

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan pembangunan konstruksi di Indonesia terutama di kota-kota besar saat ini semakin pesat. Seperti pembangunan prasarana jalan yang sebagian besar berupa aspal atau beton yang tidak dapat menyerap air seperti tanah, jika ditambah drainase yang tidak berfungsi dengan baik, hal ini membuat air tergenang di jalan dan jika dibiarkan dalam jangka waktu yang lama dengan intensitas curah hujan yang tinggi yang berlangsung panjang, maka beresiko menimbulkan banjir.

Salah satu masalah yang masih banyak ditemukan di wilayah Kabupaten Barru ketika musim hujan terjadi adalah genangan air di permukaan jalan yang dapat menyebabkan berkurangnya kualitas lingkungan dan mengganggu aktivitas lalu lintas daerah setempat, dengan diaplikasikannya beton porous pada bahu jalan maka limpasan air dari jalan diharapkan akan terserap ke dalam tanah, dan dapat mengurangi debit air pada saluran drainase.

Sungai Desa Bojo Kabupaten Barru mempunyai deposit material yang cukup melimpah, sumbernya yang dekat dan terjangkau sehingga dapat diperoleh dengan mudah menjadi sebab umumnya bagi masyarakat setempat memilih menggunakannya meskipun perbandingan mutu beton yang dihasilkan belum diketahui. Karena itu material tersebut harus diteliti lebih lanjut di laboratorium agar dapat mengetahui sifat dan karakteristik material sebagai upaya meningkatkan kualitas beton yang dimaksudkan untuk menjawab tuntutan yang semakin tinggi

terhadap pemakaian beton.

Secara garis besar, agregat kasar digolongkan menjadi dua jenis, yaitu agregat buatan dan agregat alami. Agregat buatan atau batu pecah berasal dari agregat alami yang memiliki permukaan kasar dan bersudut, terbentuk dengan adanya campur tangan manusia dengan cara diolah terlebih dahulu menggunakan alat pemecah batu. Agregat alami berbentuk bulat dan memiliki permukaan yang relatif lebih halus dan licin dibandingkan dengan agregat buatan karena pengikisan oleh air. Partikel agregat yang bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan *interlocking* yang lebih kecil. Selain itu, rongga yang dihasilkan oleh agregat ini sangatlah besar karena memiliki bentuk yang relatif bulat dan tidak memiliki sudut seperti agregat buatan.

Gradasi adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Jika butir agregat memiliki ukuran yang sama (seragam) maka volume pori besar. Jika butir agregat memiliki ukuran bervariasi maka volume pori kecil, karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga porinya sedikit dan kemampatannya tinggi. Gradasi seragam adalah gradasi yang memiliki ukuran sama atau seragam, sedangkan gradasi menerus adalah gradasi yang memiliki semua ukuran butir dan terdistribusi dengan baik (Tjokrodinuljo, 1996).

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul *“Perbandingan Kuat Tekan Beton Porous Menggunakan Agregat Alami dan Agregat Batu Pecah Berdasarkan Tinjauan Ukuran Butir”*

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari variasi ukuran agregat alami dan agregat batu pecah terhadap kuat tekan beton porous?
2. Berapa persentase besar porositas pada beton porous menggunakan agregat batu pecah dan batu alami berdasarkan ukuran butir?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh dari variasi ukuran agregat alami dan agregat batu pecah terhadap kuat tekan beton porous.
2. Untuk mengetahui persentase besar porositas pada beton porous menggunakan agregat batu pecah dan batu alami berdasarkan ukuran butir.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Mutu beton yang direncanakan 2.8 - 28 MPa (ACI 522R-10).
2. Sampel agregat alami dan agregat batu pecah diambil dari desa Bojo Kabupaten Barru.
3. Ukuran butir agregat yang digunakan 0,5 – 1 cm dan 1 – 2 cm.
4. Jenis semen yang digunakan adalah semen Tonasa PCC.
5. Bentuk benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm.

6. Pengujian yang dilakukan pada beton porous adalah uji kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari sebanyak 36 sampel.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu menjaga kelestarian lingkungan dengan mengurangi betonisasi menggunakan beton konvensional, sehingga dapat menghindari kemungkinan bencana banjir yang merugikan masyarakat serta dapat pula meningkatkan kualitas air tanah karena terfiltrasi lewat beton porous.
2. Memberikan bahan kajian beton berpori mengenai perbandingan proporsi agregat kasar dengan perbedaan ukuran butir agregat terhadap kuat tekan dan porositas beton porous.
3. Sebagai pertimbangan dan masukan untuk penelitian selanjutnya.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan 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 dijelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, desain penelitian, populasi dan sampel penelitian, variabel penelitian, teknik pengumpulan data, dan bagan alur penelitian.

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

Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh penulisan, serta saran-saran yang dikemukakan berupa sumbangan pemikiran penulis tentang permasalahan tersebut di atas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Porous

Beton porous atau juga dikenal sebagai *porous concrete* adalah inovasi dalam konstruksi jalan yang ramah lingkungan. Material ini memiliki rongga udara di permukaannya yang memungkinkan air permukaan mengalir ke dalam tanah sehingga membantu mengatasi masalah peresapan air.

Beton porous adalah suatu material bergradasi seragam yang terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, bahan tambah, dan air. Kombinasi bahan-bahan ini ketika dituang, dipadatkan dan dirawat dengan benar, menghasilkan suatu bahan keras yang memiliki kekuatan sedang 2,8 hingga 28 MPa. Tingkat drainase dari perkerasan beton porous bervariasi sesuai ukuran agregat dan kepadatan campuran (ACI 522R-06).

Beton porous merupakan beton tidak normal, dikarenakan beton berpori dibuat dari jumlah air dengan pengawasan ketat dan bahan semen yang digunakan untuk menciptakan pasta berbentuk padatan yang menyelimuti sekitar butir agregat. Tidak seperti beton konvensional, campurannya tidak terdapat pasir. Tujuannya adalah menciptakan kandungan rongga udara yang banyak, antara 15 – 35% (ACI 522R-10).



Gambar 2. 1 Perbedaan Tekstur Permukaan Beton Berpori dengan Beton Normal
(Sumber: *Florida Concrete & Product Assosiation*)

Beberapa kelebihan dan kekurangan beton porous dalam (Khonado, dkk., 2019) antara lain:

Kelebihan Beton Porous:

1. Manajemen efektif untuk aliran air hujan.
2. Mengurangi kontaminasi di aliran air.
3. Mengisi kembali persediaan air tanah.
4. Mengurangi efek panas bumi.
5. Mengurangi suara ribut akibat interaksi antara ban dan jalan.

Kekurangan Beton Porous:

1. Pemakaian terbatas untuk kendaraan berat di lalu lintas padat.
2. Praktik konstruksi khusus.
3. Sensitif terhadap konten air dan kontrol dalam beton segar.
4. Kekurangan metode percobaan yang distandarisasi.
5. Perhatian khusus dan pemeliharaan dalam.
6. Desain untuk tipe tanah tertentu.
7. Perhatian khusus mungkin diperlukan untuk tanah dengan kandungan air tanah yang tinggi.

B. Bahan Material Penyusun Beton Porous

Berikut merupakan bahan penyusun pembuatan beton:

1. Semen *Portland Composite Cement* (PCC)

Semen adalah zat yang digunakan untuk merekatkan batu, bata merah, batako maupun bahan bangunan lainnya dengan campuran pasir. Semakin pesatnya perkembangan industri semen di Indonesia, ada beberapa tipe semen diproduksi yaitu *Ordinary Portland Cement*, *White Cement* dan semen tipe PCC (*portland composite cement*).

Semen PCC atau *portland composite cement* adalah semen portland yang masuk kedalam kategori *blended cement* atau semen campur. Semen campur ini dibuat atau didesain karena dibutuhkan sifat-sifat tertentu yang mana sifat tersebut tidak dimiliki oleh semen portland tipe I. Untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada semen campur maka pada proses pembuatannya ditambahkan bahan aditif seperti *pozzolan*, *fly ash*, *silica fume*.

Sebagai upaya untuk menghemat biaya produksi, mengurangi eksploitasi alam akibat penambangan bahan baku semen serta untuk mengatasi permasalahan lingkungan, telah dikembangkan jenis semen portland khusus, yaitu semen portland komposit (PCC). Semen PCC merupakan perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik (BSN, 2004). Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi, *pozzolan*, senyawa silikat dan batu kapur. Adanya perbedaan bahan dasar yang digunakan untuk memproduksi semen PCC tentunya jenis semen tersebut akan memiliki karakter yang berbeda

dibandingkan dengan semen Portland tipe I. Dari penelitian terdahulu menunjukkan bahwa proporsi kenaikan kekuatan dan modulus elastisitas dari 3 hari sampai 90 hari dengan semen PCC relatif sama dengan semen tipe 1 (Mustaqim, 2014) sedangkan untuk meningkatkan kekuatan beton dengan semen PCC agar sama dengan semen PC dapat digunakan *additive* (Istigfar et.al, 2014) yang menunjukkan bahwa kekuatan beton semen PCC lebih rendah daripada beton semen PC dan dapat menggunakan aditif untuk meningkatkannya.

Bahan Baku *Portland Composite Cement*

Portland cement memiliki tekstur berupa serbuk halus, dihasilkan dengan cara menggiling terak/clinker yang mengandung senyawa kalsium silikat dan gypsum sebagai tambahan.

Ada beberapa senyawa yang dibutuhkan dalam pembuatan *portland cement*, yaitu kalsium oksida (CaO), silikon oksida (SiO_2), alumunium oksida (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Senyawa-senyawa tersebut dapat diperoleh dari beberapa bahan mentah dan bahan tambahan.

Bahan mentah *portland cement* adalah sebagai berikut:

- Batu kapur

Di dalam batu kapur terdapat kandungan kalsium oksida sebesar 50%.

- Batu silika

Merupakan sumber silisium oksida, alumunium oksida, dan oksida besi dengan persentase masing-masing sebesar 65%, 17%, dan 7%.

- Tanah merah

Tanah merah memiliki kandungan alumunium oksida sebesar 29% dan oksida besi 10%.

Bahan tambahan *portland cement* adalah pasir besi dan gypsum. Pasir besi berguna untuk sebagai flux pada pembakaran dan memberikan warna hitam pada semen. Sedangkan gypsum ditambahkan untuk memperbaiki sifat dan kualitas semen.

Keunggulan semen PCC, adalah merupakan material konstruksi yang masuk daftar Produk Hijau dari *Green Listing Indonesia* yang dikeluarkan oleh *Green Building Council Indonesia*. Semen PCC termasuk material ramah lingkungan karena sebagai berikut:

- a. Dalam proses produksi PCC, penggunaan bahan bakar dapat berkurang sampai sekitar 20%, dengan menggunakan material komposit sebagai pengganti sebagian klinker.
- b. Substitusi sebagian klinker dengan material komposit ini juga dapat mengurangi potensi emisi gas CO₂.
- c. PCC juga menggunakan waste material seperti *slag* dan *fly ash* sebagai komposit pengganti klinker.
- d. PCC diproduksi dengan teknologi penangkapan debu mutakhir, sehingga menekan potensi pencemaran udara jauh dibawah ambang batas yang telah ditentukan.
- e. Produksi PCC menggunakan sebagian Bahan Bakar alternative terbarukan, seperti sekam padi, serbuk gergaji, limbah ban bekas dan lainnya, untuk mensubstitusi batu bara.

- f. PCC dirancang untuk memiliki durabilitas yang tinggi, tahan terhadap sulfat, panas hidrasi rendah, dan memiliki kekedapan tinggi sehingga mampu menopang ketahanan bangunan lebih lama.
- g. PCC dikemas dengan menggunakan material kantong yang dapat di-*recycle* dan terbebas dari racun berbahaya.
- h. 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 (*Indocement*, 2018). Selain itu semen PC relatif lebih sulit dicari di pasaran, maka perlu rekomendasi atas penggunaan semen PCC sebagai realisasi *Green Construction* di Indonesia (Mochtar, 2017) dengan efektifitas kekuatan dan biaya material per meter kubik betonnya.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan material pengisi adukan beton. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (*SNI 03-2847-2019*), menyatakan bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm. agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pecahan batu. Menurut *SK SNI-04-1989-F*, persyaratan umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut ini:

- 1) Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pecahan batu.

- 2) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
- 3) Agregat kasar bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung kadar lumpur lebih 1% apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.

Agregat untuk pembuatan beton memiliki ukuran dan bentuk yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah suatu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini terdapat istilah *roundness* yang merupakan ukuran relatif yang besarnya sudut-sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Dalam kasus *crushed* agregat, bentuk dari agregat tergantung pada kondisi alami dari batu induk dan juga tipe penghancurannya serta rasio reduksinya, yaitu rasio ukuran dari material yang dimasukkan ke dalam alat penghancur dengan agregat yang dihasilkan.

Klasifikasi dari bentuk agregat pada umumnya adalah *Well rounded*, bentuk asli dari batuan induk sudah tidak ada dan *Rounded*, bentuk asli batuan induk sudah hampir hilang. Untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar dapat dilakukan dengan melakukan pengujian berat jenis, penyerapan air pada agregat, pengujian analisa saringan, dan pengujian abrasi atau keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*.

Berikut pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

a. Analisis gradasi butiran agregat kasar (SNI 03-1968-1990)

- 1) Tujuan pengujian

Tujuan pengujian gradasi butiran agregat adalah sebagai berikut.

- a) Mengetahui daerah gradasi agregat yang nantinya berfungsi dalam pembuatan *mix design* beton.
- b) Mengetahui nilai modulus halus butir agregat tersebut.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butir dari suatu agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran butir yang sama (seragam) maka volume porinya besar dan mampatannya rendah. Sebaliknya, apabila ukuran butirnya bervariasi maka volume porinya rendah dan manfaatannya tinggi. Maka dari itu, hal tersebut memerlukan pemeriksaan gradasi agregat dalam pembuatan beton. Modulus Halus Butir (*fineness modulus*) ialah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus halus butir (MHB) ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi dengan seratus. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya.

2) Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian gradasi butiran agregat sebagai berikut.

- a. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2 % dari berat benda uji.
- b. Saringan untuk agregat kasar dengan ukuran 1 ½"; 1", ¾" 3/8, No.4.
- c. Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk pemanasan sampai (110 + 5)°C
- d. Alat pemisah contoh (sample splitter)
- e. Mesin penggetar saringan (*Sieve Shaker*)
- f. Kerikil 2000 gram
- g. Talam-talam

h. Kuas, sikat kuning, sendok dan alat-alat lain

3) Prosedur percobaan

- a. Ambil contoh agregat dengan cara perempat sebanyak 2000 gram.
- b. Oven selama 24 jam.
- c. Timbang agregat kering oven sebanyak 2000 gram kondisi suhu kamar.
- d. Timbang saringan satu persatu, lalu susun menurut ukuran saringan. Mulai dari pan, lubang saringan terkecil dan seterusnya sampai lubang saringan terbesar.
- e. Masukkan benda uji pada saringan teratas kemudian tutup. Pasang saringan pada mesin saringan lalu hidupkan motor pengguncang selama 15 menit.
- f. Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan debu-debu mengendap.
- g. Buka saringan tersebut, kemudian timbang masing-masing saringan beserta isinya.
- h. Hitung berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan.
- i. Hitung persentase berat tertahan, kumulatikan untuk mendapatkan faktor kehalusan.
- j. Hitung persentase lolos.
- k. Plot ke dalam grafik hasil perhitungan lolos.

4) Analisis perhitungan

Perhitungan untuk pengujian gradasi butiran agregat digunakan rumus-rumus sebagai berikut.

a. Persen Berat Tertahan

$$= \frac{\text{Berat Tertahan per Nomor Saringan (gram)}}{\text{Jumlah Berat Total (gram)}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

b. Modulus Halus Butir (MHB)

$$= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan Kumulatif (\%)}}{\text{Jumlah Berat Tertahan (\%)}} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk menghitung nilai MHB tidak perlu memasukkan nilai berat tertahan yang ada pada Pan.

Tabel 2. 1 Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar (*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

Ukuran Saringan	Persentase Berat Bagian Yang Lewat Ayakan					
	Zone 1		Zone 2		Zone 3	
	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
1	100	95	100	100	100	100
$\frac{3}{4}$	70	30	100	95	100	90
$\frac{3}{8}$	35	10	55	25	85	40
4	5	0	10	0	10	0

b. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (ASTM C128-01/SNI 03-1970-1990)

1) Tujuan Percobaan

Tujuan pengujian pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air sebagai berikut.

- Mengetahui nilai berat jenis curah agregat kasar.
- Mengetahui nilai berat jenis jenuh kering muka agregat kasar.
- Mengetahui nilai berat jenis semu / tampak agregat kasar
- Mengetahui persentase penyerapan air pada agregat kasar.

Kerikil mempunyai sifat-sifat tersendiri terhadap beratnya, yang tergantung pada kekasaran permukaan, bentuk butir maupun tingkat basahnya. Oleh karena itu,

untuk kerikil dikenal berat jenisnya, berat satuan, maupun berat jenuh kering muka.

Contoh Kerikil yang tertahan pada lubang ayakan 4,8 mm sebanyak 5000 gram.

2) Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sebagai berikut.

- a) Timbangan dengan ketelitian 0,1% dari berat kerikil.
- b) Oven dengan suhu sekitar 105°C.
- c) Keranjang kawat dengan ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm dengan kapasitas kira-kira 5 kg.
- d) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan.
- e) Kerikil 5000 gram.

3) Prosedur percobaan

Prosedur pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sebagai berikut.

- a) Ambil kerikil sebanyak 5000 gram.
- b) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau kotoran yang ada pada butir-butir kerikil.
- c) Masukkan kerikil ke dalam tungku pada suhu 105°C sampai beratnya tetap.
- d) Dinginkan benda uji sampai pada temperatur kamar (± 3 jam), kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (b_k).
- e) Rendam benda uji dalam temperatur kamar selama ± 24 jam.
- f) Ambil benda uji dari dalam air, kemudian lap dengan kain sampai kondisinya jenuh kering muka.

- g) Timbang benda uji jenuh kering muka (b_j).
 - h) Masukkan kerikil ke dalam keranjang kawat, kemudian guncangkan agar udara yang tersekap keluar. Lalu timbang dalam air (B_a).
- 4) Analisis perhitungan

Perhitungan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar digunakan rumus-rumus sebagai berikut.

a) Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) = $\frac{B_k}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (3)$

b) Berat jenis jenuh kering muka (*saturated surface dry*) = $\frac{B_j}{B_j - B_a} \dots (4)$

c) Berat jenis tampak (*apparent spesific gravity*) = $\frac{B_k}{B_k - B_a} \dots \dots \dots (5)$

d) Penyerapan air agregat kasar (kerikil) = $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$

c. Pemeriksaan Kadar Lumpur (ASTM C117-95/SNI 03-4142-1996)

1) Tujuan Penelitian

Tujuan dalam pengujian ini yaitu untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada agregat halus (pasir) atau agregat kasar. Lumpur adalah gumpalan atau lapisan yang menutupi permukaan agregat dan lolos ayakan No. 200. Kandungan kadar lumpur pada permukaan butiran agregat akan mempengaruhi kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga akan mengurangi kekuatan dan ketahanan beton

2) Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian pemeriksaan kandungan lumpur sebagai berikut.

- a) Timbangan,
- b) Saringan no. 200,

- c) Nampan tempat penampung dan pencuci pasir,
- d) Tungku pengering dengan suhu sekitar 105°C,
- e) Air.

3) Prosedur Percobaan

Prosedur pelaksanaan pengujian pemeriksaan kandungan lumpur sebagai berikut.

- a) Oven kerikil sebanyak 1000 gram selama 24 jam.
 - b) Setelah 24 jam, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering.
 - c) Setelah ditimbang cucilah kerikil dengan cara :
 - 1) Masukkan kedalam saringan no. 200 dan diberi air pencuc secukupnya, sehingga benda uji terendam.
 - 2) Guncang-guncangkan saringan tadi selama ± 5 menit.
 - 3) Ulangi prosedur 3a dan 3b diatas, hingga air pencuci menjadi jernih (lumpur hilang).
 - d) Setelah dicuci dikeringkan lagi dengan oven selama 24 jam dengan suhu 100°C.
 - e) Setelah dioven, timbang kembali kerikil tersebut untuk mendapatkan berat kering.
- ### 4) Analisis hitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Dimana: A = berat kering sebelum dicuci (gram)

B = berat kering setelah dicuci (gram)

d. Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi *Los Angeles* (SNI 2417:2008)

1) Tujuan Penelitian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui ketahanan aus kerikil/batu pecah yang berhubungan dengan kekerasan dan kekuatan. Ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) diperiksa dengan menggunakan percobaan abrasi Los Angeles (*Abrasion Los Angeles Test*). Pengujian ini memberikan gambaran yang berhubungan dengan kekerasan dan kekuatan kerikil, serta kemungkinan terjadinya pecah butir-butir kerikil selama penumpukan, pemindahan, maupun selama pengangkutan. Kekerasan kerikil berhubungan pula dengan kekuatan beton yang dibuat. Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian ketahanan aus ini berupa persentase antara berat bagian yang halus (lewat lubang ayakan 2 mm) setelah pengujian dan berat semula sebelum pengujian. Makin banyak yang aus makin kurang tahan keausannya.

2) Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles sebagai berikut.

- a) Mesin abrasi Los Angeles.
- b) Saringan no. 12 dan saringan-saringan lainnya.
- c) Timbangan dengan ketelitian 0,1 % terhadap berat contoh.
- d) Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram.
- e) Oven dengan suhu $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

f) Alat bantu pan dan kuas.

3) Prosedur pengujian

- a) Ambil benda uji (kerikil) yang akan diperiksa, lalu cuci sampai bersih.
- b) Keringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C.
- c) Ambil sampel sebanyak 5000 gram.
- d) Masukkan sampel pada drum abrasi beserta bola baja.
- e) Tutup kembali drum abrasi.
- f) Atur angka pada counter sesuai jumlah putaran yang diinginkan.
- g) Tekan tombol start, sehingga drum berputar.
- h) Setelah drum berhenti, pasang talang dibawah drum.
- i) Buka tutup tekan tombol inching sehingga drum terbalik, sehingga agregat dan bola baja tertampung pada talang.
- j) Saring agregat dengan saringan no. 12 dan agregat yang tertahan dicuci sampai bersih.
- k) Keringkan dengan oven selama 24 jam.
- l) Timbang berat keringnya.

4) Analisis perhitungan

Perhitungan untuk pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles digunakan rumus-rumus sebagai berikut.

$$1. \text{Keausan I} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

$$2. \text{Keausan II} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

$$3. \text{Keausan rata -rata} = \frac{\text{Keausan I} + \text{Keausan II}}{2} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

a = Jumlah berat (gram)

b = Berat tertahan saringan no. 12 sesudah percobaan (gram)

3. Air

Air merupakan bahan campuran yang sangat penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, perawatan beton dengan cara pembasahan (*curing*) setelah dicor (Tjokrodinuljo, 1996).

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, akan tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta, sehingga membuat beton menjadi lecek (*workable*) (Subakti, 1994).

Fungsi dari air untuk membasahi agregat dan memberi kemudahan dalam pengerjaan namun penggunaan air juga dapat berpengaruh pada kuat tekan beton. Penggunaan Faktor Air Semen (FAS) yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air sehingga mengakibatkan pada saat kering beton mengandung banyak pori udara yang berdampak pada kuat tekan beton yang rendah.

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan

penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap:

- a. Sifat *workability* adukan beton.
- b. Besar kecilnya nilai susut beton.
- c. Kelangsungan reaksi dengan semen Portland, sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu.
- d. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

C. Slump Test

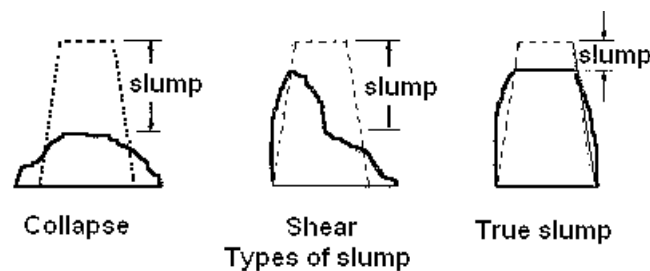
Tujuan pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh besar kecilnya nilai slump pada beton segar.
- b. Mengetahui pengaruh nilai slump terhadap mutu beton.

Uji Slump adalah suatu uji empiris/metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi/kekakuan (dapat dikerjakan atau tidak) dari campuran beton segar (*fresh concrete*) untuk menentukan tingkat *workability* nya. Kekakuan dalam suatu campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan. Untuk itu uji slump menunjukkan apakah campuran beton kekurangan, kelebihan, atau cukup air.

Bentuk slump akan berbeda sesuai dengan kadar airnya. Bentuk keruntuhan slump dapat diperlihatkan pada gambar 2.2. *Collapse* /runtuh, Keadaan ini disebabkan terlalu banyak air/basah sehingga campuran dalam cetakan runtuh sempurna. Bisa juga karena merupakan campuran yang *workability* nya tinggi yang diperuntukkan untuk lokasi pengecoran tertentu sehingga memudahkan pemadatan. Shear, Pada keadaan ini bagian atas sebagian bertahan, sebagian runtuh sehingga

berbentuk miring, mungkin terjadi karena adukan belum rata tercampur. True, Merupakan bentuk slump yang benar dan ideal. Jika pada saat uji slump bentuk yang dihasilkan adalah *collapse* atau *shear*, maka tidak perlu membuat campuran baru terburu-buru. Cukup ambil sampel beton segar yang baru dan mengulang pengujian.



Gambar 2. 2 Bentuk keruntuhan slump (*Sumber: Farid Miftah, 2011*)

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian slump sebagai berikut.

1. Corong berbentuk kerucut.
2. Batang baja.
3. Kaliper.
4. Alat-alat untuk membuat beton segar.
5. Penggaris.

Prosedur pelaksanaan pengujian slump sebagai berikut.

1. Basahi kerucut abrams, meletakkan ditempat basah, rata, teduh dan tidak menyerap air.
2. Isi kerucut dalam 3 lapis, masing-masing sepertiga dari volumenya.
3. Tusuk setiap lapis sebanyak 25 kali dan tidak boleh masuk ke permukaan beton sebelumnya.
4. Ratakan bagian atasnya dan membersihkan dari beton segar tercecer, setelah lapisan terakhir ditusuk.

5. Tunggu sekitar 30 detik, dan menarik kerucut tegak lurus vertikal dengan perlahan.
6. Letakkan tabung kerucut di samping beton segar tadi kemudian mengukur nilai slam yang terjadi menggunakan penggaris.
7. Ulang sebanyak dua kali, kemudian mencari nilai rata-rata untuk mendapat nilai.

D. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton menurut (*SK SNI 03-2834-2000*) adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton diawali oleh tegangan maksimum pada saat beton telah mencapai umur 28 hari. Beton yang dirancang harus memenuhi persyaratan kuat tekan rata-rata, yang memenuhi syarat berdasarkan data deviasi standar hasil uji kuat tekan untuk kondisi dan jenis konstruksi yang sama. Kuat tekan beton diawali oleh perbandingan kuat tekan maksimum dengan luas tampang silinder beton.

