

## UJI PERMEABILITAS BETON K275 *MIX DESIGN* SPLIT DAN KORAL MENGUNAKAN ALAT UJI PERMEABILITAS BETON PORTABLE DENGAN PENETRASI AIR BERTEKANAN

\*Srikirana Meidiani, Kevin Danugroho

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA, Palembang

\*) [srikirana@iba.ac.id](mailto:srikirana@iba.ac.id)

### ABSTRAK

Beton merupakan konstruksi yang paling disukai dan paling banyak digunakan pada bangunan-bangunan sipil dari pada konstruksi yang lain, seperti baja misalnya. Hal ini dikarenakan beton mempunyai banyak kelebihan antara lain harganya murah dan mudah dikerjakan. Namun disamping itu beton juga mempunyai kelemahan yaitu porous. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki oleh air (permeabilitas). Sehingga dalam penelitian ini kami mencoba untuk melakukan pengujian permeabilitas pada beton yang menggunakan *mix design* agregat kasar berupa batu pecah dan koral, karena berdasarkan hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa beton yang menggunakan *mix design* agregat batu pecah (permukaan kasar) dan koral (permukaan halus) menunjukkan hasil kuat tekan yang lebih baik (Labib, 2016). Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui apakah dengan meningkatnya kuat tekan beton *mix design* juga akan berdampak rendahnya koefisien permeabilitas. Metode Pengujian Permeabilitas beton dilakukan dengan menggunakan alat Uji Permeabilitas Beton Dengan Penetrasi Air Bertekanan Tinggi yang merupakan alat uji permeabilitas beton yang dibuat oleh Srikirana Meidiani dalam tesisnya. Penelitian yang dilakukan disini menggunakan *mix design* yang berbeda dengan kombinasi yang sama yaitu *mix design* split dan *mix design* koral dengan kombinasi 75% + 25% dan 65% + 35% pada beton K.275. Hasil dari penelitian ini menunjukkan permeabilitas *mix design* split dengan kombinasi 75% split + 25% koral dan 65% split + 35% koral masing-masing menghasilkan nilai koefisien permeabilitas  $4,53355E-11$  m/detik dan  $8,88569E-11$  m/detik dan pada *mix design* koral dengan kombinasi 75% koral + 25% split dan 65% koral + 35% split menghasilkan masing-masing nilai koefisien permeabilitas  $2,67299E-11$  m/detik dan  $2,34208E-11$  m/detik. Kuat tekan pada *mix design* koral dengan kombinasi agregat 65% koral + 35% split menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi yaitu  $324,44$  kg/cm<sup>2</sup> mengalami peningkatan sebesar 5,29% dari kuat tekan beton normal. Sedangkan pada *mix design* koral dengan kombinasi 65% koral + 35% split menghasilkan koefisien permeabilitas paling rendah yaitu  $2,34208E-11$  m/detik terjadi penurunan sebesar 12,40% dari koefisien permeabilitas beton normal.

**Kata kunci :** *mix design*, agregat, kombinasi, beton normal, kuat tekan dan permeabilitas.

### 1. PENDAHULUAN

Beton adalah Konstruksi yang saat ini masih dominan digunakan dalam pembangunan infrastruktur dibandingkan konstruksi lain, hal ini dikarenakan beton adalah material yang mudah didapat, mudah dikerjakan dan biaya yang lebih murah dibandingkan baja misalnya, namun kelemahan beton adalah sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki oleh air karena beton adalah bahan yang porous.

Masuknya air pada beton biasa terjadi pada bagian-bagian struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan air, misalnya pelat beton untuk atap, bak penampungan air, dinding *basement* dan bisa juga adanya perbedaan kelembaban kedua belah sisi beton. Jika air mencapai tulangan dapat menyebabkan korosi, sehingga volume baja tulangan pada konstruksi tersebut meningkat dan menyebabkan pecahnya kulit beton.

Menurut pendapat Tjokrodinuljo (1997:1), menyatakan saat ini pengetahuan cara pembuatan beton tampaknya lebih populer dari pada pengetahuan bahan dasar beton tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa pengetahuan cara pembuatan beton yang benar dan terkontrol dengan baik akan menghasilkan permeabilitas beton yang baik dibandingkan mempelajari tentang material pembuat beton.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang menggunakan agregat batu pecah (permukaan kasar) menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton yang menggunakan agregat berupa koral (permukaan halus). Namun dipandang dari segi ekonomis, maka beton yang menggunakan agregat dengan permukaan kasar (batu pecah) harganya lebih tinggi dibandingkan agregat permukaan halus (koral), selain itu juga di daerah-daerah tertentu adakalanya tidak tersedia atau sulit mendapatkan agregat dengan permukaan kasar (batu pecah). Sehingga untuk memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan biaya lagi karena harus didatangkan dari daerah lain sehingga biaya menjadi lebih mahal. Maka penelitian tentang hal ini telah dilakukan oleh Labib (2015) yang menunjukkan bahwa beton *mix design* batu pecah dan koral menghasilkan kuat tekan yang lebih baik pada kombinasi yang tepat.

Mengacu dari uraian diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang uji permeabilitas beton *mix design* agregat batu pecah (permukaan kasar) dengan agregat koral (permukaan halus) yang dituangkan dalam bentuk penelitian dengan judul “Uji Permeabilitas Beton K.275 *Mix Design* Batu Pecah dan Koral Menggunakan Alat Uji Permeabilitas Beton *Portable* Dengan Penetrasi Air Bertekanan”.

## **2. LANDASAN TEORI**

### **2.1. Pengertian Beton**

Beton adalah campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan satu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu masa mirip batuan. Kadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), duarbilas, dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, 2003).

Pada beton yang baik, setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran. Sifat masing-masing bahan juga berbeda dalam hal perilaku beton segar maupun pada saat sudah mengeras, selain faktor biaya yang perlu diperhatikan. Dilain pihak, secara volumetris beton diisi oleh agregat sebanyak 70-75%, jadi agregat juga mempunyai peran yang sama pentingnya sebagai material pengisi beton.

