

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton berongga, yang juga dikenal sebagai beton berongga, merupakan jenis beton yang terdiri dari agregat kasar, semen, air, dan bahan kimia tambahan. Karena porositasnya yang tinggi, beton non-pasir menjadi ringan dan lemah. Banyak nama yang dikenal untuk beton non-pasir, seperti beton tembus, beton tanpa agregat halus, dan beton berpori (Harber, 2005). Jenis beton berpori adalah beton yang memiliki tingkat porositas yang tinggi dan digunakan sebagai plat beton. Hal ini memungkinkan air hujan dan air dari sumber lain untuk melaluinya, mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah (NRMCA, 2004). Lapangan parkir, jalan setapak, trotoar, taman, lapangan tenis, stabilisasi lereng, lantai rumah kaca, teras kolam renang, area kebun binatang, drainase, bahu jalan, lapisan permukaan perkerasan jalan raya, peredam kebisingan, dan jalan dengan volume lalu lintas rendah biasanya menggunakan beton berpori. Namun, perkerasan yang menerima lalu lintas padat dan beban roda berat biasanya tidak menggunakan jenis beton ini (Obla, 2007).

Tanah dapat menyerap air karena adanya rongga yang terhubung, yang juga berperan dalam penyaringan kotoran untuk mencegahnya masuk ke tanah atau saluran air. Beton berongga yang tertutupi dengan tanah dapat menjadi tempat bagi mikroba hidup. Rerumputan dan rongga-rongga yang tidak tertutupi tanah mampu menyerap energi sinar matahari. Salah satu metode untuk

memperbaiki permukaan jalan adalah dengan menggunakan beton berongga memperbaiki siklus hidrologi air dan menanggulangi efek pemanasan efek pemanasan global.

Beton berpori umumnya dipakai pada lapisan jalan dengan lalu lintas yang minim, area parkir, jalur pejalan kaki, serta taman. Hal ini dikarenakan kemampuannya dalam mengizinkan air untuk dengan cepat tergenang dan meresap ke dalam tanah. Kelemahan utamanya adalah kekuatan tekan yang cenderung lebih rendah, sehingga tidak cocok untuk digunakan pada bagian struktural yang sangat vital. Keunggulan utama beton berpori adalah kemampuannya dalam meneruskan air dengan bobot yang lebih ringan dibanding beton biasa, serta efektivitasnya dalam meredam suara dan panas berkat adanya rongga di dalamnya. Namun, kelemahannya terletak pada kekuatan tekan yang rendah, ketidakmampuannya untuk diberi tulangan, sehingga pemanfaatannya masih terbatas. Beton berpori, juga dikenal sebagai beton permeabel atau beton berpori, memiliki kelebihan dalam memenuhi fungsi struktural yang dibutuhkan dan memungkinkan air hujan atau air dari sumber lain untuk meresap dan bergabung dengan air tanah. Ini merupakan cara yang efektif untuk mengurangi limpasan dan meningkatkan pengisian air tanah serta pengolahan air hujan.

Beton berpori memiliki banyak keunggulan, namun beton dengan celah antara agregat juga memiliki kelemahan. Dikarenakan pengurangan atau penambahan sedikit agregat halus, kekuatan beton ini menjadi lebih rendah. Beton berpori ini tidak akan memungkinkan air melewati jika celah di dalamnya dikurangi dengan menggunakan agregat halus. Kekuatan beton berpori

bergantung pada ukuran agregat dan komposisi yang tepat dari air dan semen. Rangkuman dari informasi tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan judul **“Beton Porous Sebagai Infrastruktur Jalan Menggunakan Agregat Kasar Gradasi Seragam”**

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh faktor air semen (fas) terhadap kuat tekan beton porous menggunakan agregat kasar gradasi seragam ?
2. Bagaimana pengaruh faktor air semen terhadap nilai permeabilitas beton porous menggunakan agregat kasar gradasi seragam ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh factor air semen (fas) pada beton porous gradasi seragam terhadap kuat tekan.
2. Mengetahui pengaruh fas pada beton porous gradasi seragam terhadap nilai permeabilitas.

D. Batasan Masalah

Pembatasan masalah berikut diperlukan agar penelitian ini terarah dan sesuai dengan tujuan:

1. Perencanaan campuran beton sesuai ACI 522.
2. Agregat Kasar yang di gunakan adalah batu pecah yang tertahan pada

saringan 19,5mm

3. Pengujian kuat tekan menggunakan sampel uji berupa selinder beton ukuran diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm.
4. Pengujian permeabilitas menggunakan sampel uji pelat beton ukuran 50cm x 50cm x 15cm.
5. Standar pengujian kuat tekan benda uji menggunakan SNI 8198:2015.
6. Standar pengujian permeabilitas menggunakan ACI 522R-10
7. Variasi nilai fas yang digunakan: 0,35; 0,5 dan 0,6.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil dari penelitian ini dapat membantu menjaga kelestarian lingkungan dengan penggunaan material pada pembangunan infrastruktur yang dapat mempertahankan fungsi resapan air hujan sehingga elevasi muka air tanah dapat dipertahankan.
2. Karena terfiltrasi melalui beton porous, dapat mencegah bencana banjir yang merugikan masyarakat dan meningkatkan kualitas air tanah.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori teori yang menyangkut tentang penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai metode metode yang akan digunakan dalam penelitian baik dari jenis penelitiannya,

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil yang telah dicapai dari penelitian yang telah dilakukan dari hasil uji laboratorium.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini mencakup kesimpulan dari tulisan secara keseluruhan, serta rekomendasi yang memberikan perspektif penulis tentang masalah yang disebutkan di atas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Porous

Beton berongga terdiri dari agregat kasar, semen, air, dan bahan kimia tambahan. Beton jenis ini tidak mengandung agregat halus. Adanya rongga yang terhubung memungkinkan air masuk ke dalam tanah, serta membantu dalam proses penyaringan kotoran dari tanah atau saluran air.

Di Harapannya, mikroba dapat menempati area di bawah rerumputan dan di atas beton berongga. Rerumputan dan rongga yang tidak tertutupi tanah mampu menyerap energi sinar matahari. Salah satu metode perbaikan permukaan jalan adalah dengan mengaplikasikan beton berongga memperbaiki siklus hidrologi air dan menanggulangi efek pemanasan efek pemanasan global.

Untuk menghasilkan beton berpori, agregat halus dihilangkan dari campuran. Sebuah aglomerasi dari partikel agregat kasar dengan ukuran seragam diproduksi, dengan setiap partikel dilapisi oleh lapisan pasta semen. Menurut desain campuran ACI 522R-10, 1 meter kubik beton berpori terdiri dari: semen (270 hingga 415 kilogram), agregat (1190 hingga 1480 kilogram), faktor air semen (0,27 hingga 0,34), dan penggunaan campuran kimiawi. Penelitian yang dilakukan oleh Abadjieva dan Sephiri (2000) pada beton tanpa pasir, membandingkan berat agregat dengan semen dari 6:1 hingga 10:1. Pada usia 28 hari, kekuatan tekan beton tanpa pasir berkisar antara 1,1 hingga 8,3 MPa, bergantung pada perbandingan agregat dengan semen; semakin tinggi

perbandingan agregat dengan semen, semakin rendah kekuatan tekan beton tersebut. Campuran dengan perbandingan agregat dan semen 6:1 dianggap sebagai yang paling kuat. Kekuatan tekan beton non-pasir lebih rendah dibandingkan beton biasa karena memiliki porositas yang lebih besar. Distribusi ukuran butiran agregat dikenal sebagai gradasi, dimana jika ukuran butiran agregat seragam, maka volume pori akan lebih besar. Berbagai ukuran butiran agregat akan menghasilkan volume pori yang lebih kecil karena butiran yang lebih kecil mengisi ruang antara butiran yang lebih besar, menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi dan pori yang lebih kecil. Gradasi menerus adalah distribusi yang merata dari semua ukuran butiran, sementara gradasi seragam adalah distribusi dengan ukuran butiran yang sama atau seragam (Tjokrodinuljo, 1996).

Agregat kasar dengan gradasi seragam direkomendasikan untuk pembuatan beton berpori. Namun, agregat kasar dengan gradasi seragam seringkali sulit ditemukan, sedangkan agregat kasar dengan gradasi menerus juga seringkali tidak tersedia. Berdasarkan informasi di atas, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekuatan tekan dan porositas beton pori menggunakan agregat kasar bergradasi seragam dengan agregat kasar bergradasi menerus. Penelitian ini meliputi pemeriksaan awal agregat kasar (kerikil), pengujian kekuatan tekan, pengujian porositas, dan pengujian berat volume beton berpori.

B. State of art Beton Berongga

Di Indonesia sekarang ini, jumlah limbah batu bara berupa abu terbang (fly ash) akan terus bertambah karena semakin banyak pabrik dan pembangkit listrik yang mengalihkan sumber energinya dari bahan bakar minyak ke batu bara. Fly

ash merupakan residu pembakaran batubara. Selain itu di Indonesia terdapat pabrik besi dan tembaga yang juga menghasilkan limbah berupa terak besi dan terak tembaga mengandung silika (SiO_2) dalam jumlah besar sehingga dapat dikategorikan sebagai bahan pozzolan. Pencampuran abu terbang, terak besi dan terak tembaga yang mengandung pozzolan dengan klinker semen Portland Komposit dan semen Portland pozzolan, kedua semen itu merupakan langkah nyata dari penerapan teknologi material berkelanjutan (sustainable material technology), dengan mengurangi konsumsi energi dan mengurangi penggunaan sumber daya alam yang tidak terbarukan, produksi semen dapat ditingkatkan (S. Antiohos et al., 2005). Berdasarkan standar Eropa EN 197-1:2011, semen Portland komposit diklasifikasikan sebagai CEM II. Meskipun semen ini baru diperkenalkan di Indonesia pada tahun 2005, pangsa pasar semen CEM II di Indonesia mencapai lebih dari 50%, sementara jenis semen Portland 1 hanya sekitar 35% di Eropa. Gambar 5S memperlihatkan beton berongga memiliki permeabilitas terhadap air. American Concrete Institute (ACI S22R06, Pervious Concrete) telah membuat informasi teknik mengingat metode desain, material, karakteristik, proporsi campuran, metode pelaksanaan, pengujian dan pengawasan beton berongga. Penulis telah menggunakan semen Portland jenis II, semen Portland Pozolan dan semen Portland Komposit sebagai bahan pengikat (binding material) pada beberapa penelitian mengenai beton berongga.

Beton berongga sering diaplikasikan sebagai permukaan di area pejalan kaki seperti taman, trotoar, dan tempat parkir malam seru pada Gambar 6. Gambar 7 menunjukkan beton berongga telah digunakan sebagai bottom hijau melindungi

tanggul sungai di Icpang (Motwhatu Tama, 2001) Beton berongga juga digunakan untuk menyerahkan 3w (Sung Bum Park dan Mang Tia, 2004) Menurut Dale P. Bentz (2008), beton berongga menonjolkan fitur-fitur utama seperti mikrostruktur, ikatan material, dan permeabilitas. Penggunaan beton berongga di Eropa untuk mengelola hidrologi perkotaan meliputi meredam kebisingan lalu lintas, meningkatkan ketahanan anti-selip jalan, dan meningkatkan tingkat permeabilitas (Dionys Van Gemert et.al, 2003).