Pembuatan benda uji untuk kuat tekan adalah dengan cara memasukkan beton berongga yang masih segar (*fresh concrete*) secara tiga lapis ke dalam cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan cara menusuk-nusuknya dengan sebatang besi tumpul berdiameter 1 cm sebanyak 25 kali kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali dengan balok kayu. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 28 hari berdasarkan ASTM C39/C39M-01.

Menurut *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10 beton berpori mempunyai nilai tekan seperti pada tabel Berikut ini:

Tabel 2. 2 Kuat Tekan Beton Perpori, (*NRMCA, 2011 dan ACI 522r-10*)

Nilai	NRMCA, 2011 (MPa)	ACI 522R-10 (MPa)
Minimum	3,5	2,8
Maksimum	28	28

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima tekanan yang berupa gaya tekan per satuan luasnya. Kuat tekan beton dapat diketahui dengan pengujian dengan menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kuat tekan beton dapat diketahui dalam umur 28 hari dan dinyatakan dalam satuan MPa. selama 28 hari, beton disimpan dan dirawat dengan suhu dan kelembaban yang tetap.

Adapun kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dimana:

$f'_c = \sigma$ = Kuat tekan Beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan sampel (mm²)

E. Porositas

Porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu faktor utama yang

mempengaruhi kekuatan beton. Adapun rumus untuk menghitung nilai porositas berdasarkan ASTM C 642-06 dalam (Sultan, dkk., 2018) adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \dots\dots\dots(12)$$

Dengan:

A = berat sampel dalam air, *W water* (gram)

B = berat sampel kondisi SSD, *W saturation* (gram)

C = berat sampel kering oven, *W dry* (gram)

F. Kajian Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian yang sebelumnya yang telah dilakukan untuk menunjang proses penyelesaian serta sebagai bahan informasi maupun bahan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir.

1. **Samsul Nasrul dkk (2021)** Beton berpori merupakan beton yang mempunyai rongga sehingga dapat mengalirkan air dari atas permukaan kedalam 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,

2. **Muhammad Ridho dkk (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 diaplikasikan 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 telah 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.

3. **Monica Fransisca dkk (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. Variasi ini adalah variasi dengan komposisi ukuran agregat terbesar di antara ke 4 variasi yang ada, sehingga dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran agregat dalam campuran, maka semakin tinggi hasil kuat tekan. 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 permeabilitas karena rongga atau pori dari beton akan semakin besar dan banyak.

4. **Erma Desmaliana dkk (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 Batu jajar 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 15 x 30 cm untuk uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik

belah beton dan 1 benda uji beton silinder 10 x 20 cm untuk uji permeabilitas. Benda uji balok berukuran 15 x 15 x 60 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 direkomendasikan sebagai material struktur perkerasan pre-fabrikasi dengan dimensi yang relatif kecil untuk menghindari retak lentur.

5. **Jelyandri, dkk (2020)** Pesatnya penggunaan beton konvensional dalam pembangunan infrastruktur memberi pengaruh terhadap tata guna lahan, terutama terhadap daerah terbuka sebagai daerah resapan air hujan. Beton berpori merupakan inovasi yang dilakukan terhadap beton, agar air dapat menembus beton, meresap kedalam tanah, dan menjadi air tanah. Perbandingan

campuran (semen: agregat kasar) serta faktor air semen yang benar menjadi penentu bagi kualitas beton berpori baik terhadap porositas, permeabilitas dan kuat tekan. Maka dilakukan penelitian di laboratorium, untuk menganalisa rasio campuran beton berpori. Pada rasio campuran 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8. Diharapkan pada penelitian ini dihasilkan rasio campuran yang ideal dalam pembuatan beton berpori, agar dapat dimanfaatkan dan berdampak positif terhadap lingkungan. Berat jenis beton berpori ialah 1767,289 kg/m³, masuk kategori beton ringan. Porositas maksimum sebesar 30,67%, pada rasio campuran 1:8. Porositas minimum sebesar 10,57%, rasio campuran 1:4. Permeabilitas maksimum sebesar 1,38 cm/detik, rasio campuran 1:8. Permeabilitas minimum sebesar 1,08 cm/detik, rasio campuran 1:4. Kuat tekan maksimum sebesar 6,94MPa, rasio campuran 1:4. Kuat tekan minimum Sebesar 2,91MPa, rasio campuran 1:8. Porositas dan permeabilitas semakin meningkat, seiring meningkatnya rasio campuran beton berpori. Sedangkan kuat tekan semakin menurun, seiring meningkatnya rasio campuran beton berpori. Komposisi ideal pada rasio campuran 1;5 dengan nilai porositas 14,91% dan kuat tekan 6,10MPa. Kata kunci: Beton Konvensional, Beton berpori, Beton Ringan, Rasio Campuran, Porositas, Permeabilitas, Kuat Tekan, Komposisi Ideal.

6. **Dahlia Patah (2023)** Ukuran agregat merupakan faktor penting yang mempengaruhi kuat tekan beton berpori. Penelitian ini berfokus pada hubungan antara ukuran agregat, kuat tekan, struktur pori, permeabilitas dan kemudian memahami pengaruh ukuran agregat terhadap kuat tekan beton berpori. Sebanyak tiga ukuran agregat kasar 5-10 mm, 10-20 mm dan 20-30 mm

disiapkan. Pada penelitian ini dibuat dua variasi kombinasi agregat kasar. Variasi 1 untuk kombinasi agregat kasar ukuran 5–10 mm dan 10–20 mm. Variasi 2 untuk kombinasi ukuran agregat kasar 20–30 mm dan 10–20 mm. Untuk setiap variasi dengan kombinasi pencampuran 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, dan 0%:100%. Metode yang digunakan adalah pengujian kuat tekan, porositas, dan permeabilitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan komposisi 50%:50% pada Variasi 1 meningkat pesat dengan ukuran agregat 10-20mm dan 5-10mm dengan nilai 22,40 MPa yang memenuhi persyaratan minimum yang ditentukan oleh Standar Nasional Indonesia yaitu Kelas B (aplikasi taman parkir). Sedangkan penggunaan agregat ukuran 100% seragam memiliki kuat tekan yang rendah.

7. **Irene Vista Simanjuntak (2022)** Penggunaan beton tradisional yang berkelanjutan telah menghasilkan lapisan kedap air yang lebih tebal, mencegah air hujan masuk ke tanah dan meningkatkan limpasan permukaan. Akibatnya, permukaan air turun selama musim hujan, dan banjir terjadi. Salah satu inovasi untuk mengantisipasi atau mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan material terbaru seperti beton aerasi. Perkerasan beton permeabel dimaksudkan untuk mengurangi genangan air di jalan. Dengan menghilangkan agregat halus, beton berpori menjadi sederhana, beton ringan. Rongga yang saling berhubungan menghasilkan tingkat porositas yang tinggi. Beton berpori biasanya memiliki sedikit atau tidak ada agregat halus dan pasta semen yang cukup untuk melapisi permukaan agregat kasar. Karena porositas yang meningkat, kuat tekan beton yang tidak diampelas lebih rendah daripada

beton normal konvensional. Beton bebas pasir memiliki kekuatan tarik dan lentur yang jauh lebih rendah daripada beton konvensional. Dalam penelitian ini digunakan dua agregat kasar dengan ukuran nominal maksimum 12,5 mm dan 6,7 mm sebagai batuan split dengan bobot masing-masing 1,123 kg/m³ dan 2,63 kg/m³. Faktor air semen (FAS) 0,35 dan volume air 0,35 kg menggunakan semen Portland tipe 1 dengan kuantitas 389,6 kg/m³. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 80 mm dan tinggi 16 mm. Setelah mencelupkan benda uji ke dalam bak berisi air, masing-masing campuran memiliki tiga benda uji.

8. **Arusmalem Ginting dkk (2021)** Beton porous dapat digunakan sebagai sistem drainase untuk meresapkan air ke dalam tanah, mengurangi aliran permukaan air hujan, dan mengisi kembali air di bawah permukaan tanah. Beton porous adalah beton yang terdiri dari agregat kasar dan pasta semen. Sisa penambangan batu di sungai berupa kerikil ukuran tanggung yang sering disebut batu blondos belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan bangunan. Berdasarkan alasan tersebut maka dicoba untuk menggunakan batu blondos sebagai agregat kasar pada beton porous. Rasio berat kerikil terhadap semen digunakan 3 variasi yaitu: 4, 5, dan 6, dan faktor air semen digunakan 3 variasi yaitu: 0,30, 0,35, dan 0,40. Benda uji berupa silinder beton porous sebanyak 3 buah setiap variasi, dengan jumlah total 27 buah. Pengujian permeabilitas dan kuat tekan dilakukan setelah umur benda uji 28 hari. Kesimpulan dari penelitian ini adalah: peningkatan faktor air semen dan rasio berat kerikil terhadap semen mengakibatkan penurunan kuat tekan dan peningkatan permeabilitas beton porous. Pengaruh faktor air semen dan rasio

berat kerikil terhadap semen tidak terlalu signifikan terhadap berat isi beton porous. Batu blondos memenuhi syarat untuk digunakan untuk pembuatan beton porous.

9. **Santi Wahyuni (2020)** 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.

10. **Dandi Dwi Satrio dkk (2020)** Beton berpori memiliki nilai porositas tinggi yang terbuat dari semen, air dan agregat kasar. Salah satu karakteristik beton berpori adalah perbandingan semen dan agregat kasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan porositas. Penelitian ini menggunakan metode ACI-522R-10 dengan menggunakan agregat kasar ukuran 0,5-1 cm, 1-2 cm dan 2-3 cm. Perbandingan semen dan agregat kasar yang digunakan adalah 1:3, 1:4, 1:5, 1:6. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil porositas yang didapat pada semua campuran sudah masuk kedalam angka 15% - 35% dimana sesuai berdasarkan ACI 522R-10. Hasil kuat tekan tertinggi terdapat pada campuran VIII sebesar 16,03 MPa masuk syarat bata ringan mutu C dengan kuat tekan minimal 12,5 MPa digunakan untuk pejalan kaki.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen kuantitatif yaitu penelitian yang banyak menekankan pada penggunaan angka mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data, serta penampilan dari hasilnya disertai gambar, tabel, grafik dan tampilan lainnya. Kemudian dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung yang dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data-data dan hasil dari variabel-variabel yang diteliti.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai sejak minggu pertama bulan Mei hingga akhir bulan Juli 2024. Penelitian ini terdiri dari beberapa rangkaian kegiatan mulai dari persiapan benda uji, perhitungan, pembuatan, pemeliharaan, dan pengujian yang secara keseluruhan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani Km. 6, Bukit Harapan, Kec. Soreang, Parepare.

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan 2024											
		Mei				Juni				Juli			
Minggu Ke-		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan laboratorium												
2	Pengujian bahan dasar												
3	Pembuatan benda uji												
4	Perawatan benda uji												
5	Uji kuat tekan												
6	Analisa hasil pengujian												

C. Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Saringan dengan lubang saringan sebesar 19.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, dan 0.60 mm.
- Timbangan untuk menimbang bahan-bahan benda uji.
- Oven untuk mengeringkan benda uji.
- Concrete *Mixer*/ mesin pencampur digunakan untuk mencampur semua bahan-bahan benda uji.
- Kerucut Abram digunakan untuk mengetahui nilai slump sebelum beton dimasukkan ke dalam cetakan.
- Cetakan Beton (cetakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm)
- Mesin uji tekan benda uji beton (*Universal Testing Machine*).

2. Bahan yang digunakan

Bahan atau material yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

a. Semen portland

Semen yang digunakan untuk pembuatan beton menggunakan semen *Portland Composite Cement (PCC)*.

b. Air

Air yang digunakan adalah air yang bersih berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.

c. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan berasal dari desa Bojo Kabupaten Barru dengan variasi ukuran butir 0,5 – 1 cm dan 1 – 2 cm.

D. Prosedur Penelitian

1. Persiapan

Meliputi pengurusan izin pemakaian laboratorium, persiapan material, dan persiapan peralatan yang akan digunakan.

2. Pemeriksaan material

Pemeriksaan material terdiri dari analisa saringan, berat isi agregat, berat jenis, kadar air, keausan agregat, dan kadar lumpur.

3. Perencanaan mix desain

Rancangan campuran beton porous disusun berdasarkan metode *Trial and error*. Perencanaan campuran dilakukan terhadap masing-masing variasi benda uji.

4. Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan rancangan campuran beton pada umumnya dibagi menjadi 2 (dua) tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan proporsi campuran beton yang tepat berdasarkan data tentang bahan baku yang digunakan.
2. Pembuatan beton dalam skala kecil, dalam penelitian ini digunakan cetakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm.

Pada penelitian ini jumlah benda uji sebanyak 36 buah dengan sampel benda uji masing-masing 3 (tiga) buah setiap variasi.

Tabel 3. 2 jumlah benda uji

Umur perawatan (hari)	Variasi Benda Uji				Jumlah (sampel)
	Beton ukuran agregat batu alami 0,5 – 1 cm	Beton ukuran agregat batu pecah 0,5 – 1 cm	Beton ukuran agregat batu alami 1 – 2 cm	Beton ukuran agregat batu pecah 1 – 2 cm	
7	3	3	3	3	12
14	3	3	3	3	12
28	3	3	3	3	12
Total benda uji					36

5. Pengujian nilai slump

Slump test adalah salah satu cara untuk mengukur kecairan atau kepadatan dalam adukan beton. Semakin rendah nilai slump menandakan semakin kental kondisi beton segar yang ada di lapangan, sebaliknya semakin besar bacaan slump berarti semakin encer kondisi beton segar di lapangan. Percobaan slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan. Percobaan ini dilakukan dengan alat berbentuk kerucut terpancung, yang diameter atasnya 10 cm dan diameter bawahnya 20 cm dan tinggi 30 cm, dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat diameter 16 mm sepanjang minimal 60 cm (Mulyono, 2004).