### **2.2. Permeabilitas Beton**

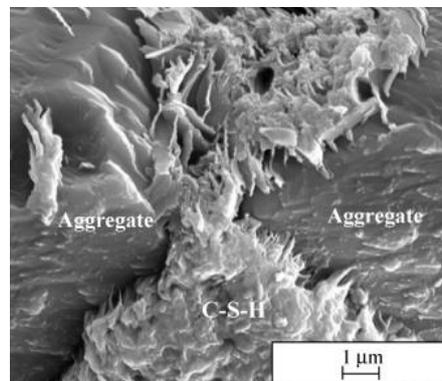
Permeabilitas beton adalah pergerakan air dari suatu permukaan yang lain karena adanya perbedaan kelembaban antara kedua permukaan tersebut. Untuk struktur beton yang berhubungan dengan air atau bersinggungan dengan tekanan air, seperti tangki atau pipa bertekanan, bangunan penahan air, basement, dam, bendungan atau bangunan di dalam air yang sangat dalam, sifat impermeabilitas yang harus dimiliki oleh beton adalah faktor yang lebih utama mendapat perhatian daripada kekuatan (*strength*) beton itu sendiri karena mempengaruhi durabilitas struktur.

Permeabilitas disebabkan adanya pori-pori pada pasta semen dan pori diantara pasta semen dan agregat (*Interfacial Transition Zone*). Rongga yang besar ditemukan pada kualitas beton yang kurang baik, yaitu kurangnya pemadatan dan terjadinya *bleeding* pada saat pembuatan beton segar. Dalam kasus ekstrim volume rongga dapat mencapai 10% dari volume beton. Pada pasta semen yang telah mengeras permeabilitas tergantung pada ukuran, bentuk dan jumlah partikel gel dan apakah kapilaritas pasta semen berhenti atau tidak. Beton merupakan bahan yang bersifat *porous*, artinya mempunyai pori-pori yang mempengaruhi kekuatan dan durabilitas (P. Kumar Mehta, 1991).

Berikut ini dijelaskan hal-hal yang menyebabkan beton bersifat *permeable* :

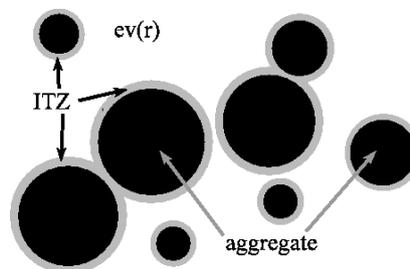
- 1). Pori Pasta Semen
  - (a) Rongga Udara

- (b) Didefinisikan sebagai sejumlah kecil udara yang terperangkap (*air void*) selama proses pencampuran beton, dan air yang menguap (*water filled space*) sebagai ruang yang tidak terisi oleh produk hidrasi.
  - (c) Rongga Kapiler (*capillary porous*)  
Didefinisikan sebagai ruang yang disebabkan antara udara yang terperangkap (*air void*) dan air yang menguap (*water filled space*) saling berhubungan. Pada pasta semen yang terhidrasi dengan baik (*w/c ratio* rendah), rongga kapiler berukuran 10-50  $\mu$  m. Pada pasta semen dengan *w/c ratio* tinggi, rongga kapiler dapat berukuran 3-5  $\mu$  m.
- 2). Pori-pori gel (*tobermorite gel*)  
Salah satu produk hidrasi adalah *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) yang biasanya disebut *tobermorite gel*. Diantara gel yang satu dengan yang lain terdapat ruang yang ukurannya sangat kecil (1  $\mu$  m) dan hampir tidak ada efek negatif terhadap permeabilitas dan kekuatan beton seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.1 Bentuk Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) (Sumber : P. Kumar Mehta, 1991)

- 3). *Interfacial Transition zone*  
*Interfacial Transition Zone* (ITZ) atau zona transisi adalah daerah pertemuan antara partikel agregat kasar dan pasta semen yang terhidrasi. Zona transisi ini berupa lapisan tipis 10-50  $\mu$  m disekeliling agregat berukuran besar (Gambar 2.3). Zona transisi lebih lemah daripada komponen utama beton yaitu agregat dan pasta semen. Karakteristik dari zona transisi mempengaruhi durabilitas beton, elemen beton bertulang dan beton pratekan sering mengalami kegagalan karena korosi pada tulangan. Korosi dipengaruhi oleh permeabilitas beton. *Microcrack* di zona transisi pada agregat kasar adalah penyebab beton lebih permeabel daripada semen mortar, (P. Kumar Mehta, 1991).

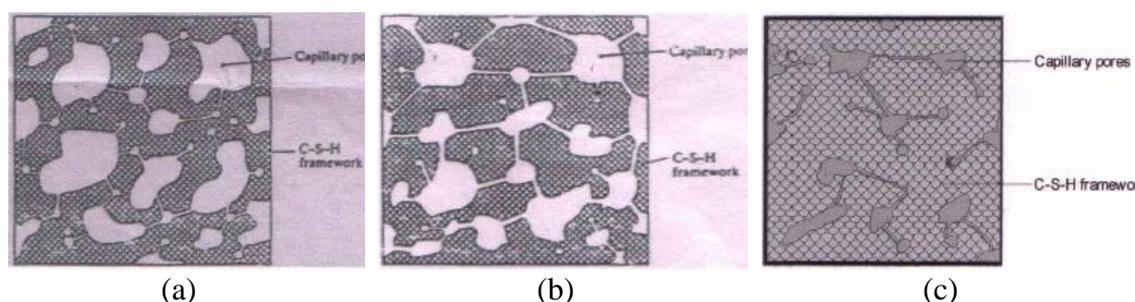


Gambar 2.2 Interfacial Transition Zone (ITZ) (Sumber : P. Kumar Mehta, 1991)

Pada beton yang *permeable*, air akan menembus ke dalam beton melalui dua jalan. Pertama, ketika ada tekanan hidrostatis pada salah satu sisi struktur beton, air dan material agresif dapat diangkut melalui beberapa jaringan yang saling menghubungkan antara dua sisi beton tersebut.