1. Klasifikasi Beton

Kekuatan tekan beton porous dianggap lebih rendah jika dibandingkan dengan beton konvensional. ACI522R10 (2010) menetapkan bahwa beton porous hanya cocok untuk penggunaan pada perkerasan jalan dengan beban lalu lintas yang ringan. Contoh perkerasan jalan dengan beban lalu lintas ringan meliputi trotoar, tempat parkir, jalur pejalan kaki, jalan-jalan perumahan, dan taman.

a) Porositas beton *porous*

Porositas merupakan suatu rasio antara volume rongga-rongga udara terhadap volume total dari keseluruhan benda uji beton *porous*. Pada beton *porous* nilai porositas sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya rongga udara yang dihasilkan. Semakin besar rongga udara, maka nilai porositas juga semakin besar yang berarti beton *porous* dapat mengalirkan air dengan cepat. Semakin besar nilai porositas, maka kekuatan beton *porous* menjadi semakin berkurang karena terjadinya penurunan ikatan-ikatan antar agregat dengan semen.

b) Permeabilitas beton *porous*

Porositas dalam beton porous diukur dengan rasio volume rongga udara terhadap total volume benda uji. Besar kecilnya nilai porositas beton porous sangat tergantung pada ukuran rongga udara yang terbentuk. Dengan bertambahnya rongga udara, nilai porositas beton porous juga meningkat, memfasilitasi aliran air yang cepat. Terdapat korelasi negatif antara kekuatan beton porous dan nilai porositasnya karena penurunan ikatan antara agregat dengan semen.

c) Pengaruh kadar air pada beton *porous*

Kekuatan beton sangat bergantung pada jumlah udara yang terperangkap di dalamnya, terutama dalam hal kekuatan tekan. Beton memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah saat jumlah udara di dalamnya lebih tinggi, sebaliknya, ketika jumlah udara berkurang, kekuatan tekan relatif meningkat. Rasio jumlah udara dalam beton menunjukkan tingkat penurunan kekuatan.

2. Kelebihan Dan Kekurangan Beton

Beton mempunyai fungsi yang penting dalam suatu bangunan konstruksi yang digunakan baik untuk struktur rumah tinggal, gedung bertingkat, dan berbagai macam infrastruktur yang lain.

Beton memiliki beberapa kelebihan seperti :

- a. Efektif manajemen aliran hujan
- b. Aliran air dapat berkurang kontaminasi
- c. memperbarui stok air tanah

- d. Mengurangi dampak panas dari bumi
- e. Mengurangi kebisingan akibat gesekan antara ban dan jalan

Namun beton juga memiliki kekurangan seperti :

3. Larangan kendaraan berat pada saat lalu lintas padat.

- a. Konstruksi yang mengikuti tindakan khusus.
- b. Pengaturan jumlah air dalam beton yang baru dan responsif.
- c. Metode percobaan standar tidak dapat digunakan.
- d. Perhatian khusus dan perawatan dibutuhkan saat merancang untuk jenis tanah tertentu.
- e. Tanah dengan tingkat air tanah yang tinggi mungkin memerlukan perhatian khusus.

4. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton

Faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan beton adalah :

a. Umur beton

Kekuatan beton akan menurun seiring bertambahnya usia. Meskipun pada usia muda seperti 28 hari biasanya mengalami peningkatan, penurunan ini baru terlihat pada beton yang telah berumur 360 hari atau lebih.

b. Workability pada saat pengerjaan beton

Beton dengan tingkat kerja tinggi cenderung terbagi dan meleleh, sehingga mengakibatkan penurunan kekuatan tekan.

c. Gradasi butiran

Pada tahap pembuatan sampel beton, terjadi variasi ukuran agregat dari yang paling kecil hingga yang paling besar, untuk mengisi ruang atau

celah dalam cetakan atau silinder beton. Hal ini penting karena jika gradasi agregat kasar terlalu seragam, rongga di beton tidak akan tertutup sepenuhnya, menyebabkan terbentuknya lubang atau keropos yang mengurangi kekuatan beton.

e. Gradasi seragam

Gradasi seragam mengacu pada gradasi agregat dengan ukuran butir yang hamper sama atau sejenis. Gradasi seragam juga dikenal sebagai gradasi terbuka karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antara butiran-butiran agregat.

Berikut tabel agregat kasar gradasi seragam

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

ASTM C 33 – 03

Tabel 2. 1 Agregat Kasar Gradasi Seragam

Sumber ASTM C33

Dalam penelitian ini, akan menggunakan agregat kasar dengan gradasi berukuran no. 8 menurut ASTM C33, yaitu agregat kasar yang lolos pada saringan berukuran 12,5 mm dan tertahan pada saringan berukuran 2,5 mm. Selain itu sebagian besar agregat kasar berukuran seragam. Penelitian ini akan menggunakan gradasi agregat berukuran no. 8 menurut ASTM C33, karena menurut penelitian terdahulu dianjurkan menggunakan ukuran no. 67, 8, 89 menurut ASTM C33.

Untuk mencapai kuat tekan beton porous yang memadai, hubungan antara agregat kasar harus diperkuat, karena tidak ada agregat halus sebagai pengisi pada rongga-rongga pada beton porous. Salah satu caranya adalah meningkatkan luas pasta semennya. Peningkatan luas pasta semen dapat dicapai dengan penggunaan agregat kasar yang lebih kecil. Dengan agregat kasar yang lebih kecil, pasta semen akan memiliki area yang lebih spesifik untuk dilapisi. Oleh karena itu menurut penelitian terdahulu dianjurkan menggunakan agregat kasar dengan gradasi ukuran no. 67, 8, 89 menurut ASTM C33

C. Material Penyusun Beton

Beton Berongga Sebagai Perkerasan Kaku dan Beton Hijau (Green Concrete) penggunaan semen Portland jenis 1 sebagai bahan pengikat beton berongga. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur dilaksanakan untuk menguji kekuatan beton berongga sebagai bahan perkerasan kaku. Selain itu sepetak hamparan beton berongga ditanami rumput untuk mengevaluasi kemampuan

beton berongga sebagai beton hijau (green concrete) yang ramah terhadap lingkungan.

Kekuatan lentur merupakan aspek krusial dalam perencanaan perkerasan kaku. Menurut Tabel Perencanaan Jalan Beton untuk Lalu Lintas Rendah dan Menengah, beton perkerasan kaku memiliki kekuatan lentur yang melebihi 3,8 MPa (sumber: Desain Ketebalan untuk Perkerasan Jalan dan Jalan Beton, diterbitkan oleh Asosiasi Beton Perkerasan Amerika dalam Warta Beton dan Beton Indonesia, 2003).

1. Semen Portland Jenis 1

Beton berongga dibuat dengan menggunakan semen Portland jenis 1 (Ordinary Portland Cement) yang tersedia di pasaran dan diproduksi oleh salah satu produsen semen nasional di Sulawesi Selatan. Semen Portland jenis 1 memenuhi persyaratan SNI 15-20492004 dimana sifat fisiknya.

a. Agregat Kasar dan Mix Design Beton Berongga

Agar penggunaan air berkurang, agregat berbentuk bulat dan halus digunakan sebagai pengisi untuk memberikan kekuatan dan stabilitas dimensi beton. Agregat halus yang pipih memerlukan jumlah air yang lebih besar karena luas permukaannya yang lebih besar

Beton berongga dibuat dengan menggunakan semen Portland jenis 1 (Ordinary Portland Cement) yang tersedia di pasaran dan diproduksi oleh salah satu produsen semen nasional di Sulawesi Selatan. Semen Portland jenis 1 memenuhi persyaratan SNI 15-20492004 dimana sifat fisiknya.

Tabel 2. 2 Susunan Oksidasi semen portland (Sumber: Tjokrodimulyo, 1996)

No.	Oksida	Persentase
1	Kapur (CaO)	60 – 65
2	Silika (SiO_2)	17 – 25
3	Alumina (Al_2O_3)	3 – 8
4	Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6
5	Magnesia (MgO)	0,5 – 4
6	Sulfur (SO_3)	1 – 2
7	Soda / Potash ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)	0,5 – 1

Menurut SII 0031-81 (Tjokrodimulyo, 1996), terdapat lima jenis

Semen Portland, namun jenis yang paling umum digunakan adalah tipe 1 (satu) karena tidak memerlukan persyaratan spesifik untuk panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Jenis ini sesuai untuk penggunaan di lingkungan dengan kandungan sulfat dalam tanah dan air berkisar antara 0-0,10%.

- a) Semen Portland tipe I: Cocok untuk penggunaan umum tanpa persyaratan spesifik.
- b) Semen Portland tipe II: Dibutuhkan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang saat digunakan.
- c) Tipe III: Memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam penggunaan semen Portland.
- d) Tipe IV: Mengandalkan persyaratan hidrasi panas yang rendah saat digunakan semen Portland.
- e) Tipe V: Menuntut ketahanan yang sangat tinggi terhadap sulfat pada penggunaan semen Portland.

Sebagai bagian dari Standar Normalisasi Indonesia (SNI), campuran semen harus memenuhi persyaratan berikut untuk pembuatan beton:

- a) Waktu pengikatan awal untuk semua jenis semen harus minimal satu jam enam puluh menit.
- b) Semen biasa memiliki waktu pengikatan awal antara 60 hingga 120 menit.
- c) Air yang digunakan harus bersih dari zat organik yang dapat mempengaruhi proses pengikatan awal.
- d) Suhu di dalam ruangan harus dijaga pada 23°C.

2. Agregat Kasar dan Mix Design Beton Berongga

Batu-batu kali yang berasal dari Sungai Jeneberang, Sulawesi Selatan, diolah menjadi batu pecah dan dijadikan sebagai agregat kasar. Tabel 21 memperlihatkan sifat-sifat fisik agregat kasar.

Mix desain beton berongga dalam m^3 beton diperlihatkan pada Tabel 22. Nilai persentase volume pori yang ingin dicapai adalah sebesar $15\% \pm 5\%$. Mix desain ini menggunakan bahan kimia tambahan (gabungan retarder dan plasticizer) sebesar 0,2% dari berat semen pada pembuatannya.

Pencampuran material-material dilaksanakan dengan menggunakan pan mixer di laboratorium. Setiap kali pencampuran dibuat 40 liter. Pencampuran dengan komposisi material yang sama dilakukan empat kali pada suhu ruangan 26° C.

3. Pengukuran Berat Jenis dan Persentase Volume Pori

Sebelum memulai pengujian kuat tekan, silinder benda uji digunakan untuk mengukur berat jenis dan volume pori beton berongga. Silinder benda uji memiliki tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Setelah dikeluarkan dari air, silinder benda uji dikeringkan hingga permukaan menjadi kering. Berat jenis dan

volume bahan uji diukur dan ditimbang. Perhitungan persentase volume pori dapat dilakukan menggunakan rumus yang tersedia,

$$V_p(V_s - V_{po})/V_s \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

V_p = Persentase volume pori(%)

V_s =volume silinder (liter)

V_{po} =volume pori (liter)

dan untuk mendapatkan V_{po} digunakan rumus berikut,

$$V_{po} = (W_a - W_w)/\gamma_w \dots\dots\dots (2)$$

dimana,

W_a =berat silinder di udara (kg)

W_w =berat silinder di air (kg)

γ_w =berat jenis air (1 kg/liter)

1. Pengujian Kuat Tekan

Saat pembuatan benda uji kuat tekan, beton berongga (beton segar) dimasukkan ke dalam cetakan sebanyak tiga lapis. Setiap lapisannya dipadatkan dengan menusuk-nusuk menggunakan besi tumpul berdiameter satu sentimeter sebanyak dua puluh lima kali, diikuti dengan pemukulan menggunakan balok kayu sebanyak dua puluh lima kali. Pengujian tekanan kuat dilakukan setelah beton mencapai usia 28 hari sesuai dengan standar ASTM C39/C39M-01.