6. Perawatan beton

Perawatan pada beton dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan yang terutama disebabkan oleh suhu, serta perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki berbagai segi kualitas beton tersebut.

Beberapa cara perawatan beton yang sering digunakan pada proses pengerasan adalah sebagai berikut:

- Perawatan dengan air

Cara ini yang paling banyak digunakan dan mutu air yang digunakan harus bebas dari bahan-bahan yang agresif terhadap beton.

Beberapa macam cara perawatan beton dengan menggunakan air, sebagai berikut:

1. Penyemprotan dengan menggunakan air.
2. Perendaman dalam air.
3. Penumpukan jerami basah.
4. Pelapisan tanah atau pasir basah.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode perawatan dengan air memakai cara perendaman dalam air yang dilakukan di bak perendaman Laboratorium UMPAR dengan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

7. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan dimaksudkan untuk mencari perbandingan kuat tekan rencana dengan kuat tekan yang dihasilkan pada umur rencana 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

8. Pengujian porositas

Pengujian porositas dimaksudkan untuk mengetahui besar volume pori/rongga/ruang kosong yang ada pada beton porous. Porositas juga berarti kepadatan pada konstruksi beton. Tingginya kuat tekan beton berpengaruh terhadap besar kuat tekannya.

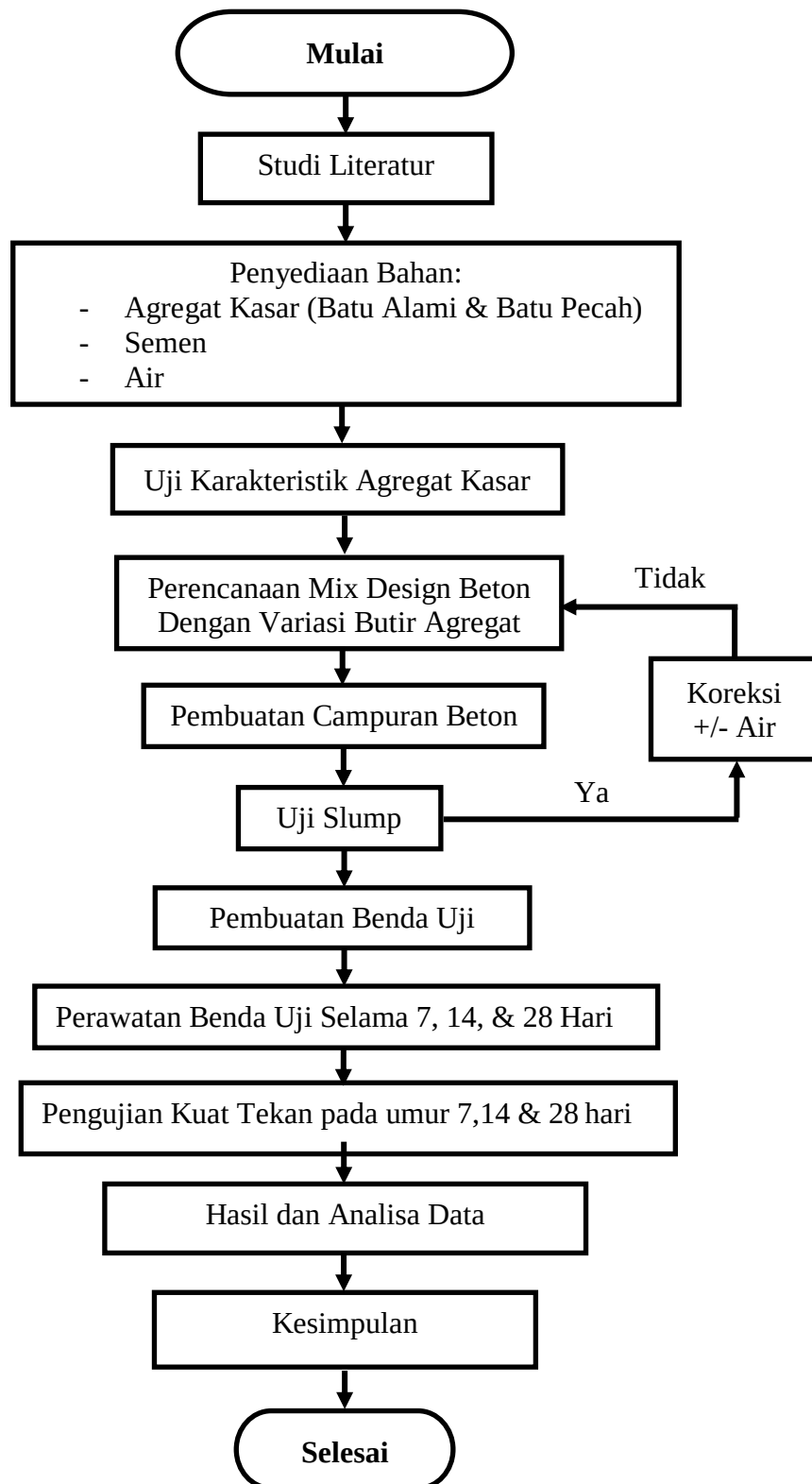
E. Teknik Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data primer adalah data yang secara langsung didapat dari lapangan atau lokasi penelitian dengan dokumentasi menggunakan kamera untuk mengumpulkan data secara visual yang ada pada lokasi.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh melalui studi literatur sebagai penunjang dan referensi untuk memperkuat dalam penelitian yang akan dilakukan seperti data-data yang bersumber dari Lembaga atau peneliti sebelumnya. Misalnya data SNI (Standar Nasional Indonesia), PBI (Peraturan Beton Indonesia), dan internet.

F. Diagram Alir Penelitian**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk menentukan karakteristik agregat kasar sesuai dengan ketentuan dalam SNI 8198:2015. Hasil dari pengujian tersebut ditunjukkan dalam rekapitulasi percobaan yang telah dilaksanakan di Laboratorium, seperti yang tercantum berikut ini:

1. Agregat Kasar

a. Agregat kasar batu pecah

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Hasil Gabungan Agregat Kasar Batu Pecah (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0.5%	0.70%	0.60%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	29.3%	27,4%	28.4%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	0.76%	0,60%	0,68%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1.62	1.61	1.61	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1.81	1.84	1.83	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	2.25%	5,26%	3.76%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2.65	2.94	2.80	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.50	2.55	2.52	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.56	2.68	2.62	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	7.11	7.12	7.11	Memenuhi

Berdasarkan tabel 4.1 di atas didapatkan hasil sebagai berikut:

1) Kadar Lumpur

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat kasar diatas didapatkan hasil 0,60%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 1% yang menunjukkan bahwa material agregat kasar tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

2) Keausan Agregat

Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin Los Angeless di atas didapatkan hasil 28,4% yang nilainya lebih kecil dari 50% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

3) Kadar Air

Pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 0,68% yang nilainya lebih kecil dari 2% sehingga agregat kasar dapat digunakan pada campuran beton.

4) Berat Volume

Pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1,61 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,83 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

5) Penyerapan Air

pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 3,76 % yang nilainya masih dalam interval maksimum 4% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

6) Berat Jenis

Pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,80. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,52 dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,62 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6–3,3 sehingga dapat dijadikan bahan campuran beton.

7) Modulus kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 7,11 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

b. Agregat batu alami

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Hasil Gabungan Agregat Kasar Batu Alami (*Sumber: Hasil pengolahan data 2024*)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0.30%	0.20%	0.25%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	9.4%	11,2%	10.3%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1.11%	1,27%	1,91%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1.64	1.59	1.62	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1.82	1.82	1.82	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	4.89%	2.99%	3.94%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2.86	2.63	2.74	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.51	2.44	2.47	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.63	2.51	2.57	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6.95	6.96	6.95	Memenuhi

Berdasarkan tabel 4.2 di atas didapatkan hasil sebagai berikut:

1) Kadar Lumpur

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat kasar di atas didapatkan hasil 0,25%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 1% yang menunjukkan bahwa material agregat kasar tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

2) Keausan Agregat

Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* diatas didapatkan hasil 10,3% yang nilainya lebih kecil dari 50% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

3) Kadar Air

Pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 1,19% yang nilainya lebih kecil dari 2% sehingga agregat kasar dapat digunakan pada campuran beton.

4) Berat Volume

Pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1,62 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,82 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

5) Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 3,94 % yang nilainya masih dalam interval maksimum 4 % sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

6) Berat Jenis

Pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,74. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,47 dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,57 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6–3,3 sehingga dapat dijadikan bahan campuran beton.

7) Modulus kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 6,95 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

B. Perencanaan Campuran Beton Porous (Mix Desain)

Perencanaan campuran beton porous (mix desain) bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran antara semen, agregat kasar, dan air. Mix desain beton porous dihitung berdasarkan metode ACI 522 R *Pervious Concrete* dengan hasil data sebagai berikut:

Beton Porous Agregat Batu Pecah 0,5-1 cm

1. Data Material

Kadar Rongga Udara	= 15 %
Berat volume lepas agregat kasar	=1,667 kg/liter
Berat volume padat agregat kasar	= 1,860 kg/liter
Berat jenis semen	= 3,15 kg/m ³
Fas rencana	= 0,30
Berat jenis (SSD) agregat kasar	= 2,62 kg/m ³

Penyerapan agregat kasar = 3,76 %

2. Perhitungan

a. Jumlah agregat kasar yang digunakan

Tabel 4. 3 Persyaratan Jumlah agregat kasar

Persen Agregat	b/bo	
	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

Berat volume lepas agregat kasar (b) = 1,677 kg/ m³

Berat volume padat agregat kasar (bo) = 1,860kg/ m³

$$b/bo = \frac{1,677}{1,860}$$

$$= 0,90159$$

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

$$= 1860,5 \text{ kg/m}^3$$

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

Penyerapan air agregat kasar = 3,76 %

Berat penyerapan air = Penyerapan air x Berat agregat kasar

$$= 3,76\% \times 1860,5$$

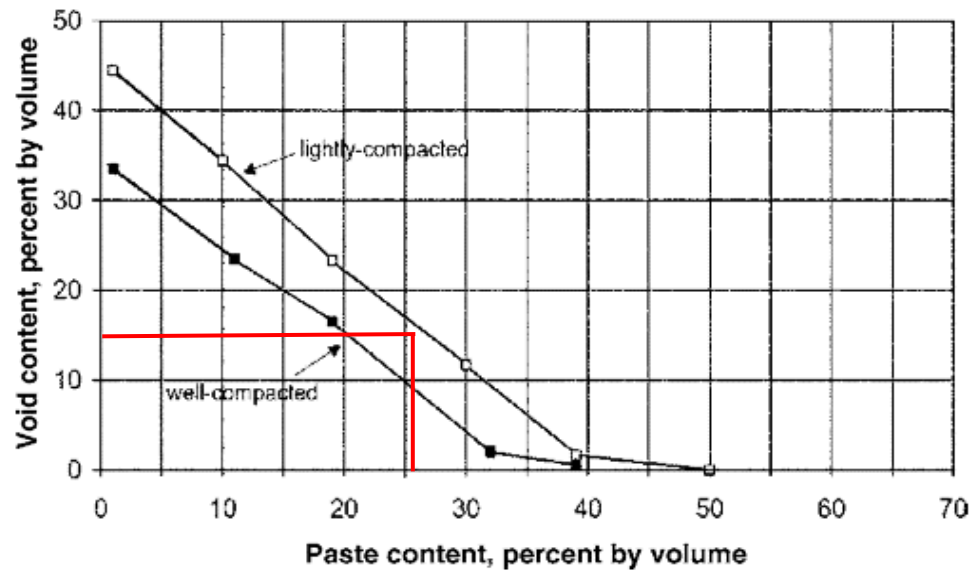
$$= 69,885 \text{ kg/m}^3$$

Berat agregat SSD = Berat penyerapan air + Berat agregat kasar

$$= 69,885 + 1860,463$$

$$= 1930,35 \text{ kg/m}^3$$

c. Penentuan volume pasta semen



Gambar 4. 1 Grafik penentuan volume pasta semen (Sumber: ACI 522 R-10)

Berdasarkan gambar 4.1 di atas didapat hasil sebagai berikut:

Kadar Rongga = 15 %

Kadar Pasta Semen = 26,2 %

Volume semen dalam adukan (V_p) = 0,262 m³

d. Menentukan berat semen

FAS rencana = 0,30

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

$$C = [(0,262 / (0,315 + 0,30)) \times 1000 \text{ kg/m}^3]$$

$$C = 425,756 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

C = Semen

V_p = Volume semen dalam adukan

FAS = Faktor air semen

e. Menentukan berat air

$$W \text{ semen} = 425,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} W \text{ air} &= W \text{ semen} \times \text{Faktor air semen} \\ &= 425,8 \times 0,30 \\ &= 127,73 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

f. Perkiraan volume padat tiap 1 m³ beton porous

$$\begin{aligned} 1) \text{ Volume air} &= 127,73 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,13 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Volume padat semen

$$\begin{aligned} &\frac{\text{berat semen}}{\text{berat jenis semen} \times 1000} \\ &= \frac{425,8}{3,15 \times 1000} \\ &= 0,14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3) Volume absolute agregat

$$\begin{aligned} &\frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Berat SSD agergat kasar} \times 1000} \\ &= \frac{1860,5}{2,62 \times 1000} \\ &= 0,71 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Penentuan volume padat tiap 1m³ beton (m³)