Kedua, air akan diserap dengan aksi kapiler diangkut ke dalam beton ke satu sisi beton yang lain. Artinya permeabilitas bukan hanya ditentukan oleh porositas pasta semen saja tetapi juga oleh kapiler yang saling menghubungkannya.

Pasta semen dikenal dengan keadaannya yang berongga atau berpori, namun adanya pori pada beton tidak dapat didefinisikan sebagai cacat, namun cacat dapat diakibatkan oleh retak akibat adanya pori. Kapiler yang terbagi dalam ruas-ruas berpengaruh besar terhadap permeabilitas, secara nyata menggambarkan bahwa permeabilitas adalah fungsi dari porositas pasta semen yang tidak sederhana. Ada kemungkinan pada dua bahan yang porous memiliki kesamaan porositas tetapi berbeda permeabilitasnya, seperti ditampilkan pada gambar 2.4. Kenyataannya hanya satu lintasan besar yang menghubungkan rongga-rongga kapilernya yang akan mengakibatkan besarnya permeabilitas.



Gambar 2.3 Pori-Pori Kapiler Pada Beton

Gambar 2.3 memperlihatkan hubungan antara pori kapiler dengan pori-pori gel yang menentukan permeabilitas beton.

- Pori-pori kapiler terbagi dalam ruas-ruas dan hanya terhubung sebagian (permeabilitas rendah atau *impermeable*)
- Pori-pori kapiler terhubung oleh lintasan besar (permeabilitas tinggi atau *permeable*)
- Pori-pori kapiler pada beton normal

Selain faktor yang di uraikan di atas, permeabilitas beton juga tergantung dari beberapa hal yaitu: faktor air semen (FAS), mutu beton, *curing*, umur beton dan teknik pelaksanaan. Ditinjau dari segi faktor air semen, semakin besar faktor air semennya semakin *permeable* beton tersebut. Ditinjau dari mutu beton yang akan direncanakan, maka dapat diketahui semakin tinggi mutu beton maka semakin *impermeable* pula beton tersebut. Ditinjau dari *curing* yang akan direncanakan semakin lama beton di *curing* semakin *impermeable* pula beton tersebut. Ditinjau dari umur beton yang akan direncanakan, semakin tua umur beton semakin *impermeable* juga beton tersebut. Sedangkan dari segi teknik pelaksanaan semakin bagus pelaksanaan pengerjaannya maka semakin *impermeable* pula beton tersebut.

Pada struktur-struktur tertentu seperti dinding penahan tanah, basement, tangki air atau bangunan-bangunan yang berhubungan langsung dengan air memerlukan perhatian lebih khusus dalam hal rembesan (*absorpsi*) dan permeabilitasnya, maka perlu adanya penelitian mengenai perbaikan sifatnya, salah satu cara perbaikannya adalah menggunakan bahan tambah yang dapat memperbaiki sifat tersebut.

### 2.3. Uji Permeabilitas dan Rumus Koefisien Permeabilitas

Dalam ASTM (*American Society for Testing Materials*) dan BS (*British Standard*) tidak terdapat deskripsi tentang uji permeabilitas secara rinci, namun berdasarkan Neville dan Brooks (1987), uji permeabilitas beton dapat diukur dari percobaan *sample* beton yang di *sealed* dari air bertekanan pada sisi atasnya saja dan meliputi aspek banyaknya air yang tembus atau masuk lewat ketebalan beton pada waktu tertentu (SNI S-36-1990-03 ayat 2.2.1.2).

Standar ACI 301-72 menyarankan bahwa agar kedap air, beton struktur harus mempunyai

rasio air-semen tidak lebih dari 0,48 yang berhubungan dengan air tawar dan tiak lebih dari 0,44 yang berhubungan dengan air laut. Permeabilitas maksimum sebesar  $1,5 \times 10^{-11}$ –  $4,8 \times 10^{-11}$  m/detik sering dianjurkan.

Uji permeabilitas beton terhadap air sendiri dibedakan menjadi dua kategori, yaitu uji kecepatan aliran (*flow test*), uji penyerapan air (*penetration test*). Uji yang pertama digunakan untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila ternyata air dapat mengalir melalui sampel beton. Uji penetrasi digunakan jika dalam percobaan permeabilitas tidak ada air yang mengalir melalui sampel. Dari data yang dihasilkan oleh uji permeabilitas dapat ditentukan koefisien permeabilitas, yaitu suatu angka yang menunjukkan kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat. Besar kecilnya koefisien permeabilitas beton menyatakan mudah tidaknya beton dilalui air. Semakin tinggi koefisien permeabilitas semakin mudah beton dilalui air. Pengujian permeabilitas dan penetrasi air dari beton dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- 1) Untuk mengukur ketebalan atau kedalaman penetrasi air :
  - a) Pengujian dilakukan pada umur 28 hari – 35 hari
  - b) Benda uji dikeringkan di oven sampai beratnya konstan
  - c) Letakkan benda uji pada alat uji permeabilitas
  - d) Pasang pelat dan sealer pada posisi sekeliling dan permukaan benda uji yang tidak dikasarkan, untuk menghindari kebocoran.
  - e) Lalu tabung ditutup dan dikencangkan dengan baut
  - f) Air dimasukkan ke dalam alat melalui lubang yang terdapat pada penutup tabung alat uji, catat permukaan air pada tabung kaca.
  - g) Berikan tekanan sebesar  $5 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.5 \text{ N/mm}^2$ )
  - h) Jaga tekanan konstan  $5 \text{ kg/cm}^2$  ( $0.5 \text{ N/mm}^2$ ) selama 3 hari
  - i) Permeabilitas diukur dari kedalaman penetrasi air yang terjadi (mulai dari permukaan beton sampai kedalaman pada beton).
  
- 2) Untuk mengevaluasi koefisien permeabilitas  
Cara mengevaluasi koefisien permeabilitas beton adalah dengan cara setelah diberi tekanan  $5 \text{ kg/cm}^2$  selama 3 hari, lalu sampel dibelah dan dievaluasi kedalaman penetrasi airnya, diameter sebaran air dan nilai  $k$  (koefisien permeabilitas) dievaluasi berdasar rumus *Darcy*. Untuk tiap-tiap tes terdapat rumus-rumus yang sesuai untuk mendapatkan angka koefisien permeabilitas. Angka permeabilitas adalah angka yang menunjukkan kecepatan rembesan air dalam suatu zat.