Kekuatan tekan beton, yang mengacu pada kemampuannya menahan gaya tekan per luasan, diukur menggunakan sampel silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengukuran kekuatan tekan beton dilakukan setelah 28 hari

dan diukur dalam satuan MPa. Selama periode dua puluh delapan hari, beton disimpan dan dirawat pada suhu dan kelembaban yang tetap.

Sebagai contoh, kekuatan tekan beton dapat dihitung sebagai berikut.

$$c = \sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan Beton (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan sampel (mm^2)

Menurut SNI 2847:2013, beton struktural harus memiliki kekuatan tekan f'_c minimal sebesar 17 MPa. Namun, tidak ada batasan nilai maksimum untuk f'_c , kecuali jika disyaratkan oleh standar tertentu.

Pengujian Kuat Lentur

Untuk memenuhi kebutuhan kekuatan lentur sesuai dengan JIS A 1106-1999, sebuah balok dengan dimensi 100 mm x 100 mm x 400 mm digunakan. Proses pembuatan benda uji kekuatan lentur melibatkan pengecoran dua lapis beton berongga ke dalam cetakan. Setiap lapis beton dipadatkan dengan menusuk-nusuk menggunakan besi tumpul berdiameter 1 cm sebanyak dua puluh lima kali, diikuti dengan pemukulan menggunakan balok kayu sebanyak dua puluh lima kali. Pengujian kekuatan lentur dilakukan setelah beton mencapai usia 28 hari, mengikuti persyaratan JIS A 1106 -1999. Untuk memahami hubungan antara beban lentur (P) dan lendutan (δ), pengukur lendutan ditempatkan di tengah bentang benda uji. Pengukur lendutan ini mematuhi standar JIS B 7503.

2. Perawatan Benda Uji

Setelah 24 jam benda-benda uji silinder dan balok dikeluarkan dari dalam cetakan. Seluruh benda uji dirawat di dalam air dengan suhu $20^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$ hingga umur 28 hari berdasarkan ASTM C192/C192M02. Perendaman ini dimaksudkan agar proses hidrasi berjalan baik.

3. Pengujian Penanaman Rumput di Atas Beton Berongga

Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan beton berongga untuk ditanami rumput. Beberapa potongan balok yang telah digunakan untuk menguji kuat lentur diletakkan di atas tanah. Potongan balok-balok tersebut kemudian ditutupi dengan tanah dan akar rumput atau rumput yang telah mengering di atasnya.

D. Penelitian Terdahulu

1. Berat Jenis dan Persentase Volume Pori

Hasil pengukuran berat jenis beton berongga dengan komposisi yang sama untuk tiap-tiap pencampuran diperlihatkan pada tabel 9. Setiap nilai berat jenis adalah rata-rata dari berat jenis dua buah benda uji silinder.

Berat jenis Beton berongga dengan komposisi yang sama adalah sebesar 1986 kg/m^3 hingga 2073 kg/m^3 dengan nilai rata-rata 2021 kg/m^3 . standar deviasinya adalah sebesar $47,39 \text{ kg/m}^3$.

Hasil ini menunjukkan bahwa karena tidak mengandung agregat halus maka beton berongga yang menggunakan semen Portland jenis 1 memiliki berat jenis yang lebih rendah dari berat jenis beton normal. Persentase volume rongga diperlihatkan pada Gambar 10. Setiap nilai dari persentase volume rongga adalah

hasil rata-rata pengukuran rongga dari dua benda uji silinder. Persentase volume rongga adalah sebesar 14,41% hingga 18,66% dimana nilai rata-rata dan standar deviasinya adalah masing-masing 16,77% dan 2,26%. Hasil ini menunjukkan bahwa komposisi campuran beton berongga telah optimum sehingga yang dihasilkan memenuhi persentase volume rongga yang diinginkan ($15\% \pm 5\%$).

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat tekan beton berongga dengan komposisi yang sama dan dibuat dalam 4 kali pencampuran. Setiap nilai kuat tekan adalah rata-rata dan kuat tekan dua buah benda uji silinder.

Beton berongga dengan komposisi yang sama memiliki kuat tekan sebesar 16,16 MPa hingga 17,31 MPa. Kuat tekan rata-rata dan standar deviasinya adalah masing-masing sebesar 16,88 MPa dan 0,5 gts Hasil ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton berongga sama dan tidak berubah-ubah sehingga kualitasnya dapat dijaga baik.

3. Prilaku Kuat Tekan Beton Porous Menggunakan Air Laut

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton porous umur perawatan 28 hari, kuat tekan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya faktor air semen (FAS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata antara beton porous normal dengan beton porous campuran air laut tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Beton porous normal dengan faktor air semen (FAS) 0,30 dan 0,35 yaitu 6,568 Mpa dan 4,435 Mpa. Beton porous campuran air laut dengan faktor air semen (FAS) 0,30 dan 0,35 yaitu 6,700 Mpa dan 3,774 mpa. Dari hasil analisa hasil pengujian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa penurunan

nilai kuat tekan dan kuat tarik belah seiring bertambahnya nilai faktor air semen (FAS) yang digunakan.

E. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

1. Arusmalem Ginting (2015) Beton porous adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi. Campuran beton porous terdiri dari semen, air, dan agregat kasar berukuran tunggal (bergradasi seragam). Agregat kasar bergradasi seragam sulit didapatkan di pasaran dan biasanya yang tersedia adalah agregat kasar bergradasi menerus. Kuat tekan dan porositas merupakan dua hal yang sangat penting pada beton porous. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan kuat tekan dan porositas beton porous menggunakan agregat kasar bergradasi seragam dengan gradasi menerus. Gradasi agregat kasar (kerikil) yang digunakan pada pembuatan beton porous pada penelitian ini ada dua jenis yaitu gradasi seragam dan gradasi menerus. Rasio berat agregat/semen yang digunakan adalah 4 dan 5, dan faktor air semen (fas) adalah 0,27. Bahan kimia tambahan yang digunakan adalah *SicaCim Concrete Additive* dengan dosis 7,5 ml/kg semen. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah benda uji untuk setiap variasi campuran sebanyak 3 buah dan total benda uji sebanyak 27 buah. Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak yang berisi air. Pengujian porositas dan kuat tekan beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran maksimum kerikil bergradasi seragam dan bergradasi menerus yang digunakan mengakibatkan semakin kecil kuat tekan

dan semakin besar porositas. Kuat tekan beton porous menggunakan agregat gradasi seragam lebih rendah dari gradasi menerus. Kuat tekan beton porous menggunakan agregat gradasi seragam tertinggi sebesar 8,92 MPa dan gradasi menerus sebesar 14,04 MPa. Porositas beton porous menggunakan agregat gradasi seragam lebih tinggi dari gradasi menerus. Porositas beton porous menggunakan agregat gradasi seragam tertinggi sebesar 87,68 ltr/dt/m² dan gradasi menerus sebesar 37,86 ltr/dt/m². Berat volume beton porous menggunakan agregat gradasi seragam lebih rendah dari gradasi menerus.

2. Samsul Nasrul, Gusneli Yanti dan Shanti Wahyuni Megasari (2021) Beton berpori merupakan beton yang mempunyai rongga sehingga dapat mengalirkan air dari atas permukaan ke dalam tanah. Riset bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat lentur pada beton berpori. Penelitian ini berdasarkan pada metode ACI-522R-10 dengan menggunakan ukuran gradasi agregat kasar sebesar 9,5-19,5 mm, perbandingan semen dan agregat kasar sebesar 1:4 dan faktor air semen sebesar 0,3. Zat aditif yang digunakan berupa Master Glenium ACE 8595 Concrete Additive dengan penambahan aditif sebanyak 0%, 1% dan 2% terhadap berat semen. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder untuk pengujian kuat tekan dan berbentuk balok untuk pengujian kuat lentur. Hasil pengujian menunjukkan terdapat hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur. Nilai kuat tekan mengalami penurunan seiring dengan nilai kuat lenturnya. Hal ini terlihat dari nilai kuat tekan rata-rata dan kuat lentur rata-rata tertinggi ada pada campuran I dengan nilai kuat tekan rata-rata 5,4 MPa, dan nilai kuat lentur rata-rata sebesar 1,96 MPa,

Penggunaan Masterglenium pada penelitian tidak menaikkan kuat tekan maupun kuat lentur beton,

3. Monica Fransisca, Khonado Hieryco, dan Manalip, Steenie E. Wallah (2019)
Beton Porous atau beton yang menggunakan sedikit pasir atau tidak sama sekali merupakan inovasi beton ramah lingkungan, karena jika digunakan sebagai concrete pavement maka dapat membiarkan air mengalir melewati beton sehingga mengurangi air tergenang dan kontaminasi aliran air serta dapat mengisi kembali persediaan air tanah. Namun beton porous memiliki kuat tekan yang rendah karena memiliki banyak pori. Dalam penelitian ini, diuji sejumlah sampel dengan komposisi variasi ukuran agregat beton porous yang berbeda-beda untuk mendapatkan beton porous dengan hasil kuat tekan yang optimum namun dapat dialiri air dengan efektif juga. Ada 4 variasi yang diuji, yakni variasi 1 dengan komposisi 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan nomor 4 namun tertahan saringan nomor 8, kemudian variasi 2 dengan 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan 3/8" namun tertahan nomor 4, variasi 3 terdiri dari 100% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan saringan 3/8", dan yang terakhir ada variasi 4 yang terdiri dari 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan 3/4" namun tertahan 1/2". Variasi 4 adalah variasi beton porous dengan hasil kuat tekan yang optimum, yakni 15,517 MPa pada usia beton 28 hari. (3) Variasi ini adalah variasi dengan komposisi ukuran agregat terbesar diantara ke 4 variasi yang ada, sehingga dapat dilihat bahwa semakin besar

ukuran agregat dalam campuran, maka semakin tinggi hasil kuat tekannya. Sedangkan untuk variasi campuran beton porous yang efektif dialiri air atau dengan permeabilitas optimum adalah Variasi 3 yang memiliki komposisi ukuran agregat yang seragam dengan nilai permeabilitas 2,322 cm/detik. Dapat dilihat bahwa semakin seragam ukuran agregat dalam campuran, maka semakin tinggi nilai permeabilitasnya karena rongga atau pori dari beton akan semakin besar dan banyak.

4. Erma Desmaliana, Hazairin, Bernardinus Herbudiman, dan Rossa Lesmana (2018) Beton *porous* merupakan salah satu inovasi teknologi beton berkelanjutan tanpa agregat halus dengan porositas tinggi. Beton porous ini dapat digunakan pada perkerasan jalan untuk menanggulangi air *run-off*, serta dapat diaplikasikan sebagai dinding penahan tanah yang berfungsi untuk meminimalisir tekanan air tanah. Penelitian ini bermaksud untuk mengkaji secara eksperimental sifat mekanis terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur dan permeabilitas beton porous dengan berbagai variasi faktor air semen. Agregat kasar yang digunakan batu pecah Batujajar berukuran 10 mm – 20 mm. Penelitian ini menggunakan campuran beton dengan variasi faktor air semen sebesar 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, dan 0.5 pada gradasi agregat kasar menerus.

