar 0,3% dan penelitian yang dilakukan oleh Alsadey dan Salem (2016). Telah diamati bahwa kuat tekan beton untuk kubus dengan serat polipropilena 1%, 1,50% dan 2% lebih besar daripada kubus tanpa serat *polypropylene* 26 N/mm^2 , $26,40 \text{ N/mm}^2$ dan 28 N/mm^2 masing-masing dibandingkan dengan campuran kontrol tanpa serat polipropilena karena kuat tekannya adalah 25 N/mm^2 . Berdasarkan hasil pengujian dan variasi serat *polypropylene* pada kedua penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini menggunakan variasi serat *polypropylene* terhadap beton perkerasan kaku dengan konsentrasi 0%, 2%, 4% dan 6% dari berat semen. Dengan variasi konsentrasi 0%, 2%, 4%, dan 6%, pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kadar serat yang optimal dalam meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur, serta untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi serat terhadap sifat-sifat beton perkerasan kaku. Serat plastik *polypropylene* digolongkan sebagai *admixture* tambahan dikarenakan dalam penelitian ini penggunaan serat plastik *polypropylene* sebagai bahan tambahan dalam meningkatkan kuat tekan, kuat lentur dan daya tahan perkerasan kaku.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang mendapatkan kesimpulan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi serat *polypropylene* pada beton dapat mempengaruhi nilai *slump* pada beton perkerasan kaku?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan serat *polypropylene* terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada beton perkerasan kaku?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis nilai *slump* pada perkerasan kaku dengan komposisi campuran serat *polypropylene* 0%, 2%, 4% dan 6%.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan serat plastik *polypropylene* terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur beton perkerasan kaku selama 7 hari sebagai gambaran waktu pengikatan awal mengenai kemampuan beton untuk menahan



beban dan 28 hari merupakan waktu standar yang banyak digunakan dalam pengujian beton karena pada titik ini, beton umumnya sudah mencapai sekitar 100% dari kekuatan maksimumnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang penulis harapkan dari hasil penelitian ini dalam usaha perkembangan inovasi beton adalah sebagai berikut:

1. Penambahan serat *polypropylene* dapat memperbaiki kualitas beton beton perkerasan kaku sehingga menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama.
2. Dapat mengatasi permasalahan yang sering terjadi pada beton perkerasan kaku yaitu keretakan susut yang diakibatkan beban berlebih.

1.5 Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian bertujuan sebagai pembatas ruang lingkup dari penelitian ini sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai dan menghindari kesalahan penelitian. Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengujian menggunakan 2 (dua) variabel yaitu variabel bebas (kadar campuran serat *polypropylene* 0%, 2%, 4% dan 6% dan variabel terikat (semen, pasir, kerikil, dan air).
2. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 7 dan 28 hari.
3. Perawatan benda uji atau *curing* dilakukan selama 7 dan 28 hari.
4. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji bentuk kubus yang memungkinkan distribusi gaya tekan yang lebih seragam dan lebih mudah untuk mengukur respons beton ketika diberikan beban tekan. Kubus memberikan area permukaan yang datar untuk penekanan yang lebih merata.
5. Pengujian kuat lentur menggunakan benda uji bentuk balok untuk memberikan gambaran yang lebih realistik tentang bagaimana beton berperilaku dalam kondisi lentur agar sesuai dengan kondisi nyata pada struktur bangunan.
6. Benda uji terdiri dari 40 sampel berbentuk kubus untuk pengujian kuat tekan dan 40 sampel berbentuk balok untuk pengujian kuat lentur.
7. Mutu beton rencana 25 MPa untuk perkerasan kaku mutu sedang.
8. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.



Tugas Akhir
Analisis Penggunaan Serat *Polypropylene*
Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Perkerasan Kaku

9. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm.
10. Pengujian kuat lentur menggunakan ketentuan SNI 4431 tahun 2011.
11. Metode pengujian kuat tekan beton menggunakan ketentuan SNI 03-1974-1990





BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Dalam dunia bahan bangunan, beton bisa dipakai secara luas menurut kegunaannya, Salah satu kegunaanya dalam bidang transportasi. Kegunaan beton dalam bidang transportasi yaitu sebagai bahan perkerasan untuk jalan yang orang yang biasanya disebut juga sebagai jalan beton atau perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perkerasan kaku atau disebut dengan *rigid pavement* sudah sangat lama dikenal di Indonesia. Ia lebih dikenal pada masyarakat umum dengan nama Jalan Beton. Perkerasan tipe ini sudah sangat lama dikembangkan di negara-negara maju seperti Amerika, Jepang, Jerman dll. Perkerasan kaku adalah suatu susunan konstruksi perkerasan di mana sebagai lapisan atas digunakan pelat beton yang terletak di atas pondasi atau di atas tanah dasar pondasi atau langsung di atas tanah dasar (*subgrade*). Perkerasan kaku juga memiliki bahan pengikatnya dari beton semen umur rencana bisa sampai 15-40 tahun (Maharani dan Wasono, 2018). *Rigid pavement* atau perkerasan kaku yang terbuat dari beton, menahan tekan dan tarik secara bergantian. Untuk meningkatkan kemampuannya dalam menahan tekan dan tarik, maka dilakukan penelitian campuran beton berserat plastik. Plastik memiliki sifat ringan, kuat, mampu menahan tarik, fleksibel, dan tahan terhadap korosi. Hal ini juga dapat membantu mengurangi limbah plastik (Aji, dkk., 2022).

2.2 Beton

Beton adalah bahan bangunan yang tahan tegangan, yang sering mengalami keretakan yang berhubungan dengan keadaan plastis dan mengeras, susut kering, dan sejenisnya. Retakan umumnya berkembang dengan waktu dan tekanan untuk menembus beton, sehingga merusak sifat kedap air dan memaparkan bagian dalam beton terhadap zat perusak yang mengandung uap air, bromin, asam sulfat dan lain-lain. Paparan tersebut dapat merusak beton, dengan tulangan korosi baja. Beton konvensional memiliki daya tahan yang terbatas, kekuatan benturan dan ketahanan abrasi yang rendah, dan ketahanan retak yang rendah. Beton yang baik harus memiliki kekuatan yang tinggi dan permeabilitas yang rendah. Oleh karena itu,



material komposit alternatif seperti serat menjadi semakin populer karena fleksibilitas dan elastisitasnya (Sultan, dkk., 2023). Maharani dkk, (2012) melakukan penelitian tentang penggunaan limbah plastik sebagai pengganti bahan baku beton, dapat diketahui bahwa limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan alternatif campuran beton tanpa efek yang merugikan. Maka dalam penelitian ini dilakukan pembuatan beton dengan penambahan bahan limbah plastik yang bermutu tinggi yaitu serat *polypropylene*.

2.3 Material Penyusun Beton

Di dalam proyek konstruksi beton merupakan material utama yang digunakan sebagai struktur suatu bangunan maupun infrastruktur jalan. Menurut Ahmad, dkk., (2009) beton terdiri atas agregat, semen dan air yang dicampur bersama-sama dalam keadaan plastis dan mudah untuk dikerjakan. Karena sifat ini menyebabkan beton mudah untuk dibentuk sesuai dengan keinginan pengguna. Sesaat setelah pencampuran, pada adukan terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan dan pertambahan kekuatan. Kualitas beton yang baik dapat diperoleh dari bahan penyusun yang memiliki kualitas baik juga. Selain itu komposisi bahan juga mempengaruhi kualitas beton. Sub bab berikut akan membahas tentang bahan penyusun beton.

2.3.1 Semen *portland*

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar. Sedangkan jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras. Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat *fragmen-fragmen* mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokan ke dalam dua jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah campuran senyawa kimia jika dicampur dalam air dalam jumlah tertentu akan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat memadat dan mengeras. Contohnya seperti semen *portland*, semen putih dan



sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Semen diperoleh dengan cara membakar secara bersamaan, suatu campuran dari *calcareous* (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu. Secara mudahnya, kandungan semen *portland* adalah kapur, silika, dan alumina. Selanjutnya ketiga bahan dasar tadi dicampur dan dibakar dengan suhu 1550°C sehingga menjadi klinker. Kemudian dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai seperti bubuk. Biasanya ditambahkan gips atau kalsium sulfat sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan (Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut SNI 2049:2015, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang memiliki kandungan kalsium silikat bersifat hidrolis dan dicampur bersama dengan bahan tambah lain seperti kristal senyawa kalsium sulfat maupun bahan tambahan lain. Terdapat lima jenis semen *portland* berdasarkan penggunaannya, antara lain:

1. Jenis I

Semen *portland* dengan tipe ini digunakan secara umum oleh masyarakat, karena tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada tipe-tipe lainnya. Karakteristik dari semen ini adalah tidak diperlukan persyaratan khusus pada hidrasi panas serta kuat tekan awal. Tipe ini sangat cocok digunakan pada proyek yang berada jauh dari wilayah laut dan pantai serta yang memiliki kadar sulfat yang rendah.

2. Jenis II

Semen *portland* Tipe II merupakan semen *portland* yang digunakan pada daerah yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat maupun panas hidrasi sedang. Semen ini digunakan pada daerah yang mengandung asam sulfat berkisar antara 0,10% hingga 0,20%. Semen tipe ini dapat digunakan untuk pekerjaan konstruksi seperti bangunan dermaga, bekas rawa, landasan jembatan, dan lain sebagainya.



3. Jenis III

Semen *portland* tipe ini digunakan ketika memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi. Kekuatan yang dihasilkan dari semen *portland* Tipe III sama dengan semen *portland* Tipe I pada usia 28 hari.

4. Jenis IV

Semen *portland* Tipe IV merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Semen *portland* tipe ini digunakan pada konstruksi jalan, dimana penggunaannya harus meminimalkan panas hidrasi selama proses *curing* (perawatan), sehingga dapat meminimalkan terjadinya keretakan pada struktur bangunan.

5. Jenis V

Semen *portland* Tipe V merupakan tipe semen yang digunakan dalam kondisi memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Semen tipe ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki kadar asam sulfat yang tinggi (lebih dari 0,20%). Bangunan yang menggunakan semen tipe ini antara lain pelabuhan, pembangkit nuklir, dan lain sebagainya.

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *portland komposit* atau PCC (*Portland Composite Cement*) merk Tiga Roda yang diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Portland Composite Cement*



Menurut Yanita, (2020) semen PCC (*Portland Composite Cement*) merupakan material konstruksi yang masuk daftar Produk Hijau dari *Green Listing Indonesia* yang dikeluarkan oleh *Green Building Council* Indonesia. Menurut Yanita, (2020) beberapa faktor yang mempengaruhi semen semen PCC dikatakan sebagai produk ramah lingkungan sebagai berikut:

1. Dalam proses produksi PCC, penggunaan bahan bakar dapat berkurang sampai sekitar 20%, dengan menggunakan material komposit sebagai pengganti sebagian klinker.
2. Substitusi sebagian klinker dengan material komposit ini juga dapat mengurangi potensi emisi gas CO₂.
3. PCC juga menggunakan *waste* material seperti *slag* dan *fly ash* sebagai komposit pengganti klinker.
4. PCC diproduksi dengan teknologi penangkapan debu mutakhir, sehingga menekan potensi pencemaran udara jauh dibawah ambang batas yang telah ditentukan.
5. Produksi PCC menggunakan sebagian bahan bakar *alternative* terbarukan, seperti sekam padi, serbuk gergaji, limbah ban bekas dan lainnya, untuk mensubstitusi batu bara.
6. PCC dirancang untuk memiliki durabilitas yang tinggi, tahan terhadap sulfat, panas hidrasi rendah, dan memiliki kekedapan tinggi sehingga mampu menopang ketahanan bangunan lebih lama.
7. PCC dikemas dengan menggunakan material kantong yang dapat di daur ulang dan terbebas dari racun berbahaya.
8. Produsen PCC peduli terhadap kelestarian lingkungan, khususnya pada lahan tambang dengan melakukan revitalisasi lahan, pengelolaan sumber daya air, penanaman tanaman sumber energi terbarukan, serta pengelolaan keanekaragaman hayati di lingkungan tambang.

2.3.2 Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun peranan agregat pada beton sangat penting. Ini karena agregat menempati kira-kira sebanyak 70%



volume mortar atau beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Sirait 2022).

1. Agregat kasar

Agregat kasar adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Menurut asalnya agregat kasar dibedakan atas 2 macam, yaitu kerikil (dari batuan alam) dan batu belah (dari batuan alam yang dipecah). Menurut asalnya kerikil dibedakan atas kerikil galian, kerikil sungai, dan kerikil pantai. Kerikil galian biasanya mengandung zat-zat seperti tanah liat, debu, pasir dan zat-zat organik.

Sedangkan kerikil sungai dan kerikil pantai biasanya bebas dari zat-zat tersebut, permukaannya licin dan bentuknya lebih bulat. Hal ini disebabkan karena pengaruh air. Batu belah adalah agregat kasar yang diperoleh dari batu alam yang dipecah baik menggunakan mesin pemecah batu (*crusher*) ataupun dipisah secara alami menggunakan palu (*hammer*) yang mempunyai ukuran 5 mm – 70 mm. Menurut ukurannya, batu belah dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Ukuran butir 5-10 mm disebut batu belah halus
- b. Ukuran butir 10-20 mm disebut batu belah sedang
- c. Ukuran butir 20-40 mm disebut batu belah kasar
- d. Ukuran butir 40-70 mm disebut batu belah kasar sekali
- e. Ukuran butir > 70 mm digunakan untuk konstruksi beton siklop

Agregat kasar memiliki macam-macam bentuk butiran. Berdasarkan bentuknya agregat dibedakan atas agregat yang berbentuk bulat, bersudut, pipih, dan memanjang. Agregat kasar yang berbentuk bulat sangat baik untuk memperoleh kecelakaan, tetapi tidak memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi lebih baik menggunakan agregat kasar bersudut. Agregat kasar yang berbentuk pipih adalah agregat yang mempunyai ukuran tebal 1/3 dari ukuran lebarnya. Agregat kasar yang berbentuk memanjang adalah agregat kasar dengan ukuran lebar 1/3 ukuran panjangnya. Agregat kasar yang berbentuk pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 15% jumlah agregat kasar dalam beton (Samekto dkk, 2001). Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton



memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syarat tersebut adalah:

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
- b. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- e. Modulus halus butir antara 6-7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi Agregat kasar harus mempunyai ikatan yang baik antar agregat.
- f. Kerikil alami

Kerikil alami yaitu agregat kasar yang kekuatannya lebih rendah daripada batu pecah alami tetapi dalam penggerjaan kerikil alami lebih mudah daripada batu pecah. Kerikil alami berasal dari proses pengikisan dasar dan tepi sungai dari air sungai yang mengalir.

- g. Batu pecah alami

Batu pecah alami yaitu material yang terbentuk dari batu cadas dan batu batu pecah alami. Batu pecah alami mempunyai kelebihan yaitu dapat memberi kemudahan untuk penggerjaan pengecoran dibandingkan agregat kasar lainnya. Batu pecah alami berasal dari batu letusan gunung api, sedimen, dan jenis *metamorf*.

- h. Agregat kasar buatan

Agregat kasar buatan biasanya terbuat dari *shale* atau *slag* yang berbobot ringan. Agregat kasar buatan didapatkan dari proses dari *blast-furnace*.

Agregat yang berbobot berat digunakan sebagai pelindung dari nuklir. Agregat ini digunakan untuk beton yang tahan terhadap sinar gamma, *neutron*, dan sinar. Agregat ini diklasifikasikan untuk berbobot berat dan pelindung nuklir adalah magnetit, barit, dan limonit.

Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian adalah kerikil, kerikil yang digunakan telah dicuci bersih dari lumpur dan dilakukan pengujian analisis saringan. Syarat gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.1.

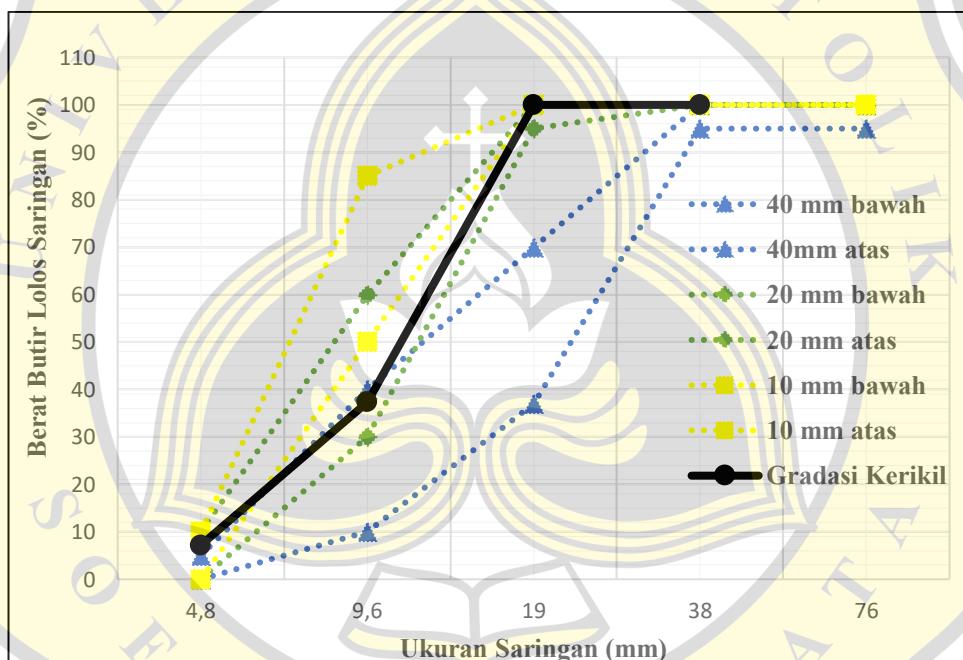


Tabel 2.1 Syarat Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Batas-batas gradasi agregat kasar			Hasil lolos saringan (%)
	Ukuran 10 mm	Ukuran 20 mm	Ukuran 40 mm	
76	100	100	100	100
38	95-100	100	100	100
19	37-70	95-100	100	99
9,6	10 - 40	30-60	50 -85	25,52
4,8	0-5	0-10	0-10	0,00

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 03-2834-2000)

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat diperoleh batas-batas gradasi agregat kasar sesuai dengan ukuran maksimum agregat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh Hasil Pengujian Gradasi Beserta Batas - Batas Gradasi Agregat Kasar (Sumber: Diolah kembali dari SNI 03-2834-2000)

2. Agregat halus

Pasir merupakan salah satu contoh material yang tampak dalam bentuk partikel-partikel kecil. Ukuran butiran pasir umumnya berkisar antara hingga 0,0625 hingga 2 mm. Silika merupakan komponen utama yang membentuk pasir, namun pada pantai tropis dan subtropis tertentu, pasir umumnya berupa batu kapur. Seperti yang diketahui, pasir juga mempunyai peranan yang sangat penting sebagai bahan bangunan jika dicampur dengan semen sebagai bahan perekat.



Menurut Dimyati, (2015) agregat halus adalah agregat yang lolos uji saringan no.04 atau ukuran 4,75 mm. Persyaratan agregat halus SK SNI S-04-1989-F sebagai berikut:

- a. Butir-butir keras dan tidak berpori.
- b. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan), jika diuji dengan larutan garam natrium sulfat bagian hancur maksimum 12 %, jika diuji dengan garam magnesium sulfat maksimum 18%.
- c. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
- d. Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- e. Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- f. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- g. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat beton, ¾ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.
- h. Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Agregat halus yang digunakan dalam pengujian adalah Pasir Muntilan, pasir Muntilan yang digunakan telah dicuci bersih dari lumpur dan dilakukan pengujian analisis saringan agregat halus. Setelah dikeringkan dengan cara diangin-anginkan selama 24 jam, pasir sudah dapat diuji lolos uji saringan agregat halus. Batas gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah.

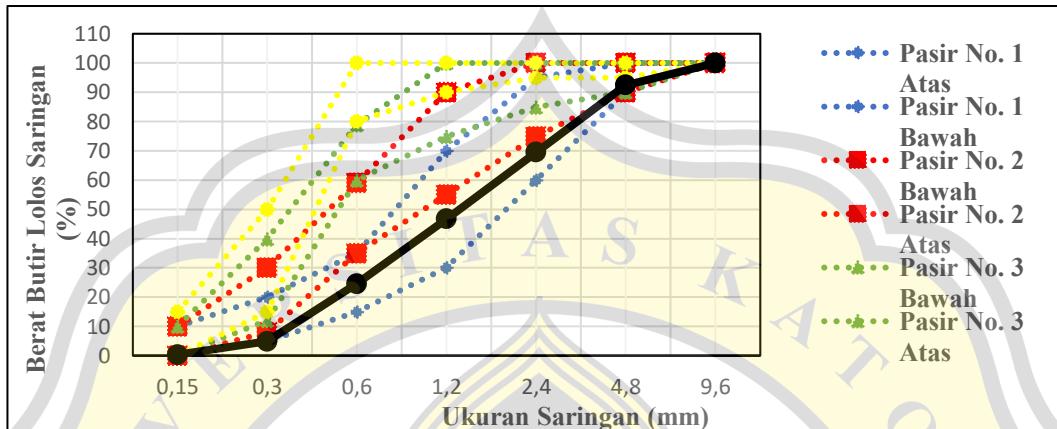
Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Butir Yang Lewat Ayakan (%)			
	Kasar	Agak Kasar	Agak Halus	Halus
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 03-2834-2000)



Berdasarkan Tabel 2.2 diperoleh nilai % lolos komulatif yang digunakan untuk menentukan tipe gradasi agregat pasir menurut SNI 03-2834-2000 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh Hasil Pengujian Gradasi Beserta Batas - Batas Gradasi Agregat Halus (Sumber: Diolah kembali dari SNI 03-2834-2000)

2.3.3 Air

Air merupakan salah satu faktor penting dalam proses pembuatan dan menjadi bahan untuk pembuatan beton, karena air bereaksi dengan semen akan menjadi pasta pengikat agregat (Meidiani dan Hartawan, 2017). Selain berperan sebagai bahan pembuatan dalam beton, air juga berfungsi terhadap perawatan beton. Dalam pembuatan beton, air yang dibutuhkan agar air bereaksi yaitu sekitar 25-30% dari berat semen. Syarat air yang baik dalam pembuatan beton antara lain:

1. Kandungan klorida maksimum 0,5 gram/liter.
2. Kandungan lumpur (benda melayang lainnya) harus memiliki tingkat maksimum 2 gram/liter.
3. Kandungan garam-garam yang merusak beton (zat organik, asam, dan lain-lain) maksimum 15 gram/liter.
4. Kandungan senyawa sulfat maksimum 1 gram/liter.

Untuk air yang digunakan sebagai perawatan beton, dapat menggunakan air yang digunakan pada saat pembuatan benda uji. Air tersebut adalah air yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan beton. Syarat pemakaian air untuk campuran beton adalah sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 2009):



1. Air untuk pemakaian campuran beton sangat tidak boleh mengandung lumpur atau benda melayang lainnya > 2 gr/liter.
 2. Air tidak boleh mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dsb) > 15gr/liter.
 3. Air tidak boleh mengandung klorida (Cl^-) > 0,5 gr/liter.
 4. Air tidak boleh mengandung senyawa sulfat > 1 gr/liter.

2.4 Pengujian Material

menurut Alkahly dan Syahfitri, (2016) mengatakan Pengujian material bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik dari material yang digunakan, serta untuk memperoleh variabel-variabel yang diperlukan dalam perhitungan *mix design* beton. Pengujian material pada penelitian ini akan dijelaskan pada sub-bab berikut ini:

2.4.1 Kadar air agregat halus

Pada pengujian ini ditujukan untuk mencari kandungan air yang terdapat pada agregat halus dan agregat kasar. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-1971-1990.

Kadar air agregat halus diperoleh dari SNI 03-1971-1990 dengan menggunakan Persamaan (2.1).

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat agregat (W1)} - \text{berat agregat kering (W2)}}{\text{berat agregat kering (W2)}} \dots \quad (2.1)$$

Keterangan:

W_1 = berat agregat (gr)

W_2 = berat agregat kering (gr)

2.4.2 Kadar air agregat kasar

Pada pengujian ini ditujukan untuk mencari kandungan air yang terdapat pada agregat kasar. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-1971-1990.

Kadar air agregat halus diperoleh dari SNI 03-1971-1990 dengan menggunakan Persamaan (2.2).

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat agregat} - \text{berat agregat kering}}{\text{berat agregat kering}} \dots \quad (2.2)$$

Keterangan:



W_1 = berat agregat (gr)

W_2 = berat agregat kering (gr)

2.4.3 Berat jenis agregat kasar

Metode pelaksanaan pengujian berat jenis agregat kasar berdasarkan SNI 03-2464-1991 (yang mengacu pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat).

Berat jenis agregat kasar diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.3).

Keterangan:

W₁ = berat kering (gr)

W_2 = berat basah dalam air (gr)

2.4.4 Berat jenis agregat halus

Pada pengujian ini menggunakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir tertahan saringan (No.04), pengujian ini ditujukan untuk mengetahui dan menghitung selisih berat air dan berat dari agregat halus. Pengujian ini mengacu pada SNI 1970:2008.

Berat jenis agregat halus diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.4), Persamaan (2.5), Persamaan (2.6), dan Persamaan (2.7).

$$\% \text{ penyerapan air (absorption)} = \frac{W_1 - W_4}{W_4} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

Keterangan:

W1 = Berat sampel SSD (gram)

$W_2 = \text{Berat pycnometer} + \text{Berat sampel (gram)}$

W3 = berat *pycnometer* + Air + Berat sampel (gram)

W4 = Berat sampel kering (gram)



2.4.5 Pengujian kehalusan semen

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 bertujuan untuk menentukan seberapa halus butiran semen. Kehalusan semen berpengaruh pada laju hidrasi semen dan kekuatan beton yang dihasilkan. Berikut adalah langkah-langkah untuk melaksanakan pengujian kehalusan semen menggunakan metode Saringan No. 200 (saringan dengan ukuran *mesh* 0,075 mm).

Pengujian kehalusan semen diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.8).

Keterangan:

W_1 = berat sampel semen (gr)

W_2 = berat semen tertahan (gr)

2.4.6 Pengujian konsistensi normal semen

Pengujian konsistensi normal semen pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-6826-2002. Pengujian waktu pengikat semen bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen untuk mendapatkan waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir. Pengujian waktu ikat dapat dilakukan apabila nilai konsistensi normal semen tercapai. Syarat nilai konsistensi normal memenuhi apabila jarum penetrasi mencapai angka 10 ± 1 mm sedangkan waktu ikat awal 25 ± 1 mm.

