

## **TUGAS AKHIR**

# **KAJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR BERUPA KERAMIK 45% DAN BATU PECAH 55% POLIMER SEBAGAI PEREKAT**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana (Stara-1)  
Prorgam Studi Teknik Sipil*

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Muhammad Ryanto, M.T**

**NIK 432.200.175**

**Disusun Oleh :**

**Angga Ari Saputra**

**2112191083**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SANGGA BUANA (YPKP)**

**BANDUNG**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN & PERSETUJUAN  
TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana (Strata-1)  
Program Studi Teknik Sipil*

**KAJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN  
AGREGAT KASAR BERUPA KERAMIK 45% DAN BATU  
PECAH 55% POLIMER SEBAGAI PEREKAT**

Disusun Oleh :

**Nama : Angga Ari Saputra**

**NPM : 2112191083**

Disetujui dan Disahkan Oleh :

Dosen Pembimbing

**Ir. Muhammad Ryanto, M.T**  
**NIK 432.200.175**

Mengetahui

Ketua Prodi Teknik Sipil

Universitas sangga buana YPKP

**Muhammad Syukri, ST.,MT**  
**NIK 432.200.200**

## **SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini yang berjudul **“KAJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR BERUPA KERAMIK 45% DAN BATU PECAH 55% POLIMER SEBAGAI PEREKAT”** sepenuhnya karya saya sendiri. Tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga, tidak ada karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam Tugas Akhir ini sebagaimana disebutkan dalam Daftar Pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa Tugas Akhir ini dibuat oleh saya sendiri. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 30 Januari 2023

Pembuat Pernyataan

Angga Ari Saputra  
2112191083

# HALAMAN HAK CIPTA

Halaman Hak Cipta Mahasiswa S1 \_\_\_\_\_

**KAJIAN KUAT TEKAN DENGAN MENGGUNAKAN  
AGREGAT KASAR BERUPA KERAMIK 45% DAN BATU  
PECAH 55% POLIMER SEBAGAI PEREKAT**

Disusun Oleh :

**ANGGA ARI SAPUTRA**

**2112191083**

Naskah Tugas Akhir yang Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu  
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik  
Universitas Sangga Buana – YPKP

© Angga Ari Saputra 2023

Universitas Sangga Buana – YPKP 2023

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang Tugas akhir ini tidak boleh  
diperbanyak seluruhnya atau sebagian, Dengan di cetak ulang, di foto  
copy atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

## LEMBAR PERSEMBAHAN



“Dengan Menyebut Nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang”

Dengan rasa syukur yang mendalam, dengan telah diselesaikannya skripsi ini penulis mempersembahkannya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu dan Alm Bapa, ketulusanya dari hati atas doa yang tak pernah putus, semangat yang tak ternilai.
2. Segenap *Civitas* akademik Kampus Universitas Sangga Buana YPKP Bandung, staf pengajar, karyawan dan seluruh mahasiswa semoga tetap semangat dalam beraktivitas mengisi hari-harinya di Kampus Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
3. Teman – teman seangkatan Teknik Sipil angkatan 2019 yang telah banyak memberi masukan, semangat dan arahan hingga akhirnya dapat terselesaikan Skripsi ini.
4. Skripsi ini saya persembahkan untuk orang - orang yang sering nanya “Kapan Wisuda”?
5. DAN SECARA KHUSUS SAYA PERSEMBAHKAN JUGA UNTUK PENDAMPING HIDUP SAYA

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan masukan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Wr.Wb.



Angga Ari Saputra

## **ABSTRAK**

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa kuat tekan beton polimer menggunakan agregat kasar berupa kramik 45%, batu pecah 55% serta resin epoxy dan hardener (2:1) serta pasir sebagai campuran pasta perekat nya. Benda uji yang di buat sebanyak 3 buah, dengan kadar keramik yang sama 45 % dan varian kadar konsentrat pasta polimer sebanyak 20%, 40%, dan 50%. Tinjauan analisis penelitian ini adalah kuat tekan dengan benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm.

Hasil pengujian kuat tekan beton BPK45<sub>(1)</sub> memiliki kuat tekan yang sedang 22,12 Mpa, BPK45<sub>(2)</sub> 16,59 Mpa dan BPK45<sub>(3)</sub> 36,92 Mpa. Penurunan Persentase nilai kuat tekan yang didapat BPK45<sub>(1)</sub> sebesar 25% terhadap BPK45<sub>(2)</sub> dan kenaikan persentase nilai BPK45<sub>(2)</sub> sebesar 55,05% terhadap BPK45<sub>(3)</sub>.