Benda uji yang digunakan untuk setiap varian adalah 3 benda uji beton silinder yang berukuran 15x30 cm untuk uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik belah beton dan 1 benda uji beton silinder 10x20 cm untuk uji permeabilitas. Benda uji balok berukuran 15x15x60 cm untuk uji kuat lentur dengan metode

third point loading. Sifat mekanik yang diuji adalah kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari untuk uji kuat tekan beton dan 28 hari untuk kuat tarik belah beton, kuat lentur beton dan permeabilitas. Hasil eksperimen menunjukkan nilai kuat tekan beton *porous* dengan varian campuran faktor air semen 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5 untuk 28 hari berturut-turut adalah 17.9 MPa, 16.1 MPa, 14.2 MPa, 11.2 MPa, dan 8.8 MPa. Nilai kuat tarik belah beton dengan varian campuran faktor air semen 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5 untuk 28 hari berturut-turut adalah 1.6 MPa, 1.5 MPa, 1.4 MPa, 1.2 MPa, dan 0.9 MPa. Nilai kuat lentur beton dengan varian campuran faktor air semen 0.3, 0.35, 0.4 untuk 28 hari berturut-turut adalah 1.6 MPa, 1.5 MPa, 1.1 MPa. Nilai permeabilitas beton *porous* dengan varian campuran faktor air semen 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5 adalah 3.5 mm/det, 3.7 mm/det, 4.1 mm/det, 4.3 mm/det dan 5.0 mm/det. Dari hasil eksperimen menunjukkan bahwa beton *porous* dengan semua variasi faktor air semen mampu mencapai kekuatan struktural dan penggunaannya layak disarankan sebagai bahan untuk struktur perkerasan pre-fabrikasi yang memiliki dimensi kecil untuk mencegah retak lentur.

5. Arusmalem Gintin (2015) Beton berpori adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang memungkinkan air dari presipitasi dan sumber lain melewatinya, sehingga mengurangi limpasan dan mengisi kembali permukaan air tanah. Kuat tekan beton berpori lebih rendah dari beton berat normal konvensional karena peningkatan porositas. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan dan porositas beton porous adalah rasio agregat/semen dan rasio air semen (w/c), penting untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah (split) dengan berat jenis 1466 kg/m³. Agregat kasar Rasio berat orment yang digunakan dalam penelitian ini adalah : 3S : 4,0 : 4,5 : dan 5,0, rasio air-semen (wcr) 0,25 dan 030. Bahan tambahan kimia yang digunakan adalah SicaCim Concrete Additive, dengan dosis 75 ad /kg semen. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton silinder 150 mm x 300 mm. Masing-masing warasi berjumlah 3 benda uji dan jumlah benda uji berjumlah 24 benda uji. Benda uji beton curing dibuat dengan cara merendam benda uji di dalam kotak pengawetan. Pengujian kuat tekan dan porositas beton porous dilakukan setelah umur 28 hari. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa.peningkatan rasio agregat/semen beton porous mengakibatkan: penurunan kuat tekan, peningkatan porositas, dan penurunan densitas. Kuat tekan beton berpori dengan rasio air semen (wcr) 0,25 lebih rendah dari 0,30.

6. Kintarman Kintarman, Sophian Sutedja, Gogot Setyo Budi, Hurijanto Koentjoro (2017) Dalam pembuatan tiang pondasi, beton yang diterapkan dalam pondasi dapat berbentuk kotak atau tiang spun pile. Produksi tiang spun pile menggunakan metode spinning sehingga kekuatan tekan beton kemungkinan tidak merata antara dinding di bagian dalam dan bagian luar. Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan, perkuatan eksternal (external confinement) pada beton solid bisa meningkatkan performa beton terkompresi yang mengalami gaya lentur siklik atau gaya dinamis akibat kejadian seismik, serta menaikkan regangan pada beton. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan serta regangan terhadap silinder beton

berongga dengan mutu beton $f_c' = 50$ MPa dan 33 MPa dengan perkuatan eksternal menggunakan clamp baja. Panjang dan diameter silinder beton masing-masing adalah 30cm dan 15cm, dan diameter rongga yang terbentuk akibat proses spinning adalah 5cm. Clamp dengan tebal 1.7mm dan lebar 27mm, dipasang pada benda uji dengan jarak tertentu sebesar 3, 4, dan 5 buah clamp baja. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perkuatan silinder beton berongga dengan menggunakan clamp mampu menaikkan tegangan hancur beton serta meningkatnya regangan. Selain itu, penambahan clamp pada silinder beton berongga berpengaruh pada pola keruntuhan, dimana pola keruntuhan silinder beton berongga dengan clamp secara umum terjadi di antara clamp baja. Pemberian clamp baja pada silinder beton berongga yang diisi dengan beton mutu $f_c' = 19$ MPa memiliki kekuatan yang hampir sama dengan silinder beton berongga tanpa isi.

7. Muhammad Ridho, Arbain Tata, dan Suyuti Nurdin (2021) Pembangunan jalan secara umum menggunakan perkerasan lentur atau kaku yang kedap air. Untuk mencegah masalah kerusakan jalan yang disebabkan oleh genangan air, saat ini banyak cara baru untuk mengendalikan aliran air pada permukaan perkerasan. Salah satu alternatif dalam pengendalian air pada permukaan perkerasan adalah dengan menggunakan beton berongga. Dalam hal ini penggunaan beton berongga adalah sebagai bahu jalan yang berfungsi sebagai drainase sehingga dapat meneruskan aliran air ke dalam tanah, diharapkan beton berongga ini dapat mencegah berkurangnya kekuatan perkerasan utama yang disebabkan oleh genangan air, serta dapat meningkatkan pembangunan

infrastruktur jalan yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan Untuk mengetahui pengaruh bentuk agregat dalam campuran beton berongga terhadap nilai porositas, permeabilitas dan kuat tekan yang akan di aplikasikan pada taman dan jalur pejalan kaki. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Agregat yang digunakan terdiri dari batu pecah dan batu tidak pecah variasi 0,5-1 cm, 1-2 cm, dan 2-3 cm dengan faktor air semen (fas) 0,40. Pengujian dilakukan pada umur perawatan basah 28 hari. Berdasarkan penelitian yang tlah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dari variasi agregat yang digunakan campuran optimal diperoleh pada campuran dengan variasi 0,5-1 cm dan 1-2 cm yang menghasilkan nilai kemampuan merembeskan air yang tinggi. Beton berongga dengan variasi agregat kasar 0,5-1 cm memiliki laju infiltrasi terkecil yaitu 87852,5 mm/h akan tetapi memiliki kuat tekan terbesar yaitu 9,78 MPa. Beton berongga dengan variasi agregat kasar 1-2 cm memiliki laju infiltrasi yaitu 136532,4 mm/h dengan kuat tekan sebesar 7 MPa. Beton berongga dengan variasi agregat kasar 2-3 cm yang memiliki laju infiltrasi terbesar yaitu 191497,1 mm/h akan tetapi memiliki kuat tekan terkecil yaitu 6,29 MPa.

8. Pamungkas, Siswanto Sigit (2015) Pengujian kuat lentur terhadap pelat beton pracetak berongga. S1 thesis, UAJY. Pelat lantai merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi untuk menahan dan meneruskan beban dari struktur di atasnya seperti beban hidup, beban mati, dan dinding. Komponen penyusun pelat lantai terdiri dari beton, tulangan tarik, tulangan desak, dan tulangan susut. Tulangan tarik dan tulangan desak digunakan untuk menahan momen

lentur sedangkan tulangan susut digunakan untuk meminimalisir retak beton akibat volume susut beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental yaitu dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium. Penelitian bertujuan untuk menemukan bentuk penampang pelat pracetak yang telah dianalisis sehingga mampu menahan beban yang akan ditentukan. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi 2 kelompok. Kelompok pertama adalah benda uji beton silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berjumlah 3 buah, dengan rincian setiap 1 benda uji silinder beton diambil pada pengadukan untuk membuat 1 benda uji pelat beton pracetak. Benda uji silinder beton digunakan untuk pengujian kuat desak. Sedangkan kelompok kedua adalah benda uji pelat beton pracetak yang berjumlah 3 buah, dimana 3 benda uji tersebut menggunakan bentuk penampang dengan rongga trapesium yang telah dianalisis dan menggunakan tulangan 1 arah berdiameter 6 mm dan 8 mm. Pengujian semua benda uji setelah mencapai umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan perbandingan antara hasil analisis dengan hasil pengujian di lapangan Rata – rata beban maksimum yang mampu diterima oleh pelat setelah diuji adalah 2016,83 kg, sedangkan rata – rata beban maksimum pelat hasil analisis teori adalah 2885,5 kg. Nilai tegangan lentur pelat hasil pengujian secara berurutan mulai dari PL1, PL2, dan PL3 adalah 2,152 MPa, 2,768 MPa, dan 2,622 MPa, sedangkan hasil secara analisis secara berurutan adalah 3,502 MPa, 3,696 MPa, dan 3,593 MPa.

9. Daryanto Ari Prabowo, Ary Setyawan, Kusno Adi Sambowo Sari (2013)

Pembangunan jalan secara umum menggunakan perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang kedap air menyebabkan berkurangnya lahan hijau yang berdampak pada berkurangnya daerah resapan air. Penggunaan beton berpori merupakan alternatif yang ramah lingkungan, penggunaannya diharapkan dapat meresapkan air ke dalam tanah pada bagian sisi jalan. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan mengurangi proporsi agregat halus pada mix desain beton normal. Agregat batu pecah yang dipakai yaitu ukuran seragam 1-2 cm. Agregat halus dalam uji pendahuluan dengan proporsi 5%, 10% dan 30% dari proporsi agregat halus beton normal. Setelah diketahui proporsi yang tepat maka akan diuji dengan variasi fas 0,30; 0,35; dan 0,40. Kemudian akan diuji kuat tekan, kuat lentur, porositas, permeabilitas dengan metode falling head water permeability test. Dari hasil pengujian beton berpori menggunakan 30% pasir dan variasi fas 0,30; 0,35; dan 0,40 didapat nilai tertinggi yaitu pada campuran 30% pasir dan fas 0,35 sebesar 5,190 MPa untuk kuat tekan dan 0,383 Mpa untuk kuat lentur. Porositas dan permeabilitas horisontal tertinggi terjadi pada campuran 30% pasir dan fas 0,40 yaitu porositas sebesar 20,807 % (Metode beton normal) ,porositas sebesar 27,696 % (Metode VIM), permeabilitas horisontal sebesar 1,363 cm/dt. Permeabilitas secara vertikal dicapai pada fas 0,30 dengan nilai 3,132 cm/dt. Beton berpori dalam penelitian ini tidak memenuhi spesifikasi sebagai perkerasan untuk badan jalan karena memiliki nilai kuat tekan dan

kuat tarik lentur yang rendah, sehingga hanya dapat digunakan sebagai bahan trotoardan bahu jalan saja.

10. Beton porous memiliki rongga-rongga yang dapat mengalirkan air secara langsung ke dalam tanah, sehingga dapat mengatasi permasalahan peresapan air ke dalam tanah. Pembuatan beton porous dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu komposisi agregat kasar dengan beberapa ukuran yang berbeda, jumlah perbandingan antara semen dan agregat kasar, jumlah faktor air semen, pemilihan bahan tambah serta dosis atau takaran penggunaan bahan tambah. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis hubungan karakteristik beton porous dengan variasi komposisi agregat kasar. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan variasi komposisi agregat kasar yang memiliki ukuran berbeda. Pada penelitian digunakan 7 variasi komposisi Agregat Kasar dengan perbandingan ukuran agregat kasar 2,0-3,0 cm : 1,0-2,0 cm : 0,5-1,0 cm. Perbandingan semen agregat sebesar 1 : 5, faktor air semen sebesar 0,30 dan persentase bahan tambah Sikament-NN sebesar 1,8 % terhadap berat semen. Hasil pengujian nilai kuat tekan rata-rata tertinggi beton porous diperoleh pada komposisi campuran ke VII (20:40:40) dengan nilai 10,18 MPa. Trend (kecenderungan) grafik kekuatan tekan rata-rata beton porous mengalami peningkatan mulai dari komposisi campuran I hingga VII, kecuali pada komposisi campuran V (20:60:20). Hasil pengujian Analysis of variance (ANOVA) diperoleh bahwa terdapat hubungan yang sangat nyata antara nilai kekuatan tekan beton porous dengan variasi komposisi dari agregat kasar.