2.4.7 Pengujian analisis saringan agregat kasar

Dalam pengujian analisis saringan pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan.

Modulus kekasaran dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.9), Persamaan (2.10), Persamaan (2.11), dan Persamaan (2.12).

$$\% \text{ tertahan (A)} = \frac{\text{berat agregat tertahan (W2)}}{\text{berat total agregat (W1)}} \times 100\% \dots \quad (2.9)$$



% lolos komulatif (C) = lolos kumulatif + tertahan kumulatif(2.11)

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\sum \% \text{ tertahan kumulatif}}{100} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

Σ = jumlah total tertahan kumulatif (gr)

W_1 = berat total agregat (gr)

W_2 = berat agregat tertahan (gr)

A = tertahan (%)

B = tertahan kumulatif (%)

C = Lolos kumulatif (%)

2.4.8 Pengujian analisis saringan agregat halus

Analisis saringan agregat halus berdasarkan SNI 03-1968-1990 bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam agregat halus (pasir). Metode ini penting untuk memastikan bahwa agregat memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk beton atau campuran lainnya. Untuk menghitung analisis saringan agregat halus Persamaan (2.13), Persamaan (2.14), Persamaan (2.15), dan Persamaan (2.16).

$$\% \text{ tertahan (A)} = \frac{\text{berat agregat tertahan (W2)}}{\text{berat total agregat (W1)}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\sum \% \text{ tertahan kumulatif}}{100} \quad \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

Keterangan:

Σ = jumlah total tertahan kumulatif (gr)

W_1 = berat total agregat (gr)

W_2 = berat agregat tertahan (gr)

A = tertahan (%)

B = tertahan kumulatif (%)

C = Lulus kumulatif (%)



2.4.9 Berat volume agregat halus

Pada pengujian ini ditujukan untuk mencari berat isi dari agregat kasar. Pengujian ini mengacu pada SNI 1973:2008.

Berat volume agregat halus dan kasar dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.17) dan Persamaan (2.18).

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

$r = \text{Jari-jari silinder (mm)}$,

t = Tinggi silinder (mm)

2.4.10 Berat volume agregat kasar

Pada pengujian ini ditujukan untuk mencari berat isi dari agregat kasar. Pengujian ini mengacu pada SNI 1973:2008.

Berat volume agregat halus dan kasar dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.19) dan Persamaan (2.20).

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

$r = \text{Jari-jari silinder (mm)}$.

$t = \text{Tinggi silinder (mm)}$

2.4.11 Pengujian kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus berdasarkan SNI 2816:2014 adalah prosedur untuk menentukan kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus, yang penting untuk memastikan kualitas material dalam campuran beton atau mortir. Kadar lumpur yang tinggi dalam agregat halus dapat mempengaruhi kualitas beton, seperti menurunkan kekuatan beton atau meningkatkan kebutuhan air untuk pencampuran.



Perhitungan dapat diperoleh menggunakan Persamaan (2.21).

Keterangan:

W_1 = berat agregat halus (gr)

W_2 = berat lumpur tertahan (gr)

2.4.12 Pengujian keausan agregat kasar

Pada pengujian ini ditujukan untuk mengetahui nilai keausan dan agregat kasar. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 2417 tahun 2008. Perhitungan diperoleh menggunakan Persamaan (2.22).

Keterangan:

A = berat benda uji semula (gr)

B = berat benda uji tertahan saringan no. 12 (gr)

2.5 Serat Plastik

Salah satu cara untuk memperbaiki karakteristik beton pada perkerasan kaku adalah dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Baik untuk meningkatkan kuat tekan, kuat tarik ataupun kuat lentur (Ali, dkk., 2024). Plastik adalah senyawa polimer alkena dengan bentuk molekul sangat besar. Istilah plastik menurut pengertian kimia, mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Molekul plastik terbentuk dari kondensasi organic atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau nilai ekonominya. Menurut pengertian alamiahnya, terdapat beberapa polimer (pengulangan tidak terhingga dari monomer-monomer) yang digolongkan ke dalam kategori plastik (Basuki dan Darmanijati., 2018). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012, pengelolaan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan sampah terdiri dari 3R yaitu mereduksi timbulan (*reduce*), pemanfaatan kembali (*reuse*) dan daur ulang (*recycle*).



Plastik digunakan sebagai wadah, pengemasan, dan pembungkus suatu produk, seperti penggunaan kantong plastik untuk keperluan belanja. Plastik juga terdapat berbagai macam jenis, *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Polycarbonate*. Sifatnya yang tahan lama menyebabkan plastik sulit diurai. Botol plastik tidak dapat terurai dan kantong plastik memerlukan waktu yang lama agar bisa terurai, yaitu selama 1.000 tahun. Biasanya setelah pemakaian akan menjadi tumpukan sampah. Jenis-jenis plastik yang didaur ulang dapat diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi. Jenis-jenis plastik yang sering untuk didaur ulang adalah *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *polistirena* (PS), *Polyethylene terephthalate* (PET) dan *Polyvinyl chloride* (PVC) (Surono dan Ismanto, 2016):

1. *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Plastik PET merupakan pengembangan dari polietilen tereftalat, yaitu plastik yang mempunyai peranan cukup penting di dalam kehidupan makhluk hidup sehari-harinya. *Polyethylene terephthalate* (PET) adalah polimer termoplastik serbaguna yang termasuk dalam kelompok polimer poliester. Resin poliester sendiri dikenal memiliki sifat yang sangat baik dalam hal ketahanan mekanis, panas, dan kimia. Contoh plastik yang mengandung *Polyethylene terephthalate* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



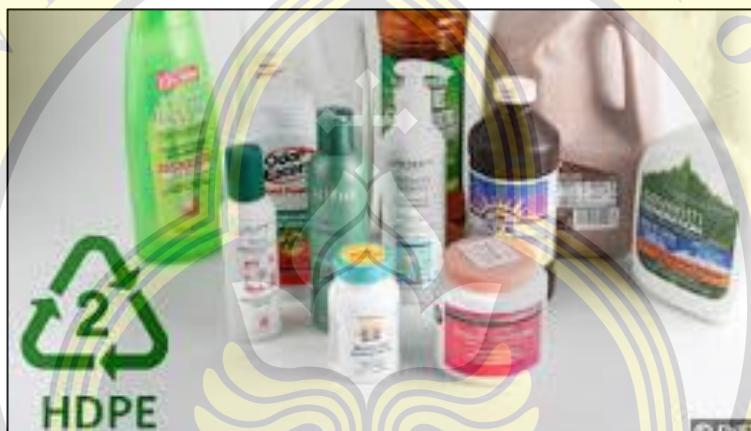
Gambar 2.4 Plastik *Polyethylene Terephthalate*

2. *High Density Polyethylene* (HDPE)

HDPE (*High Density Polyethylene*) banyak dijumpai dalam bentuk botol minuman, pipa, talenan, plastik tahan panas, tas belanja, botol sampo, dan masih



banyak lagi. *High Density Polyethylene* merupakan bahan plastik yang biasa digunakan dalam produksi kemasan plastik. Selain itu *High Density Polyethylene* memiliki warna putih susu atau putih bersih. adalah plastik serbaguna. HDPE (*High Density Polyethylene*) adalah plastik yang sangat berguna. *High Density Polyethylene* mengandung komponen partikulat yang tidak beracun dan banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan penyimpanan yang aman. *High Density Polyethylene* merupakan salah satu jenis plastik yang tergolong pangan dan dikatakan aman karena memiliki keunggulan kekuatan yang sangat baik dan ketahanan terhadap bahan kimia. Pada Gambar 2.5 adalah plastik dengan kandungan *High Density Polyethylene*.



Gambar 2.5 Contoh Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE)

3. Plastik *Polyvinyl Chloride* (PVC)

Polivinil klorida (PVC) adalah salah satu jenis plastik termoplastik yang memiliki sifat ekonomis dan multifungsi, menjadikannya material yang sangat populer dalam berbagai industri, terutama dalam sektor konstruksi. PVC banyak digunakan dalam pembuatan berbagai produk, seperti profil pintu dan jendela, pipa yang digunakan untuk sistem distribusi air minum maupun saluran pembuangan, serta sebagai bahan isolasi untuk kawat dan kabel listrik. Selain itu, PVC juga ditemukan dalam berbagai aplikasi medis, seperti peralatan medis sekali pakai, serta berbagai produk konsumsi lainnya. PVC pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan bernama Eugene Bauman pada tahun 1872, namun baru mendapatkan perhatian komersial yang signifikan setelah diproduksi secara massal oleh perusahaan B.F. Goodrich pada tahun 1920. Hal



ini menjadikannya salah satu jenis plastik yang pertama kali diproduksi secara luas dan dimanfaatkan dalam industri. Sebagai perbandingan, jenis plastik polimer lainnya baru ditemukan dan mulai diproduksi sekitar dua dekade setelahnya, pada tahun 1940-an, PVC mendahului banyak jenis plastik lainnya dalam hal pengembangan dan adopsinya dalam industri secara global. Pada Gambar 2.6 diperlihatkan Plastik *Polyvinyl Chloride*.



Gambar 2.6 Plastik *Polyvinyl Chloride*

4. *Low Density Polyethylene* (LDPE)

LDPE (*Low Density Polyethylene*) adalah jenis plastik termoplastik yang dapat diproses melalui proses pemanasan dan pendinginan. Plastik ini diproduksi dari minyak bumi yang telah ditambang sejak tahun 1933. Menurut Kusmiyati (2013), LDPE memiliki berbagai sifat unggulan yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi. Beberapa karakteristik utama LDPE antara lain adalah kekuatan yang baik, kekerasan, serta fleksibilitas yang tinggi, yang memungkinkan plastik ini mudah dibentuk menjadi berbagai produk. Selain itu, LDPE juga memiliki permukaan yang cenderung berkilau seperti lilin, menjadikannya menarik secara estetika. Plastik ini mudah diproses dan dapat didaur ulang, yang menjadi nilai tambah dalam upaya pengurangan dampak lingkungan dari penggunaan plastik. LDPE juga memiliki titik leleh yang relatif rendah, sekitar 70°C, sehingga ia akan melunak pada suhu tersebut, membuatnya lebih mudah untuk diproses dalam bentuk tertentu. Beberapa contoh produk yang umum menggunakan LDPE adalah tempat makanan, kantong plastik, dan plastik kemasan bening. Bentuk fisik LDPE yang tipis, fleksibel, transparan, dan ringan membuatnya sangat mudah untuk diolah menjadi berbagai produk dan



bahan yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu keunggulan utama LDPE adalah kemampuannya untuk dicetak atau dibentuk menjadi berbagai ukuran dan bentuk, yang memungkinkan penggunaannya dalam banyak industri, mulai dari makanan dan minuman hingga industri farmasi dan elektronik. Adapun penggunaan serat plastik *Low Density Polyethylene* diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kandungan *Low Density Polyethylene* Terdapat Pada Plastik Kresek

5. *Polypropylene* (PP)

Plastik PP (*polypropylene*) merupakan jenis plastik bening. Plastik ini terbuat dari propilena monomer, diproduksi dalam skala besar di seluruh dunia, dan biasa digunakan dalam kemasan makanan. Plastik populer karena bahannya yang tidak beracun dan aman digunakan dalam kemasan produk konsumen. Selain itu, plastik PP bersifat fleksibel dan mudah diolah menjadi berbagai bentuk tergantung kebutuhan yang ada. Gambar 2.8 memperlihatkan plastik jenis *polypropylene*.

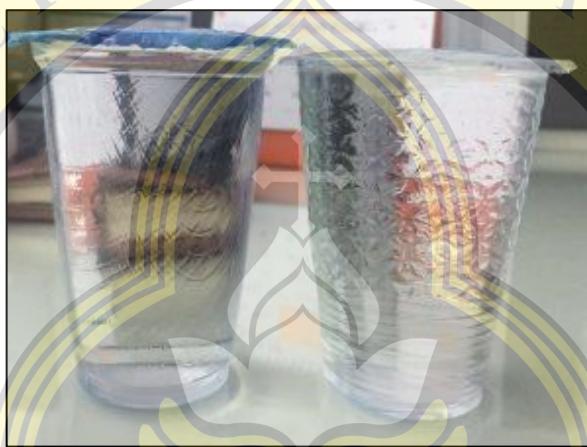


Gambar 2.8 Plastik Jenis *Polypropylene*



6. *Polystyrene* (PS)

Polystyrene merupakan polimer aromatik yang dapat mengeluarkan bahan styrene ke dalam makanan ketika makanan tersebut dapat bersentuhan. Jika, tidak tertera kode angka dibawah ini dapat dikenali dengan cara dibakar, ketika dibakar bahan ini akan mengeluarkan api berwarna kuning-jingga. Menurut Mujiarto (2005), plastik jenis ini bersifat jernih, kaku, buram, keras, mempunyai bunyi seperti metalik bila dijatuhkan, terpengaruh lemak dan pelarut, mudah dibentuk, dan melunak pada suhu 95°C. Pada Gambar 2.9 diperlihatkan benda plastik yang memiliki kandungan *polystyrene*.



Gambar 2.9 Gelas Plastik Minuman Kemasan Yang Mengandung Serat *Polystyrene*

7. *Polycarbonate*

Polikarbonat adalah suatu kelompok polimer termoplastik, mudah dibentuk dengan menggunakan panas. Plastik jenis ini digunakan secara luas dalam industri kimia saat ini. Plastik ini memiliki banyak keunggulan, yaitu ketahanan termal dibandingkan dengan plastik jenis lain, tahan terhadap benturan, dan sangat bening. Dalam identifikasi plastik, polikarbonat berada pada nomor 7. Polikarbonat disebut demikian karena plastik ini terdiri dari polimer dengan gugus karbonil (-O-(C=O)-O-) dalam rantai molekul yang panjang. Tipe polikarbonat yang *withering* umum adalah *bisfenol A* (BPA).

2.6 Serat *Polypropylene* (PP) Sebagai Bahan Tambah

Serat *polypropylene* (PP) adalah jenis serat sintetis yang terbuat dari polimer *polypropylene*, yang merupakan salah satu plastik termoplastik paling umum. Serat



ini memiliki berbagai aplikasi karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki daya tahan yang baik terhadap kelembaban. Serat *Polypropylene* merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan-bahan yang terbuat dari plastik. Pertama kali fiber digunakan dalam industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah keretakan sehingga menjadikan beton tersebut lebih daktail dibandingkan beton tanpa serat (Hudori dan Faldo, 2021). Serat *Polypropylene* merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan-bahan yang terbuat dari plastik. Penggunaan serat *Polypropylene* pada beton konvensional telah terbukti dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat-sifat struktural beton normal seperti daktilitas yang berhubungan dengan kemampuan bahan untuk menyerap energi, ketahanan terhadap beban kejut, ketahanan terhadap keausan, dan ketahanan terhadap pengaruh susutan atau *shrinkage* (Gusti dkk, 2021). Penggunaan serat plastik jenis *Polypropylene* sangat cocok dalam teknologi beton karena memiliki sifat-sifat yang membantu beton dalam meningkatkan daya tahan. Menurut Irawan dkk., (2017) penggunaan serat *Polypropylene* memiliki keunggulan dalam campuran beton sebagai berikut:

- a. Memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat *pre - hardening stage* sehingga dapat mengurangi keretakan akibat penyusutan.
- b. Memperbaiki ketahanan terhadap kikisan.
- c. Memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan.
- d. Memperbaiki ketahanan terhadap penembusan air dan bahan kimia.
- e. Memperbaiki keawetan beton.

2.7 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Perkerasan beton semen terdiri atas empat (4) jenis yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulang, perkerasan beton dengan tulangan, perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dan perkerasan beton semen prategang. Perkerasan beton adalah struktur



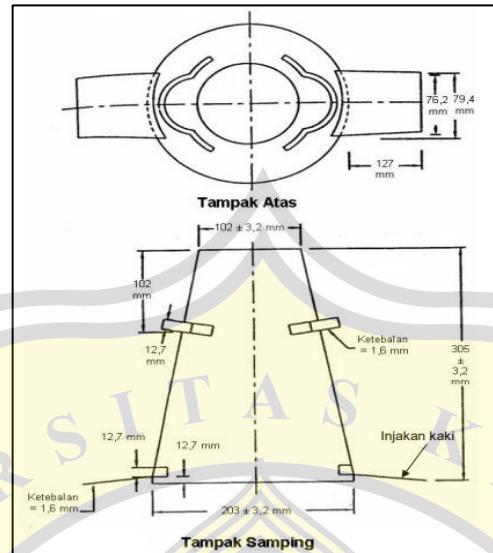
yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, atau lapis permukaan beraspal. Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen (Sidabutar, dkk., 2021).

2.8 Pengujian Beton

Beton merupakan material campuran dari agregat kasar dan agregat halus. Beton menjadi sangat penting dalam sebuah pekerjaan konstruksi sehingga perlu adanya pengendalian mutu agar didapat kualitas beton yang sudah direncanakan. Pada penelitian ini terdapat 3 macam pengujian yaitu pengujian *slump test*, kuat tekan, dan kuat lentur. Penjelasan tentang ketiga pengujian dapat di jabar pada sub-bab berikut ini:

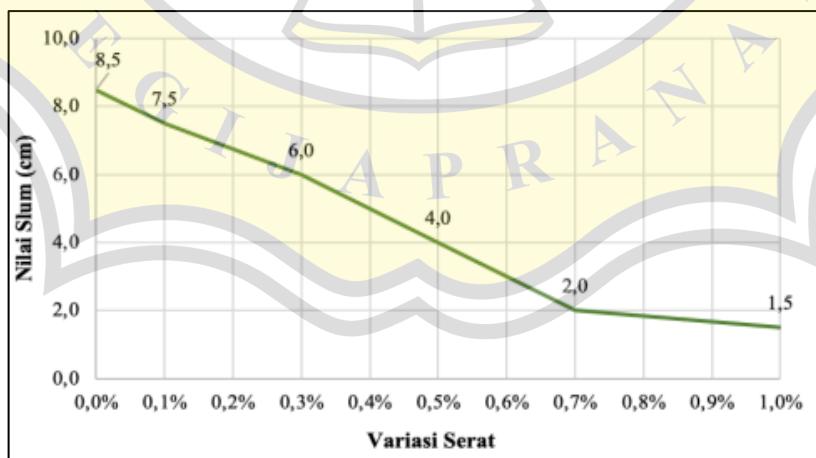
2.8.1 Pengujian *slump test*

Slump test adalah uji konsistensi beton segar yang digunakan untuk mengukur kelecanan (*workability*) atau kemudahan beton dicetak dan dipadatkan sebelum mengeras. Tes ini sangat umum digunakan di lapangan karena mudah, cepat, dan tidak memerlukan alat yang rumit. Untuk mengetahui seberapa mudah beton dapat dicetak dan dipadatkan, serta untuk memastikan konsistensi mutu campuran beton dari satu adukan ke adukan lainnya. Berdasarkan SNI 1972:2008 pengujian *slump test* merupakan teknik untuk mengamati *homogenitas* dan *workability* adukan beton dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan nilai *slump*. Ketebalan logam alat uji tidak boleh lebih kecil dari 1,5 mm serta bila dibentuk dengan proses pemutaran tidak diperbolehkan terdapat titik dalam cetakan yang ketebalannya lebih kecil dari 1,15 mm. Alat uji *slump test* mempunyai diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, serta tinggi alat uji 305 mm. Permukaan atas dan dasar kerucut harus terbuka dan sejajar antara satu dengan lainnya serta tegak lurus terhadap sumbu kerucut. Batas toleransi untuk masing-masing diameter serta tinggi dari kerucut adalah $\pm 3,2$ mm. Menurut SNI 1972 Tahun 2008 dimensi cetakan *slump test* diperlihatkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Dimensi Cetakan *Slump Test* (Sumber: SNI 1972:2008)

Tingkat kemudahan penggeraan berkaitan erat dengan tingkat keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah cara penggeraannya. Untuk mengetahui keenceran suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Menurut Ali, dkk., (2024) penambahan kadar serat *polypropylene* dalam campuran untuk perkerasan kaku akan mengurangi *workability* (menurunkan nilai *slump*), namun penggunaan serat *polypropylene* menunjukkan sedikit pengurangan jumlah penyusutan serta terjadinya retakan pertama. Serat *polypropylene* berperan penting dalam mengontrol lebar retakan. Pada Gambar 2.11 diperlihatkan perbandingan variasi serat terhadap nilai *slump*.



Gambar 2.11 Perbandingan Variasi Serat Terhadap Nilai *Slump*
(Sumber: Ali dkk, 2024)



Dilihat dari penelitian sebelumnya yang diperlihatkan pada grafik diatas menjelaskan dengan dilakukan penambahan serat *poliprophylene* dalam adukan semen dapat menurunkan nilai *slump test*. Menurut Hardagung, dkk., (2014) pengujian *slump* adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemasatan tanpa mengurangi homogenitas beton dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan yang dinyatakan dalam nilai tertentu. Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian *slump test* dengan komposisi 0%, 2%, dan 4%, dan 6% untuk mengetahui tingkat *workability* adukan beton segar yang memenuhi syarat standar pelaksanaan yang ditetapkan. Adapun syarat pelaksanaan beton untuk jalan dan tol Bina Marga tahun 2018 nilai *slump* untuk perkerasan jalan yaitu 5,0-7,5 cm yang diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai *Slump* Untuk Berbagai Pekerjaan Beton

Uraian	<i>Slump</i> (cm)
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	5,0 – 12,5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi bawah tanah	2,5 – 9,0
Pelat, balok, kolo, dan dinding	7,5 – 15,0
Perkerasan jalan	5,0 – 7,5
Pembetonan masal	2,5 – 7,5

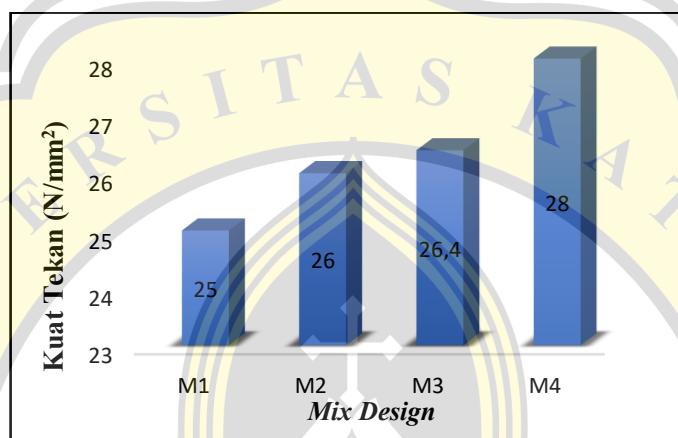
(Sumber: DPU Pedoman Pelaksanaan Pekerjaan Beton Untuk Jalan dan Tol)

2.8.2 Pengujian kuat tekan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh Alsadey dan Salem, (2016) tentang pengaruh serat *polypropylene* terhadap nilai kuat tekan benda uji kubus pada umur 28 hari dengan komposisi serat *polypropylene* 1%, 1,50% dan 2% lebih besar daripada kubus tanpa serat *polypropylene* yaitu 26 N/mm², 26,40 N/mm² dan 28 N/mm² masing-masing dibandingkan dengan campuran kontrol tanpa serat *polypropylene* yang memiliki nilai kuat tekan 25 N/mm². Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa serat *polypropylene* mampu secara efektif menahan retakan mikro yang terjadi pada beton, sehingga meningkatkan ketahanan beton terhadap beban tarik atau tegangan yang menyebabkan keretakan. Grafik yang menunjukkan hasil uji kekuatan tekan beton dengan penambahan serat *polypropylene* memperlihatkan



adanya perbedaan yang jelas dan signifikan dalam kinerja beton tersebut jika dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan serat. Hal ini menunjukkan bahwa serat *polypropylene* mampu meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton, menjadikannya lebih tahan terhadap berbagai kondisi yang dapat menyebabkan kerusakan, seperti fluktuasi suhu atau beban berulang, dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Grafik Garis yang Menunjukkan Hasil Uji Kuat Tekan
(Sumber: Alshadey dan Salem, 2016)

Uji kuat tekan beton pada penelitian ini merupakan sebuah upaya untuk mengetahui pengaruh nilai kuat tekan pada beton perkerasan kaku dengan komposisi serat plastik *polypropylene* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Menurut Pedoman Pelaksanaan Beton untuk Jalan dan Tol Departemen Pekerjaan Umum ketentuan mutu beton perkerasan jalan berada di mutu sedang K - 300. Sifat campuran yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ketentuan Sifat Campuran

Jenis Beton	Mutu Beton		Kuat Tekan Minimum (MPa) Benda Uji Silinder	
	f'_c (MPa)	O_{BK}' (Kg/cm ²)	7 hari	28 hari
Mutu Tinggi	50	K600	32,5	50,0
	45	K500	26,0	40,0
	35	K400	24,0	33,0
	30	K350	21,0	29,0
Mutu Sedang	25	K300	18,0	25,0
	20	K250	15,0	21,0
	15	K175	9,5	14,5
Mutu Rendah	10	K125	7,0	10,5

(Sumber DPU Pedoman Pelaksanaan Pekerjaan Beton Untuk Jalan dan Tol)



Dalam menentukan nilai kuat tekan menggunakan perhitungan menurut SNI 03-1974-1990, perhitungan berat volume beton dihitung menggunakan Persamaan (2.23) dan kuat tekan beton dihitung menggunakan Persamaan (2.24).

$$\text{Volume} = p \times l \times t$$

$$\text{Berat volume beton} = \frac{\text{berat agregat}}{\text{Volume wadah}} \dots \quad (2.23)$$

Keterangan:

P = panjang (mm)

L = lebar (mm)

T = tinggi (mm)

$f'c$ = kuat tekan beton benda uji (N/mm^2)

P = Gaya (N)

$A = \text{Luas permukaan benda uji (mm}^2\text{)}$

2.8.3 Pengujian kuat lentur

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi reformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan elemen struktur (Suryani dkk, 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ali dkk, (2024) pengujian kuat lentur dengan penambahan serat *polpropylene* variasi 0% sampai dengan 1,1% diperoleh koefisien K pada beton normal adalah $K = 0,70$. Sesuai koefisien SNI 2847:2002 Untuk Beton serat *polypropylene* nilai rata-rata sebesar 0,83, hal ini mengindikasikan bahwa dengan penambahan serat dapat memperbaiki kuat lentur beton untuk perkerasan kaku. Pengujian kuat lentur beton perkerasan kaku dilakukan dengan cara balok beton yang diletakan pada dua titik perletakan dan ditekan dengan gaya tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah, nilai yang didapatkan dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa). Benda uji yang digunakan harus memenuhi ketentuan metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Kekuatan lentur beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut



Rumus kuat lentur beton:

1. Bidang patah terletak di daerah pusat ($\frac{1}{3}$ jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut Persamaan (2.25).