Pada uji aliran (*flow test*), koefisien permeabilitas dihitung dengan rumus Darcy :

$$K = \frac{\rho g L Q}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- $K$  : koefisien permeabilitas (cm/det)
- $\rho$  : massa jenis air ( $\text{kg/cm}^3$ )
- $g$  : percepatan gravitasi ( $\text{cm/det}^2$ )
- $L$  : panjang atau tinggi sample (cm)
- $Q$  : debit aliran air ( $\text{cm}^3/\text{det}$ )
- $P$  : tekanan air ( $\text{kg cm/det}^2/\text{cm}^2$ )
- $A$  : Luas penampang sample ( $\text{cm}^2$ )

Nilai permeabilitas maksimum berdasarkan ACI 301-729 adalah  $1,5 \times 10^{-11}$  m/detik. Ketentuan mengenai persyaratan serapan (absorpsi) untuk beton kedap air terdapat dalam SK. SNI S-36-1990-03.

Pada uji penetrasi, rumus yang dipakai adalah

$$K = \frac{d^2 v}{2Th} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- K* : koefisien permeabilitas (m/det)
- d* : kedalaman penetrasi (m)
- T* : waktu penetrasi (det)
- h* : tinggi tekanan (m)
- v* : angka pori beton

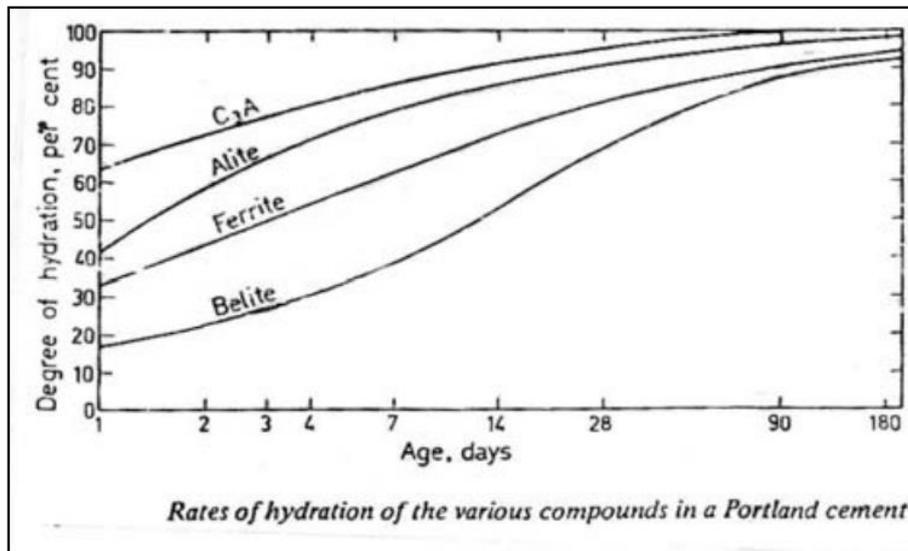
Angka pori beton, *v*, dihitung dengan menggunakan rumus :

$$v = \frac{(w/c) \times (100 - \alpha \times 36,15)}{(w + 100 / g)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

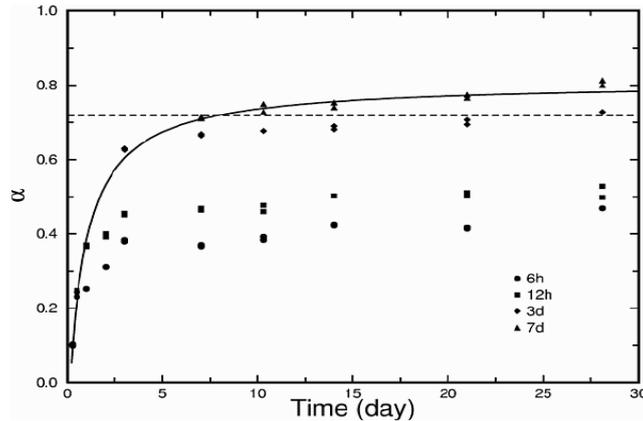
- v* : angka pori beton
- w/c* : faktor air semen
- w* : jumlah air bebas dalam beton (g/cm<sup>3</sup>)
- g* : massa jenis beton (g/cm<sup>3</sup>)
- α* : drajat hidrasi beton

Drajat hidrasi beton (*α*) diperoleh dari grafik yang menyatakan hubungan antara drajat hidrasi dan umur pasta semen untuk pasta semen tertentu. Bentuk tipikal grafik ini diperlihatkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.4** Grafik derajat hidrasi semen menurut komponen penyusun semen (Sumber : Soroka (1979))

Grafik lain yang dapat digunakan untuk menentukan drajat hidrasi beton untuk berbagai jenis tipe semen bila telah diketahui komponennya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik tipikal derajat hidrasi semen menurut umur beton

Jika berdasarkan rasio air-semen ( $w/c$ ) derajat hidrasi ( $\alpha$ ) dihitung berdasarkan persamaan :

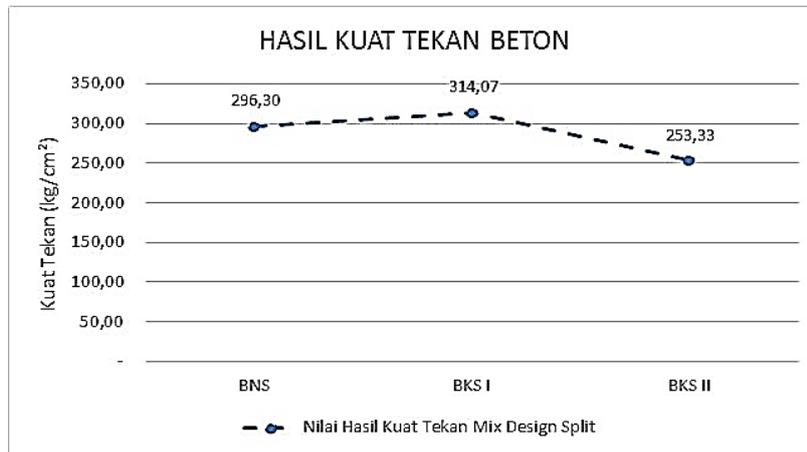
$$\alpha = 0.65 + 0.1 \frac{\left(\frac{w}{c} - 0,39\right)}{(0.45 - 0.39)} \dots\dots\dots (2.4)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah umur beton 28 hari. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15x15x15 cm. Dari pengujian didapat data-data dengan kuat tekan beton yang disajikan dalam bentuk grafik dan histogram.