11. Analisis Kuat Tekan dan Laju Infiltrasi pada Beton Porous K-200 dengan Tambahan Sika Fume Asep Kurnia Hidayat, Rosi Nursani, Salim Faiz. Beton porous memiliki pori-pori yang lebih banyak dari beton normal yang menyebabkan kuat tekannya lebih rendah. Perlu dilakukan penelitian untuk dapat meningkatkan kuat tekan beton porous. Penelitian dilakukan dengan cara menambahkan zat aditif yaitu sika fume pada campuran beton porous dengan presentase 0%, 3%, 5% dan 7% dari berat semen. Dilakukan dua pengujian yaitu pengujian kuat tekan dan pengujian laju infiltrasi. Bentuk benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran 15cm x 30cm dan plat dengan ukuran 50cm x 50cm x 5cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7, 14 dan 28 hari sedangkan pengujian laju infiltrasi dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian 7% sika fume ke dalam campuran beton porous menghasilkan kuat tekan tertinggi dengan nilai kuat tekan sebesar 22,46 MPa. Sedangkan nilai maksimum dari pengujian laju infiltrasi ditunjukkan pada beton porous dengan pemakaian sika fume sebesar 3% dengan nilai laju infiltrasi sebesar 2550310,41 mm/jam. Dari hasil penelitian dapat diamati bahwa semakin banyak sika fume yang digunakan maka semakin tinggi nilai kuat tekan dan semakin kecil nilai laju infiltrasinya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental, di mana percobaan dilakukan secara langsung untuk mengevaluasi hubungan antara variabel yang diteliti. Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Beton yang terletak di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian berlangsung selama dua bulan, dimulai dari bulan Februari hingga Maret 2023, di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare. Tempat ini digunakan untuk membuat, merawat, dan menguji benda uji

C. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Agregat

Dalam penelitian ini, digunakan agregat kasar yang tertahan oleh saringan berukuran 19,5 mm.

b. Semen

Semen Portland merupakan jenis semen yang dipergunakan.

c. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare

1. Berikut adalah peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Saringan

Penggunaan saringan dengan lubang berukuran 25 mm dan 19,5 mm untuk mengukur gradasi agregat.

b. Oven

Agregat dikeringkan dalam oven untuk menguji kadar air dan berat jenisnya.

c. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk menghitung jumlah air yang digunakan dalam pembuatan beton

d. Timbangan

Alat timbang digunakan untuk menimbang bahan-bahan benda uji

e. Concrete mixer / mesin pencampur

Mixer digunakan untuk mencampurkan semua bahan benda uji

f. Cetakan Beton

Penggunaan cetakan beton silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm dan cetakan pelat dengan ukuran 500 mm x 500 mm x 150 mm

g. *Universal Testing Machine*

Digunakan untuk menguji kuat tekan benda uji beton

h. Alat Pengujian Permeabilitas

D. Prosedur Standar Penelitian

1. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis agregat dan tingkat penyerapan air. Variabel yang diuji meliputi berat jenis agregat dalam keadaan kering, berat kering permukaan (Saturated Surface Dry), dan berat jenis semu (Apparent). Berikut adalah keterangan dari berat jenis yang diuji

a. Berat jenis kering permukaan (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis kering permukaan agregat, atau dikenal sebagai berat jenis kering agregat, merupakan perbandingan antara berat agregat yang kering dan berat air yang terdapat di dalamnya ketika dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

b. Berat jenis permukaan (SSD)

Perbandingan antara berat agregat kering di permukaan jenuh dan berat air yang sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu disebut sebagai berat jenis permukaan (SSD).

c. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*)

Perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air yang sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu disebut sebagai berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)

d. Penyerapan

Penyerapan merujuk pada persentase berat air yang dapat diserap oleh pori-pori dibandingkan dengan berat agregat kering.

Satu metode umum dalam mengkategorikan jenis agregat adalah berdasarkan ukuran butirannya. Agregat kasar merupakan agregat dengan butiran yang lebih besar, sedangkan agregat halus adalah yang memiliki butiran yang lebih kecil. Contoh agregat kasar termasuk kerikil, kericak, batu pecah, atau split. Sementara itu, pasir dapat diperoleh dari alam, seperti dari sungai, tanah galian, atau hasil pemecahan batu. Secara umum, pasir dibagi menjadi tiga kelompok.

- a. Butiran batu memiliki ukuran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil memiliki ketebalan antara 5 mm hingga 40 mm.
- c. Pasir memiliki ketebalan antara 0,15 mm hingga 5 mm.

Agregat harus keras, kuat, bersih, dan memiliki gradasi yang baik. Selain itu, dalam beberapa kasus, agregat harus tahan cuaca dan aus serta stabil secara kimiawi. Agregat bisa didapat dari pemecahan batu alam seperti kerikil atau dari sumber daya alam yang ukurannya secara alami sudah kecil. Agregat pecahan, seperti pasir atau kerikil, dihasilkan dari pemecahan batu menjadi ukuran yang diinginkan melalui berbagai metode seperti meledak, memecah, dan menyaring. Potongan yang tajam pada beton pecah memberikan kekuatan tambahan.

Percobaan ini dilakukan dengan langkah-langkah berikut

- a. Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu atau kotoran yang menempel pada permukaannya
- b. Benda uji dikeringkan di oven dengan suhu 105°C sampai beratnya stabil
- c. Mendinginkan benda uji pada suhu kamar selama satu jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram
- d. Rendam instrumen tes dalam air pada suhu kamar

- e. Angkat benda uji dari air dan keringkan dengan kain penyerap hingga selaput air di permukaannya hilang; untuk butiran yang besar, pengering harus digunakan satu per satu.
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j)
- g. Letakkan benda uji dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang terperangkap, dan catat beratnya dalam air.
- h. Tentukan suhu air untuk menyesuaikan perhitungan ke suhu standar (25°C).

Untuk menghitung berat jenis agregat, perhitungan berikut digunakan:

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk Specify Gravity)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (4)$$

$$2. \text{ Berat jenis SSD} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (5)$$

$$3. \text{ Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (6)$$

$$4. \text{ Penyerapan (Arbsorpsi)} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

Perkiraan Kadar Agregat

a. Perkiraan kadar agregat kasar

Jika sejumlah volume tertentu agregat—yang telah dikeringkan dalam oven—digunakan untuk setiap satuan volume beton, agregat dengan ukuran

maksimum nominal dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat kerja yang baik. Perhitungan volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilakukan secara analitis atau grafis.

Anda dapat mengurangi kadar agregat kasar hingga 10% dari nilai yang tercantum dalam Tabel untuk mempermudah proses pengecoran beton, terutama jika Anda menggunakan pompa cor atau jika beton harus dimasukkan ke dalam cetakan dengan tulangan baja yang rapat. Namun, pastikan untuk tetap memperhatikan agar slump test, rasio air-semen, atau rasio air-(semen + bahan semen lainnya), serta sifat kekuatan beton, tetap sesuai dengan rekomendasi dan memenuhi persyaratan proyek yang berlaku.

Umumnya, dalam proyek konstruksi, hubungan empiris antara proses pembuatan beton dan sifat-sifat pengerjaannya sering digunakan untuk menentukan volume agregat kasar. Untuk aplikasi tertentu yang membutuhkan beton yang lebih kental (dengan tingkat kelecakan rendah), seperti pembuatan pavement, volume agregat kasar dapat ditambahkan sekitar 10%.

Berat agregat kasar yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$W = V \times SSD \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

W = Berat agregat kasar

V = Volume agregat kasar

SSD = Berat jenis permukaan agregat kasar

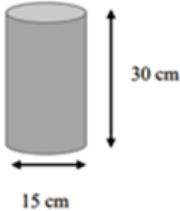
b. Perkiraan kadar agregat halus

Ada dua metode yang umum digunakan untuk mengukur agregat halus, yaitu metode berdasarkan berat dan metode berdasarkan volume absolut. Berat agregat halus yang diperlukan dapat dihitung sebagai selisih antara berat total beton segar dan berat total bahan lainnya, jika berat per satuan volume beton telah diketahui atau dapat diperkirakan dari pengalaman sebelumnya. Berat satuan beton biasanya dapat diestimasi dengan tingkat ketelitian yang memadai berdasarkan pengalaman sebelumnya dengan jenis bahan yang sama. Jika informasi ini tidak tersedia, perkiraan awal dapat digunakan. Jika perkiraan berat beton per meter kubik cukup akurat, proporsi campuran dapat disesuaikan dengan mudah untuk mencocokkan campuran percobaan.

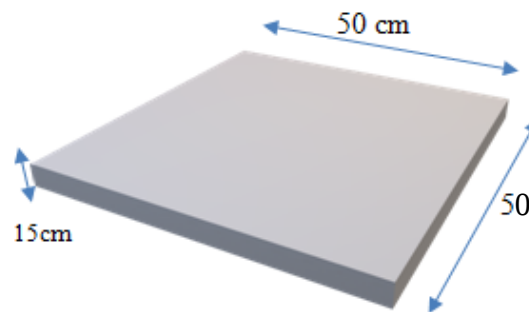
E. Prosedur Pembuatan Benda Uji

Setiap variasi faktor air semen (FAS) diuji tekan menggunakan setidaknya tiga sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk menguji permeabilitas beton, tiga sampel pelat dengan panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 150 mm digunakan untuk setiap variasi faktor air semen (FAS).

Jumlah dan jenis sampel dapat dilihat pada table berikut :

Kode	Uraian	Jumlah	Gambar/Sketsa
BPT5	Uji Kuat Tekan Beton Porous fas 0,35	3	
BPT6	Uji Kuat Tekan Beton Porous fas 0,5	3	
BPT7	Uji Kuat Tekan Beton Porous fas 0,6	3	

BPP5	Uji	
	Permeabilitas	
	Beton Porous	3
	fas 0,35	
BPP6	Uji	
	Permeabilitas	
	Beton Porous	3
	fas 0,5	
BPP7	Uji	
	Permeabilitas	
	Beton Porous	3
	fas 0,6	



F. Teknik Analisis Data

1. Persentase volume pori

Persentase volume pori dihitung dengan rumus berikut,

$$V_p(V_s - V_{po})/V_s \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Dimana,

V_p = Persentase volume pori(%)

V_s =volume silinder (liter)

V_{po} =volume pori (liter)

dan untuk mendapatkan V_{po} digunakan rumus berikut,

$$V_{po} = (W_a - W_w)/\gamma_w \dots\dots\dots(10)$$

dimana,

W_a =berat silinder di udara (kg)

W_w =berat silinder di air (kg)

γ_w =berat jenis air (1 kg/liter)

2. Pengujian Kuat Tekan

Saat membuat benda uji kuat tekan, beton berongga (beton segar) dilapisi dalam cetakan sebanyak tiga kali. Setiap lapisan dipadatkan dengan menusuk-

nusuk menggunakan besi tumpul berdiameter satu sentimeter sebanyak dua puluh lima kali, kemudian ditumbuk dengan balok kayu juga sebanyak dua puluh lima kali. Pengujian tekanan kuat dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari berdasarkan ASTM C39/C39M-01.

Kekuatan tekan beton mengacu pada kemampuannya untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Untuk menguji kekuatan tekan beton, sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan. Kekuatan tekan beton diukur setelah 28 hari dan diekspresikan dalam satuan Mpa. Selama 28 hari, beton disimpan dan dirawat pada suhu dan kelembaban yang konstan.

Beton memiliki kekuatan tekan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$f'c = \sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan Beton (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan sampel (mm²)

Menurut SNI 2847:2013, Untuk beton struktur, Kuat tekan $f'c$ tidak boleh kurang dari 17 MPa. Nilai maksimum $f'c$ tidak dibatasi kecuali bilamana dibatasi oleh ketentuan standar tertentu.