Keterangan:

σ_1 = kuat lentur beton (MPa)

P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (N)

L = jarak antara dua garik perletakan (mm)

b = lebar tampang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

(Sumber: SNI 4431:2011)

2. Untuk pengujian letak patahnya benda uji berada di bagian luar pusat (daerah $\frac{1}{3}$ jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut Persamaan (2.26).

Keterangan:

σ_1 = kuat lentur beton (MPa)

P_c = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (N)

a = jarak rata-rata antara tampang lintah patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada empat sudut dari bentang (mm)

b = lebar tampang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

(Sumber: SNI 4431:2011)

2.9 Penelitian Sebelum

Penelitian ini mengacu dari sejumlah penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai pengaruh penambahan limbah plastik pada beton yang digunakan untuk perkerasan kaku, dengan fokus pada analisis berbagai eksperimen yang mengevaluasi perubahan sifat fisik dan mekanik beton, serta potensi peningkatan daya tahan, ketahanan terhadap lingkungan, dan efisiensi biaya pada struktur perkerasan yang dihasilkan. Berbagai penelitian terkait penambahan limbah plastik



pada perkerasan kaku diperlihatkan secara rinci dalam Tabel 2.5, yang mencakup hasil eksperimen, metode yang diterapkan, serta temuan-temuan utama mengenai dampak penggunaan limbah plastik terhadap karakteristik beton pada perkerasan tersebut.

Tabel 2.5 Penelitian Tentang Perkerasan Kaku

No	Judul	Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
1.	Penggunaan serat <i>polypropylene</i> untuk meningkatkan kuat lentur beton pada perkerasan kaku	Ali, dkk.,	2024	Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: 1. Kadar serat <i>polypropylene</i> yang optimum pada beton untuk perkerasan kaku ditinjau dari sifat mekanis adalah pada konsentrasi 0,30% terhadap berat semen. 2. Hubungan korelasi kuat tekan dan kuat lentur pada beton normal berdasarkan SNI, di $K = 0,70$ sesuai dengan SNI. Hasil pengujian diperoleh koefisien K beton serat <i>polypropylene</i> nilai K rata-rata sebesar 0,83.
2.	Pengaruh aspek rasio serat limbah plastik <i>polypropylene</i> terhadap karakteristik campuran perkerasan kaku	Aji, dkk.,	2022	Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa pemakaian serat plastik <i>polypropylene</i> dapat menurunkan nilai slump dan menaikkan nilai VB-time, yang berarti bahwa pemakaian serat dapat menurunkan kelecakan (workability) campuran beton. Selain itu, dari hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan nilai kuat tekan beton yang menggunakan serat plastik <i>polypropylene</i> memenuhi syarat SNI 2847: 2019. Selanjutnya, dari hasil uji kuat tarik lentur, semua nilai memenuhi syarat SNI 2847: 2019 dan nilai maksimum diperoleh campuran yang memakai L/d 37,5 yaitu saat umur 28 hari mengalami kenaikan sebesar 4,96 MPa atau 25,28% dari beton tanpa serat, sedangkan untuk umur 56 hari mengalami peningkatan maksimum pada campuran L/d 37,5 sebesar 5,24 MPa atau meningkat sebesar 2,16 % dari beton tanpa serat. Dengan demikian maka penambahan serat plastik <i>polypropylene</i> tidak berpengaruh besar pada kuat tekan akan tetapi sangat berpengaruh pada peningkatan kuat tarik lentur beton. Selain itu, faktor umur beton mempengaruhi nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur. Kuat tekan dan kuat tarik lentur pada umur 56 hari dengan L/d 37,5 mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan umur 28 hari.



Tabel 2.5 Penelitian Tentang Perkerasan Kaku (Lanjutan)

No	Judul	Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
3.	Pengaruh Serat Polipropilena terhadap Kekuatan Beton	Alsadey dan Salem	2016	<p>Untuk mempelajari pengaruh serat <i>polypropylene</i> terhadap kuat tekan beton, dilakukan percobaan di laboratorium. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, pada kubus dengan persentase serat polipropilena yang berbeda, berikut ini beberapa kesimpulan yang dapat diambil.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengurangan kemerosotan terlihat dengan peningkatan kandungan serat polipropilena, terutama di atas dosis 2%, campuran menjadi berserat yang mengakibatkan kesulitan dalam penanganan. 2. Uji kuat tekan menunjukkan peningkatan kekuatan seiring bertambahnya rasio serat <i>polypropylene</i>. 3. Kenaikan kuat tekan beton dengan serat <i>polypropylene</i> mencapai 4 hingga 12%. 4. Sampel dengan kadar serat <i>polypropylene</i> 2% menunjukkan hasil yang optimal dibandingkan penelitian yang lainnya.
4.	Efek penambahan serat <i>polypropylene</i> terhadap kuat tekan beton pada perkerasan kaku	Sultan, dkk.,	2023	<p>Penambahan serat <i>polypropylene</i> pada campuran beton dapat menurunkan nilai slump yang menunjukkan bahwa dengan penambahan serat <i>polypropylene</i> pada campuran beton ringan maka <i>workability</i> akan berkurang. Hal ini dikarenakan penambahan luas permukaan akibat penambahan material berupa serat <i>polypropylene</i>. Kemampuan kerja campuran beton serat sangat dipengaruhi oleh volume fraksi serat <i>polypropylene</i> yang ditambahkan ke dalam campuran beton.</p>



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Urain Umum

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap pekerjaan untuk memperlancar pelaksanaan sehingga tujuan penelitian dapat tercapai sesuai rencana. Tahap awal dari penelitian ini dimulai dari studi literatur yang terdiri dari berbagai macam sumber, seperti SNI, ASTM, dan jurnal-jurnal. Dalam metode penelitian memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi, prosedur dan langkah-langkah yang harus dilakukan, waktu penelitian, sumber data serta dengan langkah seperti apa data tersebut diperoleh dan selanjutnya diolah serta dianalisis. Tahapan tersebut dimulai dari persiapan hingga pada proses akhir yaitu pengambilan kesimpulan serta saran.

3.2 Variabel Penelitian

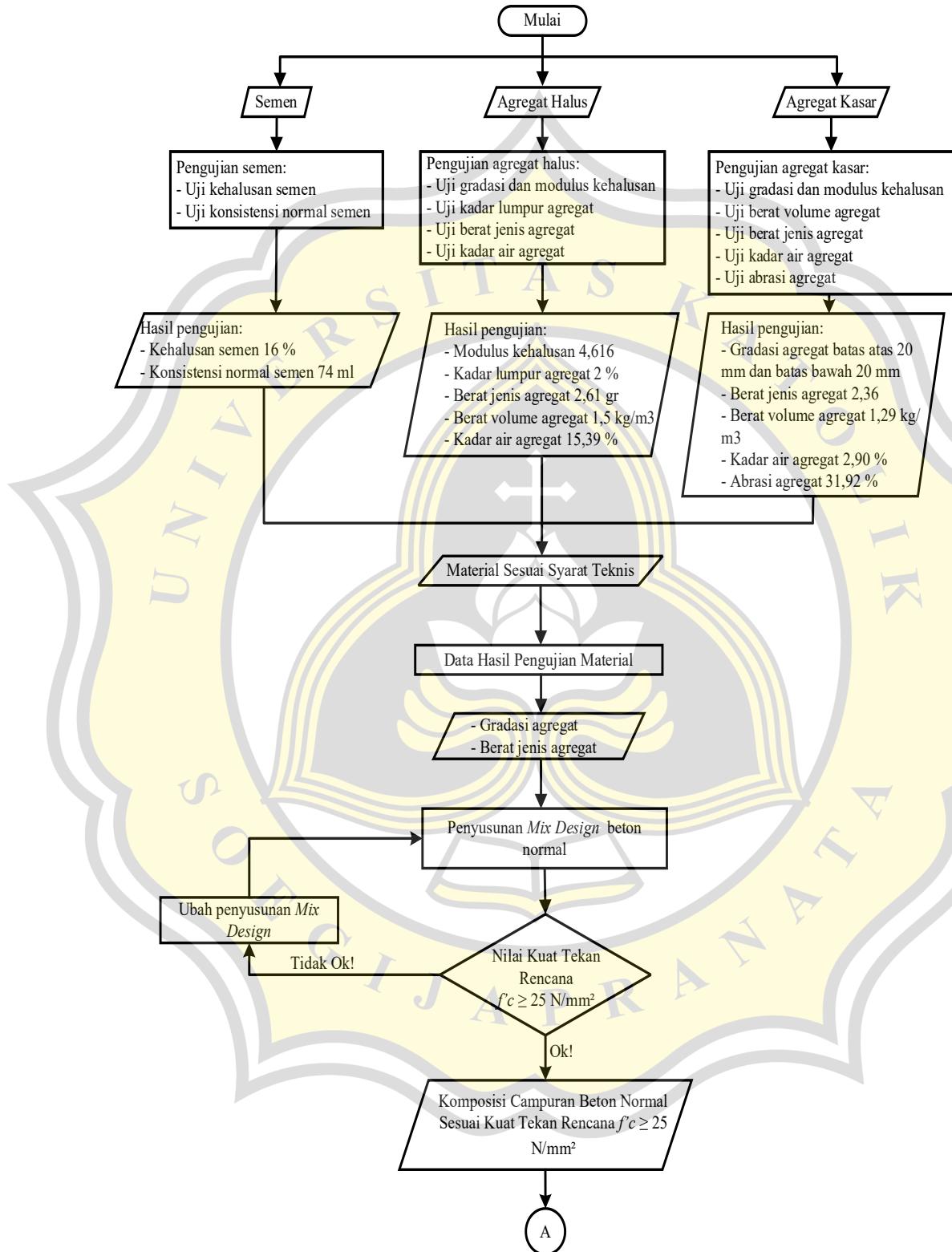
Variabel penelitian merupakan segala sesuatu berbentuk apapun yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipahami dan dipelajari, sehingga didapatkan informasi-informasi mengenai hal tersebut, dan dapat ditentukan kesimpulannya. Pada penelitian ini, variabel penelitian yang digunakan ada 2, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah suatu variabel yang apabila dalam suatu waktu berada bersamaan dengan variabel lain, maka (diduga) akan dapat berubah dalam keragamannya. Variabel bebas ini bisa juga disebut dengan variabel pengaruh, perlakuan, *treatment*, *independent*, dan disingkat dengan variabel X. Variabel terikat adalah suatu variabel yang dapat berubah karena pengaruh variabel bebas (variabel X). Variabel terikat sering disebut juga dengan variabel terpengaruh atau dependent, tergantung, efek, tak bebas, dan disingkat dengan nama variabel Y.

3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

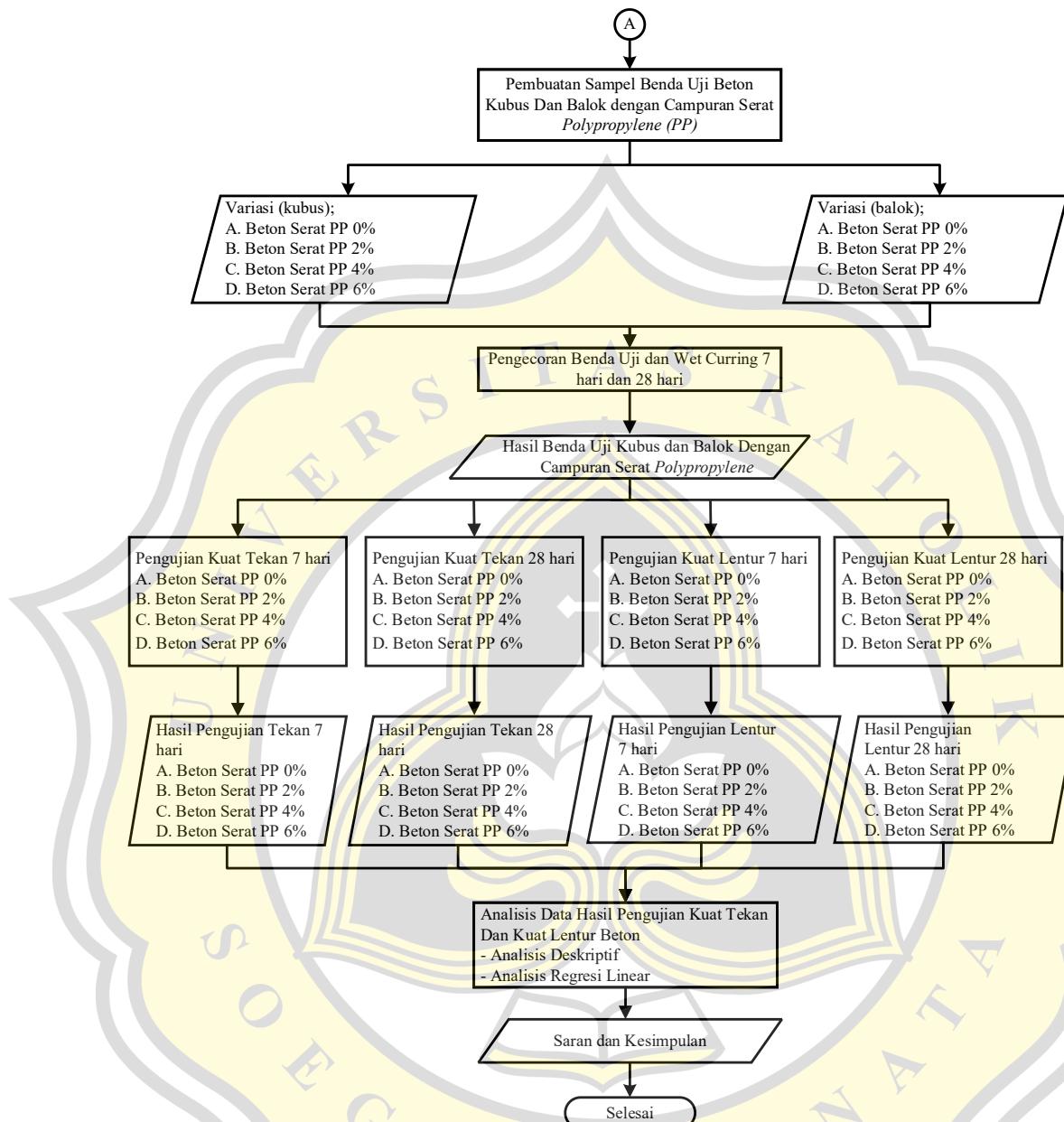
Tahapan penelitian dilakukan untuk mengetahui proses yang akan dilalui dalam penelitian ini. Pada penelitian ini memiliki tiga tahap penelitian. Tahap awal persiapan studi literatur, persiapan bahan, analisa spesifikasi agregat, dan perencanaan *mix design*. Tahap kedua adalah pembuatan benda uji sesuai dengan rencana perawatan benda uji (*curing*), dan pengujian kuat tekan dan lentur benda



uji. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian



Gambar 3.2 Lanjutan Tahapan Penelitian

3.3.1. Tahap 1

Tahap 1 memiliki beberapa tahap pekerjaan yang utama berupa pengumpulan literatur untuk memahami dasar teori dan temuan sebelumnya, kerangka penelitian yang mencakup perencanaan metodologi dan tujuan, persiapan material yang melibatkan penyediaan bahan sesuai kebutuhan, uji material untuk memastikan kualitas dan spesifikasi bahan, *mix design* untuk merumuskan komposisi bahan yang tepat, pembuatan benda uji dalam bentuk sampel guna pengujian lebih lanjut,



perawatan benda uji untuk memastikan kekuatan optimal bahan, dan analisis kuat tekan dan kuat lentur untuk menilai kekuatan material.

Berikut penjelasan tahapan-tahapan yang dilakukan pada Tahap I sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur sering digunakan dalam digunakan pada sebuah penelitian. Studi literatur berguna untuk mengolah dan mengambil data-data dari buku, jurnal, dan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Literatur yang digunakan adalah yang berkaitan dengan beton, perkerasan kaku dan limbah plastik jenis PP (*polypropylene*).

2. Pengadaan bahan material

Bahan material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar berasal dari toko terdekat, agregat halus merupakan pasir muntilan, *portland cement composite* (PCC), air berasal dari sumur artesis Kampus Universitas Katolik Soegijapranata, dan limbah plastik jenis PP (*polypropylene*).

3. Pengujian bahan material

Pengujian bahan material dilakukan bertujuan untuk mengetahui dan memodifikasi mutu material agar sesuai dengan yang diinginkan. berikut ini adalah pengujian-pengujian yang dilakukan pada penelitian ini:

- a. Kadar air agregat halus

Pengujian ini mengacu pada SNI 03-1971-1990.

a.1 Bahan: agregat halus seberat 500 gr.

a.2 Peralatan:

a.2.1 Timbangan dengan ketelitian 1 gr.

a.2.2 Cawan.

a.2.3 Oven.

a.3 Metode pelaksanaan:

a.3.1 Cawan ditimbang dengan ketelitian 1 gr.

a.3.2 Agregat halus ditimbang seberat 500 gr (berat agregat)

a.3.3 Cawan di masukkan ke dalam *oven* dengan suhu 110 ± 1 °C selama 24 jam.



- a.3.4 Setelah itu agregat halus ditimbang kembali (berat agregat kering).
- b. Kadar air agregat kasar

Pengujian ini mengacu pada SNI 03-1971-1990.

- b.1 Bahan: agregat kasar seberat 500 gr.

- b.2 Peralatan:

- b.2.1 Timbangan dengan ketelitian 1 gr.

- b.2.2 Cawan.

- b.2.3 Oven.

- b.3 Metode pelaksanaan:

- b.3.1 Cawan ditimbang dengan ketelitian 1 gr.

- b.3.2 Agregat kasar ditimbang seberat 500 gr (berat agregat).

- b.3.3 Cawan di masukkan ke dalam *oven* dengan $110 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 24 jam.

- b.3.4 Setelah itu agregat halus ditimbang kembali (berat agregat kering).

- c. Berat jenis agregat kasar

Metode pelaksanaan pengujian berat jenis agregat kasar berdasarkan SNI 1969:2008 (yang mengacu pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat) adalah sebagai berikut:

- c.1 Bahan:

- c.1.1 Agregat kasar seberat 3.000 gr.

- c.1.2 Air.

- c.2 Peralatan:

- c.2.1 Timbangan,

- c.2.2 Ember atau wadah untuk mecelupkan agregat,

- c.2.3 Sendok pengambilan contoh,

- c.2.4 Oven,

- c.3 Metode pelaksanaan:

- c.3.1 Agregat kasar ditimbang seberat 3.000 gr,

- c.3.2 Setelah 24 jam agregat kasar dikeringkan hingga mendapatkan kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD),

- c.3.3 Agregat kasar yang telah dikeringkan ditimbang,



c.3.4 Agregat kasar yang telah ditimbang dimasukkan kedalam air sampai terendam dan ditimbang sebagai berat basah.

d. Berat jenis agregat halus

Pengujian ini mengacu pada SNI 1970:2008.

d.1 Bahan:

d.1.1 Agregat halus seberat 500 gr.

d.1.2 Air.

d.2 Peralatan:

d.2.1 Timbangan,

d.2.2 Kerucut,

d.2.3 Besi pemasak,

d.2.4 Oven,

d.2.5 *Pycnometer*.

d.3 Metode pelaksanaan:

d.3.1 Ambil contoh agregat halus secukupnya (± 500 gr) yang lolos saringan 4,75 mm (No. 4). Cuci sampel untuk menghilangkan kotoran atau debu yang menempel, lalu keringkan di udara sampai kondisi jenuh kering permukaan (SSD - *Saturated Surface Dry*).

d.3.2 Untuk mendapatkan berat dalam kondisi SSD, timbang agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD). (W_1).

d.3.3 Untuk menentukan berat agregat dalam air, masukkan agregat SSD ke dalam *pycnometer* yang telah diisi air sampai tanda batas. Timbang *pycnometer* beserta air dan agregatnya. (W_2).

d.3.4 Selanjutnya untuk memperoleh berat *pycnometer* dan air, langkah yang harus dilakukan adalah mengkosongkan *pycnometer*, bersihkan, lalu isi dengan air hingga tanda batas. Timbang *pycnometer* berisi air saja. (W_3).

d.3.5 Untuk menentukan berat kering agregat dapat dilakukan dengan cara meringankan agregat yang sudah digunakan di oven pada suhu $\pm 110^\circ\text{C}$ hingga mencapai berat konstan. Setelah agregat kering,



timbang agregat. (W4).

e. Pengujian kehalusan semen

Berdasarkan SNI 15-2530-1991 bertujuan untuk menentukan seberapa halus butiran semen. Kehalusan semen berpengaruh pada laju hidrasi semen dan kekuatan beton yang dihasilkan. Langkah-langkah untuk melaksanakan pengujian kehalusan semen menggunakan metode Saringan No. 200 (saringan dengan ukuran *mesh* 0,075 mm).

Bahan: semen *portland*

e.1 Peralatan:

- e.1.1 Saringan no.200,
- e.1.2 Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr,
- e.1.3 Pengayak,
- e.1.4 Wadah.

e.2 Metode pengujian:

- e.2.1 Timbang saringan No. 200 (saringan *mesh* 0,075 mm) terlebih dahulu dengan hati-hati untuk mendapatkan berat awalnya,
- e.2.2 Masukkan sejumlah semen (sekitar 100 gr) ke dalam saringan No. 200,
- e.2.3 Ayak semen dengan cara menggoyangkan saringan secara vertikal dan sedikit memutar saringan secara berulang-ulang, selama sekitar 15 menit,
- e.2.4 Pastikan saringan diguncang dengan kecepatan konstan agar hasilnya akurat,
- e.2.5 Setelah proses pengayakan selesai, timbang jumlah semen yang tertahan pada saringan. Catat beratnya sebagai berat semen yang tertahan pada saringan No. 200.

f. Pengujian konsistensi normal semen

Pengujian konsistensi normal semen pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-6826-2002. Pengujian waktu pengikat semen bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen untuk mendapatkan waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir. Pengujian waktu ikat



dapat dilakukan apabila nilai konsistensi normal semen tercapai. Syarat nilai konsistensi normal memenuhi apabila jarum penetrasi mencapai angka 10 ± 1 mm sedangkan waktu ikat awal 25 ± 1 mm.

f.1 Bahan:

- f.1.1 Semen *portland* komposit
- f.1.2 Air 25% dari berat semen

f.2 Peralatan:

- f.2.1 Seperangkat alat vicat.
- f.2.2 Timbangan analisa 2.600 gr.
- f.2.3 *Stop watch* / pengukur waktu.
- f.2.4 Gelas takar 100 ml / 200 ml.
- f.2.5 Tempat pengaduk.
- f.2.6 Solet perata.
- f.2.7 Sarung tangan.

f.3 Tata cara pelaksanaan uji daya ikat semen:

- f.3.1 Mengukur air sebanyak yang diperlukan untuk konsistensi normal lalu memasukkan kedalam tempat pengaduk, diaduk selama 3 menit.
- f.3.2 Membuat bola pasta, dilempar dari tangan kiri ketangan kanan pada jarak 30 cm sebanyak 6 kali dan cetak konikel yang ditaruh diatas plat kaca.
- f.3.3 Setelah diketok-ketok alas kacanya, kemudian pasta diratakan dan konikel ditutup kaca lalu balok. Kaca diatas diambil pasta diratakan kemudian letakkan dibawah jarum vicat diameter 1 mm. tunggu sampai 45 menit dihitung mulai semen kontak dengan air.
- f.3.4 Setelah 45 menit, menempekan ujung jarum dengan bagian tengah permukaan pasta. Kemudian jarum dijatukkan menembus pasta dan setelah 30 detik jarum dihentikan, penurunan yang tersdi dibaca dan dicatat.
- f.3.4 Mengangkat jarum vicat dan dibersihkan untuk menghilangkan



semen yang menempel pada jarum.

f.3.5 Setelah 15 menit dites lagi, selanjutnya ditempelkan ujung jarum pada permukaan pasta semen, bukan pada tempat yang tadi tetapi digeser pada tempat lain dengan jarak minimum 3 mm.

f.3.6 Menjatukan jarum pada pasta dan setelah 30 detik dibaca, jarum diangkat dan dibersihkan. Demikian setiap 15 menit di tes dan dicatat sampai penurunan kurang dari 5 mm maka percobaan dihentikan.

g. Pengujian analisis saringan agregat kasar

Dalam pengujian analisis saringan pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

g.1 Bahan agregat kasar seberat 1.000 gr.

g.2 Peralatan:

g.2.1 Saringan dengan nomor urut 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100 dan PAN.

g.2.2 *Sieve shaker*.

g.2.3 Timbangan dengan ketelitian 1 gr.

g.2.4 *Oven*.

g.3 Tata cara pelaksanaan

g.3.1 Agregat halus dikeringkan dengan menggunakan *oven* dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

g.3.2 Agregat halus yang telah kering ditimbang seberat 500 gr.

g.3.3 Agregat halus dimasukan ke dalam saringan yang sudah diurutkan dengan urutan No 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan PAN.

g.3.4 Saringan yang telah berisi agregat halus diletakkan ke atas *sieve shaker*.

g.3.5 Agregat diguncang selama ± 15 menit pada alat *sieve shaker*.

g.3.6 Setelah itu dilakukan proses penimbangan agregat halus disetiap nomor saringan.

h. Pengujian analisis saringan agregat halus



Dalam pengujian analisis saringan pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

h.1 Bahan agregat halus seberat 1.000 gr.

h.2 Peralatan

h.2.1 Saringan dengan nomor urut 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100 dan PAN.

h.2.2 *Sieve shaker*.

h.2.3 Timbangan dengan ketelitian 1 gr.

h.2.4 *Oven*.

h.3 Tata cara pelaksanaan

h.3.1 Agregat halus dikeringkan dengan menggunakan *oven* dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

h.3.2 Agregat halus yang telah kering ditimbang seberat 500 gr.

h.3.3 Agregat halus dimasukan ke dalam saringan yang sudah diurutkan dengan urutan No 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan PAN.

h.3.4 Saringan yang telah berisi agregat halus diletakkan ke atas *sieve shaker*.

h.3.5 Agregat diguncang selama ± 15 menit pada alat *sieve shaker*.

h.3.6 Setelah itu dilakukan proses penimbangan agregat halus disetiap nomor saringan.

i. Berat volume agregat halus dan agregat kasar

Pada pengujian ini ditujukan untuk mencari berat isi dari agregat kasar.