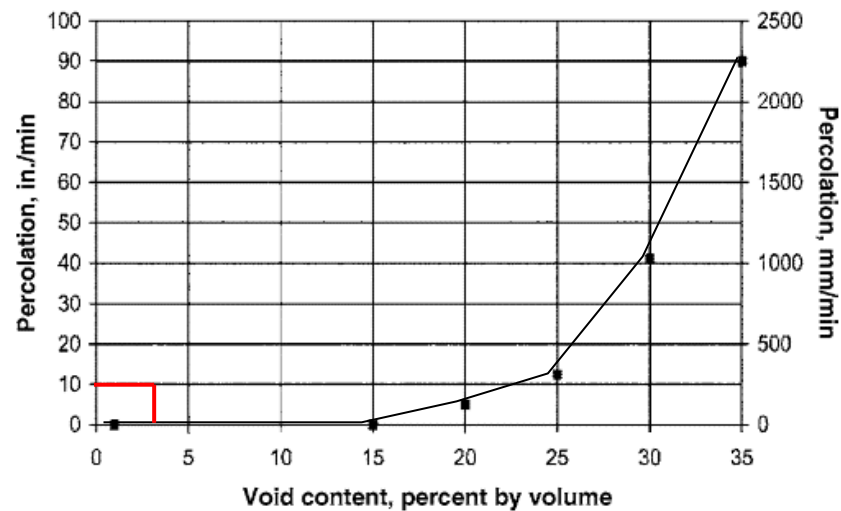
No	Penentuan volume padat tiap 1m ³ beton (m ³)	Fas 0,30
1	Volume air	0,13 m ³
2	Volume padat semen	0,14 m ³
3	Volume absolute	0,71 m ³
4	Jumlah volume padat	0,97 m ³

g. Penentuan void tiap 1 m³ beton porous

$$\begin{aligned}
 \text{Volume void} &= 1,00 \text{ m}^3 - \text{Jumlah volume padat} \\
 &= 1,00 - 0,97 \\
 &= 0,03 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase void} &= (\text{volume void}) / (1,00 \times 100\%) \\
 &= 0,03 / (1,00 \times 100\%) \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

h. Cek perkiraan permeabilitas



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

Berdasarkan gambar 4.2 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Persen void} = 3\%$$

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

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

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

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

i. Komposisi mix desain

Tabel 4.5 Komposisi Mix Design untuk 1 m³ (kg)

No	Komposisi mix desain 1 m ³ (kg)	Fas 0,30
1	Berat semen	425,76 kg
2	Berat air	127,727 kg
3	Berat agregat kasar	1930,348kg
4	Total berat	2483,83 kg

j. Kebutuhan bahan pembuatan benda uji silinder beton:

kebutuhan beton 1 silinder

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 h \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0.0053014 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,0053014 \text{ m}^2 \times 9 \\ &= 0,04771294 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{vol. silinder} \times 15\% \\ &= 0,04771294 \text{ m}^3 \times 15\% \\ &= 0,00715694 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0, 04771294 \text{ m}^3 + 0,00715694 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$= 0.05486988 \text{ m}^3$$

k. Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

Tabel 4. 6 Kebutuhan Bahan untuk 9 Silinder

W Bahan	Kebutuhan 1 m ³	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425.76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1930.35 kg	11,37 kg	105,92 kg
W Air	127.73 kg	0,78 kg	7,01 kg

Beton Porous Agregat Batu Alami 0,5-1 Cm

1. Data Material

Kadar Rongga Udara = 15 %

Berat volume lepas agregat kasar = 1,633 kg/liter

Berat volume padat agregat kasar = 1,851 kg/liter

Berat jenis semen = 3,15 kg/m³

Fas rencana = 0,30

Berat jenis (SSD) agregat kasar = 2,57 kg/m³

Penyerapan agregat kasar = 3,94 %

2. Perhitungan

a. Jumlah agregat kasar yang digunakan

Tabel 4. 7 Persyaratan jumlah agregat kasar

Persen Agregat	b/bo	
	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

Berdasarkan tabel 4.7 di atas, didapat hasil sebagai berikut:

$$\text{Berat volume lepas agregat kasar (b)} = 1,632 \text{ kg/ } m^3$$

$$\text{Berat volume padat agregat kasar (bo)} = 1,851 \text{ kg/ } m^3$$

$$b/bo = \frac{1,632}{1,851}$$

$$= 0,882051$$

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

$$= 1851,1 \text{ kg/}m^3$$

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

$$\text{Penyerapan air agregat kasar} = 3,94 \%$$

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

$$= 3,94 \times 1851,120$$

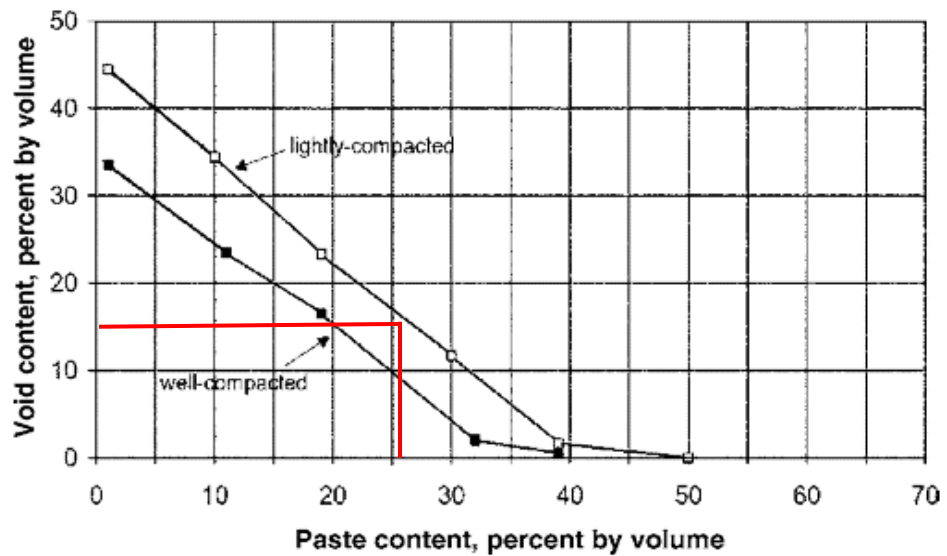
$$= 72,882 \text{ kg/}m^3$$

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

$$= 72,882 + 1851,120$$

$$= 1924 \text{ kg/}m^3$$

c. Penentuan pasta semen



Gambar 4. 3 Grafik penentuan volume pasta semen (Sumber: ACI 522R10)

Berdasarkan gambar 4.3 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

Kadar Rongga = 15 %

Kadar Pasta Semen = 26,2 %

Volume semen dalam adukan (V_p) = 0,262 m³

d. Menentukan berat semen

FAS rencana = 0,30

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

$$C = [(0,262 / (0,315 + 0,30))] \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 425,756 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

C = Semen

V_p = Volume semen dalam adukan

FAS= Faktor air semen

e. Menentukan berat air

$$W \text{ semen} = 425,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} W \text{ air} &= W \text{ semen} \times \text{Faktor air semen} \\ &= 425,8 \times 0,30 \\ &= 127,73 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

f. Perkiraan volume padat tiap 1 m³ beton porous

$$\begin{aligned} 1) \text{ Volume air} &= 127,73 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,13 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Volume padat semen

$$\begin{aligned} &\frac{\text{berat semen}}{\text{berat jenis semen} \times 1000} \\ &= \frac{425,8}{3,15 \times 1000} = 0,14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3) Volume absolute agregat

$$\begin{aligned} &\frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Berat SSD agergat kasar} \times 1000} = \frac{1851,120}{2,57 \times 1000} \\ &= 0,72 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4. 8 Penentuan volume pada tiap 1 m³ beton

No	Penentuan volume padat tiap 1m ³ beton (m ³)	Fas 0,30
1	Volume air	0,13 m ³
2	Volume padat semen	0,14 m ³
3	Volume absolute	0,72 m ³
4	Jumlah volume padat	0,98 m ³

g. Penentuan void tiap 1 m³ beton porous

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

$$= 1,00 - 0,98$$

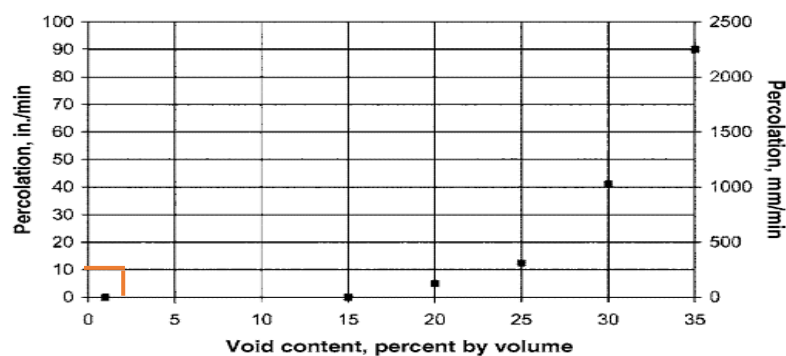
$$= 0,02 \text{ m}^3$$

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

$$= 0,02 / (1,00 \times 100\%)$$

$$= 2\%$$

h. Cek perkiraan permeabilitas



Gambar 4. 4 Grafik permeabilitas (*Sumber: ACI 522R-10*)

Berdasarkan gambar 4.4 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Persen void} = 2\%$$

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

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

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

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

i. Komposisi mix design

Tabel 4. 9 Komposisi mix design 1 m³ (kg)

No	Komposisi mix desain 1 m ³ (kg)	Fas 0,30
1	Berat semen	425,76 kg
2	Berat air	127,727 kg
3	Berat agregat kasar	1924,002 kg
4	Total berat	2477,49 kg

j. Kebutuhan bahan pembuatan benda uji silinder beton:

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 h \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0.0053014 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,0053014 \text{ m}^2 \times 9 \\ &= 0,04771294 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{vol. silinder} \times 15\% \\ &= 0,0477129 \text{ m}^3 \times 15\% \\ &= 0.007156944 \text{ m}^3 \\ \text{Vol. total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0,04771294 \text{ m}^3 + 0.00715694 \text{ m}^3 \\ &= 0.05486988 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

k. Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

Tabel 4. 10 Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

W Bahan	Kebutuhan 1 m3	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425,76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1924,00 kg	11,73 kg	105,57 kg
W Air	127,73 kg	0,78 kg	7,01 kg

Beton Porous Agregat Batu Pecah 1-2 cm

1. Data material

Kadar Rongga Udara = 15 %

Berat volume lepas agregat kasar = 1,614

Berat volume padat agregat kasar = 1,829

Berat jenis semen = 3,15

Fas rencana = 0,30

Berat jenis (SSD) agregat kasar = 2,62

Penyerapan agregat kasar = 3,76 %

2. Perhitungan

a. Jumlah agregat kasar yang digunakan

Tabel 4. 11 Persyaratan jumlah agregat kasar

Persen Agregat	b/bo	
	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

Berdasarkan tabel 4.11 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

Berat volume lepas agregat kasar (b) = 1,614 kg/ m³

Berat volume padat agregat kasar (bo) = 1,829 kg/ m³

$$b/bo = \frac{1,614}{1,829}$$

$$= 0,882348$$

$$\text{Berat agregat kasar} = \frac{b}{b/bo} = 1829,3 \text{ kg/m}^3$$

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

Penyerapan air agregat kasar = 3,76 %

Berat penyerapan air = Penyerapan air x Berat agregat kasar

$$= 3,76 \times 1829,319$$

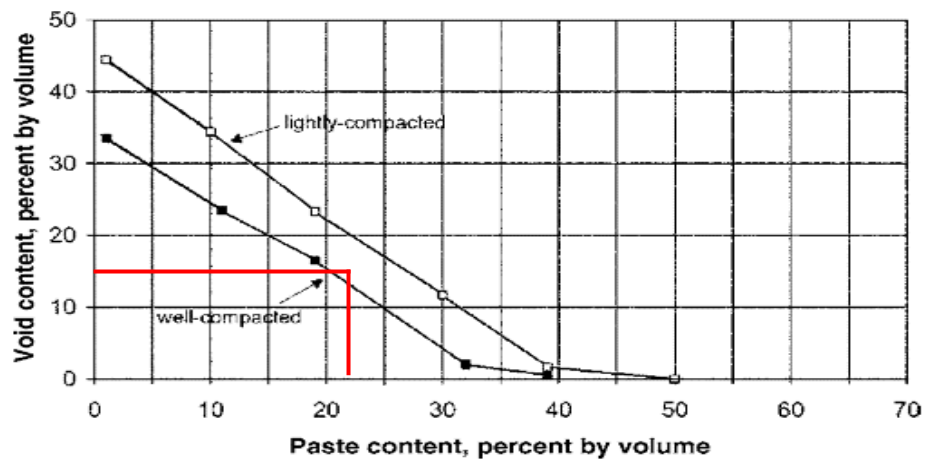
$$= 68,715 \text{ kg/m}^3$$

Berat agregat SSD = Berat penyerapan air + Berat agregat kasar

$$= 68,715 + 1829,319$$

$$= 1898,03 \text{ kg/m}^3$$

c. Penentuan volume pasta semen



Gambar 4. 5 Grafik penentuan volume pasta semen (*Sumber: ACI 522R10*)

Berdasarkan gambar 4.5 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

Kadar Rongga = 15 %

Kadar Pasta Semen = 26,2 %

Volume semen dalam adukan (V_p) = 0,262 m³

d. Menentukan berat semen

FAS rencana = 0,30

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

$$C = [(0,262 / (0,315+0,30))] \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 425,756 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

C = Semen

V_p = Volume semen dalam adukan

FAS= Faktor air semen

e. Menentukan berat air

$$W \text{ semen} = 425,8 \text{ kg/m}^3$$

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

$$= 425,8 \times 0,30$$

$$= 127,73 \text{ kg/m}^3$$

f. Perkiraan volume padat tiap 1 m³ beton porous

$$1) \text{ Volume air} = 127,73 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,13 \text{ m}^3$$

2) Volume padat semen

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

$$= \frac{425,8}{3,15 \times 1000}$$

$$= 0,14 \text{ m}^3$$

3) Volume absolute agregat

$$\frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Berat SSD agergat kasar} \times 1000}$$

$$= \frac{1829,3}{2,62 \times 1000}$$

$$= 0,70 \text{ m}^3$$

Tabel 4. 12 Penentuan volume padat tiap 1 m³ beton (m³)