**Kata Kunci** : Polimer, Resin Epoxy, Kuat Tekan, keramik, Agregat Kasar, Agregat Halus

## **ABSTRACT**

This research was conducted to analyze the compressive strength of polymer concrete using coarse aggregate in the form of 45% ceramic, 55% crushed stone and epoxy resin and hardener (2:1) and sand as a mixture of adhesive paste. Three test objects were made, with the same ceramic content of 45% and variants of polymer paste concentrate content of 20%, 40% and 50%. Overview of the analysis of this study is the compressive strength of the test object cube 15 x 15 x 15 cm.

The compressive strength test results of BPK45<sub>(1)</sub> concrete have moderate compressive strength of 22.12 Mpa, BPK45<sub>(2)</sub> 16.59 Mpa and BPK45<sub>(3)</sub> 36.92 Mpa. The percentage decrease in the compressive strength value obtained by BPK45<sub>(1)</sub> was 25% against BPK45<sub>(2)</sub> and the percentage increase in the value of BPK45<sub>(2)</sub> was 55.05% against BPK45<sub>(3)</sub>.

**Keywords :** Polymer, Epoxy Resin, Compressive Strength, ceramics, Coarse Aggregate, Fine Aggregate

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penyusun sampaikan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat-Nya dan rahmat-Nya, sehingga Penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul **“KAJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR BERUPA KERAMIK 45% DAN BATU PECAH 55% POLIMER SEBAGAI PEREKAT”**, guna memenuhi syarat akademis dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana (Strata-1) Teknik Sipil – Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (YPKP).

Akhirnya Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu serta membimbing dalam pelaksanaan penyusunan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Kedua Orang Tua yang telah memberikan motivasi, bimbingan dan arahan serta dorongan baik moril, spiritual, maupun materil.
2. Dr. Didin Saepudin, SE.,M.Si. selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP- Bandung.
3. Dr. Teguh Nurhadi Suharsono, ST.,MT, selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
4. Bambang Susanto, SE.,M.Si, selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
5. Nurhaeni Sikki, S.A.P.,M.A.P, selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
6. Slamet Risnanto, ST.,M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
7. Muhammad Syukri, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
8. Ir. Yanti Irawati, ST.,MT sebagai Dosen Wali Kelas D Angkatan 2019 Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

9. Ir. Muhamad Ryanto, MT sebagai Dosen Pembimbing yang telah memotivasi dan membimbing selama melakukan proses pengerjaan Tugas Akhir.
10. Seluruh Civitas Akademik Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
11. Rekan-rekan seangkatan yang senantiasa saling mendukung dalam penyusunan laporan ini.
12. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu dalam pengerjaan laporan ini, yang tidak dapat Penyusun sebutkan satu persatu, atas segala kebaikan dan bantuannya selama ini.

Dalam penyajian yang sederhana ini, Penyusun menyadari bahwa laporan ini banyak memiliki kekurangan yang dikarenakan keterbatasan kemampuan yang dimiliki. Untuk itu Harapan Penyusun semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca dan setiap kritik yang bersifat membangun bagi Penyusun, yang merupakan satu langkah untuk meningkatkan mutu Penyusunan laporan.

Bandung, Januari 2023

Angga Ari Saputra

2112191083

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN HAK CIPTA .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
5.1 Latar Belakang .....	1
5.2 Rumusan Masalah .....	3
5.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	3
5.4 Tujuan Penelitian .....	3
5.5 Manfaat Penelitian .....	3
5.6 Lokasi Penelitian .....	4
5.7 Sistematika Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
6.1 Beton .....	5
6.1.1 Kelebihan Penggunaan Beton .....	6
6.1.2 Kekurangan Penggunaan Beton .....	6
6.2 Beton Polimer .....	6
6.2.1 Klasifikasi Beton Polimer .....	7
6.2.2 Sifat-Sifat Polimer .....	9
6.3 Material penyusunan Beton Polimer .....	10
6.3.1 Resin <i>Epoxy</i> .....	10
6.3.2 Katalis ( <i>Hardener</i> ) .....	16
6.3.3 Agregat .....	20
6.3.4 Keramik .....	24
6.4 Metode Campuran Beton ( <i>mixing</i> ) .....	26
6.5 Kuat Tekan .....	26