Pengujian ini mengacu pada SNI 1973:2008.

i.1 Peralatan:

i.1.1 Wadah cetakan silinder.

i.1.2 Timbangan dengan ketelitian 1 kg.

i.2 Metode pelaksanaan:

i.2.1 Wadah ditimbang dalam keadaan kosong dan di hitung volume (volume wadah).

i.2.2 Wadah diisi dengan agregat hingga penuh lalu dipadatkan dan



diratakan permukaannya.

- i.2.3 Lalu wadah yang berisi agregat ditimbang kembali.
- i.2.4 Berat wadah dikurangi berat wadah dengan agregat (berat agregat).

j. Pengujian kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus berdasarkan SNI 2816:2014 adalah prosedur untuk menentukan kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus, yang penting untuk memastikan kualitas material dalam campuran beton atau mortir. Kadar lumpur yang tinggi dalam agregat halus dapat mempengaruhi kualitas beton, seperti menurunkan kekuatan beton atau meningkatkan kebutuhan air untuk pencampuran.

j.1 Peralatan:

- j.1.1 Wadah.
- j.1.2 Saringan No. 200.
- j.1.3 Timbangan.
- j.1.4 Alat pengaduk.

j.2 Metode pelaksanaan:

- j.2.1 Ambil sampel agregat halus sesuai dengan standar yang berlaku. Sampel ini harus homogen dan representatif (berat agregat halus),
- j.2.2 Sampel agregat halus dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran, debu, dan partikel yang lebih besar dari agregat halus,
- j.2.3 Setelah pencucian, agregat dimasukkan ke dalam wadah pengaduk dan diberi sejumlah air. Pengadukan dilakukan agar lumpur (partikel halus dan halus yang terlarut dalam air) terlepas dari agregat,
- j.2.4 Agregat diaduk dalam air selama beberapa menit untuk memastikan partikel lumpur lepas dari agregat halus,
- j.2.5 Setelah pengadukan, air dan lumpur yang terlarut akan mengalir melalui saringan dengan ukuran bukaan tertentu (biasanya 75 µm atau tertahan saringan no. 200). Lumpur yang terperangkap di saringan kemudian dikeringkan dan ditimbang (berat kadar



lumpur)

k. Pengujian keausan agregat kasar

Pada pengujian ini ditujukan untuk mengetahui nilai keausan dan agregat kasar. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 2417 tahun 2008.

k.1 Bahan: kerikil 5.000 gr (A).

k.2 Peralatan:

k.2.1 Mesin *Los Angeles*

k.2.2 Bola baja 10 buah

k.3 Metode pelaksanaan:

k.3.1 Menimbang batu pecah sebanyak 3.000 gr.

k.3.2 Memasukkan batu pecah yang suda ditimbang kedalam mesin *Los Angeles*.

k.3.3 Memasukkan bola baja 10 buah kedalam mesin *Los Angeles*.

k.3.4 Menutup mesin *Los Angeles*.

k.3.5 Memutar mesin *Los Angeles* sebanyak 250 putaran.

k.3.6 Benda uji dari mesin *Los Angeles* dilakukan pengujian saringan dan ditimbang agregat tertahan saringan no.12 (B).

l. Persiapan benda uji

Pada tahap ini dipersiapkan alat-alat yang digunakan untuk pembuatan benda uji. Alat-alat yang digunakan adalah cetakan kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm, cetakan balok dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm, 1 set alat untuk pengujian *slump test*, dan *concrete mixer*.

m. Perencanaan *mix design*

Perencanaan benda uji mengacu pada SNI SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Perencanaan yang dilakukan berdasarkan hasil pemeriksaan dari masing-masing bahan sebelumnya untuk merencanakan pencampuran beton, mulai dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Hasil dari *mix design* ini berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton, yang mencakup semen, agregat, air, dan serat, yang kemudian akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji. Perbandingan ini penting untuk memastikan



komposisi yang tepat guna mencapai sifat mekanik yang diinginkan, serta untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi terhadap kekuatan dan kinerja beton. Adapun tata cara pelaksanaannya sebagai berikut:

- m.1 Ambil kuat tekan beton yang disyaratkan f_c' pada umur tertentu,
- m.2 Hitung deviasi standar,
- m.3 Hitung nilai tambah,
- m.4 Hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan,
- m.5 Tetapkan jenis semen,
- m.6 Tentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan,
- m.7 Tentukan faktor air semen,
- m.8 Tetapkan faktor air semen maksimum,
- m.9 Tetapkan *slump*,
- m.10 Tetapkan ukuran agregat maksimum,
- m.11 Tentukan nilai kadar air bebas,
- m.12 Hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar semen adalah kadar air bebas dibagi faktor air semen,
- m.13 Tentukan jumlah semen seminimum mungkin,
- m.14 Tentukan faktor air semen,
- m.15 Tentukan susunan butir agregat halus,
- m.16 Tentukan susunan agregat kasar,
- m.17 Tentukan persentase pasir,
- m.18 Hitung berat jenis relative agregat,
- m.19 Tentukan berat isi beton,
- m.20 Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas,
- m.21 Hitung kadar agregat halus,
- m.22 Hitung kadar agregat kasar,
- m.23 Proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan,
- m.24 Koreksi proporsi campuran,



m.25 Buatlah campuran uji.

3.3.2. Tahap II

Tahap II merupakan pembuatan benda uji, perawatan benda uji, dan pengujian kuat tekan dan lentur.

1. Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan 2 bentuk benda uji yaitu benda uji berbentuk silinder untuk pengujian kuat dan benda uji berbentuk balok untuk uji kuat lentur.

a. Benda uji kubus

Berdasarkan SNI 4431:2011 Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya tekan. Biasanya dilakukan pada benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm atau 10 cm x 10 cm x 10 cm. Benda uji kuat tekan, sampel uji yang digunakan berupa kubus beton dengan ukuran $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$. Benda uji yang dibuat berjumlah 40 sampel kubus beton terdiri dari 10 sampel benda uji beton biasa, 10 sampel benda uji beton dengan konsentrasi limbah plastik 2%, 10 sampel benda uji beton dengan konsentrasi limbah plastik 4%, dan 10 sampel benda uji beton dengan konsentrasi limbah plastik 6%.

b. Benda uji balok

Berdasarkan SNI 03- 1974-1990 Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya lentur atau pembengkokan. Biasanya, pengujian ini dilakukan pada benda uji berbentuk balok, dan sering digunakan untuk beton dengan elemen struktural yang mengalami pembengkokan. Benda uji kuat lentur, sampel uji yang digunakan berupa balok beton dengan ukuran $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$. Benda uji yang dibuat berjumlah 40 sampel balok beton terdiri dari 10 sampel benda uji beton biasa, 10 sampel benda uji beton dengan konsentrasi limbah plastik 2%, 6 sampel benda uji beton dengan konsentrasi limbah plastik 4%, dan 10 sampel benda uji beton dengan konsentrasi limbah plastik 6%.

c. Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji:



- c.1 Mesin aduk beton (molen)
- c.2 Mesin desak
- c.3 Kaliper
- c.4 Penggaris
- c.5 Tongkat penumbuk
- c.6 Gelas ukur
- c.7 Ember
- c.8 Timbangan
- c.9 Ayakan
- c.10 Cetakan beton
- c.11 Sendok semen
- c.12 Seperangkat peralatan kunci.
- d. Berikut ini adalah tahapan proses pembuatan benda uji beton:
 - d.1 Peralatan untuk membuat beton disiapkan seperti molen, alat uji *slump test*, cetakan beton, palu, dan beberapa alat lain.
 - d.2 Bahan material beton disiapkan seperti agregat halus, agregat kasar, air, semen, dan serat *polypropylene*. Bahan yang sudah disiapkan lalu ditakar sesuai dengan perencanaan benda uji.
 - d.3 Masukkan agregat kasar dan agregat halus ke dalam mesin molen (*concrete mixer*).
 - d.4 Masukkan semen ke dalam *concrete mixer* yang telah berisi agregat kasar dan halus lalu campur kembali hingga semen dan adukan dapat tercampur dengan baik.
 - d.5 Setelah adukan semen, pasir, kerikil dan air tercampur, masukkan serat *polypropylene* sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.
 - d.6 Setelah adukan tercampur dengan baik, maka tahap selanjutnya adalah dilakukan pengujian *slump test* untuk dapat mengetahui tingkat kekentalan dan *workability* pada adukan beton.
 - d.7 Masukan hasil adukan campuran beton pada cetakan kubus dan balok dengan ukuran kubus 15 x 15 x 15 cm dan balok 15 x 15 x 60 cm. Lalu hasil benda uji didiamkan selama ± 24 jam pada tempat yang tidak



terkena sinar matahari.

- d.8 Setelah mencapai waktu ± 24 jam, cetakan beton dilepas dan hasil benda uji dimasukkan ke dalam bak rendam dengan suhu 25^0 C untuk proses perawatan terhadap beton (*curing*).

2. *Slump test*

Berdasarkan SNI 1972:2008 *slump test* merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Tetapi dalam pelaksanaan di lapangan harus hati-hati, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan adukan beton pada pencapaian nilai *slump* yang ditentukan, sehingga hasil *slump* yang diperoleh di lapangan tidak sesuai dengan kekuatan beton yang diharapkan. Berdasarkan SNI 03-2843-2000 nilai *slump* perkerasan jalan yaitu nilai *slump* maksimal 7,5 cm dan *slump* minimum 5,0 cm. Peralatan yang digunakan adalah Kerucut Abram dan penggaris. Langkah kerja yang dilakukan pada proses pengerjaan uji *slump test* berdasarkan SNI 1972:2008 sebagai berikut:

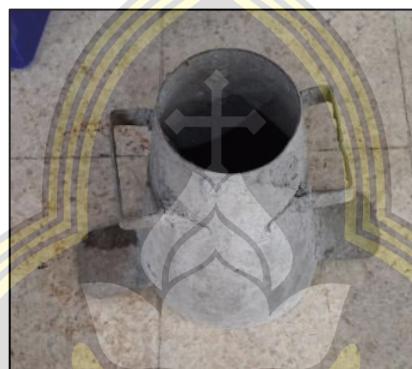
- Cetakan atau Kerucut Abrams terlebih dahulu dibasahi untuk memastikan permukaan bagian dalamnya lembap, kemudian diletakkan dengan hati-hati di atas permukaan yang datar, keras, tidak menyerap air, dan cukup kaku agar tidak bergeser selama pengujian berlangsung. Setelah kerucut siap, campuran beton segar dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap dalam tiga lapisan, di mana setiap lapisan diisi hingga sekitar sepertiga dari total volume cetakan, dengan tujuan memastikan pembagian campuran yang merata dan meminimalkan risiko kekosongan atau rongga udara.
- Adukan kemudian ditusuk sampai dengan 25 tusukan dengan batang pemadat. Tusuk hingga merata diatas permukaan setiap lapisan. Pada lapisan bagian bawah, penusukan secara miring dan membuat sekira setengah dari jumlah tusukan dekat ke batas pinggir dari Kerucut Abrams, lalu dilanjutkan



penusukan vertikal secara spiral pada sekitar pusat permukaan. Lapisan bawah dipadatkan seluruhnya hingga kedalamannya begitu juga lapisan kedua dan atas.

- Lalu setelah adukan beton dipadatkan, Kerucut Abrams diangkat secara perlahan secara arah vertikal dengan jarak 300 mm. Setelah campuran adukan beton dikeluarkan dan menunjukkan penurunan pada permukaan, segera ukur *slump* dengan melihat perbedaan vertikal bagian atas Kerucut Abrams. Jika terjadi penurunan hanya pada satu sisi maka kemungkinan campuran adukan beton kurang plastis untuk dilakukan uji *slump*.

Alat yang digunakan pada tes *slump* diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat *Slump Test*

3. Perawatan benda uji

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kekuatan campuran beton pada dua umur yang berbeda, yaitu pada umur 7 hari dan 28 hari, dengan cara merendam benda uji dalam bak rendaman selama periode tersebut. Selama periode perendaman ini, beton yang diuji akan mengalami proses hidrasi yang mempengaruhi kekuatan dan ketahanannya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran campuran beton yang digunakan memenuhi syarat standar yang ditetapkan untuk kedua umur tersebut. Analisis ini penting untuk menentukan kualitas dan keandalan beton dalam berbagai aplikasi konstruksi. Perawatan benda uji dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata.

4. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk kubus mengacu



pada SNI 03-1974-1990. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai umur 7 hari dan 28 hari. Menurut SNI 03- 1974-1990 pengujian kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Letakkan benda uji pada mesin tekan centris,
- b. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm^2 per detik,
- c. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji,
- d. Dokumentasikan entuk dan kondisi akhir dari benda uji setelah pembebanan, serta catat secara rinci keadaan fisiknya, termasuk adanya perubahan bentuk, retakan, atau kerusakan lain yang terjadi sebagai hasil dari proses pengujian tersebut.

Jika terdapat ketentuan lain untuk konversi kuat tekan beton dari benda uji kubus ke benda uji silinder, maka angka perbandingan kuat tekan yang digunakan harus mengacu pada nilai yang telah ditentukan. Angka perbandingan tersebut biasanya ditunjukkan dalam tabel referensi, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Angka Perbandingan Kuat Tekan

Bentuk benda uji	Perbandingan
Kubus: $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$	1,0
Silinder: $15 \times 30 \text{ cm}$	0,83

(Sumber: SNI 03- 1974-1990)

Alat yang digunakan dalam pengujian kuat tekan diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Alat Pengujian Kuat Tekan



5. Pengujian kuat lentur

Pengujian kuat lentur menggunakan metode dua titik pembebanan dengan mengacu peraturan pengujian kuat lentur dilakukan setelah beton berumur 14 hari dan 28 hari. Menurut SNI 4431:2011 Pasal 5.3 pengujian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Hidupkan mesin uji tekan beton yang telah dipersiapkan, tunggu kira-kira 30 detik.
- b. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
- c. Atur pembebanannya untuk menghindari terjadi benturan.
- d. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan dengan kecepatan $8 \text{ kg/cm}^2 - 10 \text{ kg/cm}^2$ tiap menit.
- e. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat-saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
- f. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji, pada formulir uji seperti contoh pada lampiran 1.
- g. Ambil benda uji yang telah diuji, yang dapat dilakukan dengan menurut plat perletakan benda uji atau menaikkan alat pembebanannya.
- h. Ukur dan catat lebar tinggi tampang lintang patah dengan ketelitian 0,25 mm sedikitnya pada 3 tempat dan ambil harga rata-ratanya.
- i. Ukur dan catat jarak antara tampang lintang patah dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat di bagian tarik pada arah bentang dan ambil harga rata-ratanya.

Pengujian kuat lentur adalah pengujian yang digunakan untuk mengukur kekuatan bahan dalam menahan beban lentur atau tekukan. Alat yang digunakan dalam pengujian ini biasanya berupa mesin uji lentur (*flexural testing machine*), yang dapat mengukur seberapa besar suatu material mampu menahan beban yang diterapkan pada titik tertentu sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan. Adapun alat pengujian kuat lentur diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Alat Pengujian Kuat Lentur

6. Analisis data

Analisis data yang gunakan dalam penelitian ini ialah analisis data deskriptif dan analisis regresi linear. Menurut Sugiyono (2017) analisis data adalah proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi, dengan cara mengorganisasikan data ke dalam kategori, menjabarkan ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun ke dalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari, serta membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri maupun orang lain.

6.a Metode analisis deskriptif

Menurut Sugiyono (2019) metode analisis deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau



generalisasi. Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, analisis data yang dilakukan berupa nilai kuat tekan, nilai kuat lentur dan nilai *slump* dengan penambahan serat *polypropylene* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Metode deskriptif digunakan untuk menentukan rata-rata nilai kuat tekan, kuat lentur dan nilai *slump* dalam masing-masing variasi serat *polypropylene* seperti pada Persamaan 3.1.

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)}{n} \dots \quad (3.1)$$

Keterangan:

S1-S5 = sampel benda uji setiap variasi serat *polypropylene* (N/mm²)

N = jumlah sampel

6.b Metode analisis regresi linear

Menurut Sugiyono (2019) teknik statistik yang digunakan untuk mengetahui dan meramalkan hubungan fungsional atau kausal antara satu variabel independen (bebas) dengan satu variabel dependen (terikat) dalam regresi linier sederhana, atau antara beberapa variabel independen dengan satu variabel dependen dalam regresi linier berganda. Regresi linier sederhana didasarkan pada hubungan antara satu variabel independen (X) dan satu variabel dependen (Y) seperti yang diperlihatkan pada Persamaan (3.2).

Keterangan:

Y = variabel dependen yang diprediksi

α = konstanta (nilai y saat x = 0)

b = koefisien regresi yang menunjukkan besarnya pengaruh variabel X

terhadap Y

x = variabel indipenden

Menurut Sugiyono (2019) koefisien determinasi (R^2) adalah ukuran statistik yang menunjukkan seberapa besar variasi variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model regresi. Nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0 sampai 1 dengan interpretasi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.2.



Tabel 3.2 Interpretasi Koefisien Determinasi (R^2)

Nilai Koefisien Determinasi (R^2)	Interpretasi
0,8000 – 1,0000	Tinggi
0,6000 – 0,8000	Cukup
0,4000 – 0,6000	Agak rendah
0,2000 – 0,4000	Rendah
0,0000 – 0,2000	Sangat rendah

(Sumber : Diolah Kembali dari Sugiyono, 2019)

7. Kesimpulan dan saran

Penyusunan kesimpulan dan saran dilakukan berdasarkan hasil tahapan analisis dan tahapan analisis data yang dilakukan. Penyusunan kesimpulan merangkum tentang analisis pengaruh serat *polypropylene* terhadap nilai kuat tekan,kuat lentur dan nilai *slump* dengan variasi serat *polypropylene* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Pengujian beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari untuk memberikan nilai aktual seiring bertambahnya umur beton sampai dengan keuatan beton mencapai maksimal.



BAB 4

DATA PENELITIAN

4.1 Uraian Umum

Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan serat *polypropylene* menggunakan prosedur dan urutan penggerjaan yang berpedoman dengan SNI 03- 2834-2000 mengenai perencanaan *mix design*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penambahan serat *polypropylene* terhadap karakteristik mekanik dan fisik campuran beton. Seluruh proses penelitian dilakukan dengan mengikuti prosedur serta urutan kerja yang merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-2000, yang mengatur tentang perencanaan desain campuran beton. SNI ini memberikan pedoman mengenai cara menentukan proporsi bahan beton yang tepat, termasuk dalam hal penggunaan bahan tambah seperti serat *polypropylene*. Penambahan serat *polypropylene* bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap retakan, kekuatan tarik, serta daya tahan beton terhadap beban dinamis dan getaran.

Dalam penelitian ini, variasi jumlah serat *polypropylene* ditambahkan ke dalam campuran beton untuk menilai pengaruhnya terhadap kualitas material. Tahapan penelitian mencakup persiapan bahan, pencampuran, pengecoran beton ke dalam cetakan, dan pengujian terhadap sifat fisik serta mekanik beton setelah proses pemadatan (*curing*). Semua langkah ini dilaksanakan sesuai dengan pedoman yang tercantum dalam SNI 03-2834-2000, yang memastikan komposisi bahan campuran beton sudah sesuai standar untuk mencapai kualitas yang optimal. Pengujian dilakukan untuk menganalisis berbagai sifat beton, seperti kekuatan tekan, daya serap air, dan ketahanan terhadap retak akibat perubahan suhu atau beban eksternal.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai efektivitas serat *polypropylene* dalam campuran beton serta dampaknya terhadap sifat-sifat fisik dan mekanik yang penting dalam perencanaan konstruksi. Diharapkan, penambahan serat *polypropylene* dapat meningkatkan daya tahan beton terhadap beban tarik dan mengurangi risiko retakan pada permukaan beton, yang sering terjadi pada beton konvensional. Dengan demikian, penelitian ini



berkontribusi pada pengembangan material beton yang lebih awet dan memiliki ketahanan yang lebih baik, sekaligus memperluas pengetahuan mengenai penggunaan bahan tambah untuk meningkatkan kualitas beton di lapangan.

4.2 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat dan kelayakan dari material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Unika Soegijapranata.

4.2.1 Kadar air agregat

Pengujian kadar air agregat halus dan agregat kasar ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata dengan pedoman SNI 03-1971-1990. Tujuan dari pengujian kadar air agregat untuk mengetahui presentasi angkah kadar air agregat.

1. Kadar air agregat halus

Kadar air agregat halus menjadi parameter untuk menentukan proporsi air yang tepat, sehingga campuran beton mencapai kualitas optimal dan mencapai kekuatan maksimal. Berikut adalah hasil perhitungan kadar air agregat halus.

$$\text{Berat wadah} = 152,4 \text{ gr}$$

$$\text{Berat agregat} = 500 \text{ gr}$$

$$\text{Berat wadah + agregat} = 500 + 152,4 \text{ gr}$$

$$= 652,4 \text{ gr}$$

$$\text{Berat wadah + agregat kering} = 152,4 \text{ gr} + 433,3 \text{ gr}$$

$$= 585,7 \text{ gr}$$

$$\text{Kadar air} = \frac{500 \text{ gr} - 433,3 \text{ gr}}{433,3 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$= 15,39\%$$

Berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat halus yang didapatkan sebesar 15,39%, berdasarkan ketentuan SNI 03-1971-1990 kadar air sebesar 5% maka nilai kadar air agregat halus pada penelitian ini tidak sesuai dengan syarat standar yang suda di tetapkan.



2. Kadar air agregat kasar

Analisis kadar air agregat kasar membantu memastikan bahwa bahan yang digunakan dalam beton memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan desain beton, dan dengan demikian meningkatkan kualitas dan ketahanan beton yang dihasilkan. Berikut hasil perhitungan agregat kasar.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat wadah} &= 152,4 \text{ gr} \\
 \text{Berat agregat} &= 500 \text{ gr} \\
 \text{Berat wadah + agregat} &= 152,4 \text{ gr} + 500 \text{ gr} \\
 &= 652,4 \text{ gr} \\
 \text{Berat agregat kering} &= 485,9 \text{ gr} \\
 \text{Berat wadah + agregat kering} &= 152,4 \text{ gr} + 485,9 \text{ gr} \\
 \text{Kadar air} &= \frac{500 \text{ gr} - 485,9 \text{ gr}}{485,9 \text{ gr}} \times 100\% \\
 &= 2,90 \%
 \end{aligned}$$

Hasil kadar air agregat kasar 2,90% lebih kecil dari 5% maka dapat dikatakan kadar air agregat kasar memenuhi syarat SNI 03-1971-1990.

4.2.2 Berat jenis agregat

Uji berat jenis pasir dilakukan dengan mengacu pada SNI 1970-2008 dengan tujuan untuk menentukan berat jenis kondisi SSD agregat yang nantinya menghasilkan berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*).

1. Berat jenis agregat halus

Hasil pengujian agregat halus diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Halus

Keterangan	Sampel
Berat kosong piknometer (W_1) (gr)	292,5 gr
Berat piknometer dan pasir (W_2) (gr)	792,5 gr
Berat piknometer dan pasir + air (W_3) (gr)	1.550 gr
Berat piknometer dan air (W_4) (gr)	1.241 gr
$A = W_2 - W_1$ (gr)	500 gr
$B = W_4 - W_3$ (gr)	309 gr
$C = A - B$ (gr)	191 gr
Berat jenis = A/C	2,61

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, berat jenis agregat halus pada kondisi SSD adalah sebesar 2,17. Hasil ini membuktikan bahwa agregat halus termasuk



dalam kondisi normal, karena berada di antara 2,1 sampai dengan 2,6.

2. Berat jenis agregat kasar

Hasil pengujian agregat kasar diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Berat Jenis Agregat kasar

Keterangan	Sampel
Berat <i>density bucket</i> (W_1) (gr)	772,5 gr
Berat <i>density bucket</i> + kerikil di udara (W_2) (gr)	3.000 gr
Berat <i>density bucket</i> + kerikil di air (W_3) (gr)	2.505 gr
Berat jenis = A/C	2,36

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, berat jenis agregat halus pada kondisi SSD adalah sebesar 2,32. Hasil ini membuktikan bahwa agregat halus termasuk dalam kondisi normal, karena berada di antara 2,3 sampai dengan 2,76.

4.2.3 Pengujian kehalusan semen

Pengujian kehalusan semen dilakukan di Laboratorium Konstruksi Universitas Katolik Soegijapranata, mengacu pada SNI 15-2049-2004. Hasil pengujian kehalusan semen dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kehalusan Semen

Nomor Saringan	Tertahan (gr)	Kehalusan (%)
100	0,00	0,00
200	8	16

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat data-data yang telah memenuhi syarat yang sesuai dengan standart ketetapan kehalusan semen *portland*. Benda uji memenuhi syarat kehalusan 0% tertahan diatas saringan No.100 dan pada saringan No.200 menunjukkan kehalusan sebesar 16% (maksimal 22% yang tertahan diatas saringan No.200) maka dapat dikatakan pengujian kehalusan semen *portland* memenuhi syarat.