No	Penentuan volume padat tiap 1m ³ beton (m ³)	Fas 0,30
1	Volume air	0,13 m ³
2	Volume padat semen	0,14 m ³
3	Volume absolute	0,70 m ³
4	Jumlah volume padat	0,96 m ³

g. Penentuan void tiap 1 m³ beton porous

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

$$= 1,00 - 0,96$$

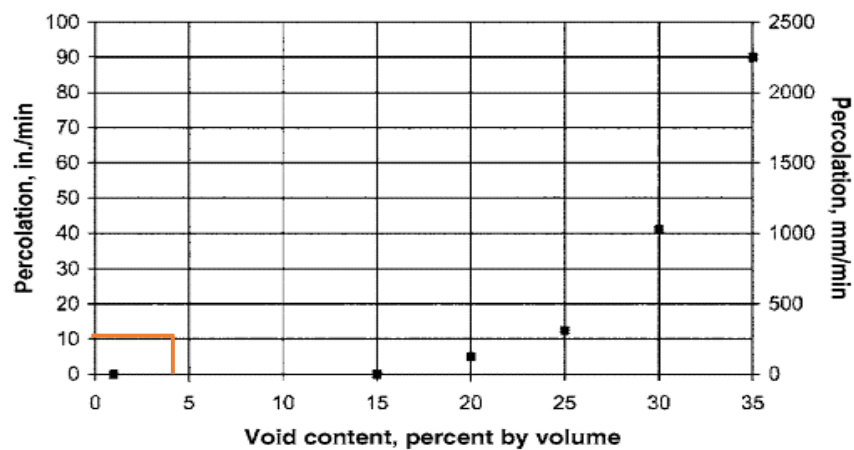
$$= 0,039 \text{ m}^3$$

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

$$= 0,04 / (1,00 \times 100\%)$$

$$= 4 \%$$

h. Cek perkiraan permeabilitas



Gambar 4. 6 Grafik permeabilitas (Sumber: ACI 522R-10)

Berdasarkan gambar 4.6 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Persen void} = 4 \%$$

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

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

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

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

i. Komposisi mix desain

Tabel 4. 13 Komposisi mix design 1 m³ (kg)

No	Komposisi mix desain 1 m ³ (kg)	Fas 0,30
1	Berat semen	425,76 kg
2	Berat air	127,727 kg
3	Berat agregat kasar	1898,034 kg
4	Total berat	2451,52 kg

j. Kebutuhan bahan pembuatan benda uji silinder beton:

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 h \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0.0053014 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,0053014 \text{ m}^2 \times 9 \\ &= 0.04771294 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %

$$\text{Volume tambahan} = \text{vol. silinder} \times 15\%$$

$$= 0.0053014 \text{ m}^3 \times 15\%$$

$$= 0,0071569 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. total} = \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan}$$

$$= 0.04771294 \text{ m}^3 + 0,0071569 \text{ m}^3$$

$$= 0.0548699 \text{ m}^3$$

k. Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

Tabel 4. 14 Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

W Bahan	Kebutuhan 1 m ³	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425,76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1898,03 kg	11,57 kg	104,14 kg
W Air	127,73 kg	0,78 kg	7,01 kg

Beton Porous Agregat Batu Alami 1-2 cm

1. Data material

Kadar Rongga Udara = 15 %

Berat volume lepas agregat kasar = 1,616 kg/liter

Berat volume padat agregat kasar = 1,817 kg/liter

Berat jenis semen = 3,15 kg/m³

Fas rencana = 0,30

Berat jenis (SSD) agregat kasar = 2,57 kg/m³

Penyerapan agregat kasar = 3,94 %

2. Perhitungan

a. Jumlah agregat kasar yang digunakan

Tabel 4. 15 Persyaratan jumlah agregat kasar

Persen Agregat	b/bo	
	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

$$\text{Berat volume lepas agregat kasar (b)} = 1,616 \text{ kg/ } m^3$$

$$\text{Berat volume padat agregat kasar (bo)} = 1,817 \text{ kg/ } m^3$$

$$b/bo = \frac{1,616}{1,817}$$

$$= 0,88942$$

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

$$= 1817,4 \text{ kg/}m^3$$

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

$$\text{Penyerapan air agregat kasar} = 3,94 \%$$

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

$$= 3,94 \times 1817,353$$

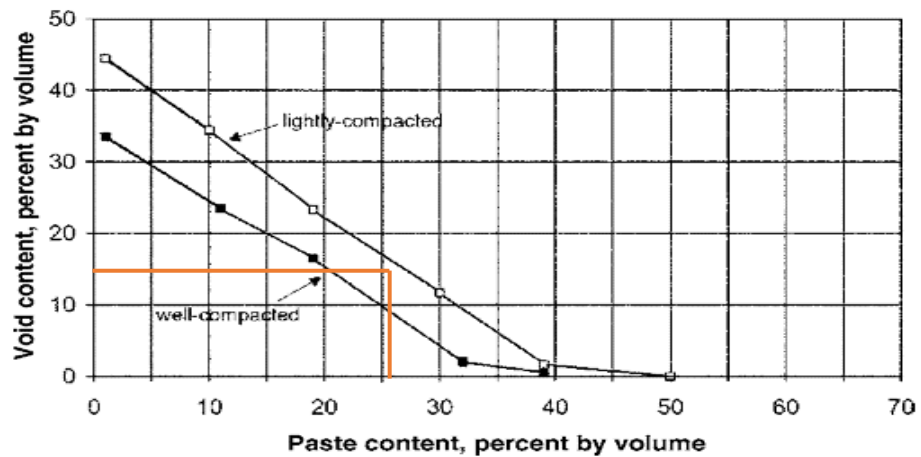
$$= 71,553 \text{ kg/}m^3$$

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

$$= 71,553 + 1817,353$$

$$= 1888,91 \text{ kg/}m^3$$

c. Penentuan volume pasta semen



Gambar 4. 7 Grafik penentuan volume pasta semen (Sumber: ACI 522R10)

Berdasarkan gambar 4.7 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

Kadar Rongga = 15 %

Kadar Pasta Semen = 26,2 %

Volume semen dalam adukan (V_p) = 0,262 m³

d. Menentukan berat semen

FAS rencana = 0,30

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

$$C = [(0,262 / (0,315 + 0,30))] \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 425,756 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

C = Semen

V_p = Volume semen dalam adukan

FAS = Faktor air semen

e. Menentukan berat air

$$W \text{ semen} = 425,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} W \text{ air} &= W \text{ semen} \times \text{Faktor air semen} \\ &= 425,8 \times 0,30 \\ &= 127,73 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

f. Perkiraan volume padat tiap 1 m³ beton porous

$$\begin{aligned} 1) \text{ Volume air} &= 127,73 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,13 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Volume padat semen

$$\begin{aligned} &\frac{\text{berat semen}}{\text{berat jenis semen} \times 1000} \\ &= \frac{425,8}{3,15 \times 1000} \\ &= 0,14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3) Volume absolute agregat

$$\begin{aligned} &\frac{\text{Berat agregat kasar}}{\text{Berat SSD agergat kasar} \times 1000} \\ &= \frac{1817,4}{2,57 \times 1000} \end{aligned}$$

Tabel 4. 16 Penentuan volume pada tiap 1 m³ beton (m³)

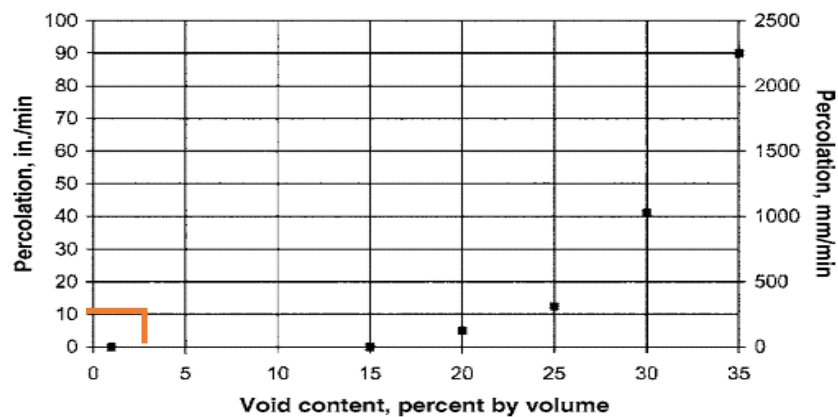
No	Penentuan volume padat tiap 1m ³ beton (m ³)	Fas 0,30
1	Volume air	0,13
2	Volume padat semen	0,14
3	Volume absolute	0,71
4	Jumlah volume padat	0,97

g. Penentuan void tiap 1 m³ beton porous

$$\begin{aligned}
 \text{Volume void} &= 1,00 \text{ m}^3 - \text{Jumlah volume padat} \\
 &= 1,00 - 0,97 \\
 &= 0,030 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase void} &= (\text{volume void}) / (1,00 \times 100\%) \\
 &= 0,030 / (1,00 \times 100\%) \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

h. Cek perkiraan permeabilitas



Gambar 4. 8 Grafik permeabilitas (*Sumber: ACI 522R-10*)

Berdasarkan gambar 4.8 di atas, didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Persen void} &= 3\% \\
 1 \text{ in./min} &= 0,4233 \text{ mm/s} \\
 \text{Percolation} &= 10 \text{ in./min} \\
 \text{permeabilitas} &= \text{percolation} \times 0,4233 \\
 &= 4,233 \text{ mm/s}
 \end{aligned}$$

i. Komposisi mix design

Tabel 4. 17 Komposisi mix design 1 m³ (kg)

No	Komposisi mix design 1 m ³ (kg)	Fas 0,30
1	Berat semen	425,76 kg
2	Berat air	127,727 kg
3	Berat agregat kasar	1888,906 kg
4	Total berat	2442,39 kg

j. Kebutuhan bahan pembuatan benda uji silinder beton:

kebutuhan beton 1 silinder

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 h \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0.0053014 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,0053014 \text{ m}^2 \times 9 \\ &= 0,0477129 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %

$$\begin{aligned} \text{Volume tambahan} &= \text{vol. silinder} \times 15\% \\ &= 0.0053014 \text{ m}^3 \times 15\% \\ &= 0,00715694 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. total} &= \text{Vol. total silinder} + \text{Vol. Tambahan} \\ &= 0,0477129 \text{ m}^3 + 0,00715694 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$= 0.05486988 \text{ m}^3$$

k. Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

Tabel 4. 18 Kebutuhan bahan untuk 9 silinder

W Bahan	Kebutuhan 1 m ³	Kebutuhan 1 Silinder	Kebutuhan 9 Silinder
W Semen	425,76 kg	2,60 kg	23,36 kg
W Kerikil	1888,91 kg	11,52 kg	103,64 kg
W Air	127,73 kg	0,78 kg	7,01 kg

C. Nilai Slump

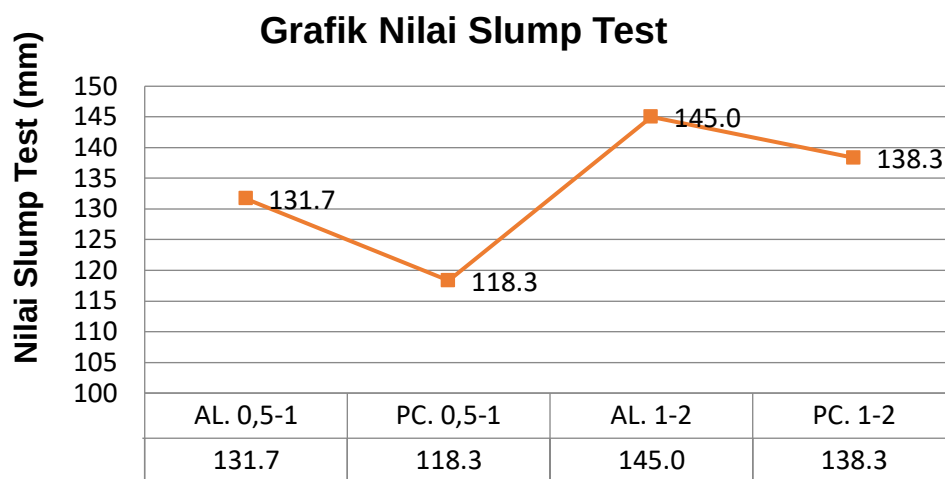
Pengujian nilai *slump test* dilakukan dengan kerucut Abrams, yaitu dengan membasahi kerucut Abrams kemudian meletakkannya pada permukaan yang rata. Kemudian diisi dengan 3 lapis beton segar, tiap lapis diisi 1/3 volume kerucut Abrams dan ditusuk sebanyak 25 kali, hingga mencapai dasar tiap lapisan. Setelah kerucut diisi, kemudian bagian atas diratakan. Dalam waktu sekitar 30 detik, kerucut perlahan dinaikkan lurus secara vertikal. Untuk mengukur nilai penurunan ditentukan dengan mengukur selisih tinggi campuran dengan tinggi kerucut.

Tabel 4. 19 Hasil pengujian nilai slump (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

Variasi	Titik			Rata-Rata (mm)
	1 (Cm)	2 (Cm)	3 (Cm)	
AL. 0,5-1	130	135	130	131.7
PC. 0,5-1	120	110	125	118.3
AL. 1-2	155	140	140	145.0
PC. 1-2	140	135	140	138.3

Berdasarkan tabel 4.19 di atas memberikan penjelasan tentang perbandingan nilai slump antara masing-masing variasi. Pada variasi agregat batu

alami (AL) 0,5-1 cm terdapat nilai rata-rata sebesar 131,7 mm, pada variasi agregat batu pecah (PC) 0,5-1 cm terdapat nilai rata-rata sebesar 118,3 mm, pada variasi agregat batu alami (AL) 1-2 cm terdapat nilai rata-rata sebesar 145,0 mm dan pada variasi agregat batu pecah (PC) 1-2 cm terdapat nilai rata-rata sebesar 138,3 mm.