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
7.1 Diagram Alir .....	29
7.2 Umum .....	30
7.3 Variable Penelitian.....	31
7.4 Bahan – Bahan .....	32
7.5 Peralatan.....	34
7.6 Pemeriksaan Agregat.....	37
7.6.1 Pemeriksaan Agregat Halus .....	38
7.6.2 Pemeriksaan Agregat Kasar .....	42
7.7 Pembuatan Benda Uji .....	45
7.8 Pengertian Curing .....	47
7.9 Metode Curing Beton .....	47
7.10 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	49
7.11 Pengolahan Data.....	50
7.12 Proposal Anggaran Biaya Untuk 3 Benda Uji Beton Polimer .....	50
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>57</b>
8.1 Tinjauan Umum .....	57
8.2 Pengujian Bahan / Material. ....	58
8.2.1 Pengujian Agregat Halus .....	58
8.2.2 Pengujian Agregat Kasar .....	66
8.2.3 Pengujian Resin Epoksi Dan Katalis Hardener.....	74
8.3 Pembuatan Benda Uji .....	75
8.3.1 Perencanaan Campuran Beton Polimer .....	75
8.3.2 Perhitungan Campuran Beton Polimer .....	76
8.3.3 Rencana Anggaran Biaya .....	80
8.4 Curing / Rendaman .....	81
8.5 Analisa Hasil Pengujian Tekan Beton Polimer .....	82
8.5.1 Benda Uji BPK 45(1) .....	82
8.5.2 Benda Uji BPK 45(2) .....	84
8.5.3 Benda Uji BPK 45(3) .....	85
8.5.4 Perbandingan Uji Tekan Dengan Pasta Polimer Berbeda.....	87
8.5.5 Perbandingan Uji Tekan Dengan Kadar Keramik Berbeda Pasta Polimer sama kadar 20%. ....	88

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>92</b>
9.1 Kesimpulan .....	92
9.2 Saran .....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>94</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>96</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 beton polimer.....	8
gambar 2.2 resin epoksi.....	10
gambar 2.3 katalis hardener .....	16
gambar 2.4 keramik.....	24
gambar 2.5 skema uji beton .....	27
gambar 3.1 diagram alir pelaksanaan penelitian .....	29
gambar 3.2 resin epoxy .....	32
gambar 3.3 hardener.....	32
gambar 3.4 agregat halus pasir.....	33
gambar 3.5 agregat kasar batu pecah .....	33
gambar 3.6 keramik.....	33
gambar 3.7 ayakan agregat.....	34
gambar 3.8 cetakan kubus .....	34
gambar 3.9 ember.....	35
gambar 3.10 gelas ukur .....	35
gambar 3.11 sendok beton.....	35
gambar 3.12 sekrop .....	36
gambar 3.13 timbangan.....	36
gambar 3.14 tongkat pemadat .....	36
gambar 3.15 compressing test machine .....	37
gambar 3.16 sigmat.....	37
gambar 3.17 ilustrasi kuat tekan beton.....	50
gambar 4.1 grafik gradasi agregat halus.....	66
gambar 4.2 grafik gradasi agregat kasar .....	74
gambar 4.3 curing / rendaman.....	82
gambar 4.4.benda uji 1 pasta polimer 20% .....	82
gambar 4.5.pengujian benda uji 1 pasta polimer 20% .....	83
gambar 4.6.benda uji 2 pasta polimer 40% .....	84
gambar 4.7.pengujian benda uji 2 pasta polimer 40% .....	84
gambar 4.8.benda uji 3 pasta polimer 50% .....	85
gambar 4.9.pengujian benda uji 3 pasta polimer 50% .....	86

gambar 4.10.perbandingan uji tekan dengan pasta polimer berbeda .....	87
gambar 4.11 grafik gabungan perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda dan pasta polimer berbeda .....	88
gambar 4.12.grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer sama 20% .....	88
gambar 4.13.grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer sama 40% .....	89
gambar 4.14.grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer sama 50% .....	90
gambar 4.15 grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer berbeda.....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 gradasi pasir .....	21
tabel 2.2 gradasi agregat kasar .....	22
tabel 3.1 variabel penelitian pengujian kuat tekan beton .....	31
tabel 3.2 kebutuhan material benda uji 1 .....	52
tabel 3.3 kebutuhan material benda uji 1 .....	53
tabel 3.4 kebutuhan material benda uji 3 .....	55
tabel 4.1 pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus .....	61
tabel 4.2 pengujian kadar air agregat halus .....	63
tabel 4.3 pengujian kadar lumpur agregat halus.....	64
tabel 4.4 pengujian bobot isi agregat halus .....	65
tabel 4.5 pengujian gradasi / modulus kehalusan agregat halus.....	65
tabel 4.6 pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar .....	69
tabel 4.7 pengujian kadar air agregat kasar .....	71
tabel 4.8 pengujian kadar lumpur agregat kasar.....	72
tabel 4.9 pengujian berat isi / bobot isi agregat kasar .....	73
tabel 4.10 pengujian gradasi / modulus kehalusan agregat kasar.....	73
tabel 4.11 pengujian bobot isi resin dan hardener.....	74
tabel 4.12 variabel penelitian pengujian kuat tekan beton .....	75
tabel 4.13 kebutuhan material benda uji 1 .....	77
tabel 4.14 kebutuhan material benda uji 2 .....	79
tabel 4.15 kebutuhan material benda uji 3 .....	80
tabel 4.16 hasil pengujian kuat tekan benda uji 1 kadar keramik 45% .....	84
tabel 4.17 hasil pengujian kuat tekan benda uji 2 kadar keramik 45% .....	85
tabel 4.18 hasil pengujian kuat tekan benda uji 3 kadar keramik 45% .....	87