4.2.4 Pengujian konsistensi normal semen

Pengujian konsistensi normal semen dilakukan di Laboratorium Konstruksi Bangunan yang berlokasi di Fakultas Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata, dengan pedoman pelaksanaan yang sepenuhnya mengacu pada standar yang telah ditetapkan dalam SNI 03-6826-2002 sebagai acuan utama. Pengujian ini memiliki tujuan utama untuk menentukan konsistensi normal semen,



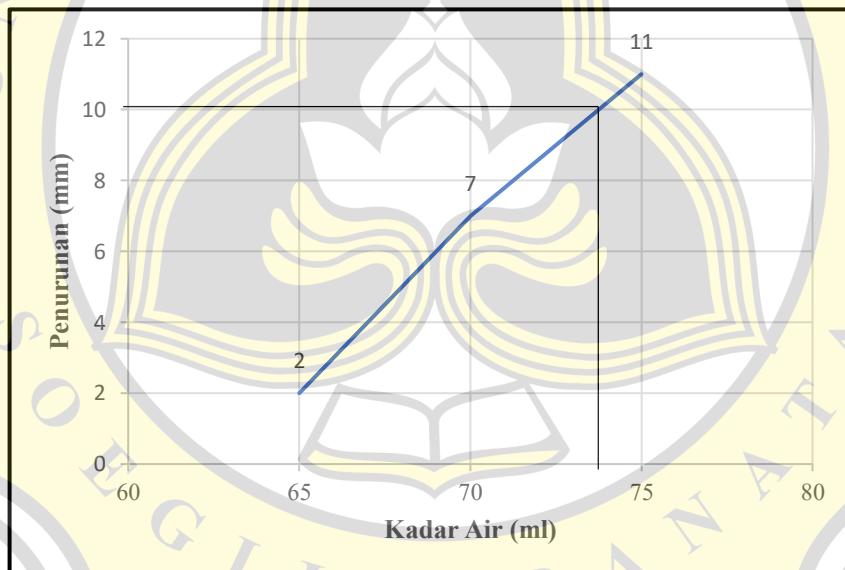
yaitu jumlah air yang diperlukan untuk menghasilkan pasta semen dengan tingkat kelecahan tertentu, sehingga dapat memenuhi persyaratan standar yang relevan dalam proses pengujian material.

Seluruh hasil pengujian konsistensi normal semen secara rinci disajikan dalam Tabel 4.4, yang berisi data kuantitatif hasil pengukuran, sementara representasi visual dari proses dan hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.1.

Tabel 4.4 Pengujian Konsistensi Normal Semen

Keterangan	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
Berat semen (W_s) (gram)	250	250	250
Kebutuhan air (W_a) (gram)	65	70	75
Penurunan (mm)	2	7	12

Untuk lebih jelasnya di perlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Konsistensi Normal Semen

Gambar 4.1 Kadar air yang sesuai dengan ketentuan dalam standar SNI 03-6826-2002 adalah sebanyak 74 ml. Dalam pengujian, jika penurunan tinggi adukan setelah 30 detik kurang dari 10 mm, maka dapat disimpulkan bahwa campuran semen tersebut mengalami kekurangan air, sehingga tidak mencapai konsistensi yang diinginkan. Sebaliknya, apabila penurunan tinggi adukan melebihi 10 mm, maka hal ini menunjukkan bahwa campuran semen mengandung kelebihan air,



yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Oleh karena itu, pengendalian kadar air sangat penting agar mutu dan performa semen sesuai dengan standar yang telah ditetapkan

4.2.5 Analisis saringan agregat

Pengujian analisis saringan agregat dilaksanakan dengan mengacu pada prosedur yang telah ditetapkan dalam standar SNI 03-1968-1990, yang merupakan acuan utama untuk menentukan distribusi ukuran partikel agregat dalam campuran beton. Setelah melakukan serangkaian proses pengujian yang melibatkan penyaringan agregat melalui serangkaian saringan dengan ukuran yang berbeda, diperoleh hasil yang menunjukkan distribusi ukuran partikel agregat secara rinci. Hasil dari pengujian analisis saringan agregat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis saringan agregat halus

a. Nomor saringan	= no.4
Ukuran saringan	= 4,75 mm
Berat tertahan	= 0 gr
% tertahan	= 0%
% tertahan komulatif	= 0%
% lolos komulatif	= 100%
b. Nomor saringan	= no.8
Ukuran saringan	= 2 mm
Berat tertahan	= 75,5 gr
% tertahan	= $\frac{75,5 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 7,55\%$
% tertahan komulatif	= 0% + 7,55% = 7,55%
% lolos komulatif	= 100% - 7,55% = 92,45%
c. Nomor saringan	= 16
Ukuran saringan	= 1,18 mm
Berat tertahan	= 230 gr
% tertahan	= $\frac{230 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 23,0\%$
% tertahan komulatif	= 7,55% + 23,0% = 30,55%
% lolos komulatif	= 100% - 30,55% = 69,45%



d. Nomor saringan	= 30
Ukuran saringan	= 0,6 mm
Berat tertahan	= 227 gr
% tertahan	= $\frac{227 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 22,7\%$
% tertahan komulatif	= $30,55\% + 22,7\% = 53,25\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 53,25\% = 46,75\%$
e. Nomor saringan	= 50
Ukuran saringan	= 0,3 mm
Berat tertahan	= 222 gr
% tertahan	= $\frac{222 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 22,2\%$
% tertahan komulatif	= $53,25\% + 22,2\% = 75,45\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 75,45\% = 24,55\%$
f. Nomor saringan	= 100
Ukuran saringan	= 0,15 mm
Berat tertahan	= 197 gr
% tertahan	= $\frac{197 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 19,70\%$
% tertahan komulatif	= $75,45\% + 19,70\% = 95,15\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 95,15\% = 4,50\%$
g. Nomor saringan	= 200
Ukuran saringan	= 0,075 mm
Berat tertahan	= 45 gr
% tertahan	= $\frac{45 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 4,50\%$
% tertahan komulatif	= $95,15\% + 4,50\% = 99,65\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 99,65\% = 0,35\%$
h. Nomor saringan	= Pan
Ukuran saringan	= 0 mm
Berat tertahan	= 3,5 gr
% tertahan	= $\frac{3,5 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 0,35\%$
% tertahan komulatif	= $99,65\% + 0,35\% = 100\%$



$$\% \text{ lolos komulatif} = 100\% - 100\% = 0\%$$

Hasil perhitungan analisis saringan agregat halus diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisis Saringan Agregat Halus

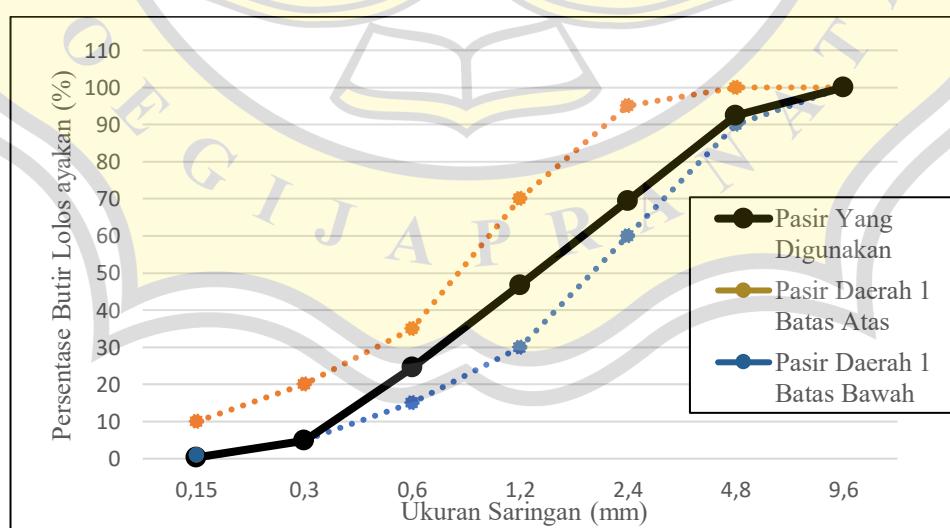
No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Tertahan (%)	Tertahan Komulatif (%)	Lolos Komulatif (%)
4	4,75	0	0,00	0	100,00000
8	2	75,5	7,55	7,5500	92,45000
16	1,18	230	23,00	30,5500	69,45000
30	0,6	227	22,70	53,2500	46,75000
50	0,3	222	22,20	75,4500	24,55000
100	0,15	197	19,70	95,1500	4,85000
200	0,075	45	4,50	99,6500	0,35000
PAN	0	3,5	0,35	100,0000	0,00000

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari setiap no. saringan, maka modulus kehalusan agregat halus dapat dihitung dengan persamaan (2.16) sebagai berikut:

Modulus kehalusan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\% \text{ Tertahan komulatif}}{100} \\
 &= \frac{(0+7,55+30,55+53,25+75,45+95,65+99,65+100)}{100} \\
 &= 4,616
 \end{aligned}$$

Hasil modulus kehalusan agregat halus menunjukkan hasil sebesar 4,616 dimana tidak memenuhi kategori pasir sedang dengan modulus kehalusan agregat halus yaitu 2,3 sampai 3,1 berdasarkan SNI 03-1968-1990.



Gambar 4.2 Gradasi Agregat Halus



Gambar 4.2 memperlihatkan hasil analisis gradasi butiran pasir yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan distribusi ukuran butir yang diperoleh, pasir tersebut diklasifikasikan sebagai Pasir Daerah 1 atau pasir kasar sesuai dengan kriteria klasifikasi yang diatur dalam SNI 03-1968-1990. Klasifikasi ini merujuk pada rentang ukuran butir yang memenuhi batas-batas standar untuk pasir kasar, yang ditentukan oleh persentase material yang lolos saringan tertentu. Dengan demikian, pasir yang digunakan memenuhi persyaratan spesifik dari segi gradasi, yang berimplikasi pada karakteristik fisik dan mekanik yang sesuai untuk diaplikasikan dalam campuran beton struktural. Pemenuhan standar ini penting untuk menjamin kualitas dan performa beton akhir yang dihasilkan dalam konteks kekuatan, daya tahan, dan keawetan material konstruksi.

2. Hasil analisis saringan agregat kasar

a. Nomor saringan	= 1
Ukuran saringan	= 25,4 mm
Berat tertahan	= 0 gr
% tertahan	= $\frac{0 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 0,00\%$
% tertahan komulatif	= 0% + 0,00% = 0,00%
% lolos komulatif	= 100% - 0,00% = 100%
b. Nomor saringan	= 3/4
Ukuran saringan	= 19 mm
Berat tertahan	= 5,5 gr
% tertahan	= $\frac{5,5 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 0,552\%$
% tertahan komulatif	= 0% + 0,552% = 0,552%
% lolos komulatif	= 100% - 0,552% = 99,448%
c. Nomor saringan	= 1/2
Ukuran saringan	= 11,2 mm
Berat tertahan	= 637,1 gr
% tertahan	= $\frac{637,1 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 63,902\%$
% tertahan komulatif	= 0,552% + 63,902% = 64,453%
% lolos komulatif	= 100% - 64,453% = 35,547%



d. Nomor saringan	= 3/8
Ukuran saringan	= 9,52 mm
Berat tertahan	= 100 gr
% tertahan	= $\frac{100 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 10,030\%$
% tertahan komulatif	= $64,453\% + 10,030\% = 74,483\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 74,483\% = 25,517\%$
e. Nomor saringan	= 1/4
Ukuran saringan	= 6,35 mm
Berat tertahan	= 113,1 gr
% tertahan	= $\frac{113,1 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 11,344\%$
% tertahan komulatif	= $74,483\% + 11,344\% = 85,827\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 85,827\% = 14,173\%$
f. Nomor saringan	= no.4
Ukuran saringan	= 4,76 mm
Berat tertahan	= 141,3 gr
% tertahan	= $\frac{141,3 \text{ gr}}{1.000 \text{ gr}} \times 100\% = 14,173\%$
% tertahan komulatif	= $85,827\% + 14,173\% = 100\%$
% lolos komulatif	= $100\% - 100\% = 0\%$

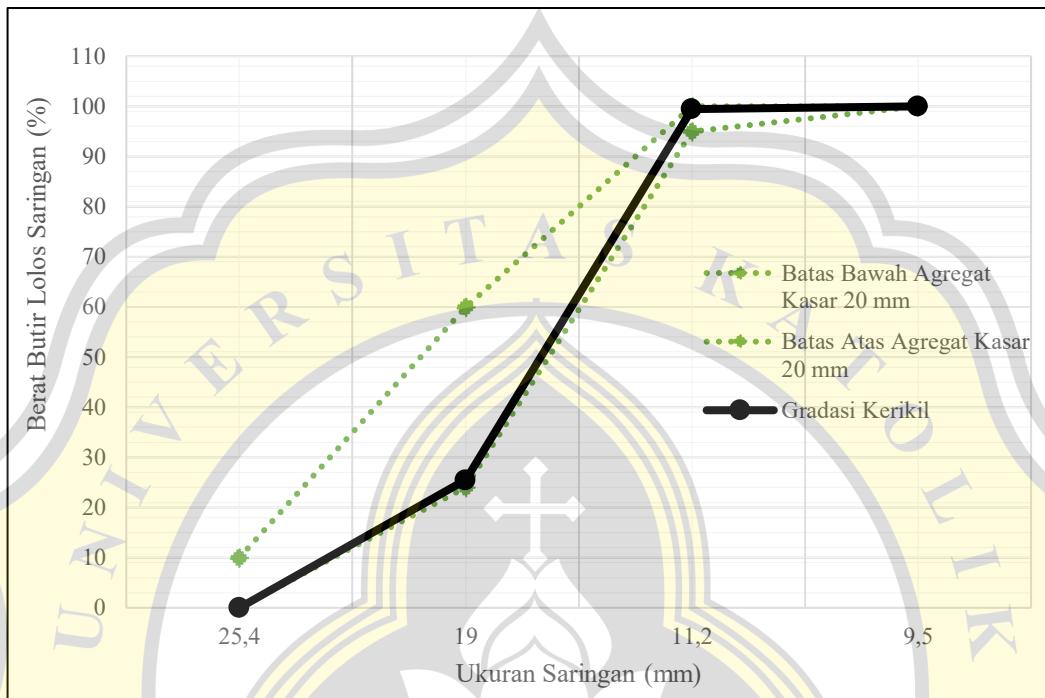
Dari hasil perhitungan dapat dijabarkan dalam bentuk tabel yang diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Analisis Saringan Agregat Kasar

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Tertahan (%)	Lolos Komulatif (%)	Tertahan Komulatif (%)
1	25,4	0	0	100	0
3/4	19	5,5	0,552	99,448	0,552
1/2	11,2	637,1	63,902	35,547	64,453
3/8	9,5	100	10,030	25,517	74,483
1/4	6,35	113,1	11,344	14,173	85,827
4	4,75	141,3	141,3	0	100
PAN	0	0	0	0	100



Berdasarkan Tabel 4.6 diperoleh hasil persentase lolos kumulatif pada pengujian gradasi agregat kasar yang dapat digunakan untuk menentukan tipe gradasi agregat kasar seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Gradasi Agregat Kasar

Berdasarkan Gambar 4.3 gradasi agregat kasar termasuk kedalam zona ukuran maksimal 20 mm, karena grafik agregat kasar berada diantara grafik ukuran minimal 20 atas dan grafik ukuran minimal 20 bawah.

4.2.6 Berat volume agregat

Pengujian berat volume agregat digunakan untuk menentukan proporsi agregat yang digunakan dalam campuran (berat volume agregat halus dan agregat kasar). Berat volume agregat diartikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya. Berikut adalah hasil pengujian berat volume agregat.

1. Berat volume agregat halus

Pengujian berat volume agregat halus dilakukan dengan cara yaitu dengan rojokan dan tampa rojokan, dengan perhitungan sebagai berikut:

- a. Tinggi wadah = 0,15 m
- b. Panjang wadah = 0,15 m



- c. Lebar wadah = 0,15 m
- d. Volume wadah = $p \times l \times t$
 $= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$
 $= 0,00375 \text{ m}^3$
- e. Berat wadah = 5,75 kg
- f. Berat wadah + agregat = 11,32 kg
- g. Berat agregat (e - d) = $11,32 \text{ kg} - 5,65 \text{ kg}$
 $= 5,67 \text{ kg}$
- h. Berat volume (f/c) = berat agregat /volume wadah
 $= 5,67 / 0,00375 \text{ m}^3$
 $= 1,512 \text{ kg/m}^3$

Hasil perhitungan berat volume agregat halus diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Analisis Berat Volume Agregat Halus

Keterangan	Hasil
Berat + Agregat	11,32 kg
Berat Wadah	5,65 kg
Berat Agregat	5,67 kg
Volume Wadah	0,00375 m ³
Berat Volume	1,512 kg/m ³

Berat volume agregat kasar sebesar 1.512 kg/m³ memenuhi syarat standar SNI 1973-2008 yang berkisar 1.440 – 1.600 kg/m³.

2. Berat volume agregat kasar
- a. Tinggi wadah = 0,15 m
- b. Panjang wadah = 0,15 m
- c. Lebar wadah = 0,15 m
- d. Volume wadah = $p \times l \times t$
 $= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$
 $= 0,00375 \text{ m}^3$
- e. Berat wadah = 5,75 kg
- f. Berat wadah + agregat = 10,48 kg
- g. Berat agregat (e - d) = $10,48 \text{ kg} - 5,65 \text{ kg}$



$$= 4,83 \text{ kg}$$

h. Berat volume (f/c) = berat agregat / volume wadah

$$= 4,83 / 0,00375 \text{ m}^3$$

$$= 1.288 \text{ kg/m}^3$$

Hasil perhitungan berat volume agregat kasar menunjukkan massa per satuan volume, yang berguna untuk menilai kepadatan material dan memastikan kesesuaian dengan spesifikasi teknis. Hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Analisis Berat Volume Agregat Kasar

Keterangan	Hasil
Berat + agregat	10,48 kg
Berat wadah	5,65 kg
Berat agregat	4,83 kg
Volume wadah	0,00375 m ³
Berat volume	1.288 kg/m ³

Hasil berat volume yang diperoleh sebesar 1.288 kg/m³ tidak memenuhi syarat standar SNI 1973-2008 yang berkisar 1.350 sampai 1.750 kg/m³.

4.2.7 Kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 2816:2014. Hasil dari pengujian tersebut ditampilkan sebagai data yang menggambarkan persentase kandungan lumpur dalam agregat halus sebagai berikut:

1. Pengujian sebelum dicuci

- Berat pasir (a) = 500 gr
- Berat wadah (b) = 75 gr
- Berat wadah + pasir (W₁) = 575 gr
- Berat wadah + pasir kering (W₂) = 425 gr
- Berat pasir kering (W₃) = 350 gr
- Kandungan lumpur = $\frac{a-w_3}{w_3} \times 100\%$
 $= \frac{500 \text{ gr}-350 \text{ gr}}{350 \text{ gr}} \times 100\%$
 $= 43\%$



2. Pengujian setelah dicuci

- a. Berat pasir (a) = 500 gr
- b. Berat wadah (b) = 75 gr
- c. Berat wadah + pasir (W_1) = 575 gr
- d. Berat wadah + pasir kering (W_2) = 565 gr
- e. Berat pasir kering (W_3) = 490 gr
- f. Kandungan lumpur = $\frac{a-w_3}{w_3} \times 100$
 $= \frac{500 \text{ gr} - 490 \text{ gr}}{490 \text{ gr}} \times 100$
 $= 2\%$

Berdasar pengujian kadar lumpur agregat halus <5% maka dapat dikatakan kadar lumpur agregat halus pada penelitian masih dalam standar aman. Ketentuan ini berdasarkan SNI 2816:2014.

4.2.8 Pengujian keausan agregat kasar

Proses pengujian benda uji ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata. Pengujian ini bertujuan melihat nilai kekerasan atau keausan dari agregat kasar. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-2417-2008 dengan menggunakan mesin Los Angeles dan bola besi. Proses perhitungan pengujian keausan agregat kasar dapat dilihat pada Persamaan (2.20).

- a. Berat agregat kasar + wadah = 5.240 gr
- b. Berat wadah = 240 gr
- c. Berat agregat kasar (W_1) = 5.000 gr
- d. Berat saringan no 12 = 352,600 gr
- e. Berat tertahan + saringan no 12 = 3.756,600 gr
- f. Berat tertahan (W_2) = 3.404 gr
- g. Keausan = $\frac{w_1-w_2}{w_1} \times 100$
 $= \frac{5.000 \text{ gr} - 3.404 \text{ gr}}{5.000 \text{ gr}} \times 100$
 $= 31,92 \%$



Hasil perhitungan diatas, nilai dari keausan agregat kasar ini masuk dalam persyaratan untuk digunakan. Persentase keausan tidak boleh lebih dari 40% untuk konstruksi jalan raya, dan 50% untuk bangunan.

4.3 Perhitungan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dalam penelitian ini dilaksanakan dengan cermat dan teliti, sepenuhnya mengacu pada standar nasional Indonesia, SNI 03-2834-2002. Adopsi standar ini bukan sekadar formalitas, melainkan sebuah jaminan fundamental bahwa setiap proporsi material yang digunakan telah diuji dan divalidasi untuk memenuhi persyaratan teknis yang berlaku, memastikan kualitas dan kinerja beton yang optimal sesuai dengan aplikasi strukturalnya. Beton yang dirancang secara spesifik memiliki target kuat tekan sebesar 25 MPa. Pemilihan nilai kuat tekan ini didasarkan pada perhitungan dan kebutuhan kekuatan struktural spesifik yang diperlukan pada proyek ini, menjamin bahwa elemen beton akan mampu menahan beban dan tegangan yang diperkirakan selama masa layanannya. Untuk mencapai kuat tekan tersebut, pemilihan agregat menjadi krusial. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran butir maksimum 20 mm. Batu pecah dipilih karena karakteristiknya yang dikenal mampu memberikan kekuatan dan stabilitas tinggi pada campuran beton, berkat bentuk angularnya yang meningkatkan *interlocking* antar partikel. Sedangkan agregat halus yang digunakan adalah pasir alami yang tergolong dalam golongan pasir agak halus. Pemilihan jenis pasir ini sangat penting untuk mencapai proporsi ideal dalam campuran beton, mengisi rongga antar agregat kasar dan meningkatkan kepadatan campuran, yang pada akhirnya berkontribusi pada kekuatan dan durabilitas beton. Dalam hal material pengikat, semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I merek Tiga Roda. Semen ini dipilih karena reputasinya yang dikenal memiliki kualitas yang baik dan secara luas sering digunakan dalam berbagai proyek konstruksi beton, menjamin konsistensi dan keandalan hidrasi. Aspek penting lainnya dalam perencanaan adalah nilai *slump* yang direncanakan berada dalam kisaran 5 hingga 7,5 cm. Rentang nilai *slump* ini dipilih secara spesifik sesuai dengan standar yang ditetapkan untuk perkerasan kaku. Tujuan dari pengaturan kemudahan pengerajan



beton (*workability*) adalah untuk memastikan bahwa beton yang dihasilkan memiliki sifat yang optimal selama proses konstruksi di lapangan. *Workability* yang baik memungkinkan beton untuk dicampur dengan homogen, diangkut tanpa kehilangan kualitas, dipadatkan secara efektif, dan mudah. Hal ini penting agar beton tidak mengalami segregasi pemisahan butiran agregat dan pasta semen serta *bleeding* atau keluarnya air berlebih ke permukaan yang dapat mengurangi kualitas permukaan. Dengan demikian, pengaturan *workability* yang tepat akan menghasilkan perkerasan beton dengan permukaan yang rata, kuat, dan memiliki daya tahan yang baik terhadap beban serta pengaruh lingkungan.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam merencanakan campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Kuat tekan rencana yaitu (f'_c) 25 MPa hal ini didasarkan pada acuan Bina Marga tahun (2018) yang diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Mutu Beton dan Penggunaan

Mutu Beton	f'_c (MPa)	σ_{bk}' (kg/cm ²)	Uraian
Mutu Tinggi	35-65	K400-K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu Sedang	20-<30	K250-<K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu Rendah	15-<20	K175-<K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10-<15	K125-<K175	digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

(Sumber: Diolah Kembali Dari Departemen Pekerjaan Umum Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, 2005)

2. Penentuan standar deviasi untuk beton dengan kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 25 MPa dilakukan dengan mempertimbangkan nilai tambah kuat tekan sebesar 8,5 MPa pada tingkat pengendalian mutu pekerjaan yang kurang baik, khususnya ketika belum terdapat pengalaman sebelumnya dalam pelaksanaan proyek tersebut. Penentuan nilai ini mengacu pada pedoman yang tercantum dalam SNI 03-2834-2002, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.9. Pendekatan



ini bertujuan untuk mengantisipasi variabilitas mutu beton di lapangan sehingga perencanaan campuran beton dapat menghasilkan mutu akhir yang sesuai dengan persyaratan teknis yang ditetapkan.

Tabel 4.10 Kuat Tekan Rata-Rata Perlu Jika Data Tidak Tersedia Untuk Menetapkan Deviasi Standar.

Kuat Tekan Rencana	Nilai Tambah
< 21	7
21-35	8,5
>35	10

(Sumber: SNI 03-2834-2002)

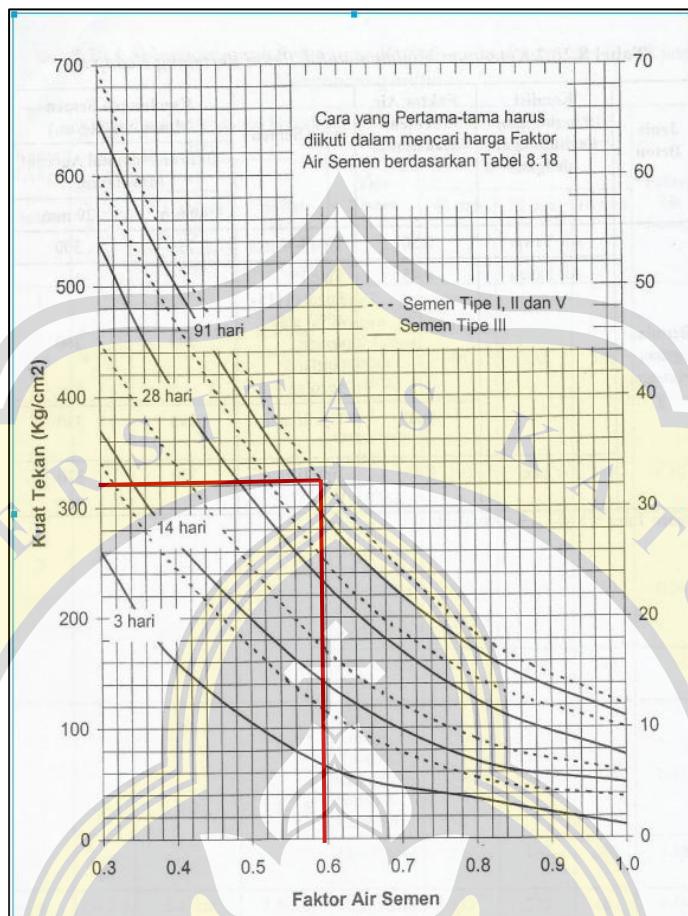
3. Pada Tabel 4.9 kuat tekan rencana pada penelitian ini adalah 25 MPa dengan nilai tambah dihitung kuat tekan rata-rata dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f_c' + m \\
 &= 25 \text{ MPa} + 8,5 \\
 &= 33,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Lalu dirubah ke K menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 K &= F_{cr} \times 100/g \\
 &= 33,5 \times 100/9,81 \\
 &= 341,488 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

4. Jenis semen yang digunakan adalah PPC tipe 1. Semen ini memiliki dua karakteristik mengurangi panas hidrasi dan meningkatkan ketahanan terhadap serangan sulfat, yang pada akhirnya memperpanjang daya tahan beton. Oleh karena itu, PPC tipe 1 tidak hanya memenuhi standar teknis, tetapi juga mendukung kekuatan dan ketahanan jangka panjang struktur beton.
5. Penggunaan agregat alami (halus) dan batu pecah (kasar) bertujuan menciptakan beton optimal dengan kekuatan, daya tahan, dan kemudahan aplikasi yang superior, didasari ketersediaan dan kontribusinya terhadap struktur.
6. Dari data yang didapatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 341,488 kg/cm² dengan umur beton 7 hari dan 28 hari. Berikut adalah cara mencari faktor air semen bebas menggunakan grafik pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Faktor Air Semen (Sumber: SNI 03-2834-2002)

Dari Gambar 4.4 beton direncanakan di luar ruangan bangunan dengan keliling non korosif dengan nilai faktor air semen 0,6.