##### 3.1.1. Hasil Kuat Tekan Beton *Mix Design Split*



Gambar 3.1. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan gambar 3.1 memperlihatkan bahwa kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan kuat tekan 314,07 kg/cm<sup>2</sup>, kombinasi 65% split + 35% koral menghasilkan kuat tekan 253,33 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil kuat tekan yang diperoleh menunjukkan bahwa kombinasi agregat 75% split + 25% koral menghasilkan nilai kuat tekan paling tinggi. Artinya dengan pemakaian kombinasi agregat split dan koral dengan persentase 75% + 25% dapat memberikan hasil kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal yang ditargetkan yaitu K.275. Hasil

diatas ditabulasikan kedalam bentuk tabel 3.1. berikut ini:

**Tabel 3.1.** Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Kode Sample	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Penurunan Kuat Tekan Beton (%)	Kenaikan Kuat Tekan Beton (%)
BNS	296,30	-	-
BKS I	314,07	-	15,11
BKS II	253,33	14,50	-

Sumber : Diolah oleh peneliti (*Mix Design Split*)

Berdasarkan hasil tabel 3.1. diatas menunjukkan bahwa kuat tekan beton pada *mix design* koral dengan kombinasi 75% koral + 25% split mengalami peningkatan sebesar 15.11% dari kuat tekan beton normal sedangkan pada kombinasi 65% koral + 35% split mengalami penurunan sebesar 14.5%.

### 3.1.2. Hasil Kuat Tekan Beton *Mix Design* Koral



**Gambar 3.2** Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan gambar 3.2 memperlihatkan bahwa kombinasi 75% koral + 25% split menghasilkan kuat tekan 315,56kg/cm<sup>2</sup>, kombinasi 65% koral + 35% split menghasilkan kuat tekan 324,44kg/cm<sup>2</sup>. Hasil kuat tekan yang diperoleh menunjukkan bahwa kombinasi agregat 65% koral + 35% split menghasilkan nilai kuat tekan paling tinggi. Artinya dengan pemakaian kombinasi agregat koral dan split dengan persentase 65% + 35% dapat memberikan hasil kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal yang ditargetkan yaitu K.275. Hasil diatas ditabulasikan kedalam bentuk tabel 3.2. berikut ini,

**Tabel 3.2.** Hasil Uji Kuat Tekan Beton

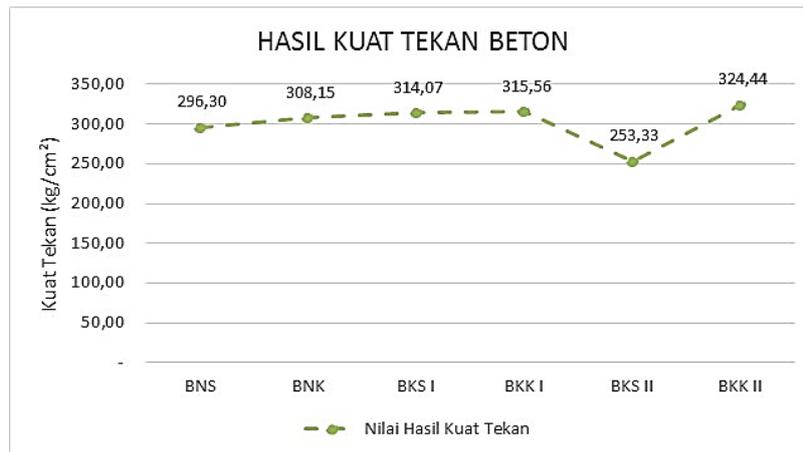
Kode Sample	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Penurunan Kuat Tekan Beton (%)	Kenaikan Kuat Tekan Beton (%)
BNK	308,15	-	-
BKK I	315,56	-	2,4
BKK II	324,44	-	5,29

Sumber : Diolah oleh peneliti (*Mix Design Koral*)

Berdasarkan hasil tabel 3.2. diatas menunjukkan bahwa kuat tekan beton pada *mix design* koral dengan kombinasi 75% koral + 25% split mengalami peningkatan sebesar 2,4% dari kuat tekan beton normal sedangkan pada kombinasi 65% koral + 35% split mengalami peningkatan sebesar 5,29%.

### 3.1.3. Hasil Keseluruhan Uji Kuat Tekan Beton

Berikut hasil kuat tekan *mix design* split dan hasil kuat tekan *mix design* koral dalam bentuk grafik pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan gambar 3.3 memperlihatkan bahwa beton pada *mix design* split pada kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan kuat tekan 314,07 kg/cm<sup>2</sup> dan kombinasi 65% split + 35% koral menghasilkan kuat tekan 253,33 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan beton pada *mix design* koral kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan kuat tekan 315,56 kg/cm<sup>2</sup> dan kombinasi 65% koral + 35% split menghasilkan 324,44 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil kuat tekan yang diperoleh dari empat kombinasi diatas tiga diantaranya mengalami peningkatan dari beton normal dan satu kombinasi mengalami penurunan.