Gambar 4. 9 Grafik nilai slump test pada Setiap Variasi

Berdasarkan gambar 4. 9 dapat dilihat bahwa pada saat uji slump, bentuk keruntuhan dari masing- masing agregat berbeda-beda. Untuk agregat batu alami ukuran 1-2 cm memiliki nilai slump tertinggi yakni sebesar 145,0 mm sedangkan slump terendah diperoleh pada agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm sebesar 118,3 mm. Keadaan ini disebabkan karena interlocking atau bidang kontak agregat dan permukaannya berbeda-beda. Hal ini menyebabkan keruntuhan slump untuk agregat batu alami terjadi lebih cepat pada saat kerucut abrams diangkat dibandingkan dengan agregat batu pecah.

D. Kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan setelah proses perawatan beton porous berusia 7, 14, dan 28 hari. Sampel beton porous terdiri dari 4 variasi yaitu beton porous agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm dan beton porous agregat alami ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 9 sampel berbentuk silinder dengan ukuran benda uji 150 x 300 mm. Sebelum melakukan uji kuat tekan beton porous maka terlebih dahulu dilakukan penimbangan pada setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Adapun hasil dari pengujian kuat tekan beton porous agregat alami dan agregat batu pecah dengan ukuran butir agregat 0,5-1 cm dan 1-2 cm dengan masa perawatan selama 7,14 dan 28 hari sebagai berikut:

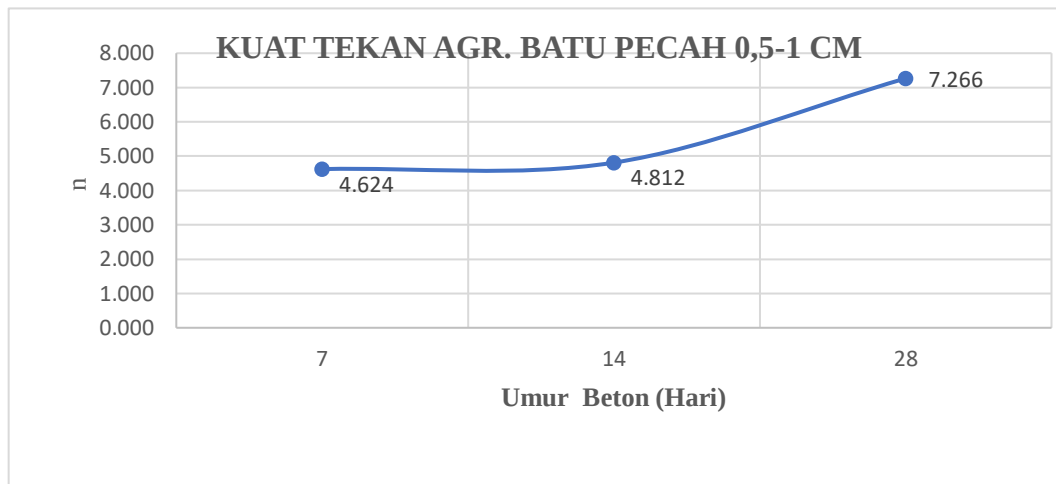
1. Beton porous agregat batu pecah 0,5-1 cm

Tabel 4. 20 Recap Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Pecah Ukuran Butir 0,5-1 cm (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

No.	Tanggal		Type	Umur	Berat	Beban	Kuat tekan
	Cor	Test	Beton	Hari	Kg	KN	f'c(MPa)
1	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.545	80	4.529
2	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	9.716	85	4.812
3	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.131	80	4.529
Rata-rata					10.131	81.667	4.624
4	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.230	95	5.379
5	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.280	70	3.963
6	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.020	90	5.096
Rata-rata					10.177	85.000	4.812
7	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.630	105	5.945
8	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.880	150	8.493
9	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.755	130	7.360
Rata-rata					9.755	128.333	7.266

Berdasarkan tabel 4.20 hasil pengujian kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran butir 0,5-1 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan

dengan nilai rata-rata 4,624 MPa untuk umur 7 hari, 4,812 MPa untuk umur 14 hari, 7,266 MPa untuk umur 28 hari, memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Pecah Ukuran Butir 0,5-1 cm

Berdasarkan gambar 4.10 di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran butir 0,5-1 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 0,188 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,454 MPa.

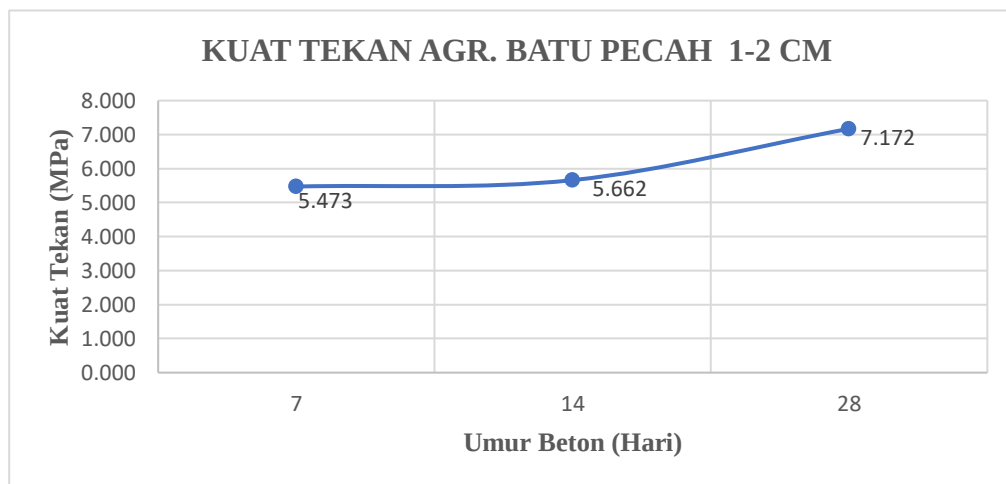
2. Beton porous agregat batu pecah 1-2 cm

Tabel 4. 21 Recap Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Pecah Ukuran Butir 1-2 cm (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

No.	Tanggal		Type	Umur	Berat	Beban	Kuat tekan
	Cor	Test	Beton	Hari	Kg	KN	f'c(MPa)
1	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.040	115	6.511
2	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.050	90	5.096
3	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.380	85	4.812
Rata-rata					10.157	96.667	5.473
4	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.545	90	5.096
5	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	9.621	120	6.794
6	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	9.080	90	5.096
Rata-rata					9.749	100	5.662

No.	Tanggal		Type	Umur	Berat	Beban	Kuat tekan
	Cor	Test	Beton	Hari	Kg	KN	f'c(MPa)
7	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	10.810	85	4.812
8	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.980	205	11.607
9	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.080	90	5.096
Rata-rata					9.957	126.667	7.172

Berdasarkan tabel 4.21 hasil pengujian kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran butir 1-2 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan nilai rata-rata 5,473 MPa untuk umur 7 hari, 5,662 MPa untuk umur 14 hari, 7,172 MPa untuk umur 28 hari, memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Pecah Ukuran Butir 1- 2 cm

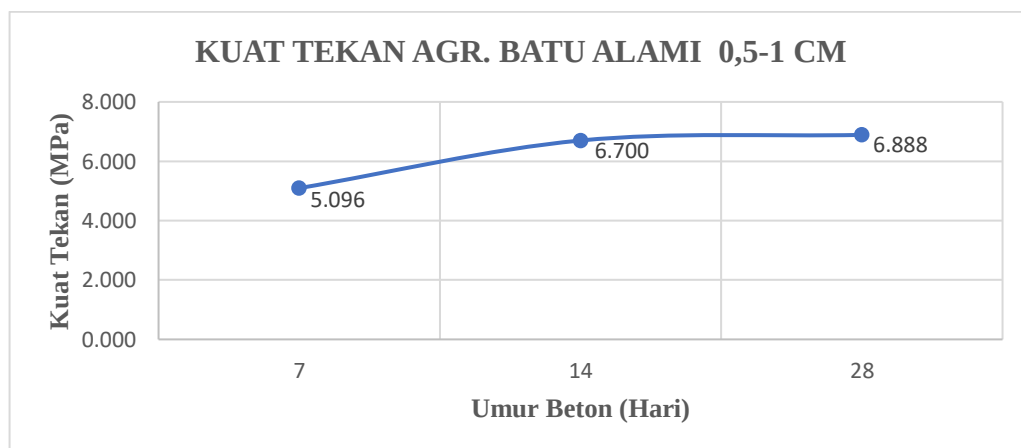
Berdasarkan gambar 4.11 di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran butir 1-2 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 0,189 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,51 MPa.

3. Beton porous agregat batu alami 0,5-1 cm

Tabel 4. 22 Recap Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Alami Ukuran Butir 0,5-1 cm (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

No.	Tanggal		Type	Umur	Berat	Beban	Kuat tekan
	Cor	Test	Beton	Hari	Kg	KN	f'c(MPa)
1	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	9.630	95	5.379
2	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.530	85	4.812
3	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	10.080	90	5.096
Rata-rata					10.080	90	5.096
No.	Tanggal		Type	Umur	Berat	Beban	Kuat tekan
	Cor	Test	Beton	Hari	Kg	KN	f'c(MPa)
4	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.901	120	6.794
5	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.669	115	6.511
6	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	10.785	120	6.794
Rata-rata					10.785	118.3333	6.700
7	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	10.170	125	7.077
8	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	10.190	130	7.360
9	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.840	110	6.228
Rata-rata					10.067	121.667	6.888

Berdasarkan tabel 4.22 pengujian kuat tekan beton porous agregat batu alami ukuran butir 0,5-1 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan nilai rata-rata 5,096 MPa untuk umur 7 hari, 6,700 MPa untuk umur 14 hari, 6,888 MPa untuk umur 28 hari, memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Batu Alami Ukuran Butir 0.5-1 cm

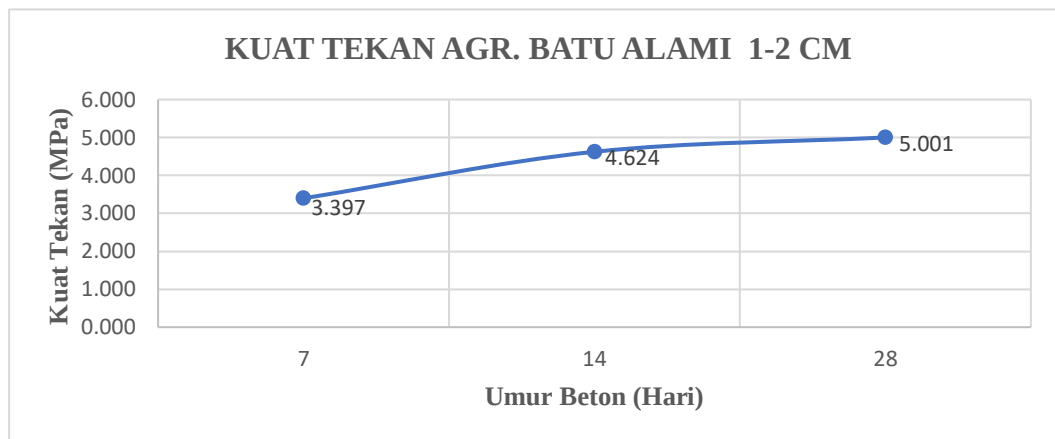
Berdasarkan gambar 4.12 di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat alami ukuran butir 1-2 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 1,604 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 0,188 MPa.

4. Beton porous agregat batu alami 1-2 cm

Tabel 4. 23 Recap Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Alami Ukuran Butir 1-2 cm (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

No.	Tanggal		Type	Umur	Berat	Beban	Kuat tekan
	Cor	Test	Beton	Hari	Kg	KN	f'c(MPa)
1	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	9.100	50	2.831
2	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	9.176	70	3.963
3	13/06/2024	20/06/2024	Silinder	7	9.138	60	3.397
Rata-rata					9.138	60	3.397
4	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	9.380	80	4.529
5	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	9.760	85	4.812
6	15/06/2024	29/06/2024	Silinder	14	9.570	80	4.529
Rata-rata					9.570	81.66667	4.624
7	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.520	100	5.662
8	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	10.100	90	5.096
9	17/06/2024	15/07/2024	Silinder	28	9.420	75	4.246
Rata-rata					9.680	88.333	5.001

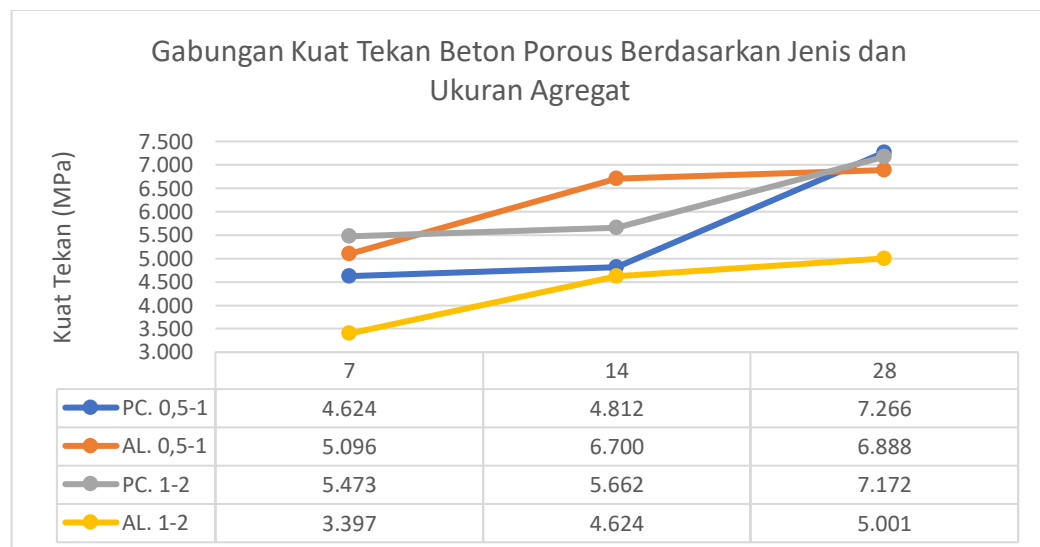
Berdasarkan tabel 4.23 hasil pengujian kuat tekan beton porous agregat batu alami ukuran butir 1-2 cm dengan jumlah sampel 3 buah didapat kuat tekan dengan nilai rata-rata 3,397 MPa untuk umur 7 hari, 4,624 MPa untuk umur 14 hari, 5,001 MPa untuk umur 28 hari, memenuhi kuat tekan yang direncanakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. 13 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Agregat Alami Ukuran Butir 0.5-1 cm

Berdasarkan gambar 4.13 di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous agregat alami ukuran butir 1-2 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 1,227 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 0,337 MPa.