- Slump rencana untuk beton normal 50 – 75 mm, sesuai Bina marga tahun (2018) yang di perlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai Slump Untuk Berbagai Pekerjaan Beton

Uraian	Slump (cm)
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	5,0 – 12,5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi bawah tanah	2,5 – 9,0
Pelat, balok, kolo, dan dinding	7,5 – 15,0
Perkerasan jalan	5,0 – 7,5
Pembetonan masal	2,5 – 7,5

(Sumber: Diolah Kembali Dari Departemen Pekerjaan Umum Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, 2005)



8. Ukuran maksimum agregat kasar ditentukan sebesar 20 mm berdasarkan pengujian analisis saringan agregat kasar.
9. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat kasar dan penurunan nilai *slump*, yang dapat dilihat pada Tabel 4.12. Dalam hal ini, ukuran maksimum agregat kasar adalah 20 mm, dan penurunan nilai *slump* berada dalam kisaran 500 mm – 750 mm, yang digunakan untuk menyesuaikan kandungan air agar campuran beton mencapai konsistensi yang diinginkan.

Tabel 4.12 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3)

Ukuran Besar Butiran Agregat Maksimum	Jenis Agregat	<i>Slump</i> (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10 mm	Batu tak pecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20 mm	Batu tak pecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40 mm	Batu tak pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 03-2834-2002)

10. Kadar air bebas yang didapatkan dari Tabel 4.10 (untuk ukuran agregat maksimum 20 mm).
 - a. Untuk agregat tidak pecah atau pasir alami $195 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - b. Untuk agregat dipecah atau kerikil $225 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - c. Jumlah air yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air bebas} &= 0,67 W_h + 0,33 W_k \\
 &= (0,67 \times 195) + (0,33 \times 225) \\
 &= 204,9 \text{ kg}/\text{m}^3
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- 0,67 = Koefisien ketetapan untuk agregat halus
- 0,33 = Koefisien ketetapan untuk agregat kasar
- W_h = Perkiraan volume air untuk agregat halus (kg/m^3)
- W_k = Perkiraan volume air untuk agregat kasar (kg/m^3)

11. Kebutuhan semen (W) = W_{air} / FAS

$$\begin{aligned}
 &= 204,9 \text{ kg}/\text{cm}^2 / 0,6 \\
 &= 341,5 \text{ kg}/\text{m}^2
 \end{aligned}$$



Keterangan:

W_{air} = Kebutuhan air (kg/m^3)

FAS = Faktor air semen

12. Ditetapkan kebutuhan semen minimum untuk beton perkerasan kaku luar ruangan adalah $325 \text{ kg}/\text{m}^3$ dengan faktor air semen 0,6. Nilai ini kemudian akan dibandingkan dengan kebutuhan semen untuk mencapai faktor air semen maksimum.
13. Faktor Air Semen (FAS) adalah rasio antara berat air dan berat semen dalam campuran beton. Penentuan nilai FAS maksimal bertujuan untuk memenuhi kekuatan tekan beton yang direncanakan, yang beracuan berdasarkan SNI 03-2384-2000. diperlihatkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Persyaratan Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Kriteria Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus.

Lokasi	Jumlah Air Semen Minimum per m^3 beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton dalam ruang bagunan: a. Keadaan keliling non-korosif Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton diluar ruang bangunan a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 0,50
Beton yang kontinu berhubungan: a. Air tawar b. Air laut		0,50

(Sumber: Diolah Kembali Dari SNI 03-2834-2000)



14. Penyesuaian terhadap faktor air semen dan jumlah air tidak mengalami perubahan karena pada langkah sebelumnya yaitu langkah 13 yang menetukan bahwa kebutuhan semen tetap konstan. Oleh karena itu, jumlah air yang digunakan dalam campuran beton dipertahankan sebesar 204,9 kg/m³, dan jumlah semen yang digunakan juga tetap sebesar 341,5 kg/m³. Kondisi ini menunjukkan bahwa komposisi campuran beton stabil, sehingga tidak memerlukan penyesuaian proporsi air maupun semen untuk memenuhi kriteria mutu yang ditetapkan.
15. Berdasarkan analisis susunan butir agregat halus yang diperoleh dari hasil uji saringan, diketahui bahwa gradasi kekasaran pasir yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan klasifikasi gradasi agregat halus Daerah 1. Hal ini menunjukkan bahwa pasir tergolong dalam kategori pasir kasar, yang umumnya memiliki distribusi butiran lebih besar dan baik untuk menghasilkan beton dengan stabilitas bentuk dan kekuatan yang lebih tinggi. Adapun data lengkap hasil pengujian gradasi tersebut ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Gradasi Kekasaran Pasir

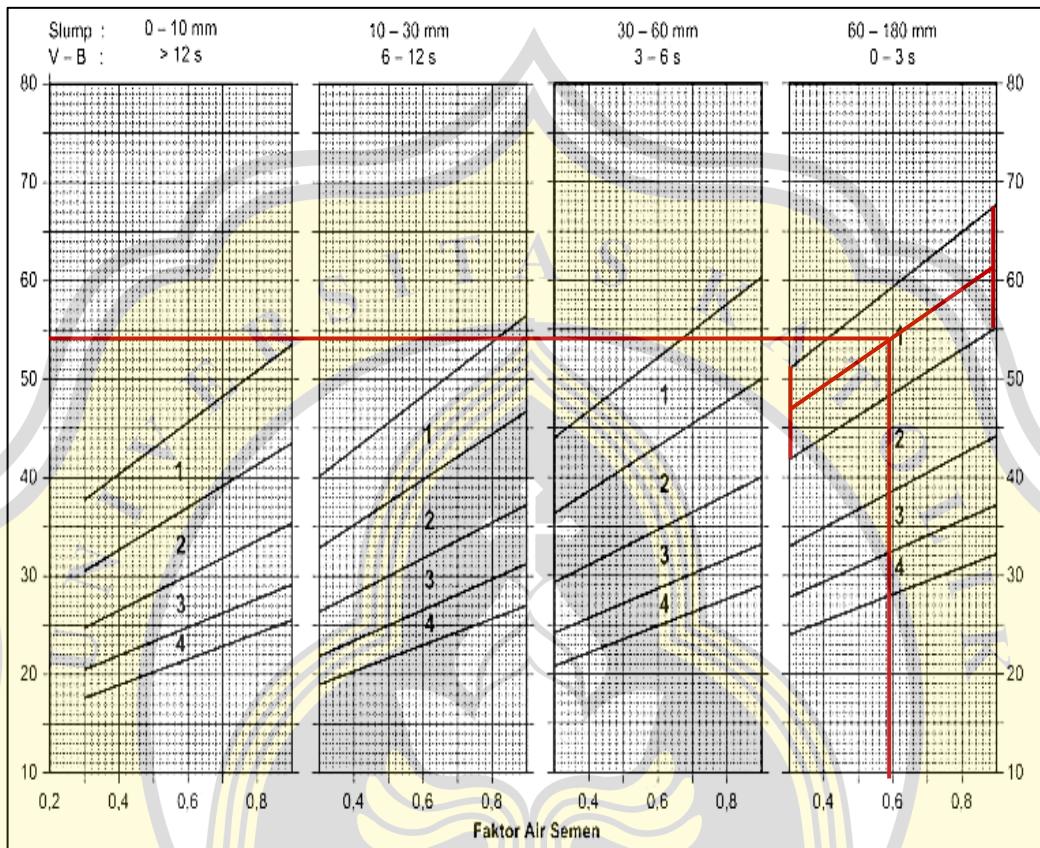
Lubang (mm)	% Berat Butir Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber: Diolah kembali dari Tjokrodimuljo, Teknologi beton 2007)

16. Berdasarkan zona daerah material, faktor air-semen, serta nilai *slump* yang diukur, persentase pasir dalam campuran agregat dapat dihitung dengan akurat, dan hasil perhitungannya yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa persentase pasir terhadap agregat campuran adalah sebesar 52,5%, sehingga untuk menentukan persentase agregat kasar maka hasil presentasi yang diperoleh dapat dikurangkan dengan nilai 100%, yang menghasilkan persentase agregat kasar sebesar 47,5%. Hasil tersebut yang



digunakan dalam perencanaan campuran beton untuk mencapai proporsi yang tepat antara pasir dan agregat kasar dalam campuran tersebut.

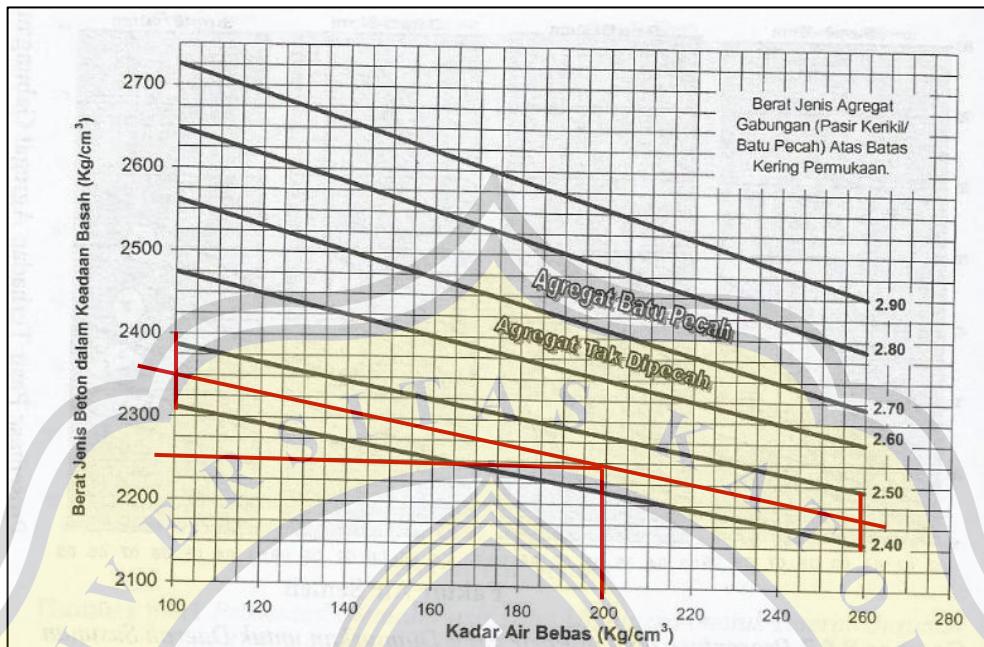


Gambar 4.5 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

17. Berat jenis yang diambil dari data uji material yaitu untuk agregat halus sebesar 2,61 dan agregat kasar sebesar 2,36.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis campuran} &= P/100 \times BJ_{Ah} \times K/100 \times BJ_{Ak} \\ &= 52,5/100 \times 2,61 \times 47,5/100 \times 2,36 \\ &= 2,49125 \end{aligned}$$

18. Berat isi beton diperoleh dengan mengacu pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.6. Berdasarkan grafik tersebut, berat isi beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 2.315 kg/m^3 . Nilai berat isi ini menunjukkan densitas beton yang merefleksikan kepadatan dan komposisi material dalam campuran beton tersebut.



Gambar 4.6 Perkiraan Berat Jenis Beton Basah

Berdasarkan grafik diatas, maka nilai berat jenis beton basah yang didapatkan sebesar $2.240 \text{ kg}/\text{m}^3$

19. Menghitung agregat campuran

$$\begin{aligned}
 \text{Angregat campuran} &= \text{BJ Beton} - \text{W Semen} - \text{W Air} \\
 &= 2.240 \text{ kg}/\text{cm}^3 - 341,5 \text{ kg}/\text{cm}^3 - 204,9 \text{ liter}/\text{m}^3 \\
 &= 1.768,6 \text{ kg}/\text{cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 20. \text{ Kadar agregat halus} &= \text{presentasi agregat halus}/100 \times \text{agregat campuran.} \\
 &= 52,5/100 \times 1.768,6 \\
 &= 928,515 \text{ kg}/\text{m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 21. \text{ Kadar agregat kasar} &= \text{presentasi agregat kasar}/100 \times \text{agregat campuran.} \\
 &= 47,5/100 \times 1.768,6 \\
 &= 840,085 \text{ kg}/\text{m}^3
 \end{aligned}$$

22. Kebutuhan untuk 1 benda uji kubus

$$\begin{aligned}
 \text{Volume awal} &= S \times S \times S \\
 &= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\
 &= 0,00338 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$



$$\text{Faktor keamanan} = 15\% \times \text{volume kubus}$$

$$= 15\% \times 0,00338 \text{ m}^3$$

$$= 0,00051 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume kubus} = \text{volume awal} + \text{faktor keamanan}$$

$$= 0,00338 \text{ m}^3 + 0,00051 \text{ m}^3$$

$$= 0,00388 \text{ m}^3$$

$$\text{Air} = W_{\text{air}} \times \text{volume}$$

$$= 204,9 \times 0,00388$$

$$= 0,79527 \text{ liter}$$

$$= 795,268 \text{ ml}$$

$$\text{Semen} = W_{\text{semen}} \times \text{volume}$$

$$= 341,5 \times 0,00388$$

$$= 1,32545 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = \text{kadar air agregat kasar} \times \text{volume}$$

$$= 840,085 \times 0,00388$$

$$= 3,26058 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = \text{kadar air agregat halus} \times \text{volume}$$

$$= 928,515 \times 0,00388$$

$$= 3,6038 \text{ kg}$$

23. Kebutuhan 1 benda uji balok

$$\text{Volume} = S \times S \times S$$

$$= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,60 \text{ m}$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3$$

$$\text{Faktor keamanan} = 15 \% \times \text{volume}$$

$$= 15 \% \times 0,0135 \text{ m}^3$$

$$= 0,00135 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume balok} = \text{volume} + \text{faktor keamanan}$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3 + 0,00135 \text{ m}^3$$

$$= 0,01485 \text{ m}^3$$

$$\text{Air} = W_{\text{air}} \times \text{volume}$$

$$= 204,9 \times 0,01485$$



$$= 3,042765 \text{ liter/m}^3$$

$$= 3042,765 \text{ ml/cm}^3$$

Semen = W semen x volume

$$= 341,5 \times 0,01485$$

$$= 5,071275 \text{ kg/m}^3$$

Kerikil = kadar air agregat kasar x volume

$$= 840,085 \times 0,01485 \text{ m}^3$$

$$= 12,47526 \text{ kg/m}^3$$

Pasir = kadar air agregat halus x volume

$$= 928,515 \times 0,01485$$

$$= 13,78845 \text{ kg/m}^3$$

24. Setelah mendapatkan kebutuhan semen untuk benda uji kubus dan balok, maka Kebutuhan serat *polypropylene* dapat dihitung sebagai berikut:

a. Kebutuhan serat *polypropylene* benda uji kubus

Variasi 1 = 2% x berat semen

$$= 2\% \times 1,32545 \text{ kg}$$

$$= 0,02651 \text{ kg}$$

$$= 26,5089 \text{ gr}$$

Variasi 2 = 4% x berat semen

$$= 4\% \times 1,32545 \text{ kg}$$

$$= 0,05302 \text{ kg}$$

$$= 53,0179 \text{ gr}$$

Variasi 3 = 6% x berat semen

$$= 6\% \times 1,32545 \text{ kg}$$

$$= 0,07953 \text{ kg}$$

$$= 79,5268 \text{ gr}$$

b. Kebutuhan serat *polypropylene* benda uji balok

Variasi 1 = 2% x berat semen

$$= 2\% \times 5,071275 \text{ kg}$$

$$= 0,101426 \text{ kg}$$



$$= 101,4255 \text{ gr}$$

Variasi 2 $= 4\% \times \text{berat semen}$

$$= 4\% \times 5,071275 \text{ kg}$$

$$= 0,202851 \text{ kg}$$

$$= 202,851 \text{ gr}$$

Variasi 3 $= 6\% \times \text{berat semen}$

$$= 6\% \times 5,071275 \text{ kg}$$

$$= 0,304277 \text{ kg}$$

$$= 304,2765 \text{ gr}$$

4.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata. Proses pembuatan benda uji ini menggunakan pedoman SNI 03-6825-2002. Bahan tambah yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah limbah plastik jenis *Polyprophylene*. Berikut adalah tahapan pembuatan benda uji.

1. Bahan;

- a. Semen (*portland composit cement*)
- b. Agregat halus
- c. Agregat kasar
- d. Air bersih
- e. Bahan tambah (serat plastik *polypropylene*)

2. Peralatan;

- a. Timbangan
- b. Ember atau wadah
- c. Sekop atau pengaduk beton
- d. Cetakan benda uji (kubus dan balok)
- e. Pengaris atau alat ukur lainnya
- f. Kerucut abram
- g. Gelas ukur
- h. Alat pemedat manual (palet atau batang besi)



3. Metode pelaksanaan

- a. Campurkan agregat kasar dan halus terlebih dahulu dalam wadah besar atau pada permukaan yang rata (misalnya papan kayu besar atau pelataran).
- b. Tambahkan semen ke campuran agregat dan aduk secara merata sampai warna campuran menjadi homogen.
- c. Tambahkan air sedikit-sedikit ke campuran sambil terus diaduk, sampai diperoleh adukan beton yang konsisten.
- d. Setelah adukan beton menjadi konsisten maka dilakukan pemcampuran serat plastik *polypropylene* dengan cara di taburkan secara merata atau *layer by layer*.
- e. Sebelum dimasukkan kedalam cetakan adonan beton dilakukan uji *slump test* untuk mengetahui *workability* adonan beton. Uji *slump* dilakukan dengan cara adonan beton dimasukkan kedalam kerucut abram secara berlapis dan setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang besi yang ditusuk sebanyak 25 kali, setelah kerucut abram terisi penuh permukaan kerucut abram diratakan lalu kerucut abram diangkat secara perlahan dan dicatat penurunan yang terjadi pada adonan beton.
- f. Masukkan beton ke dalam cetakan secara perlahan dan rata. Setelah beton dimasukkan, pastikan untuk memadatkan beton dalam cetakan dengan cara menepuk-nepuk cetakan menggunakan palet atau batang besi. Ini bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap dalam campuran beton.
- g. Beton dipadatkan hingga memenuhi seluruh volume cetakan secara merata, sehingga tidak terdapat rongga atau udara terperangkap di dalamnya. Setelah proses pemanasan selesai dan permukaan beton diratakan, cetakan disimpan di tempat yang terlindung dari gangguan fisik maupun lingkungan eksternal, guna menjaga integritas awal beton selama proses perawatan awal.

4.5 *Slump test*

Pengujian nilai *slump* dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi Teknik Universitas Katolik Soegijapranata. Pengujian *slump* dilakukan pada setiap campuran beton yang dihasilkan. Sebelum proses pengangkatan Kerucut Abrams untuk mengukur



nilai *slump*, dilakukan pemanjangan terlebih dahulu pada setiap lapisan campuran beton menggunakan tongkat penusuk. Langkah pemanjangan ini bertujuan untuk memastikan beton terdistribusi dengan baik. Hasil pengujian *slump* benda uji kubus dan benda uji balok dapat diperlihatkan pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

1. Hasil pengujian *slump* benda uji kubus

Hasil yang diperoleh pengujian *slump* benda uji kubus dengan variasi serat 0%, 2%, 4%, dan 6% dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji Kubus

No	Variasi serat PP	Variasi Benda Uji	<i>Slump</i> (cm)
1	0 %	Kubus BN1	7
2		Kubus BN2	6
3		Kubus BN3	7,5
4		Kubus BN4	6
5		Kubus BN5	6,5
6	2 %	Kubus BS1	1,3
7		Kubus BS2	1
8		Kubus BS3	0,9
9		Kubus BS4	1
10		Kubus BS5	0,8
11	4 %	Kubus BS1	0
12		Kubus BS2	0
13		Kubus BS3	0
14		Kubus BS4	0
15		Kubus BS5	0
16	6 %	Kubus BS1	0
17		Kubus BS2	0
18		Kubus BS3	0
19		Kubus BS4	0
20		Kubus BS5	0

2. Hasil pengujian *slump* benda uji balok

Hasil yang diperoleh pengujian *slump* benda uji balok dengan variasi serat 0%, 2%, 4%, dan 6% dapat dilihat pada Tabel 4.16.



Tabel 4.16 Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji Balok

No	Variasi serat PP	Variasi Benda Uji	Slump (cm)
1	0 %	Balok BN	7
2		Balok BN	6
3		Balok BN	7,5
4		Balok BN	6
5		Balok BN	6,2
6	2 %	Balok BS2	1
7		Balok BS2	1,3
8		Balok BS2	0,9
9		Balok BS2	1
10		Balok BS2	1,1
11	4 %	Balok BS4	0
12		Balok BS4	0
13		Balok BS4	0
14		Balok BS4	0
15		Balok BS4	0
16	6 %	Balok BS6	0
16		Balok BS6	0
17		Balok BS6	0
18		Balok BS6	0
19		Balok BS6	0
20		Balok BS6	0

Gambar pengujian *slump* beton dapat dilihat pada Gambar 4.5. Gambar ini memperlihatkan langkah-langkah yang dilakukan selama proses pengujian, mulai dari persiapan alat uji *slump*, pengisian Kerucut Abrams dengan beton segar,



pemadatan menggunakan tongkat penusuk, hingga pengukuran nilai *slump* setelah kerucut diangkat. Pengujian *slump* diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pengujian *Slump*

4.6 Perawatan Benda Uji

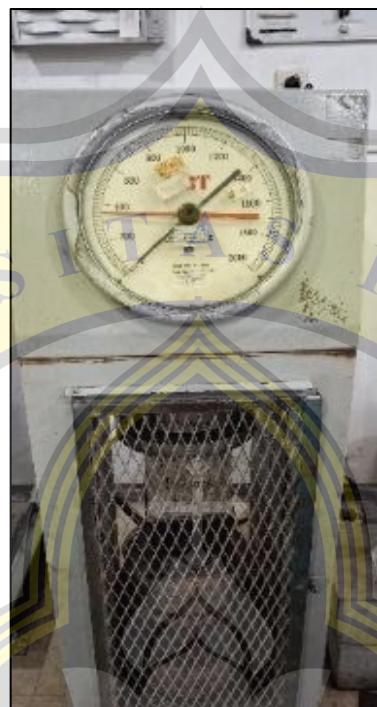
Menurut SNI 03-2847-2002, *curing* beton atau perawatan benda uji sangat penting untuk mencegah beton kehilangan air terlalu cepat. Proses ini bertujuan untuk menjaga kelembaban beton agar proses hidrasi semen berjalan optimal, sehingga menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji beton kedalam bak yang berisi air selama 7 hari dan 28 hari.