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 5.1 Latar Belakang

Dunia konstruksi di Indonesia saat ini semakin pesat perkembangannya dan signifikan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya proyek-proyek bangunan konstruksi yang sedang berjalan. Perkembangan yang dimaksudkan tentunya akan berdampak terhadap kebutuhan masyarakat akan penggunaan beton. Hal tersebut dikarenakan beton merupakan bahan konstruksi yang paling sering digunakan dan mudah dalam memproduksinya.

Beton di ketahui sebagai bahan bangunan dengan campuran yang diformulasikan berdasarkan berat unsur-unsur penyusun seperti agregat halus, agregat kasar, air, semen dan dengan atau tanpa bahan tambahan yang setelah mengeras membentuk masa padat. Harganya yang relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari bahan lokal sehingga banyak di gunakan di Indonesia.

Secara umum beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari air, semen portland, agregat halus dan agregat kasar, yang bersifat keras seperti batuan (Tjokrodinuljo, 2012). Penambahan polimer pada campuran bahan dalam membuat beton dapat memberikan hasil yang lebih baik, seperti bertambah kuat, ringan, tahan korosi dan juga lebih ekonomis.

Polimer adalah suatu zat kimia yang terdiri dari molekul-molekul yang besar dengan karbon dan hidrogen sebagai molekul utamanya. Adapun bahan baku polimer di dapatkan dari limbah plastik yang didaur ulang, kemudian dicampur dengan bahan kimia lainnya.

Beton polimer (*polymer concrete*) adalah material komposit, yang matriksnya terdiri atas polimer sintesis organik atau dikenal sebagai beton resin. Beton resin dengan matriks polimer seperti polimer termoset dan mineral *fillernya* dapat berupa *aggregate*, *gravel* dan *crushed stone*. Keunggulan beton polimer antara lain, kekuatannya tinggi, tahan terhadap kimia dan korosi, penyerapan air rendah dan stabilitas pepadatan tinggi dibanding beton portland konvensional.

Proses pengerasan pada beton semen portland untuk menghasilkan kondisi terbaik biasanya 28 hari, sedangkan dengan beton polimer dapat dipersingkat hanya beberapa jam saja. Penambahan polimer pada beton tanpa semen adalah untuk meningkatkan sifat-sifat beton, memperpendek waktu proses fabrikasinya, dan memperkecil biaya operasional. Produk beton polimer antara lain dapat digunakan sebagai fondasi galangan kapal, tangga, sanitari, lantai, panel, bangunan komersial, pemipaan dan lain-lain (Nawy et al., 1985).

Resin epoksi atau secara umum di pasaran dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok termoset. Resin termoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekaniknya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang. Resin epoksi banyak digunakan untuk bahan komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga digunakan sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan dan perekat. Resin epoksi sangat baik digunakan sebagai matriks pada komposit dengan penguat serat gelas. Pada beton penggunaan resin epoksi dapat mempercepat proses pengeringan, karena epoksi menimbulkan panas sehingga membantu percepatan pengerasan (Gemert et al.,2004).

Pada penelitian ini beton polimer akan dikombinasikan dengan penggunaan Material Keramik dalam campuran beton. Pemilihan Material Keramik dikarenakan bahan ini mudah didapat dipasaran, awet, tidak mudah busuk serta mempunyai nilai ekonomis. Material Keramik juga mempunyai kemampuan tarik yang cukup tinggi. Sehingga diharapkan nantinya dapat meningkatkan kekuatan mekanik beton. Dalam latar belakang di atas penulis menggunakan Material Keramik, Batu Pecah, kerikil, pasir dan resin epoksi yang dikombinasikan dengan katalis (hardener) sebagai bahan baku utama dalam pembuatan beton polimer ini. Adapun penelitian ini diberi judul **“KAJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR BERUPA KERAMIK 45% DAN BATU PECAH 55% POLIMER SEBAGAI PEREKAT”**

## 5.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Pengaruh penambahan limbah keramik dan resin epoxy dengan perbandingan 1:2 pada kuat Beton Polimer?
2. Selisih kuat tekan Beton Polimer Resin Epoxy 1:2 dengan penambahan pecahan keramik 45%?
3. Bagaimana kinerja rekatan polimer terhadap agregat?