Dari hasil kuat tekan yang diperoleh keseluruhan, menunjukkan beton pada kombinasi agregat 65% koral + 35% split menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi yaitu 324,44 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabel 3.3. Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan

Mix Design	Kode Sampel	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Penurunan Kuat Tekan Beton (%)	Kenaikan Kuat Tekan Beton (%)
Split	BNS	296,30	-	-
	BKS I	314,07	-	15,11
	BKS II	253,33	14,50	-
Koral	BNK	308,15	-	-
	BKK I	315,56	-	2,50
	BKK II	324,44	-	5,29

Sumber : Diolah oleh peneliti

### 3.2. Hasil Pengujian Permeabilitas Beton

Pengujian ini dilakukan terhadap sampel silinder beton dengan ukuran Ø 15 cm dan tinggi 30 cm. Pemeriksaan permeabilitas pada benda uji dilakukan menggunakan alat uji permeabilitas Srikirana Meidiani yang berada di laboratorium BAT Universitas IBA Palembang. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui sejauh mana pengaruh kombinasi agregat permukaan kasar

(split) dan agregat permukaan halus (koral) terhadap koefisien permeabilitas beton. Koefisien permeabilitas dapat diketahui dengan menggunakan rumus Darcy.

$$k = \frac{d^2 v}{2 t h} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$v = \frac{(w/c)x(100)-\alpha x6,15}{(w+100/g)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

**Tabel 3.4.** Data Hasil Pengujian Permeabilitas Beton

Kode Benda Uji	No	Berat (gr)	d (m)	k (m/detik)	k rata-rata (m/detik)	k rata-rata 28 (hari)
BNS	1	11722	0,1075	8,1962E-11	1,1049E-10	1,2555E-11
	2	11525	0,1400	1,3901E-11		
BKS I	1	12006	0,0750	3,9895E-11	3,9895E-11	5,5336E-11
	2	12080	Cacat	-		
BKS II	1	11616	0,1050	7,8194E-11	7,8194E-11	8,8857E-11
	2	11815	Cacat	-		
BNK	1	11699	0,0600	2,1643E-11	1,8337E-11	2,0837E-11
	2	11898	0,0500	1,5030E-11		
BKK I	1	11930	0,0650	2,5401E-11	2,3522E-11	2,6730E-11
	2	11933	0,0600	2,1644E-11		
BKK II	1	12310	0,0725	3,1601E-11	2,0610E-11	2,3421E-11
	2	12175	0,0400	9,6194E-11		

Sumber : Diolah oleh peneliti

**3.2.1. Hasil Permeabilitas Beton Mix Design Split**

Menurut hasil perhitungan, nilai koefisien permeabilitas pada tabel 3.5.

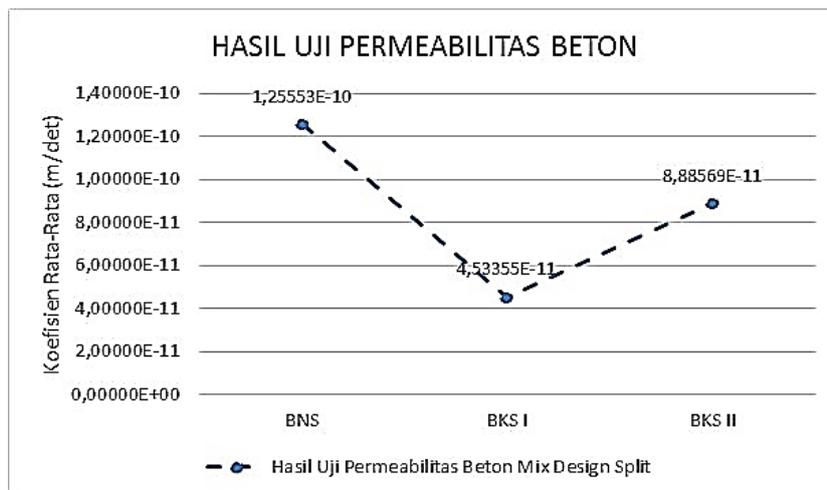
**Tabel 3.5.** Evaluasi hasil uji permeabilitas beton dengan mix design split

Kode sampel	Koefisien Permeabilitas (m/detik)	ACI 301-729 (revisi 1975) 1,5 . 10 <sup>-11</sup> m/detik
BNS	1,25553E-10	Tidak Memenuhi Syarat
BKS I	4,53355E-11	Tidak Memenuhi Syarat
BKS II	8,88569E-11	Tidak Memenuhi Syarat

Sumber : Diolah oleh peneliti

Berdasarkan ACI 301-729 (revisi 1975) (dalam *Neville dan Brooks, 1987*) nilai koefisien permeabilitas maksimum disyaratkan sebesar 1,5 . 10<sup>-11</sup> m/detik (1,5 . 10<sup>-9</sup> cm). Hasil pada tabel 3.5. menunjukkan bahwa keseluruhan nilai koefisien beton normal dan beton yang menggunakan kombinasi agregat tidak memenuhi syarat.

Berikut hasil permeabilitas *mix design* split dalam bentuk grafik pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4.** Grafik Hasil Permeabilitas Beton Umur 28 Hari (Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan gambar 3.4 memperlihatkan bahwa kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan koefisien permeabilitas 4,53355E-11 m/detik dan kombinasi 65% split + 35% koral menghasilkan koefisien permeabilitas 8,88569E-11 m/detik. Artinya dengan pemakaian kombinasi agregat split dan koral dengan persentase 75% + 25% menghasilkan koefisien permeabilitas yang rendah dibandingkan pada beton normal split dan beton dengan kombinasi 65% + 35%. Hasil uraian diatas ditabulasikan kedalam bentuk tabel 3.6 berikut ini:

**Tabel 3.6.** Hasil Permeabilitas Beton

Kode sampel	k rata-rata (m/detik)	Penurunan Permeabilitas (%)	Kenaikan Permeabilitas (%)
BNS	1,25553E-10	-	-
BKS I	4,53355E-11	63,89	-
BKS II	8,88569E-11	29,23	-

Sumber : Diolah oleh peneliti (*mix design* split)

Berdasarkan hasil tabel 3.6 menunjukkan bahwa permeabilitas beton pada *mix design* split dengan kombinasi 75% split + 25% koral mengalami penurunan permeabilitas sebesar 63,89% dari permeabilitas beton normal sedangkan pada kombinasi 65% split dan 35% koral terjadi penurunan sebesar 29,23%.