4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari dan 28 hari, serta perawatan dengan cara direndam dalam air sampai satu hari sebelum pengujian. Perawatan beton dilakukan untuk menjaga suhu dan kelembapan yang sesuai agar beton terhidrasi dengan baik sesuai dengan mutu yang diinginkan. Pengujian kekuatan tekan beton pada usia 7 hari memberikan informasi penting untuk mengevaluasi kualitas dan perkembangan kekuatan beton dalam tahap awal. Meskipun pengujian 7 hari tidak memberikan kekuatan akhir yang tepat, namun dapat memberikan gambaran yang baik apakah beton memenuhi persyaratan dan dapat mencapai kekuatan yang diinginkan pada umur 28 hari. Pemeriksaan yang



lebih sering pada usia 7 hari dapat membantu pengontrolan kualitas beton yang lebih baik dalam proyek konstruksi. Pengujian kuat tekan beton diperlihatkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengujian Kuat Tekan

Perhitungan kuat tekan beton menggunakan Persamaan 3.21 berikut:

1. Pengujian kuat tekan umur 7 hari

a. Kuat tekan beton 0% $= P/A$

$$= 410.000/22.500$$

$$= 18,22 \text{ N/mm}^2$$

b. Kuat tekan beton 2% $= P/A$

$$= 500.000/22.500$$

$$= 22,22 \text{ N/mm}^2$$

c. Kuat tekan beton 4% $= P/A$

$$= 380.000/22.500$$

$$= 16,89 \text{ N/mm}^2$$

d. Kuat tekan beton 6% $= P/A$

Kode BS6A f_c' $= P/A$

$$= 300.000/22.500$$



$$= 13,33 \text{ N/mm}^2$$

Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 hari diperlihatkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan 7 Hari

No	Serat <i>Poliprophylene</i> 0% (N/mm ²)	Serat <i>Poliprophylene</i> 2% (N/mm ²)	Serat <i>Poliprophylene</i> 4% (N/mm ²)	Serat <i>Poliprophylene</i> 6% (N/mm ²)
1	18,22	22,22	16,89	13,33
2	18,22	22,67	17,33	12,89
3	19,11	23,56	16,44	13,33
4	18,67	23,11	16,89	13,78
5	19,56	24,00	16,00	14,22
Rata – rata	18,76	23,11	16,71	13,51

2. Pengujian kuat tekan umur 28 hari

a. Kuat tekan beton 0%

$$\begin{aligned} &= P/A \\ &= 570.000 / 22.500 \\ &= 25,33 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

b. Kuat tekan beton 2%

$$\begin{aligned} &= P/A \\ &= 700.000 / 22.500 \\ &= 31,11 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

c. Kuat tekan beton 4%

$$\begin{aligned} &= P/A \\ &= 550.000 / 22.500 \\ &= 24,44 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

d. Kuat tekan beton 6%

$$\begin{aligned} &= P/A \\ &= 450.000 / 22.500 \\ &= 20,00 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Rekapitulasi pengujian kuat tekan 28 hari diperlihatkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan 28 Hari

No	Serat <i>Poliprophylene</i> 0% (N/mm ²)	Serat <i>Poliprophylene</i> 2% (N/mm ²)	Serat <i>Poliprophylene</i> 4% (N/mm ²)	Serat <i>Poliprophylene</i> 6% (N/mm ²)
1	25,33	31,11	24,44	20,00
2	25,78	30,67	23,56	20,44
3	25,78	29,78	24,00	19,11
4	26,22	30,22	24,44	20,00
5	25,33	29,33	23,11	18,67
Rata – rata	25,69	30,22	23,91	19,64



4.8 Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan setelah benda uji berumur 7 hari dan 28 hari. Nilai kuat lentur didapat dari nilai rata-rata enam buah benda uji balok berukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm yang direndam 28. Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata. Pada pengujian ini, alat uji kuat lentur yang digunakan menghasilkan gaya tekan maksimum dalam satuan kN. Perhitungan pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Persamaan (2.25) pengujian benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.7. Berikut contoh perhitungan kuat lentur benda uji beton:

1. Pengujian kuat lentur 7 hari

a. Kuat lentur balok 0%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{30.579 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 4,08 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b. Kuat lentur balok 2%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{28.781 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 3,84 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. Kuat lentur balok 4%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{20.011 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 2,67 \text{ MPa} \\ &= 2,64 \text{ MPa}\end{aligned}$$

d. Kuat lentur balok 6%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{20.461 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 2,73 \text{ MPa} \\ &= 2,70 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Rekapitulasi nilai kuat lentur beton 7 hari diperlihatkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Rekapitulasi Nilai Kuat Lentur Beton 7 Hari

No	Serat <i>Poliprophylene</i> 0% (MPa)	Serat <i>Poliprophylene</i> 2% (MPa)	Serat <i>Poliprophylene</i> 4% (MPa)	Serat <i>Poliprophylene</i> 6% (MPa)
1	4,08	3,84	2,67	2,73
2	4,08	3,81	2,64	2,70
3	4,05	3,84	2,67	2,70
4	4,02	3,87	2,67	2,70
5	4,05	3,84	2,64	2,76
Rata – rata	4,05	3,84	2,66	2,72

2. Pengujian kuat lentur 28 hari

a. Kuat lentur balok 0%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{44.970 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 6,00 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b. Kuat tekan balok 2%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{38.224 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 5,10 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. Kuat tekan balok 4%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{29.230 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 3,90 \text{ MPa}\end{aligned}$$

d. Kuat tekan balok 6%

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p \times l}{b \times h^2} \\ &= \frac{30.354 \times 450}{150 \times 150^2} \\ &= 4,05 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Rekapitulasi nilai kuat lentur beton 28 hari diperlihatkan pada Tabel 4.20.



Tabel 4.20 Rekapitulasi Nilai Kuat Lentur Beton 28 Hari

No	Serat <i>Poliprophylene</i> 0% (MPa)	Serat <i>Poliprophylene</i> 2% (MPa)	Serat <i>Poliprophylene</i> 4% (MPa)	Serat <i>Poliprophylene</i> 6% (MPa)
1	6,00	5,10	3,90	4,05
2	5,94	5,25	4,02	4,20
3	6,15	5,28	3,90	4,11
4	6,09	5,10	3,90	4,14
5	6,00	5,34	4,05	4,05
Rata – rata	6,03	5,31	3,95	4,11





BAB 5

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Pengujian Material

Analisis Pengujian Material adalah proses untuk menilai kualitas dan sifat dari bahan atau material yang digunakan dalam konstruksi, seperti agregat, semen, air, atau bahan lainnya. Pengujian material ini sangat penting untuk memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi standar yang telah ditentukan, sehingga dapat menghasilkan struktur yang aman, kuat, dan tahan lama. Hasil rekapitulasi pengujian material diperlihatkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Material

No	Pengujian material	Standar Batas	Hasil	Keterangan
1	Kadar air agregat halus (SNI 03-1971-1990)	Maks 5%	15,38 %	Tidak Sesuai
2	Kadar air agregat kasar (SNI 03-1971-1990)	Maks 5%	2,90 %	Sesuai
3	Berat jenis agregat halus (SNI 1970-2008)	2,1 – 2,6	2,17	Sesuai
4	Berat jenis agregat kasar (SNI 03-2464-1991)	2,3 – 2,75 gr	2,32 gr	Sesuai
5	Kehalusan semen (SNI 15-2049-2004)	Maks 22%	17 %	Sesuai
6	Konsistensi normal semen (SNI 03-6826-2002)	10 – 40 mm	10 mm	Sesuai
7	Analisis saringan agregat halus (SNI 03-1968-1990)	2,6 – 2,9	4,6605	Tidak Sesuai
8	Analisis saringan kasar (SNI 03-1968-1990)	6,0 – 7,5	3,912	Tidak Sesuai
9	Berat volume agregat halus (SNI 1973-2008)	1,44 – 1,60 kg/liter	1,512 kg/liter	Sesuai
10	Berat volume agregat kasar (SNI 1973-2008)	1,35 – 1,75 kg/liter	1,288 kg/liter	Tidak Sesuai
11	Kadar lumpur agregat halus (SNI 2816-2014)	Maks 5%	3%	Sesuai
12	Keausan agregat kasar (SNI 2417-2008)	Maks 50 %	31,92%	Sesuai

Pada Tabel 5.1 menjelaskan hasil pengujian material dengan syarat standar atau ketentuan yang berlaku. Pengujian kadar air agregat, analisis saringan agregat halus, analisis saringan agregat kasar dan berat volume agregat kasar menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan syarat standar yang berlaku (SNI). Berdasarkan SNI-03-2843-2000 pasal 5.1.2 menyatakan bahwa campuran beton harus dirancang agar



dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan, meskipun sifat bahan berbeda dari standar asalkan hasil akhirnya memenuhi persyaratan mutu beton yang ditetapkan. Oleh karena itu material yang tidak memenuhi syarat standar (SNI) pada penelitian ini bisa digunakan sebagai bahan campuran beton dikarenakan nilai kuat tekan beton normal adalah 25,69 MPa dimana sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan.

5.2 Analisis Pengujian *Slump*

Analisis Pengujian *Slump* adalah salah satu pengujian yang dilakukan pada beton segar untuk mengukur konsistensinya atau kemudahan beton tersebut mengalir dan mengisi cetakan. Uji *slump* memberikan gambaran tentang sejauh mana beton dapat dipadatkan dan bagaimana sifat kerja beton tersebut. Pengujian *slump* yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai *slump* campuran beton yang dibuat telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dalam proyek konstruksi. Hasil dari pengujian *slump* untuk benda uji kubus setiap variasi beton yang diuji dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan untuk visualisasi grafik penurunan nilai *slump* untuk benda uji kubus diperlihatkan pada Gambar 5.1.

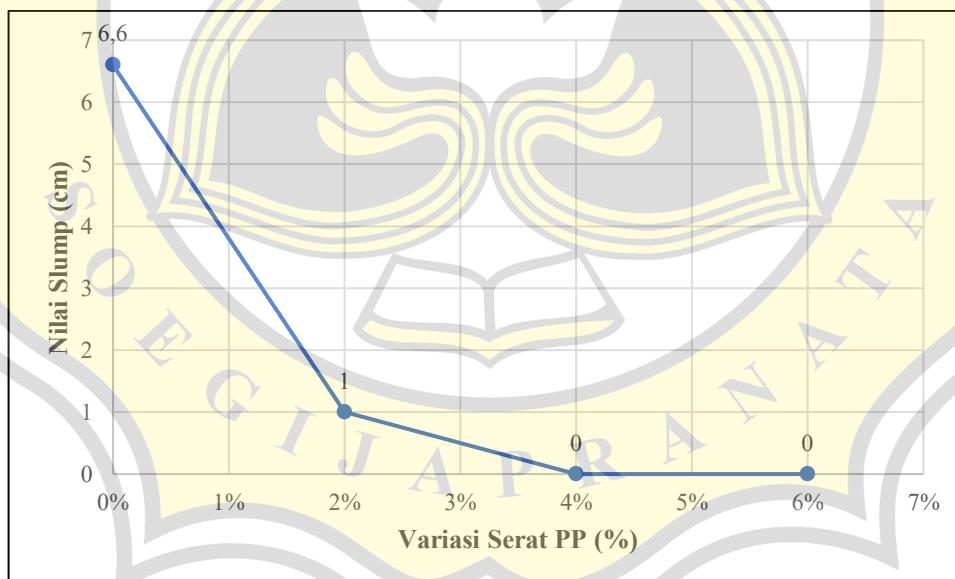
Tabel 5.2 Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji Kubus

No	Variasi Benda Uji	Slump (cm)	Rata – Rata (cm)	Syarat Bina Marga Untuk Perkerasan Kaku (cm)	Keterangan
1	Kubus BN	7	6,6	5,0 – 7,5	Sesuai
2	Kubus BN	6			
3	Kubus BN	7,5			
4	Kubus BN	6			
5	KubusBN	6,5			
6	Kubus BS2	1,3	1	5,0 – 7,5	Tidak Sesuai
7	Kubus BS2	1			
8	Kubus BS2	0,9			
9	Kubus BS2	1			
10	Kubus BS2	0,8			



Tabel 5.2 Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji Kubus (Lanjutan)

No	Variasi Benda Uji	Slump (cm)	Rata – Rata (cm)	Syarat Bina Marga Untuk Perkerasan Kaku (cm)	Keterangan
11	Kubus BS4	0	0	5,0 – 7,5	Tidak Sesuai
12	Kubus BS4	0			
13	Kubus BS4	0			
14	Kubus BS4	0			
15	Kubus BS4	0			
16	Kubus BS6	0			
17	Kubus BS6	0			
18	Kubus BS	0			
19	Kubus BS6	0			
20	Kubus BS6	0			



Gambar 5.1 Penurunan Nilai *Slump* Benda Uji Kubus

Gambar 5.1 menperlihatkan nilai *slump* untuk variasi serat *polypropylene* 0% sebesar 6,6 cm, 2% sebesar 1 cm, 4% sebesar 0 cm, dan 6% sebesar 0 cm. Nilai *slump* yang memenuhi syarat standar pedoman Bina Marga, dimana untuk nilai *slump* beton perkerasan kaku berkisar di antara 5 cm-7,5 cm. Berdasarkan ketentuan



yang berlaku maka nilai yang memenuhi standar adalah kadar serat *polypropylene* 0%, sedangkan variasi serat *polypropylene* 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi syarat. Oleh karena itu penggunaan serat *polypropylene* 2%, 4%, dan 6% mempengaruhi penurunan nilai *slump* yang mengakibat menurunnya kemampuan adonan beton segar untuk dicampur, diangkut, ditempatkan, dipadatkan, dan diratakan dengan mudah tanpa mengalami segregasi (pemisahan material) atau *bleeding* (keluarnya air dari campuran).

Selanjutnya untuk hasil dari pengujian *slump* untuk benda uji balok diperlihatkan pada Tabel 5.3 dan untuk visualisasi grafik penurunan nilai *slump* benda uji balok diperlihatkan pada Gambar 5.2.

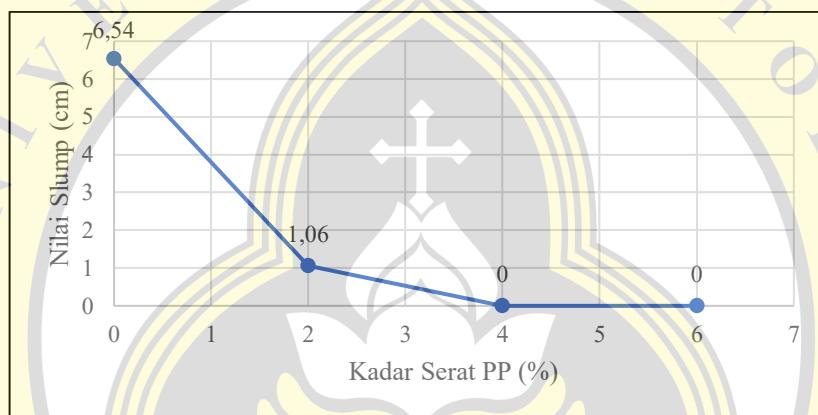
Tabel 5.3 Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji Balok

No	Variasi Benda Uji	Slump (cm)	Rata – Rata (cm)	Syarat Bina Marga Untuk Perkerasan Kaku (cm)	Keterangan
1	Balok BN	7	6,54	5,0 – 7,5	Sesuai
2	Balok BN	6			
3	Balok BN	7,5			
4	Balok BN	6			
5	Balok BN	6,2			
6	Balok BS2	1	1,06	5,0 – 7,5	Tidak Sesuai
7	Balok BS2	1,3			
8	Balok BS2	0,9			
9	Balok BS2	1			
10	Balok BS2	1,1			
11	Balok BS4	0	0	5,0 – 7,5	Tidak Sesuai
12	Balok BS4	0			
13	Balok BS4	0			
14	Balok BS4	0			
15	Balok BS4	0			



Tabel 5.3 Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji Balok (Lanjutan)

No	Variasi Benda Uji	Slump (cm)	Rata – Rata (cm)	Syarat Bina Marga Untuk Perkerasan Kaku (cm)	Keterangan
16	Balok BS6	0	0	5,0 – 7,5	Tidak Sesuai
17	Balok BS6	0			
18	Balok BS6	0			
19	Balok BS6	0			
20	Balok BS6	0			



Gambar 5.2 Penurunan Nilai *Slump* Benda Uji Balok

Pada Gambar 5.2 memperlihatkan nilai *slump* untuk variasi serat *Polypropylene* 0% sebesar 6,54 cm, 2% sebesar 1,06 cm, 4% sebesar 0 cm, dan 6% sebesar 0 cm. Nilai *slump* yang memenuhi syarat standar pedoman Bina Marga, dimana untuk nilai *slump* beton perkerasan kaku berkisar 5 cm-7,5 cm. Berdasarkan ketentuan yang berlaku maka nilai yang memenuhi standar adalah kadar serat *Polypropylene* 0%, sedangkan variasi serat *Polypropylene* 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi syarat. Oleh karena itu penggunaan serat *Polypropylene* 2%, 4%, dan 6% mempengaruhi penurunan nilai *slump* yang mengakibat menurunnya kemampuan adonan beton.

5.3 Analisis Deskriptif

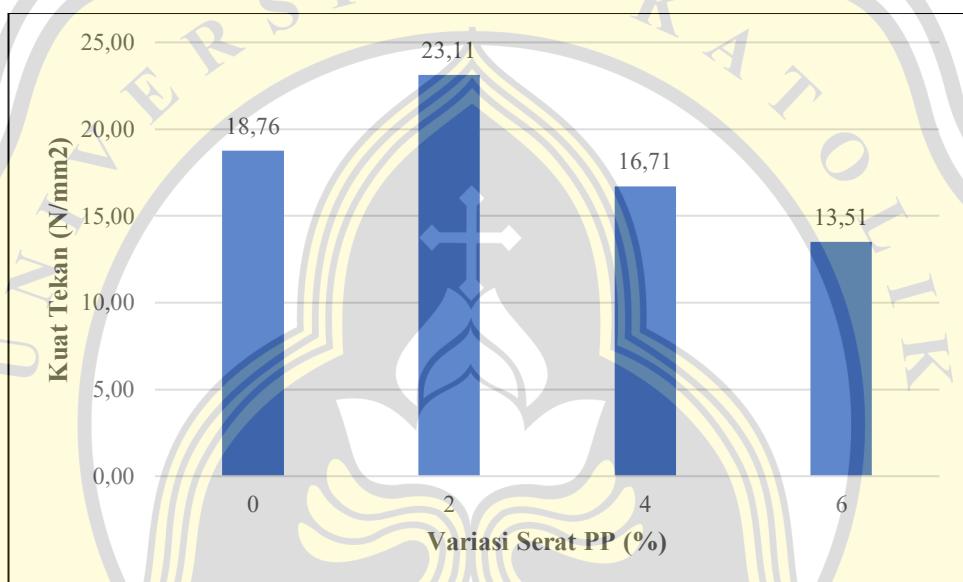
Analisis pengujian kuat tekan beton adalah salah satu pengujian yang paling penting dalam memastikan kualitas beton, karena kuat tekan adalah salah satu parameter utama untuk menentukan kekuatan dan daya tahan beton. Pengujian ini mengukur



kemampuan beton untuk menahan beban tekan sebelum mengalami keretakan atau kehancuran. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan ketika beton berumur 7 hari dan 28 hari.

1. Hasil pengujian 7 hari

Pengujian kuat tekan pada umur 7 hari bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton pada waktu awal pengerasan. Biasanya beton yang berumur 7 hari mencapai persentase perkerasan 50%-70% dari kekuatan maksimalnya. Untuk grafik hasil pengujian kuat tekan 7 hari diperlihatkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan 7 Hari

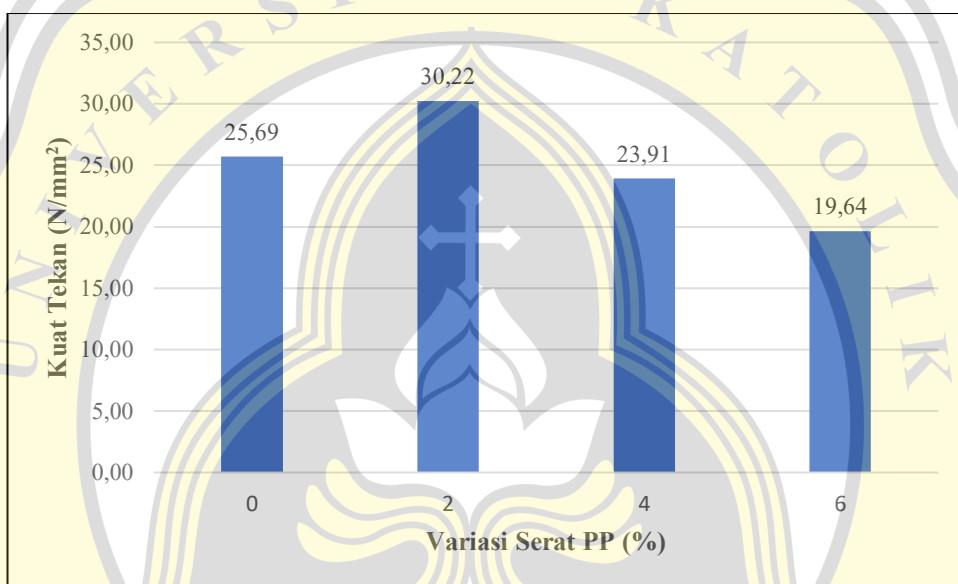
Nilai kuat tekan beton variasi serat *polypropylene* 0 % sebesar $18,76 \text{ N/mm}^2$, beton variasi serat *polypropylene* 2% sebesar $23,11 \text{ N/mm}^2$, beton variasi serat *polypropylene* 4% sebesar $16,71 \text{ N/mm}^2$, dan beton variasi serat *polypropylene* 6% sebesar $13,51 \text{ N/mm}^2$. Nilai kuat tekan beton hanya mengalami kenaikan pada variasi serat 2 % sebesar $23,11 \text{ N/mm}^2$ dari nilai kuat tekan beton normal, sedangkan nilai kuat tekan beton variasi serat 4 % dan 6 % mengalami penurunan sebesar $2,05 \text{ N/mm}^2$ dan $5,25 \text{ N/mm}^2$.

2. Hasil pengujian 28 hari

Analisis pengujian kuat tekan beton 28 hari adalah salah satu tahapan yang paling penting dalam memastikan kualitas beton pada proyek konstruksi. Pada umur 28 hari, beton diperkirakan telah mencapai kekuatan puncaknya dan



menjadi acuan utama untuk memastikan beton sudah memenuhi spesifikasi yang diperlukan dalam desain struktur. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kekuatan beton setelah melalui proses pengerasan yang cukup lama, biasanya dalam rentang waktu tertentu hari, sesuai dengan standar pengujian yang berlaku. Hasil dari pengujian ini menjadi acuan utama dalam menentukan apakah beton memenuhi syarat kekuatan yang telah dirancang dan layak digunakan untuk keperluan konstruksi. Untuk grafik hasil pengujian kuat tekan 28 hari diperlihatkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

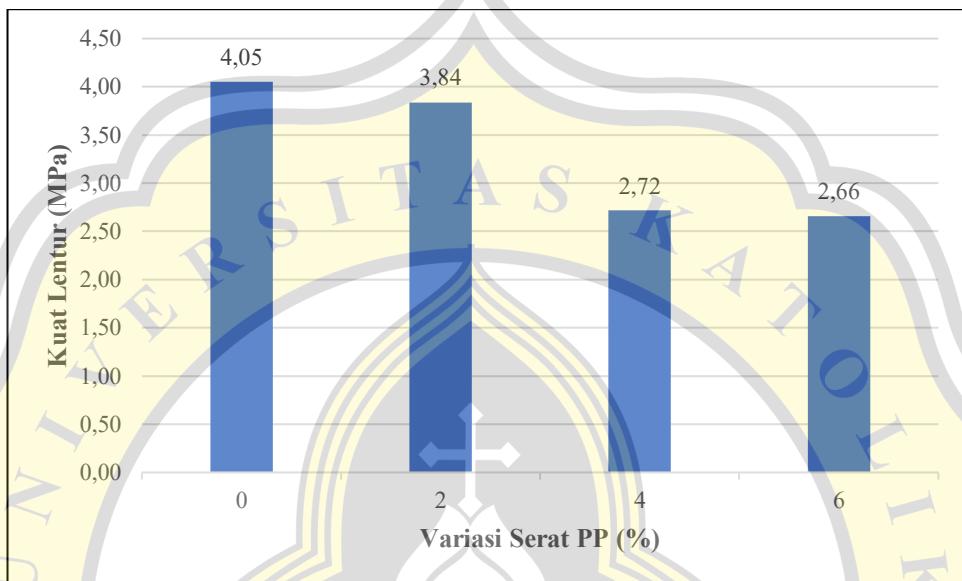
Nilai kuat tekan beton normal dengan variasi serat *polypropylene* 0 % sebesar 25,69 N/mm², beton variasi serat *polypropylene* 2% sebesar 30,22 N/mm², beton variasi serat *polypropylene* 4% sebesar 23,91 N/mm², dan beton variasi serat *polypropylene* 6% sebesar 19,64 N/mm². Nilai kuat tekan beton hanya mengalami kenaikan pada variasi serat 2 % sebesar 4,53 N/mm² dari nilai kuat tekan beton normal, sedangkan nilai kuat tekan beton variasi serat 4 % dan 6 % mengalami penurunan sebesar 1,78 N/mm² dan 6,05 N/mm².

3. Hasil kuat lentur 7 hari

Pengujian kuat lentur beton pada umur 7 hari memberikan gambaran awal tentang kemampuan beton dalam menahan beban lentur pada tahap awal pengerasan. Secara umum, beton pada umur 7 hari sudah mencapai sebagian



besar kekuatannya, tetapi kekuatannya belum bisa mencapai kekuatan puncaknya yang maksimal, kekuatan puncak biasanya tercapai pada saat beton sudah mencapai umur 28 hari. Untuk visualisasi grafik hasil pengujian kuat lentur beton umur 7 hari diperlihatkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hasil Pengujian Kuat Lentur 7 Hari

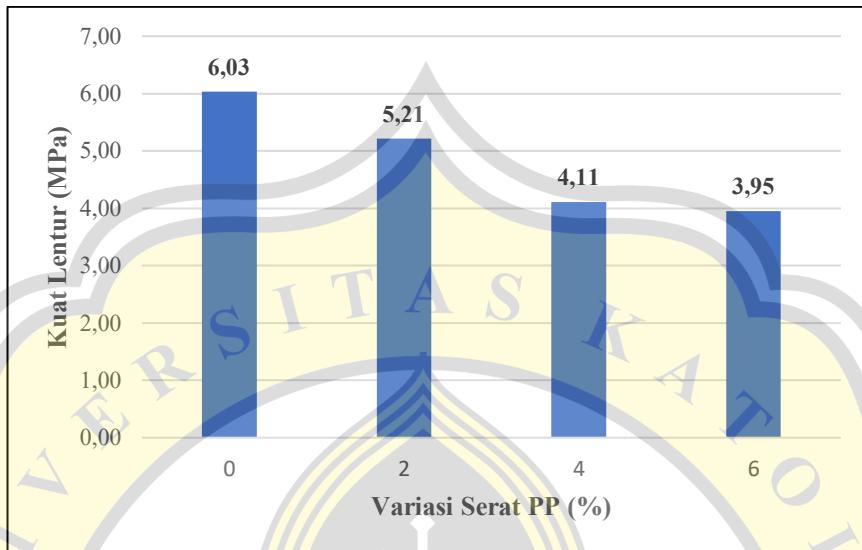
Berdasarkan Gambar 5.5 diperoleh nilai kuat lentur beton normal sebesar 4,05 MPa, variasi serat *polypropylene* 2% sebesar 3,84 MPa, variasi serat *polypropylene* 4% sebesar 2,72 MPa, dan variasi serat *polypropylene* 6% sebesar 2,66 MPa. Kuat lentur beton tidak mengalami peningkatan seiring penambahan serat *polypropylene* dengan variasi serat 2%, 4%, dan 6% dari nilai kuat lentur beton normal.