3. Perawatan Benda Uji

Kuat tekan FC beton struktur sesuai dengan SNI 2847:2013 harus setidaknya 17 MPa. Tidak ada batasan atas untuk nilai maksimum $f'c$ kecuali jika ketentuan standar tertentu membatasi nilainya.

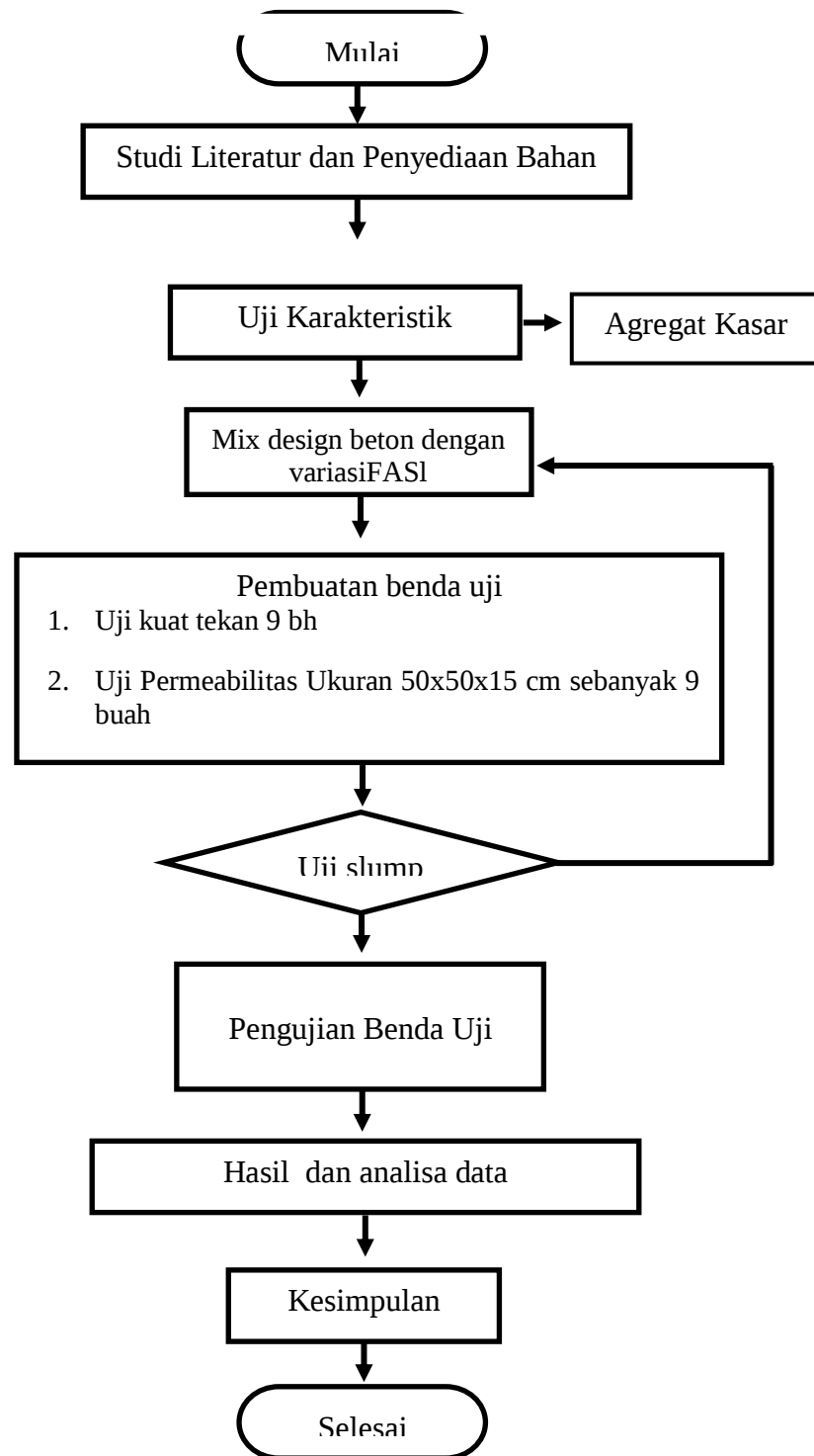
G. Komposisi Campuran Beton Porous

Untuk merencanakan campuran beton porous, dilakukan pengujian di laboratorium dengan metode trial-and-error, di mana berbagai bahan dicoba untuk menciptakan campuran dengan workability yang diinginkan. Setelah beberapa percobaan, rencana campuran yang paling cocok dipilih untuk membandingkan semen, agregat, dan air. Sebagai contoh, perbandingan campuran diambil sebagai berikut: 1 bagian semen, 6 bagian agregat, dan 0,6 bagian air.

Tabel 3. 1 Mix Design Beton Porous

Perbandingan mix design		
C:	A:	W
1	6	0.6
Komposisi dalam 1 m ³		
Semen	:0,14 m ³	
Agregat	:0,80 m ³	
Air	:0,01 m ³	

F. Bagan Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar diuji untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar berdasarkan pada SNI 8198:2015 tentang ketentuan agregat kasar. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Tabel 4. 1 Rekapitulasi pengujian agregat kasar

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	STANDAR SPESIFIKASI (SNI 8198:2015)	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0.5%	0.20%	0.35%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	29.3%	11.2%	20.3%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	0.76%	1.27%	1.01%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1.63	1.67	1.65	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1.76	1.80	1.78	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	2.25%	2.69%	2.47%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	2.59	2.72	2.65	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.45	2.53	2.49	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.50	2.60	2.55	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	7.12	6.95	7.03	Memenuhi

Dari pengujian agregat kasar diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar Lumpur

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar lumpur agregat kasar adalah 0,35%, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, dan berada di bawah batas 1%. Hal ini menandakan bahwa agregat kasar dapat digunakan dalam campuran beton tanpa perlu dicuci.

b. Keausan Agregat

Sebagai bahan campuran beton, agregat kasar dapat digunakan. Hasil pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin Los Angeles di atas menunjukkan nilai 20,3%, yang lebih rendah dari 50% (Standar Spesifikasi SNI 8198:2015).

c. Kadar Air

Agar agregat kasar dapat digunakan dalam campuran beton, pengujian kadar air menunjukkan hasil 1,01%, yang lebih rendah dari 2%.

d. Berat Volume

Sebagai bahan campuran beton, agregat kasar dapat digunakan. Hasil uji berat volume rongganya adalah 1,65, sedangkan uji berat volume padatnya adalah 1,78, dengan nilai keseluruhan tetap di antara 1,6 dan 1,9 kilogram per liter..

e. Penyerapan Air

Sebagai bahan campuran beton, agregat kasar dapat digunakan. Ini ditunjukkan oleh hasil pengujian penyerapan air agregat kasar di atas, yang menunjukkan hasil 2,47% dengan rentang nilai hingga 4 %.

f. Berat Jenis

Hasil uji berat jenis nyata adalah 2,65. Nilai berat kering adalah 2,49.

Agregat kasar dapat digunakan sebagai campuran beton karena berat jenis kering permukaannya adalah 2,55 dan nilai keseluruhan masih antara 1,6 dan 3,3..

g. Modulus Kehalusan

Menurut spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan adalah antara 6,0 dan 8,0. Hasil penelitian menunjukkan nilai 7,03, yang sesuai dengan spesifikasi tersebut. Oleh karena itu, agregat ini dapat digunakan dalam campuran beton.

B. Perencanaan Campuran Beton Porous (Mix Desain)

Untuk mengetahui proporsi campuran antara semen, agregat kasar, dan air dalam beton porous, dilakukan perencanaan mix desain. Metode yang digunakan adalah ACI 522 R Pervious Concrete. Data hasil penelitian kemudian digunakan sebagai berikut:

1. Data Material

Kadar Rongga Udara = 20 %

Berat volume lepas agregat kasar = 1,606

Berat volume padat agregat kasar = 1,889

Berat jenis semen = 3,05

fas rencana = 0,35

Berat jenis (SSD) agregat kasar = 2,55

Penyerapan agregat kasar = 2,47 %

2. Perhitungan

a. Jumlah agregat kasar yang digunakan

Tabel 4. 1 Hubungan nilai b/b_o (Sumber: ACI 522R-10)

Persen Agregat	b/b_o	
	ASTM C33/C33M Size No.8	ASTM C33/C33M Size No.67
0	0,99	0,99
10	0,93	0,93
20	0,85	0,86

$$\text{Berat volume lepas agregat kasar (b)} = 1,606 \text{ kg}$$

$$\text{Berat volume padat agregat kasar (b}_o\text{)} = 1,889 \text{ kg}$$

$$b/b_o = \frac{1,606}{1,889}$$

$$= 0,85018$$

$$\text{Berat agregat kasar} = \frac{b}{b/b_o}$$

$$= 1365,513 \text{ kg/m}^3$$

b. Berat agregat kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*)

$$\text{Penyerapan air agregat kasar} = 2,47 \%$$

$$\text{Berat penyerapan air} = \text{Penyerapan air} \times \text{Berat agregat kasar}$$

$$= 2,47 \times 1365,513$$

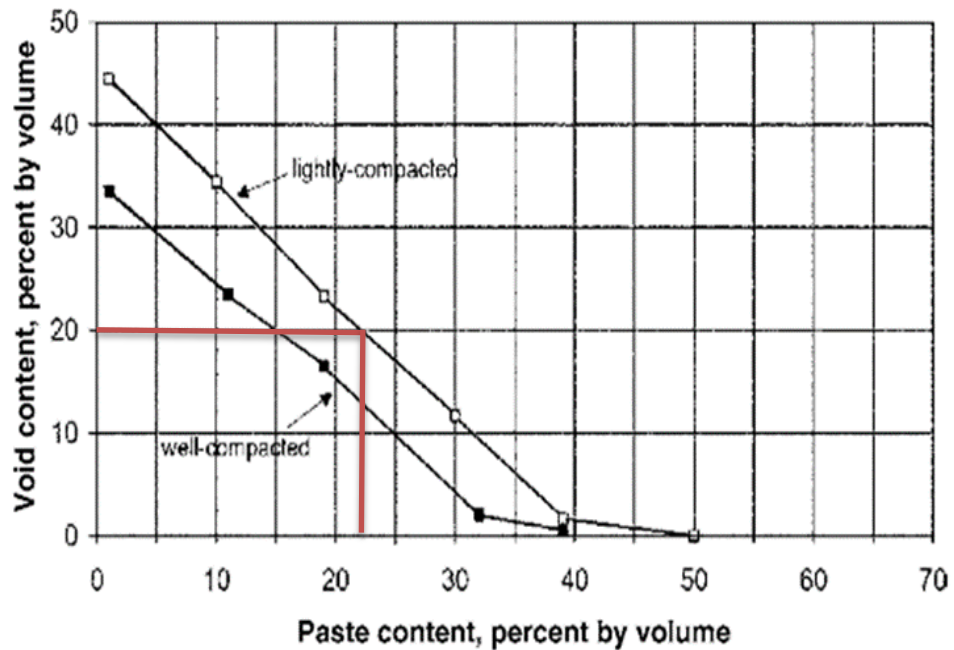
$$= 33,728 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat agregat SSD} = \text{Berat penyerapan air} + \text{Berat agregat kasar}$$

$$= 33,728 + 1365,513$$

$$= 1399,241 \text{ kg/m}^3$$

c. Penentuan volume pasta semen



Gambar 4. 1 Grafik Penentuan Volume pasta semen (sumber ACI 522R-10)