Berikut adalah gabungan kuat tekan beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat:



Gambar 4. 14 Grafik gabungan kuat tekan beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat

Berdasarkan gambar 4.14 di atas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton porous pada agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm umur 7 hari sebesar 4,624 MPa, pada umur 14 hari sebesar 4,812 MPa, dan pada umur 28 hari sebesar 7,266 MPa. Kuat tekan beton porous agregat batu alami ukuran 0,5-1 cm umur 7 hari sebesar 5,096 MPa, pada umur 14 hari sebesar 6,700 MPa dan pada umur 28 hari sebesar 6,888 MPa. Kuat tekan beton porous agregat batu pecah ukuran 1-2 cm umur 7 hari sebesar 5,473 MPa, umur 14 hari sebesar 5,662 MPa, dan pada umur 28 hari sebesar 7,172 MPa. Kuat tekan beton porous agregat batu alami ukuran 1-2 cm umur 7 hari sebesar 3,397 MPa, pada umur 14 hari sebesar 4,624 MPa dan pada umur 28 hari sebesar 5,001 MPa, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi kuat tekan yakni 2,8-28 MPa.

E. Porositas

Pengujian porositas dilakukan setelah proses perawatan beton porous berusia 28 hari. Sampel beton porous terdiri dari 4 variasi yaitu beton porous agregat batu pecah (ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm) dan beton porous agregat alami (ukuran 0,5-1 cm dan 1-2 cm). untuk masing-masing variasi campuran dibuat 3 sampel berbentuk silinder dengan ukuran benda uji 150 x 300 mm. Sebelum melakukan uji porositas beton porous maka terlebih dahulu dilakukan penimbangan pada setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Adapun hasil dari pengujian porositas beton porous agregat alami dan agregat batu pecah dengan ukuran butir agregat 0,5-1 cm dan 1-2 cm sebagai berikut:

1. Porositas Beton Porous Agregat Batu Pecah 1-2 cm

Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Porositas Beton Porous Agregat Batu Pecah Ukuran Butir 1-2 cm (Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

No	Umur	Berat Kering (C)	Berat Sampel dalam Air (A)	Berat Sampel Kondisi SSD (B)	Porositas
	Hari	Kg	(gram)	(gram)	
1	28	10.230	5.335	10.337	2.14%
2	28	10.280	5.155	10.332	1.00%
3	28	10.020	5.175	10.168	2.96%
Rata-rata		15.265			2.04%

Berdasarkan tabel 4.24 hasil pengujian porositas beton porous agregat batu pecah ukuran butir 0,5-1 cm didapatkan nilai porositas pada sampel pertama sebesar 2,14%, sampel kedua sebesar 1,00% dan sampel ketiga sebesar 2,96%. Dari ketiga benda uji tersebut didapatkan nilai rata-rata porositas sebesar 2,04%.

2. Porositas Beton Porous Agregat Batu Alami 1-2 cm

Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Porositas Beton Porous Agregat Batu Alami Ukuran Butir 1-2 cm (Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

No	Umur	Berat Kering (C)	Berat Sampel dalam Air (A)	Berat Sampel Kondisi SSD (B)	Porositas
	Hari	Kg	(gram)	(gram)	
1	28	10.170	5.365	10.300	2.63%
2	28	10.190	5.485	10.336	3.01%
3	28	9.840	5.275	10.040	4.20%
Rata-rata		15.100			3.28%

Berdasarkan tabel 4.25 hasil pengujian porositas beton porous agregat batu alami ukuran butir 1-2 cm didapatkan nilai porositas pada sampel pertama sebesar 2,63%, sampel kedua sebesar 3,01% dan sampel ketiga sebesar 4,20%. Dari ketiga benda uji tersebut didapatkan nilai rata-rata porositas sebesar 3,28%.

3. Porositas Beton Porous Agregat Batu Pecah 0,5-1 cm

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Porositas Beton Porous Agregat Batu Pecah Ukuran Butir 0,5-1 cm (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

No	Umur	Berat Kering (C)	Berat Sampel dalam Air (A)	Berat Sampel Kondisi SSD (B)	Porositas
	Hari	Kg	(gram)	(gram)	
1	28	10.090	5.260	10.092	0.04%
2	28	10.050	5.175	10.132	1.65%
3	28	10.380	5.495	10.427	0.95%
Rata-rata		15.260			0.88%

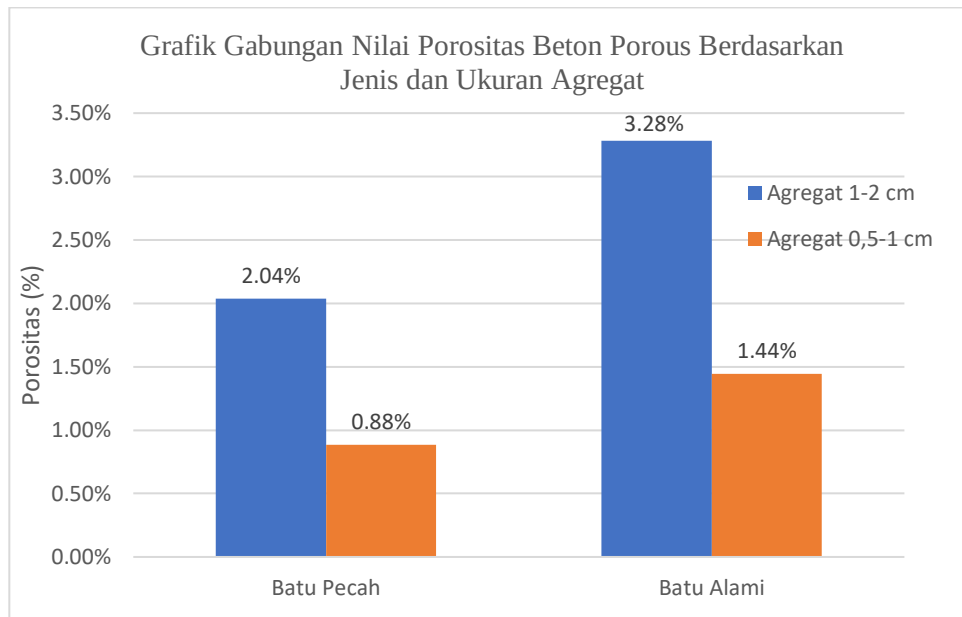
Berdasarkan tabel 4.26 hasil pengujian porositas beton porous agregat alami ukuran butir 0,5-1 cm didapatkan nilai porositas pada sampel pertama sebesar 0,04%, sampel kedua sebesar 1,65% dan sampel ketiga sebesar 0,95%. Dari ketiga benda uji tersebut didapatkan nilai rata-rata porositas sebesar 0,88%.

4. Porositas Beton Porous Agregat Batu Alami 0,5-1 cm

Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Porositas Beton Porous Agregat Batu Alami Ukuran Butir 0,5-1 cm (*Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024*)

No	Umur	Berat Kering (C)	Berat Sampel dalam Air (A)	Berat Sampel Kondisi SSD (B)	Porositas
	Hari	Kg	(gram)	(gram)	
1	28	9.520	5.505	9.575	1.35%
2	28	10.100	5.520	10.160	1.29%
3	28	9.420	5.575	9.486	1.69%
Rata-rata		9.680			1.44%

Berdasarkan tabel 4.27 hasil pengujian porositas beton porous agregat alami ukuran butir 0,5-1 cm didapatkan nilai porositas pada sampel pertama sebesar 1,35%, sampel kedua sebesar 1,29% dan sampel ketiga sebesar 1,69%. Dari ketiga benda uji tersebut didapatkan nilai rata-rata porositas sebesar 1,44%.



Gambar 4. 15 Grafik gabungan nilai porositas beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat

Berdasarkan gambar 4.15 di atas menunjukkan nilai porositas beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat yakni agregat batu pecah dan agregat batu alami. Setiap jenis agregat memiliki dua ukuran yakni 0,5-1 cm dan 1-2 cm. Batu pecah dengan ukuran agregat 1-2 cm memiliki nilai porositas sebesar 2,04% sedangkan untuk ukuran 0,5-1 cm memiliki nilai porositas sebesar 0,88%. Batu alami dengan ukuran agregat 1-2 cm memiliki nilai porositas sebesar 3,28% sedangkan untuk ukuran 0,5-1 cm sebesar 1,44%. Dari grafik ini menjelaskan bahwa batu alami dengan ukuran 1-2 cm memiliki nilai porositas tertinggi sebesar 3,28% sedangkan batu pecah dengan ukuran 0,5-1 cm memiliki nilai porositas terendah sebesar 0,88%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa di atas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Agregat batu pecah berukuran kecil (PC 0,5-1) memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tekan beton porous dibandingkan dengan agregat batu pecah berukuran besar (PC 1-2). Semakin kecil ukuran agregat batu pecah, semakin tinggi kuat tekan beton porous. Agregat batu alami berukuran kecil (AL 0,5-1) memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tekan beton porous dibandingkan dengan agregat batu alami berukuran besar (AL 1-2). Semakin kecil ukuran agregat batu alami, semakin tinggi kuat tekan beton porous.
2. Perbandingan nilai porositas beton porous berdasarkan jenis dan ukuran agregat disimpulkan bahwa agregat ukuran 1-2 cm memiliki nilai porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat ukuran 0,5-1 cm pada kedua jenis batu, baik batu alami maupun batu pecah. Nilai porositas tertinggi didapat pada agregat batu alami ukuran 1-2 cm sebesar 3,28% sedangkan porositas terendah pada agregat batu pecah ukuran 0,5-1 cm sebesar 0,88%. Hal ini disebabkan karena agregat yang lebih besar memiliki lebih banyak ruang kosong antar partikel, yang menyebabkan pori-pori lebih banyak dan nilai porositas menjadi lebih tinggi.

B. Saran

1. Sebaiknya, penelitian berikutnya menggunakan bahan aditif untuk mencapai kualitas beton yang lebih optimal.
2. Ada beberapa faktor dalam pembuatan sampel yang memiliki dampak signifikan terhadap kekuatan tekan beton berpori. Oleh karena itu, prosedur pembuatan harus diperhatikan dengan seksama, baik untuk penelitian lebih lanjut maupun untuk penerapan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI, 2010. *Report on Pervious Concrete* ACI 522R-10. American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Badan Standar Nasional. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *SNI 03-2834-2000*. Jakarta: Departemen pekerjaan Umum.
- Desmaliana, Erma, et al. (2018). Kajian eksperimental sifat mekanik beton porous dengan variasi faktor air semen. *Jurnal Teknik Sipil* 15.1 19-29.
- Dwi, Satrio Dandi. (2020). Variasi Perbandingan Semen Dan Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton Berpori. *Jurnal Teknik Sipil*. 5(2):95.
- Elizondo-Martinez, E. J., Andres-Valeri, V. C., Rodriguez-Hernandez, J., & Castro-Fresno, D. (2019). Proposal of a New Porous Concrete Dosage Methodology for Pavements. *Materials* (Basel), 12(19).
- Farid, Miftah. (2021). Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (Laston). *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia* 6.1: 321-332.
- Ginting, A. (2010). Perbandingan Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Bergradasi Seragam Dengan Gradasi Menerus. 2000, 377–383.
- Ginting, A., Suyono, (2022). Penggunaan Batu Blondos untuk Beton Porous. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 62–74.
- Jelyandri. (2020). Analisis Campuran Beton Berpori Terhadap Porositas, Permeabilitas, Dan Kuat Tekan. *Ejournal Bunghatta*. 1(1).
- Kurniasyih Siti. (2019). *Studi Kuat Tekan, Porositas, Dan Permeabilitas Dengan Penambahan Abu Arang Kayu Karet Terhadap Beton Porous*.
- Patah Dahlia & Amry Dasar. (2023). Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Teknologi Terpadu*. 11(2).
- Selatan, D. I. K. (2020). *Jurnal kacapuri*. 3, 139–149.
- Shalahuddin, Muhammad, and Azhari Azhari. (2017). Analisa Karakteristik Beton Non Struktural Menggunakan Cangkang Sawit Sebagai Agregat Kasar. *Jurnal Poli-Teknologi* 16.1
- Simanjuntak I.V. & Tampubolon S.P. (2022). Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Porous Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton. *e-Journal CENTECH*. 3(1): 1.

- Standar Nasional Indonesia. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta (1974).
- Tekan, S. K., & Permeabilitas, D. A. N. (2019). Tempurung Kelapa Terhadap Berat Semen.
- Teknik, F., Sipil, J. T., Sam, U., & Manado, R. (2018). Pengaruh variasi kadar superplasticizer terhadap nilai slump beton geopolymer. 2(6), 283–291.
- Tjitradi, D. (2019). Nilai Slump Ideal Untuk Perencanaan Campuran Beton Mutu 25 Mpa. 13(2), 1–10.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). Teknologi Beton, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.