4. Hasil kuat lentur 28 hari

Pengujian kuat lentur beton pada umur 28 hari memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kemampuan beton dalam menahan beban lentur setelah proses hidrasi semen mendekati tahap akhir dan beton hampir mencapai kekuatan maksimalnya. Pengujian ini penting untuk mengevaluasi kinerja beton dalam kondisi beban lentur. Secara umum, kekuatan beton terus meningkat seiring waktu, dan pada umur 28 hari, beton biasanya telah mencapai sekitar 95% dari kekuatan puncaknya, ini menjadi acuan dalam memastikan kualitas dan daya



tahan struktur. Untuk visualisasi grafik hasil pengujian kuat lentur beton umur 7 hari diperlihatkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil Pengujian Kuat Lentur 28 Hari

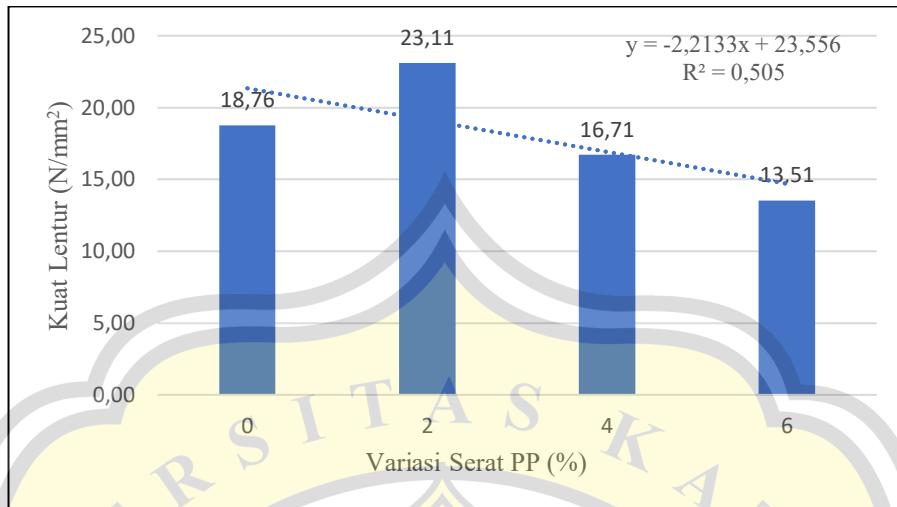
Berdasarkan Gambar 5.6 diperoleh nilai kuat lentur beton normal sebesar 6,03 MPa, variasi serat *polypropylene* 2% sebesar 5,21 MPa, variasi serat *polypropylene* 4% sebesar 4,11 MPa, dan variasi serat *polypropylene* 6% sebesar 3,95 MPa. Kuat lentur beton tidak mengalami peningkatan seiring penambahan serat *polypropylene* dengan variasi serat 2%, 4%, dan 6% dari nilai kuat lentur beton normal.

5.4 Analisis Regresi Linear

Analisis regresi linear dilakukan untuk menentukan hubungan antara variasi serat *polypropylene* terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur. Adapun variasi serat yang digunakan pada penelitian ini adalah 2%, 4%, dan 6% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur dilakukan pada hari ke 7 dan 28 hari setelah beton mengeras.

1. Kuat Tekan 7 Hari

dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh hasil yang berbeda di setiap variasi serat *polyorohylene* yaitu variasi *polyprohylene* 2 % adalah $23,11 \text{ N/mm}^2$ naik $4,35 \text{ N/mm}^2$ sedangkan variasi serat *polyorohylene* 4 % dan 6% mengalami penurunan masing-masing $2,05 \text{ N/mm}^2$ dan $5,25 \text{ N/mm}^2$ dari beton normal.



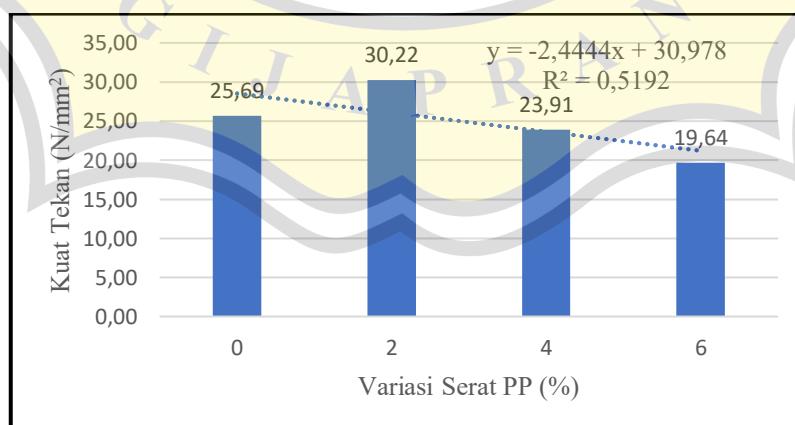
Gambar 5.7 Analisis Regresi Linear Kuat Tekan 7 Hari

Berdasarkan Gambar 5.7 regresi linier didapatkan hasil pengaruh serat *polyorohylene* terhadap nilai kuat tekan beton 7 hari sebagai berikut:

- Persamaan regresi linier yang diberikan yaitu $y = -2,2133x + 23,556$, menunjukkan hubungan serat *polyorohylene* terhadap nilai kuat tekan.
- Nilai R^2 sebesar 0,505 menunjukkan bahwa hubungan serat *polyorohylene* terhadap nilai kuat tekan termasuk dalam interpretasi agak rendah.

2. Kuat Tekan 28 Hari

dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh hasil yang berbeda di setiap variasi serat *polypropylene* yaitu variasi *polypropylene* 2 % adalah 30,22 N/mm² naik 4,53 N/mm² sedangkan variasi serat *polypropylene* 4 % dan 6% mengalami penurunan masing-masing 1,78 N/mm² dan 6,05 N/mm² dari beton normal.



Gambar 5.8 Analisis Regresi Linear Kuat Tekan 28 Hari

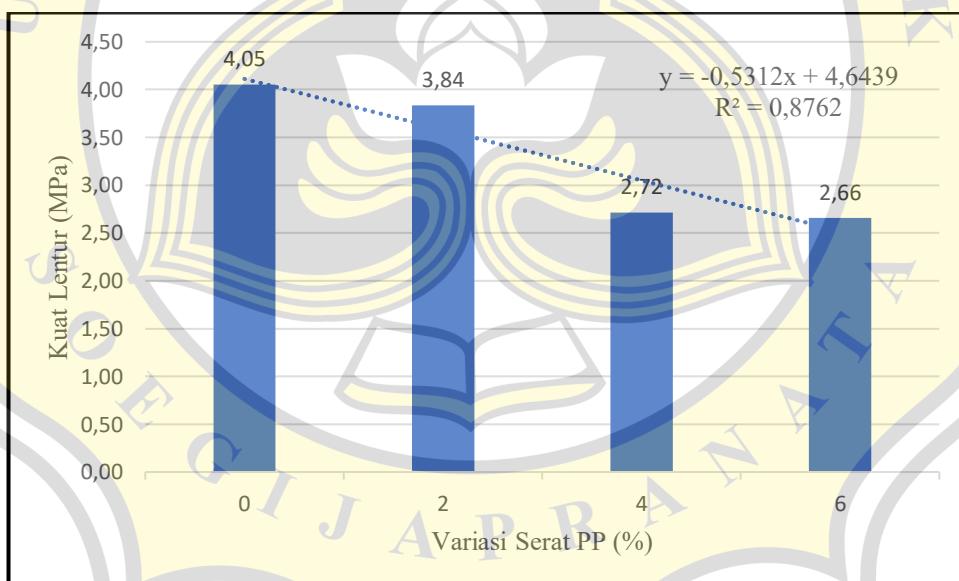


Berdasarkan Gambar 5.8 regresi linier didapatkan hasil pengaruh serat *polyorohylene* terhadap nilai kuat tekan beton 7 hari sebagai berikut:

- Persamaan regresi linier yang diberikan yaitu $y = -2,4444x + 30,978$, menunjukkan hubungan serat *polyprohylene* terhadap nilai kuat tekan.
- Nilai R^2 sebesar 0,5192 menunjukkan bahwa hubungan serat *polyorophylene* terhadap nilai kuat tekan termasuk dalam interpretasi agak rendah.

3. Kuat Lentur 7 Hari

dari hasil pengujian kuat lentur beton diperoleh nilai kuat lentur beton normal sebesar 4,05 MPa, variasi serat *polypropylene* 2% sebesar 3,84 MPa, variasi serat *polypropylene* 4% sebesar 2,72 MPa, dan variasi serat *polypropylene* 6% sebesar 2,66 MPa. Kuat lentur beton tidak mengalami peningkatan seiring penambahan serat *polypropylene* dengan variasi serat 2%, 4%, dan 6% dari nilai kuat lentur beton normal.



Gambar 5.9 Analisis Regresi Linear Kuat Lentur 7 Hari

Berdasarkan Gambar 5.9 regresi linier didapatkan hasil pengaruh serat *polyorohylene* terhadap nilai kuat tekan beton 7 hari sebagai berikut:

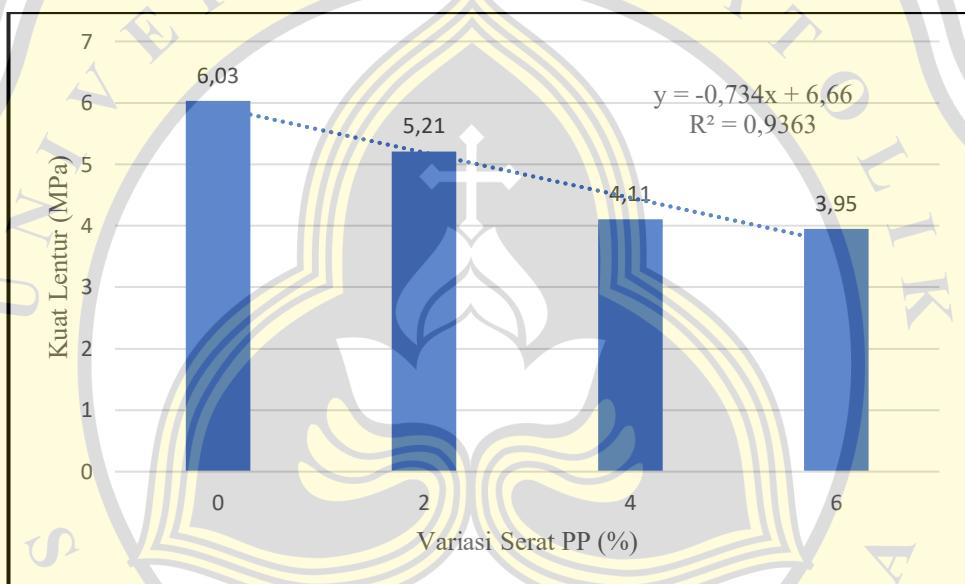
- Persamaan regresi linier yang diberikan yaitu $y = -0,5312x + 4,6439$, menunjukkan hubungan serat *polyprohylene* terhadap nilai kuat tekan.
- Nilai R^2 sebesar 0,8762 menunjukkan bahwa hubungan serat



polyorophylene terhadap nilai kuat tekan termasuk dalam interpretasi tinggi.

4. Kuat Lentur 28 Hari

dari hasil pengujian kuat lentur beton diperoleh nilai kuat lentur beton normal sebesar 6,03 MPa, variasi serat *Polypropylene* 2% sebesar 5,21 MPa, variasi serat *Polypropylene* 4% sebesar 4,11 MPa, dan variasi serat *Polypropylene* 6% sebesar 3,95 MPa. Kuat lentur beton tidak mengalami peningkatan seiring penambahan serat *Polypropylene* dengan variasi serat 2%, 4%, dan 6% dari nilai kuat lentur beton normal.



Gambar 5.10 Analisis Regresi Linear Kuat Lentur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 5.10 regresi linier didapatkan hasil pengaruh serat *Polyorohylene* terhadap nilai kuat tekan beton 7 hari sebagai berikut:

- Persamaan regresi linier yang diberikan yaitu $y = -0,735x + 6,66$, menunjukkan hubungan serat *Polyprohylene* terhadap nilai kuat tekan.
- Nilai R^2 sebesar 0,9363 menunjukkan bahwa hubungan serat *Polyorophylene* terhadap nilai kuat tekan termasuk dalam interpretasi tinggi.

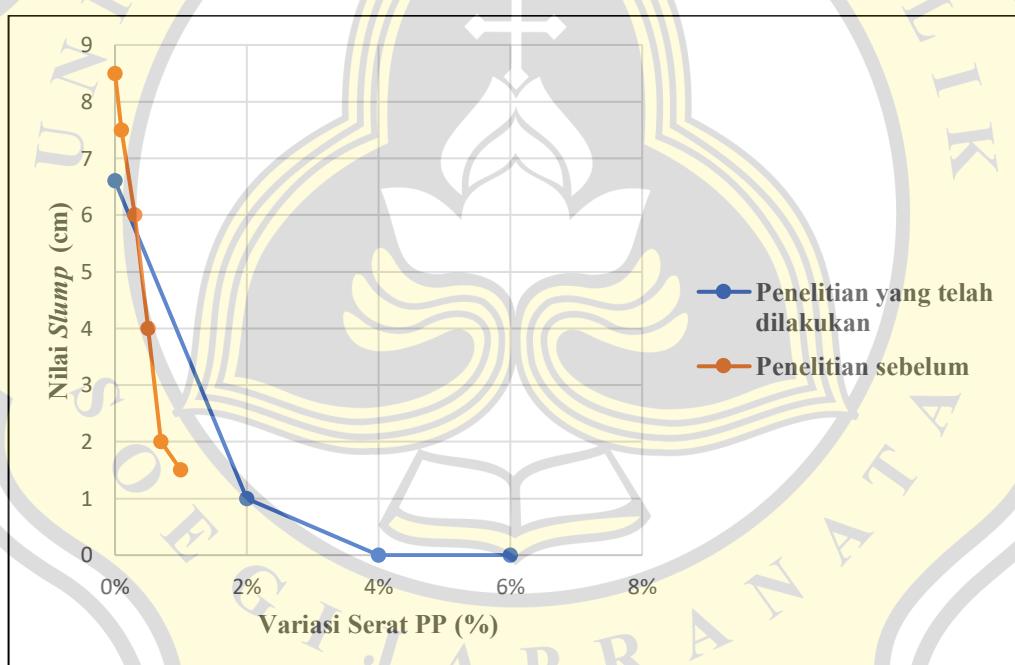
5.5 Analisis Perbandingan Bahan Tambah Serat *Polypropylene* Pada Penelitian Sebelumnya



Analisis perbandingan kekuatan beton dengan bahan tambah serat *polypropylene* pada penelitian sebelumnya umumnya dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan serat *polypropylene* terhadap karakteristik beton, khususnya kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan ketahanan terhadap kerusakan atau retak. Analisis perbandingan nilai *slump*, nilai kuat tekan, dan nilai kuat lentur yang dilakukan oleh penelitian sebelum dengan penelitian yang suda dilakukan.

5.5.1 Perbandingan nilai *slump*

Penelitian sebelum yang dilakukan oleh Sultan dkk., (2024) dengan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan penurunan *slump* sengiring bertambahnya serat *polypropylene* yang ditambahkan ke dalam beton perkerasan kaku. Hasil pengujian nilai *slump* diperlihatkan pada Gambar 5.7.



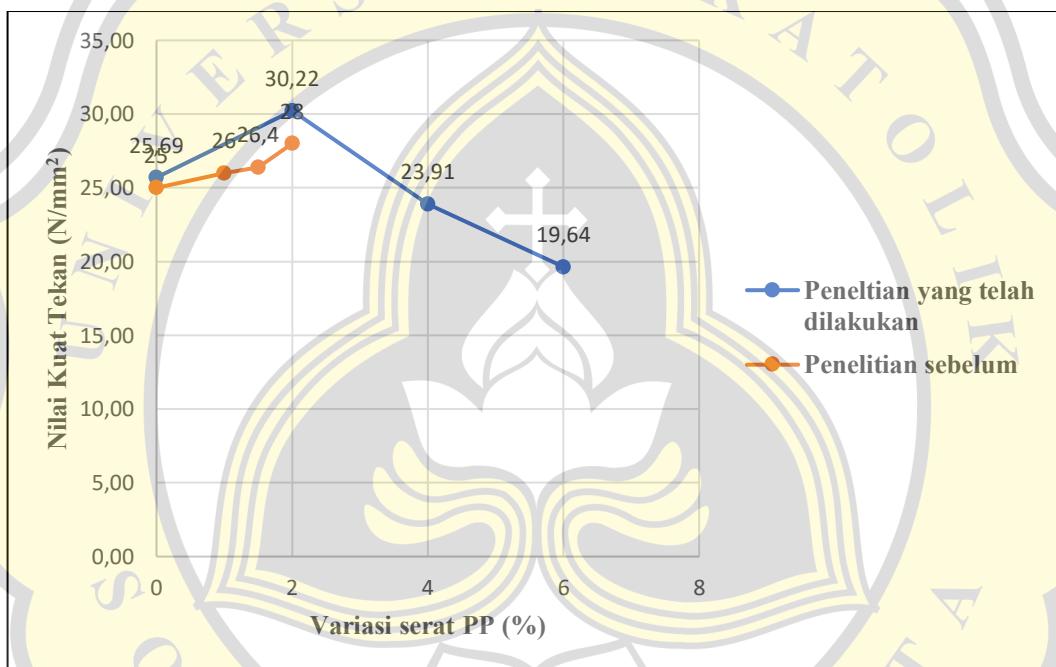
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Pengujian *Slump* Ali dkk., (2024) Terhadap Hasil Penelitian Yang Telah Dilakukan.

5.5.2 Perbandingan nilai kuat tekan

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alsadey dan Salem, (2016) kuat tekan beton untuk kubus dengan serat polipropilena 1%, 1,50% dan 2% lebih besar daripada kubus tanpa serat polipropilena 26 N/mm^2 , $26,40 \text{ N/mm}^2$ dan 28 N/mm^2 masing-masing dibandingkan dengan campuran kontrol tanpa serat polipropilena



karena kuat tekannya adalah 25 N/mm^2 . Sedangkan penelitian yang telah dilakukan hanya mengalami kenaikan pada beton variasi serat *polypropylene* 2% sebesar $30,22 \text{ N/mm}^2$ dari beton normal sebesar $25,69 \text{ N/mm}^2$ sedangkan nilai kuat tekan beton variasi serat *polypropylene* 4% dan 6% menunjukkan penurunan dari beton normal yaitu $23,91 \text{ N/mm}^2$ dan $19,64 \text{ N/mm}^2$. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi serat *polypropylene* 2% dari berat semen menunjukkan hasil yang optimal dalam membantu meningkatkan nilai kuat tekan beton. Untuk lebih jelas diperlihatkan pada Gambar 5.8.



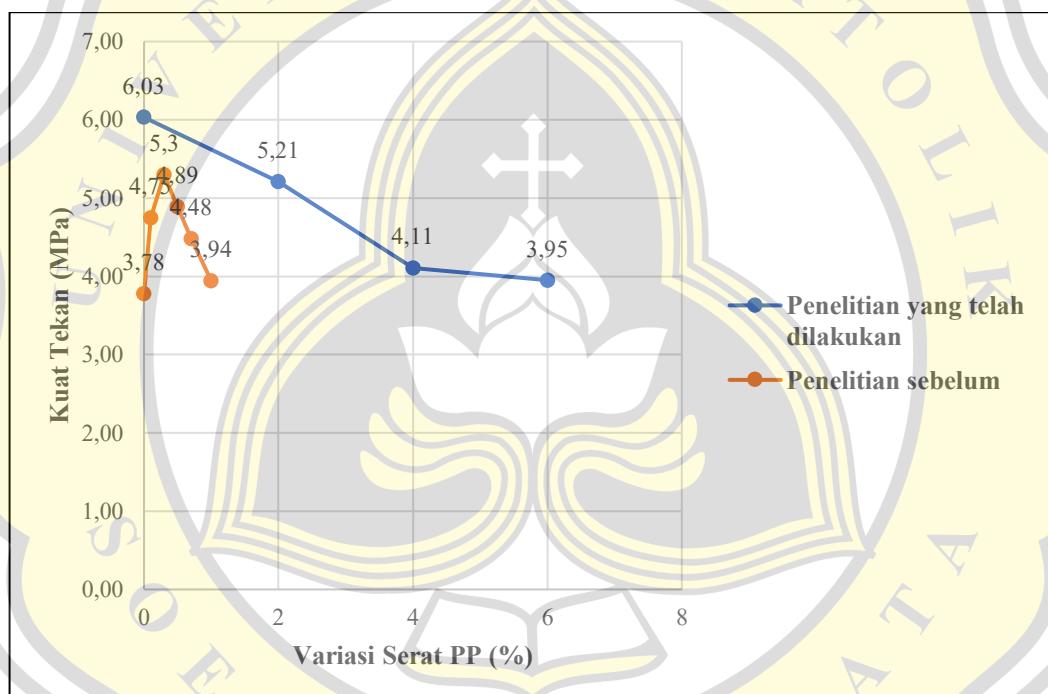
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan Alsadey dan Salem., (2016)
Terhadap Penelitian Yang Telah Dilakukan.

5.5.3 Perbandingan nilai kuat lentur

Penelitian sebelum yang dilakukan Ali dkk, (2024) kuat lentur beton normal (BN) sebesar $3,97 \text{ MPa}$, setelah ditambahkan serat *polypropylene* dengan konsentrasi sebesar 0,1% maka kuat tarik belah mengalami kenaikan sebesar 19,86% terhadap beton normal atau kuat lentur menjadi $4,75 \text{ MPa}$. Setelah ditambahkan serat *polypropylene* sebesar 0,3% maka kuat tarik belah mengalami kenaikan sebesar 33,56% terhadap beton normal atau kuat lentur menjadi $5,30 \text{ MPa}$. Lalu ditambahkannya lagi serat *polypropylene* sebesar 0,5% maka kuat lentur mengalami kenaikan sebesar 23,29% terhadap beton normal atau kuat lentur menjadi $4,89 \text{ MPa}$.



Pada penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,7% mengalami kenaikan sebesar 13,01% terhadap beton normal atau kuat lentur menjadi 4,48 MPa, pada penambahan serat sebesar 1,0% maka kuat lentur mengalami penurunan sebesar 0,68% terhadap beton normal atau kuat lentur menjadi 3,94 MPa. Sedangkan pengujian yang telah dilakukan tidak menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan beton dengan variasi serat *polypropylene* 2%, 4%, dan 6% dari beton normal. Maka Kadar serat *polypropylene* yang optimum pada beton untuk perkerasan kaku ditinjau dari sifat mekanis adalah pada konsentrasi 0,30% terhadap berat semen. Adapun perbandingan nilai kuat lentur beton diperlihatkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Lentur Sultan dkk., (2024)
Terhadap Pengujian Yang Telah Dilakukan.



BAB 6

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian dengan menggunakan bahan tambah serat *polypropylene* sebesar 2%, 4%, dan 6% terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton perkerasan kaku. Pada penelitian ini pengaruh serat *polypropylene* terhadap kuat tekan dan kuat lentur kuat adalah sebagai berikut:

1. nilai *slump* yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan adalah untuk variasi serat *polypropylene* 0% sebesar 6,6 cm, 2% sebesar 1 cm, 4% sebesar 0 cm, dan 6% sebesar 0 cm. Nilai *slump* yang memenuhi syarat standar Departemen Pekerjaan Umum Pedoman Konstruksi Dan Bangunan (2005), Oleh karena itu penggunaan serat *polypropylene* 2%, 4%, dan 6% mempengaruhi penurunan nilai *slump* yang mengakibat menurunnya kemampuan adonan beton segar untuk dicampur, diangkut, ditempatkan, dipadatkan, dan diratakan dengan mudah tanpa mengalami segregasi (pemisahan material) atau *bleeding* (keluarnya air dari campuran).
2. Kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari sebagai berikut:
 - a. Nilai kuat tekan beton variasi serat *polypropylene* 0 % sebesar $18,76 \text{ N/mm}^2$, beton variasi serat *polypropylene* 2% sebesar $23,11 \text{ N/mm}^2$, beton variasi serat *polypropylene* 4% sebesar $16,71 \text{ N/mm}^2$, dan beton variasi serat *polypropylene* 6% sebesar $13,51 \text{ N/mm}^2$. Nilai kuat tekan beton hanya mengalami kenaikan pada variasi serat 2 % sebesar $23,11 \text{ N/mm}^2$ dari nilai kuat tekan beton normal, sedangkan nilai kuat tekan beton variasi serat 4 % dan 6 % mengalami penurunan sebesar $2,05 \text{ N/mm}^2$ dan $5,25 \text{ N/mm}^2$.
 - b. Nilai kuat tekan beton normal dengan variasi serat *polypropylene* 0 % sebesar $25,69 \text{ N/mm}^2$, beton variasi serat *polypropylene* 2% sebesar $30,22 \text{ N/mm}^2$, beton variasi serat *polypropylene* 4% sebesar $23,91 \text{ N/mm}^2$, dan beton variasi serat *polypropylene* 6% sebesar $19,64 \text{ N/mm}^2$. Nilai kuat tekan beton hanya mengalami kenaikan pada variasi serat 2 % sebesar $4,53 \text{ N/mm}^2$ dari nilai kuat



tekan beton normal, sedangkan nilai kuat tekan beton variasi serat 4 % dan 6 % mengalami penurunan sebesar $1,78 \text{ N/mm}^2$ dan $6,05 \text{ N/mm}^2$.

3. Kuat lentur beton umur 7 hari dan 28 hari sebagai berikut:

- nilai kuat lentur beton normal sebesar $4,05 \text{ MPa}$, variasi serat *polypropylene* 2% sebesar $3,84 \text{ MPa}$, variasi serat *polypropylene* 4% sebesar $2,72 \text{ MPa}$, dan variasi serat *polypropylene* 6% sebesar $2,66 \text{ MPa}$. Kuat lentur beton tidak mengalami peningkatan seiring penambahan serat *polypropylene* dengan variasi serat 2%, 4%, dan 6% dari nilai kuat lentur beton normal.
- nilai kuat lentur beton normal sebesar $6,03 \text{ MPa}$, variasi serat *polypropylene* 2% sebesar $5,21 \text{ MPa}$, variasi serat *polypropylene* 4% sebesar $4,11 \text{ MPa}$, dan variasi serat *polypropylene* 6% sebesar $3,95 \text{ MPa}$. Kuat lentur beton tidak mengalami peningkatan seiring penambahan serat *polypropylene* dengan variasi serat 2%, 4%, dan 6% dari nilai kuat lentur beton normal.

6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian dan kesimpulan yang sudah dijelaskan, maka penulis menyarankan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan agar hasil penelitian bisa dikembangkan dan mendapatkan data yang benar. Berikut saran dari hasil penelitian ini:

- Dilakukan penambahan air untuk meningkatkan kemudahan kerja (*workability*) adukan beton. Hal tersebut perlu dilakukan dengan hati-hati agar tidak mengurangi kekuatan beton.
- Menggunakan serat *polypropylene* dengan panjang atau ketebalan yang berbeda, atau mengkombinasikan serat *polypropylene* dengan jenis serat lain (misalnya serat baja atau serat kaca).
- Menambahkan *admixtures* yang dapat membantu meningkatkan *workability* campuran beton tanpa harus menambah air berlebihan.