Kadar Rongga = 20 %

Kadar Pasta Semen = 22,3 %

Volume semen dalam adukan (V_p) = $0,223 \text{ m}^3$

d. Menentukan berat semen

fas rencana = 0,35

$$C = [(V_p / (3,15 + f_{as}))] \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C = [(0,223 / (0,315 + 0,35))] \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 340,458$$

Keterangan :

C = Semen

V_p = Volume semen dalam adukan

fas = faktor air semen

e. Menentukan berat air

$$W_{\text{semen}} = 340,5 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{air}} = W_{\text{semen}} \times \text{Faktor air semen}$$

$$= 340,5 \times 0,35$$

$$= 119,16 \text{ kg/m}^3$$

f. Menentukan volume padat tiap 1 m³ beton porous

$$1) \text{ Volume air} = 119,16 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,12 \text{ m}^3$$

$$2) \text{ Volume padat semen}$$

$$\frac{\text{berat semen}}{\text{berat jenis semen} \times 1000}$$

$$= \frac{340,5}{3,05 \times 1000}$$

$$= 0,11 \text{ m}^3$$

$$3) \text{ Volume absolute agregat}$$

$$\frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Berat SSD agregat kasar} \times 1000} = \frac{1365,5}{2,47 \times 1000} = 0,54 \text{ m}^3$$

Tabel 4. 2 Penentusan volume padat 1m³ beton (m³)

No	Penentuan volume padat tiap 1m ³ beton (m ³)	fas 0,35
1	Volume air	0,12
2	Volume padat semen	0,11
3	Volume absolute	0,54
4	Jumlah volume padat	0,77

g. Penentuan void tiap 1 m³ beton porous

$$\text{volume void} = 1,00 \text{ m}^3 - \text{Jumlah volume padat}$$

$$= 1,00 - 0,77$$

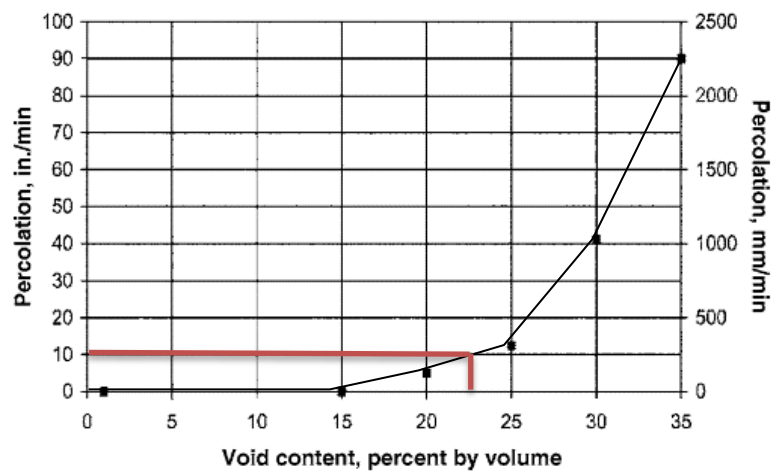
$$= 0,23 \text{ m}^3$$

$$\text{Persentase void} = (\text{volume void}) / (1,00 \times 100\%)$$

$$= 0,23 / (1,00 \times 100\%)$$

$$= 23\%$$

h. Cek perkiraan permeabilitas



Gambar 4. 2 Grafik permeabilitas (sumber: ACI 522R-10)

$$\text{Persen void} = 23\%$$

$$1 \text{ in./min} = 0,4233 \text{ mm/s}$$

$$\text{Percolation} = 10 \text{ in./min}$$

$$\text{permeabilitas} = \text{percolation} \times 0,4233$$

$$= 4,233 \text{ mm/s}$$

i. Komposisi mix desain

Tabel 4. 3 Komposisi mix desain

No	Komposisi mix desain 1 m ³ (kg)	fas 0,35
1	Berat semen	340,46
2	Berat air	119,160

3	Berat agregat kasar	1399,241
4	Total berat	1858,86

No	Komposisi mix desain 1 m ³ (kg)	fas 0,5
1	Berat semen	331,29
2	Berat air	165,644
3	Berat agregat kasar	1536,829
4	Total berat	2033,76

No	Komposisi mix desain 1 m ³ (kg)	fas 0,6
1	Berat semen	295,08
2	Berat air	177,049
3	Berat agregat kasar	1536,829
4	Total berat	2008,96

C. Nilai Slump

Pemeriksaan slump test bertujuan untuk mengevaluasi apakah ada perubahan dalam kadar air dalam campuran beton. Selain itu, nilai slump juga mencerminkan konsistensi dan workability (kemudahan dalam pengerjaan) beton sesuai dengan persyaratan tertentu. Beton dengan nilai slump yang tinggi menandakan bahwa pemadatan atau pengerjaan beton akan lebih sulit dan membutuhkan waktu yang lebih lama, sementara beton dengan nilai slump yang rendah memudahkan proses pengerjaan dan pemadatan tanpa memerlukan waktu yang lama.

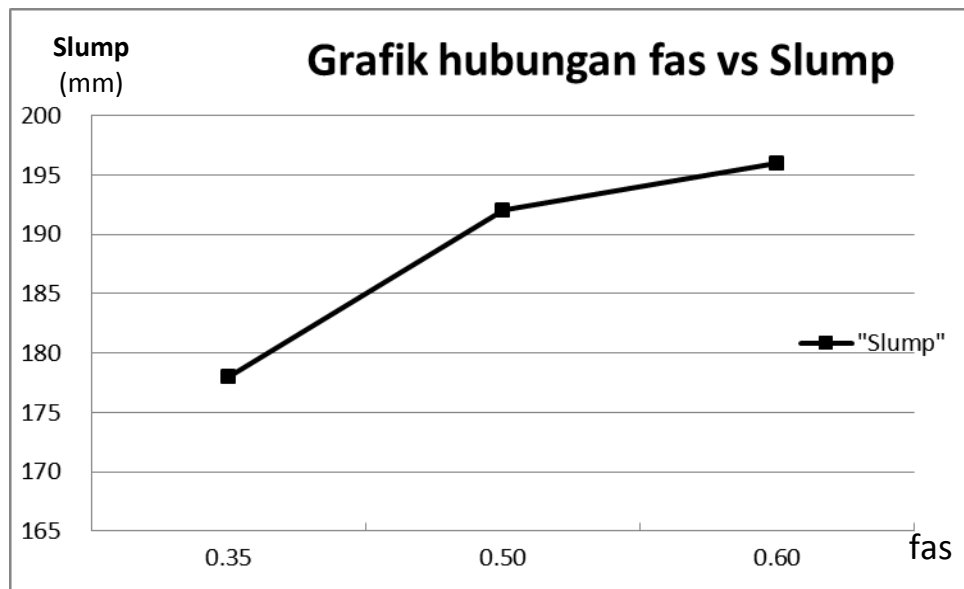
Sebelumnya, kepala abrams dibersihkan dan diletakkan di permukaan yang rata untuk melakukan pengujian slump. Kemudian, tiga lapisan beton segar

dituangkan ke dalamnya, dengan setiap lapisan mengisi 1/3 volume kerucut abrams dan kemudian ditusuk dua puluh lima kali. Setelah pengisian selesai, permukaan atas kerucut diratakan. Dalam waktu sekitar tiga puluh detik, kerucut diangkat secara perlahan ke posisi vertikal. Selanjutnya, Anda dapat mengukur slump dengan membandingkan tinggi campuran yang tumpah dengan tinggi kerucut.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian nilai Slump test
(Sumber: Hasil olah laboratorium 2023)

No.	Variasi nilai fas	Perawatan (Hari)	Waktu campur (menit)	Slump (mm)
1	0,35	28	± 10	178
2	0,5	28		192
3	0,6	28		196

Berdasarkan tabel 4.5 diatas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai *Slump test* untuk masing-masing variasi fas. Dimana pada varian fas 0,35 didapatkan nilai *Slump test* sebesar 178 mm, pada varian fas 0,5 didapatkan nilai *Slump test* sebesar 192 mm, sedangkan pada varian fas 0,6 didapatkan nilai *Slump test* sebesar 196 mm. selanjutnya data pengukuran slump untuk masing-masing variasi fas disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Perbandingan nilai slump terhadap variasi fas

Workability atau kemampuan pasta beton menyesuaikan dengan bentuk cetakan diukur menggunakan hasil uji slump, dimana semakin besar nilai slump suatu pasta beton, maka workabilitinya semakin baik. Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 di atas, diperoleh gambaran hubungan antara nilai fas dengan workability, bahwa semakin besar nilai fas beton porous bergradasi seragam, maka workabilitinya semakin baik.

D. Kuat Tekan

Pada tahap penyelesaian dan perawatan, benda uji kemudian diuji dengan tekanan yang kuat. Setelah mencapai usia 28 hari, pengujian tekanan kuat dilakukan pada tiga sampel untuk setiap variasi campuran: beton porous dengan fas 0,35; fas 0,5; dan fas 0,6. Jenis sampel untuk kuat tekan menggunakan selinder dengan ukuran diameter 150mm dengan tinggi selinder 300 mm. Sebelum melakukan uji tekan kuat pada beton porous, benda uji ditimbang untuk setiap variasi untuk setiap variasi yang

akan dijadikan sampel uji dan memastikan kondisi sampel dalam keadaan SSD (Saturated Surfaces Dry atau Jenuh air-kering permukaan).

Hasil pengujian tekanan kuat terhadap beton porous fas 0,35, 0,5, dan 0,6 dengan perawatan 28 hari adalah sebagai berikut::

1. Beton Porous fas 0,35

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan pada beton Porous fas 0,35 yang didapat pada pengujian 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Rekap hasil kuat tekan beton Porous fas 0.35

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	28 Hari	9.270	100	5.662
2		9.035	135	7.643
3		9.080	90	5.096
Rata-rata		9.128	108	6.134

2. Beton Porous fas 0,5

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan pada beton Porous fas 0,5 yang didapat pada pengujian 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Rekap hasil kuat tekan beton Porous fas 0,5

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	28 Hari	9,675	90	5,093
2		9,870	100	5,659
3		9,530	80	4,527
Rata-rata		9,7	90,0	5,093

3. Beton Porous fas 0,6

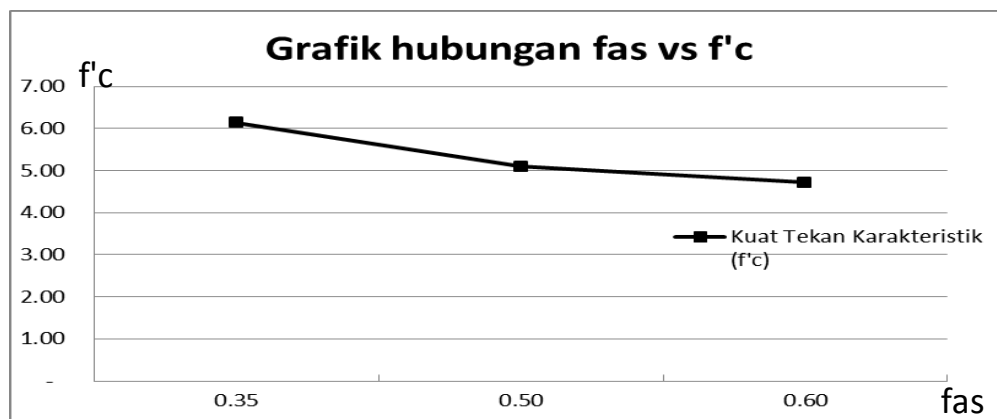
Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan pada beton Porous fas 0,6 yang didapat pada pengujian 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Rekap hasil kuat tekan beton Porous fas 0,6

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	28 Hari	9,530	75	4,244
2		9,965	90	5,093
3		9,990	85	4,810
Rata-rata		9,8	83,3	4,716

Tabel 4. 8 Rekap rata-rata hasil kuat tekan beton porous

No.	Variasi fas	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'_c (MPa)
1	fas 0,35	28Hari	9.128	108	6.134
2	fas 0,5		9.768	96.667	5.093
3	fas 0,6		9.402	88.333	4,716



Gambar 4. 4 Grafik hubungan fas terhadap f'_c beton porous

Grafik tersebut menunjukkan bahwa beton porous dengan fas 0,35 memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 6,13 MPa, sementara fas 0,50 memiliki kuat tekan rata-rata 5,47 MPa, dan fas 0,60 memiliki kuat tekan rata-rata 5,00 MPa.