### 3.2.2. Hasil Permeabilitas Beton *Mix Design* Koral

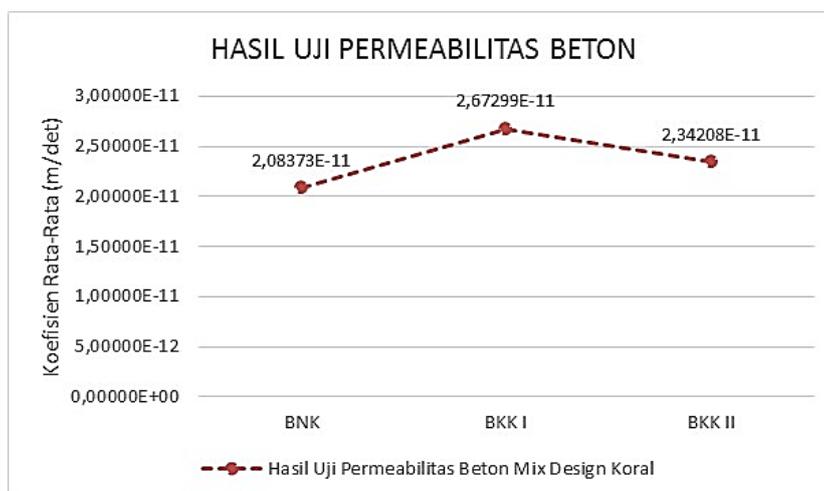
Menurut hasil perhitungan, nilai koefisien permeabilitas pada tabel 3.7.

**Tabel 3.7.** Evaluasi hasil uji permeabilitas beton dengan *mix design* koral

Kode sampel	Koefisien Permeabilitas (m/detik)	ACI 301-729 (revisi 1975) $1,5 \cdot 10^{-11}$ m/detik
BNK	2,08373E-11	Tidak Memenuhi Syarat
BKK I	2,67299E-11	Tidak Memenuhi Syarat
BKK II	2,34208E-11	Tidak Memenuhi Syarat

Sumber : Diolah oleh peneliti

Hasil pada table 3.7. menunjukkan bahwa keseluruhan nilai koefisien beton normal dan beton yang menggunakan kombinasi agregat tidak memenuhi syarat. Berikut hasil permeabilitas *mix design* koral dalam bentuk grafik pada gambar 3.5



**Grafik 3.5** Grafik Hasil Permeabilitas Beton Umur 28 Hari (Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan gambar 3.5 memperlihatkan bahwa kombinasi 75% koral + 25% split menghasilkan koefisien permeabilitas  $2,67299E-11$  m/detik dan kombinasi 65% koral + 35% split menghasilkan koefisien permeabilitas  $2,34208E-11$  m/detik. Artinya dengan pemakaian kombinasi agregat koral dan split dengan persentase 75% + 25% menghasilkan koefisien permeabilitas yang tinggi dibandingkan pada beton normal koral dan beton dengan kombinasi 65% + 35%.

Hasil uraian diatas ditabulasikan kedalam bentuk tabel 3.8 berikut ini:

**Tabel 3.8.** Hasil Permeabilitas Beton

Kode sampel	k rata-rata (m/detik)	Penurunan Permeabilitas (%)	Kenaikan Permeabilitas (%)
BNK	$2,08373E-11$	-	-
BKK I	$2,67299E-11$	-	28,28
BKK II	$2,34208E-11$	-	12,40

Sumber : Diolah oleh peneliti (*mix design* koral)

Berdasarkan hasil tabel 3.8. Diatas menunjukkan bahwa permeabilitas beton pada *mix design* koral dengan kombinasi 75% split + 25% koral mengalami kenaikan nilai koefisien permeabilitas sebesar 28,27% dari koefisien permeabilitas beton normal sedangkan pada kombinasi 65% split + 35% koral terjadi penurunan sebesar 12,40%

### 3.2.3. Hasil Keseluruhan Uji Permeabilitas Beton

Berikut hasil permeabilitas beton *mix design split* dan hasil permeabilitas beton *mix design* koral dalam bentuk grafik pada gambar 3.6.



**Gambar 3.6.** Grafik Hasil Permeabilitas Beton Umur 28 Hari (Sumber: Hasil Analisa)

Berdasarkan gambar 3.6. memperlihatkan bahwa beton pada *mix design* split pada kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan permeabilitas 4,53355E-11 m/detik dan kombinasi 65% split + 35% koral menghasilkan permeabilitas 8,88569E-11 m/detik. Sedangkan beton pada *mix design* koral kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan permeabilitas 2,67299E-11 m/detik dan kombinasi 65% koral + 35% split menghasilkan permeabilitas 2,34208E-11 m/detik. Hasil permeabilitas yang diperoleh dari empat kombinasi diatas mengalami penurunan dari beton normal.

Dari hasil koefisien permeabilitas yang diperoleh keseluruhan, menunjukkan permeabilitas beton pada kombinasi agregat 65% koral + 35% split menghasilkan permeabilitas yang paling rendah sebesar 2,34208E-11 m/detik

**Tabel 3.9** Rekapitulasi Hasil Permeabilitas Beton

Mix Design	Kode Sampel	Nilai Permeabilitas (m/detik)	Penurunan Permeabilitas (%)	Kenaikan Permeabilitas (%)
Split	BNS	1,25553E-10	-	-
	BKS I	4,53355E-11	63,89	-
	BKS II	8,88569E-11	29,23	-
Koral	BNK	2,08373E-11	-	-
	BKK I	2,67299E-11	-	28,28
	BKK II	2,34208E-11	-	12,40

Sumber : Diolah oleh peneliti

Dalam penelitian ini didapat bahwa kuat tekan beton yang menggunakan kombinasi agregat berpengaruh terhadap koefisien permeabilitas beton. Permeabilitas paling rendah yaitu pada beton dengan kombinasi 65% koral + 35% split, memperlihatkan bahwa koral menyebar di pasta semen yang menyebabkan *interfacion transition zone* (ITZ) mengecil dan ini menyebabkan air sulit untuk masuk. Sehingga pada saat dilakukan pengujian pada beton dengan kombinasi 65% koral + 35% split terjadi peningkatan kuat tekan dan penurunan permeabilitas disebabkan oleh adanya koral tersebut.