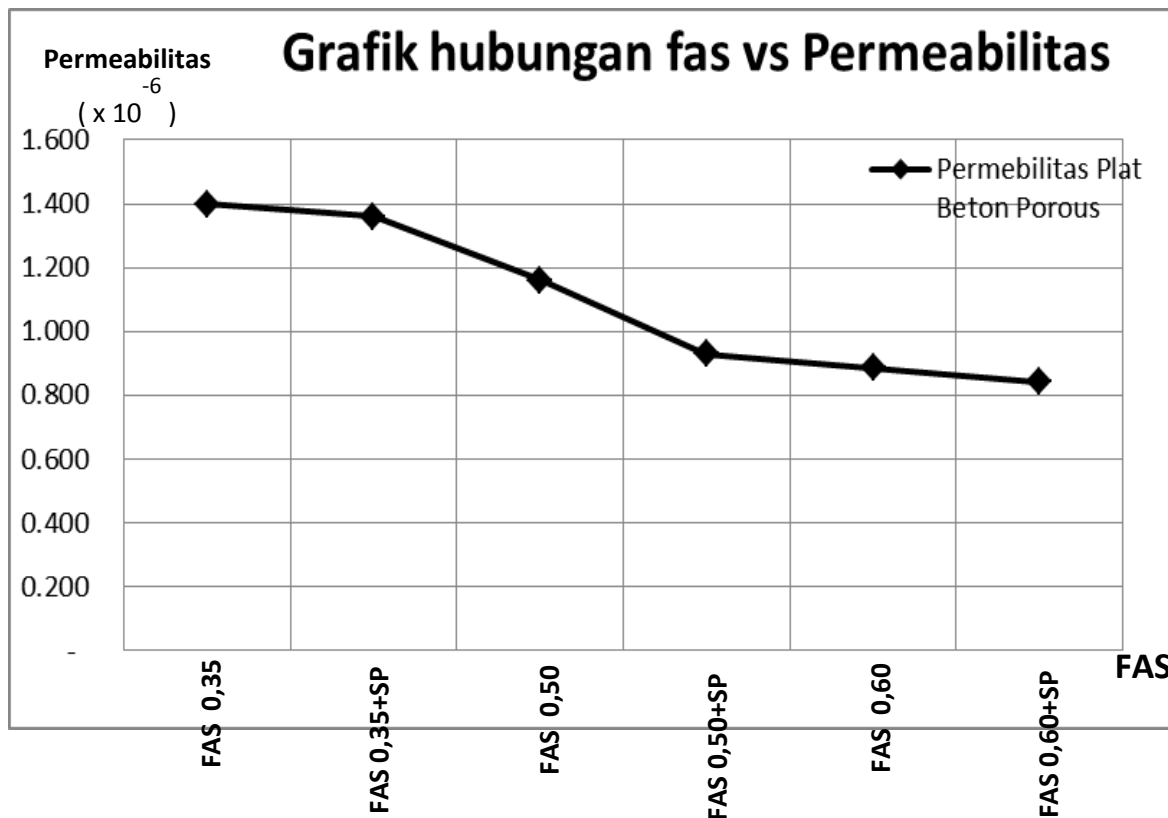
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Faktor Air Semen sangat memengaruhi kekuatan tekan beton porous. Dari Gambar 4.4, terlihat bahwa kekuatan tekan beton menurun seiring peningkatan nilai Faktor Air Semen. Hal ini disebabkan karena semakin besar nilai fas, semakin besar potensi air semen mengendap pada dasar cetakan sehingga pengikatan agregat oleh air semen semakin kurang efektif.

E. Permeabilitas Beton Porous

Setelah selesai pembuatan dan perawatan benda uji plat beton, dilakukan pengujian permeabilitas. Pengujian permeabilitas dilakukan setelah benda uji mencapai usia 28 hari, dengan enam sampel yang terdiri dari tiga variasi Faktor Air Semen pada beton porous yang menggunakan agregat gradasi seragam. Berikut adalah hasil pengujian permeabilitas beton porous:

Tabel 4. 9 Tabel Permeabilitas beton terhadap Variasi fas (Sumber : Pengolahan data

No.	Sampel	Luas Penampang (m2)	Tebal Sampel (m)	Tinggi Air Jatuh (m)	Tinggi Air (m)	Diameter Selang (m2)	Waktu Aliran (dt)	Debit Air (m3)	Koefisien Permeabilitas (m/dt)	Rata-rata
1	Fas 0,35	0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	34	2.42E-05	1.42E-06	0.0000014
2		0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	35	2.42E-05	1.38E-06	
3	Fas 0,35 + SP	0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	36	2.42E-05	1.34E-06	0.00000136
4		0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	35	2.42E-05	1.38E-06	
5	Fas 0,50	0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	41	2.42E-05	1.18E-06	0.000001165
6		0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	42	2.42E-05	1.15E-06	
7	Fas 0,50 + SP	0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	53	2.42E-05	9.11E-07	0.000000929
8		0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	51	2.42E-05	9.47E-07	
9	Fas 0,60	0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	55	2.42E-05	8.78E-07	0.000000886
10		0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	54	2.42E-05	8.94E-07	
11	Fas 0,60 + SP	0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	56	2.42E-05	8.63E-07	0.000000841
12		0.25	0.15	0.3	0.19	0.0127	59	2.42E-05	8.19E-07	



Gambar 4. 5 Grafik hubungan fas terhadap permeabilitas beton porous

Berdasarkan grafik pada gambar 4.5 Faktor air semen sangat berpengaruh terhadap nilai permeabilitas, hal ini dapat dilihat pada grafik di atas yang menunjukkan bahwa beton porous bergradasi seragam dengan nilai fas yang sangat besar dapat menyebabkan air-semen mengendap di dasar cetakan sehingga dasar pelat menjadi kedap air sehingga permeabilitas menjadi kurang efektif. Adapun penggunaan cairan SP pada pembuatan beton porous bergradasi seragam, menyebabkan percepatan perkerasan beton pasca pengecoran, tetapi cenderung meningkatkan workability, sehingga untuk nilai fas yang sama permeabilitas beton porous tanpa SP lebih baik dari pada beton porous yang menggunakan SP.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan atas penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Capaian kuat tekan karakteristik beton (f'_c) dipengaruhi secara signifikan oleh faktor air semen (fas). Hubungan antara kuat tekan beton cenderung menurun seiring dengan peningkatan nilai fas. Hal ini disebabkan karena semakin besar nilai fas, semakin besar potensi air semen mengendap pada dasar cetakan sehingga pengikatan agregat oleh air semen semakin kurang efektif.
2. Faktor air semen (fas) sangat berpengaruh terhadap nilai permeabilitas. Semakin besar nilai fas, maka semakin kecil tingkat daya rembes (permeabilitas) beton porous gradasi seragam, hal ini disebabkan endapan air semen pada dasar plat. Penggunaan *super plasticizer* (SP) pada beton porous mempercepat waktu setting, tetapi tidak memperbaiki kemampuan permeabilitas.

B. Saran

1. Disarankan penelitian selanjutnya menggunakan bahan additive *plasticizer* untuk menghasilkan mutu beton yang lebih maksimal dengan nilai fas yang lebih kecil dari 0,35; mengingat bahwa bahan *plasticizer* bersifat *water redicer* sehingga tidak membutuhkan air workability.

2. Metode pembuatan sampel (benda uji) sebaiknya mempertimbangkan efek pengendapan air semen pada dasar plat.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep Kurnia Hidayat. Dkk (2020) Analisis Kuat Tekan dan Laju Infiltrasi pada Beton Porous K-200 dengan Tambahan Sika Fume, Vol 4, No 1
- ASTM C192/C192M-02, Praktik standar pembuatan dan perawatan benda uji Beton di laboratorium.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. SNI 1974:2011; *Cara uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- Gina, M. B., & Amalia, A. (2019). Kualitas Beton Berpori Dengan Bahan Tambah Silica Fume Sebagai Bahan Perkerasan Kaku Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(1).
- Ginting, A. (2015). Kuat tekan dan porositas beton porous dengan bahan pengisi styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 76–98.
- JIS A, 1999. Metode Pengujian Lentur Lentur Beton Suplemen : Menggunakan Balok Sederhana Dengan Pembebanan Titik Pusat. Asosiasi Standar Jepang, Tokyo.
- Kobayashi Tetsuo, Kagata Mamoru, Kodama Takayoshi, Itou Masaaki, 2001, Pengembangan perkerasan beton permeabel hibrida yang ramah lingkungan, *Jurnal Beton*, Vol.39, No.3, pp-36-43. (dalam bahasa Jepang)
- M. Maknun (2010), Pengaruh Perendaman dan Pengeringan terhadap Kuat Tekan Beton Berongga yang Menggunakan Semen Portland Komposit dan Serat Monofilament Polypropylene Simposium, XIII FSTPT, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, 9 Oktober 2010.
- M. W. Tjaronge, B. Bakri, Arifuddin dan D. Patah, (2010): Studi Eksperimental Kuat Tarik Beton Berpori yang Mengandung Semen Komposit Portland, Prosiding The 1st Makassar International Conference on Civil Engineering MICCE 2010, pp.273-276, Jurusan Teknik Sipil Hasanuddin, Makassar, ISBN 978-602-95227-0-9.
- M. W. Tjaronge, R. Irmawaty, D. Gunawan dan H. Kaselle, (2010), Kuat tarik beton berpori dengan serat polipropilin mikro monofilamen dan semen komposit portland, Prosiding The 1st Makassar International Conference or.
- Megasari, S. W., Yanti, G., & Zainuri, Z. (2020). Hubungan Karakteristik Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar.

- Miyamoto Takahide. dkk (2001), Studi Eksperimental Metode Produksi Beton Berpori -kemampuan alir dan kekompakan pasta semen, 407-408
- Muhammad Wihardi Tjaronge, (2007), Modulus kuat tekan dan elastisitas beton berpori yang mengandung semen portland pozzolan, Proceeding of The Ist International Conference of EACEF (European Asian Civil Engineering Forum), pp.D85D90, Universitas Pelita Harapan, Jakarta.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5)
- Prosiding Seminar Nasional Pakar*, 1–17. Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- S. Antiohos dan S. Tsimas (2005), Menyelidiki peran silika reaktif dalam mekanisme hidrasi sistem fly ash/semen berkalsium tinggi, *Semen dan Komposisi Beton*, Vol.27, Edisi 2, pp.171-181.
- S. L. Suhaendi, M. Sudo dan T. Horiguchi, (2006), Optimalisasi serat polipropilena untuk beton mutu tinggi pada kondisi suhu tinggi, *Prosiding Konferensi Asia-Pasifik Kesepuluh tentang Rekayasa Struktural & Konstruksi (EASEC10)*, hlm. 467- 472
- Shanti Wahyuni Megasari,Gusneli Yanti,Zainuri Zainuri. (2020) Hubungan Karakteristik Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar
Published: Apr 5
- Tjokrodimuljo, K. 1992. *Beton Non-Pasir Dengan Agregat Dari Pecahan Genteng Keramik*. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.