Dari penelitian ini memperlihatkan bahwa komposisi 65% koral + 35% split memberikan hasil yang optimum. Namun jika jumlah persentase split bertambah, permeabilitas akan meningkat. Hal ini dikarenakan jumlah split bertambah yang menyebabkan *interfacion transition zone* (ITZ) pada beton.

### 3.2.4. Perhitungan Waktu Permeabilitas Beton

Tabel 3.10. Perhitungan Waktu Permeabilitas beton

Kode Benda Uji	No	k (m/detik)	k rata-rata 28 hari	T. Selimut beton (m)	Waktu (Tahun)
BNS (Beton Normal Split)	1	8,1962E-11	1,2555E-10	0,124	31
	2	1,3901E-10			
BKS I (75% split + 25% koral)	1	3,9895E-11	4,5336E-11	0,075	52
	2	<i>Cacat</i>			
BKS II (65% split + 35% koral)	1	7,8194E-11	8,8857E-11	0,105	37
	2	<i>Cacat</i>			
BNK (Beton Normal Koral)	1	2,1643E-11	2,0837E-11	0,055	84
	2	1,5030E-11			
BKK I (75% koral + 25% split)	1	2,5401E-11	2,6730E-11	0,063	74
	2	2,1644E-11			
BKK II (65% koral + 35% split)	1	3,1601E-11	2,3421E-11	0,056	76
	2	9,6194E-12			

Sumber: Diolah oleh peneliti

Berdasarkan tabel 3.10. memperlihatkan beton *mix design* split dengan kombinasi 75% split + 25% koral menghasilkan waktu selama 52 tahun dan kombinasi 65% split + 35% koral menghasilkan waktu 37 tahun, sedangkan pada beton *mix design* koral dengan kombinasi 75% koral + 25% split menghasilkan waktu 74 tahun dan kombinasi 65% koral + 35% split menghasilkan waktu 76 tahun.

Dari hasil perhitungan waktu yang diperoleh keseluruhan, menunjukkan beton pada kombinasi agregat 65% koral + 35% split menghasilkan waktu yang paling lama sebesar 76 tahun untuk air melewati selimut pada beton. Namun jika tebal selimut beton bertambah, jangka waktu air untuk masuk melewati selimut beton akan semakin lama.

## 4. PENUTUP

### 4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Koefisien permeabilitas pada *mix design* split pada beton normal sebesar 1,25553E-10 m/detik, koefisien permeabilitas beton dengan kombinasi agregat 75% split + 25% koral sebesar 4,53355E-11 m/detik, koefisien permeabilitas beton dengan kombinasi agregat 65% split + 35% koral sebesar 8,88569E-11 m/detik, sedangkan koefisien permeabilitas pada *mix design* koral pada beton normal sebesar 2,08373E-11 m/detik koefisien permeabilitas beton dengan kombinasi agregat 75% koral + 25% split sebesar 2,67299E-11 m/detik dan koefisien permeabilitas beton dengan kombinasi agregat 65% split + 35% koral sebesar 2,34208E-11 m/detik.
2. Koefisien permeabilitas beton maksimum pada *mix design* koral dengan kombinasi agregat 65% split + 35% koral sebesar 2,34208E-11 m/detik dan Koefisien permeabilitas beton minimum terjadi pada *mix design* split dengan kombinasi agregat 65% split + 35% koral sebesar 8,88569E-11 m/detik.
3. Kuat tekan pada *mix design* koral dengan kombinasi agregat 65% koral + 35% split menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi yaitu 324,44 kg/cm<sup>2</sup> mengalami peningkatan sebesar 5,29% dari kuat tekan beton normal, dan menghasilkan nilai koefisien permeabilitas

paling rendah yaitu  $2,34208E-11$  m/detik terjadi penurunan sebesar 12,40% dari koefisien permeabilitas beton normal.

4. Peningkatan kuat tekan beton berpengaruh terhadap rendahnya nilai koefisien permeabilitas beton, dengan kata lain makin kuat beton maka makin kedap pula.

#### 4.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Penelitian ini bisa dilanjutkan dengan pemakaian kombinasi yang lebih bervariasi lagi
2. Menggunakan mutu beton yang lebih tinggi, untuk mendapatkan nilai kekedapan yang lebih rendah.
3. Menggunakan bahan tambahan kimia (*chemical additive*).
4. Pemakaian kombinasi split dan koral dengan faktor air semen (FAS) yang beragam.

#### DAFTAR PUSTAKA

Nawy, G, Edward. 1990. "*Beton Bertulang Suatu Pendidikan Dasar*"

Meidiani, Srikirana. 2010. *Alat Uji Permeabilitas Dengan Tekanan Air Tinggi*. Program Magister Teknik Sipil Pascasarjana Fakultas Teknik UNSRI

Meidiani, Srikirana. 2012. "*Studi Eksperimen Permeabilitas Beton Yang Menggunakan Agregat Gab Graded Dengan Penambahan Superplasticizer*" Program Magister Teknik Sipil Pascasarjana Fakultas Teknik UNSRI

Meidiani, Srikirana. 2015. *Optimalisasi Pemakaian Koral Jagung Sebagai Pengganti Sebagian Split Pada Beton Normal  $f'_c$  25 MPa*, Jurnal Teknik TEKNIKA Volume 2 No.1. Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.

Ridho, Labib. 2014. *Komposisi Pemakaian Split Dan Koral Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Pada Beton Normal*. Universitas PGRI Palembang., Teknik Sipil. Palembang: Jurusan Teknik Sipil Universitas PGRI Palembang.

SK SNI S-36-1990-03, "*Spesifikasi Beton Kedap Air*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-2495-1991, "*Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-1968-1990, "*Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-1969-1990, "*Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-1970-1990, "*Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-1971-1990, "*Metode Pengujian Kadar Air Agregat*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-1972-1990, "*Metode Pengujian Slump Beton*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 03-1974-1990, "*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*", Standard Nasional Indonesia.

SNI 15-1990-03. Departemen Pekerjaan Umum. Pusjatan – Balitbang. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.

Tkorodimuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Yeknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.