## 5.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja penambahan material limbah pecahan keramik dengan resin *epoxy* agregat kasar dan pasir lokal sebagai agregat halus terhadap kuat tekan beton.

## 5.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Sebagai syarat akademis dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana (Strata 1) Teknik Sipil – Fakultas Teknik – Universitas Sangga Buana (YPKP)
2. Mengetahui kinerja campuran polimer Pecahan Keramik 45%
3. Mengetahui kinerja agregat dengan resin *epoxy*
4. Mengetahui nilai kuat tekan dan belah beton polimer dengan campuran Pecahan Keramik.

## 5.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini nantinya diharapkan memberikan manfaat bagi masyarakat seperti:

1. Menyampaikan Inovasi baru tentang beton dengan tanpa menggunakan semen portland.
2. Menghasilkan kualitas beton polimer yang ekonomis, bermutu dan ramah lingkungan.
3. Pemanfaatan limbah pecahan keramik, dalam penelitian ini menggunakan pecahan keramik sebagai filler dari beton polimer
4. memberikan informasi baru mengenai uji kuat tekan beton polimer dengan menggunakan zat resin epoxy.

5. Dapat di gunakan sebagai referensi dalam penelitian di masa mendatang.

## **5.6 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di laboratorium Beton Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (YPKP) Bandung, yang beralamat di Jl. H. Mustofa No.68 Cikutra, Kota Bandung.

## **5.7 Sistematika Penelitian**

Untuk mempermudah dalam memahami laporan topik khusus ini, penulis laporan disusun menjadi beberapa bab, dimana setiap bab dibagi menjadi beberapa sub bab sesuai dengan lingkup pembahasannya. Bab tersebut dapat diuraikan seperti dibawah ini.

### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi gambaran umum mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, lokasi penelitian, serta sistematika penulisan.

### **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini dibahas mengenai landasan teori berisi pengenalan tentang sifat-sifat beton serta bahan pembentuknya dan beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

### **3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi berisi tentang metode pengumpulan data dan metode pengolahan data. Menjelaskan secara ringkas mengenai persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian, dan evaluasi penelitian.

### **4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini dibahas mengenai Tinjauan Umum, Pengujian Bahan/ Material, Pembuatan Benda Uji, Curing/Remdaman, serta Analisa Hasil Pengujian.

### **5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini dibahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **6.1 Beton**

Beton merupakan suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar, agregat halus, dengan atau tanpa bahan tambahan. Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang sering digunakan di bidang Teknik Sipil seperti pada bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Secara umum, pertumbuhan atau perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat. Hampir 60% material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah beton (concrete), yang pada umumnya dipadukan dengan baja (composite) atau jenis seperti ditambahkan juga dengan zat additif yang bersifat kimiawi pada perbandingan tertentu sampai menjadi kesatuan yang homogen. Campuran tersebut akan mengeras karena terjadi peristiwa reaksi kimia antara semen dan air. Beton memiliki bermacam-macam jenis beton seperti beton siklop, beton ringan, beton non pasir, beton hampa, beton bertulang, beton prategang, beton pracetak, beton massa, fero semen, beton serat, beton polimer dan lain-lain. Masing-masing dari jenis beton di atas mempunyai fungsi dan kegunaan yang berbeda-beda.

Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Beton adalah campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat- agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang membentuk suatu massa mirip batuan. Sering kali ditambahkan bahan *additive* untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan (*workability*), *durability* dan waktu pengerasan (McCormack, 2003).

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007).

Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih (**Dr. Wuryati Samekto, M.Pd dan Candra Rahmadiyanto, S.T.,2001**).

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat.

### **6.1.1 Kelebihan Penggunaan Beton**

Adapun kelebihan dari penggunaan beton yaitu :

- a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
- b. Mampu memikul beban yang berat
- c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi
- d. Biaya pemeliharaan yang kecil.

### **6.1.2 Kekurangan Penggunaan Beton**

Adapun kekurangan dari penggunaan beton yaitu :

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Beban yang berat.
- d. Daya pantul suara yang besar.
- e. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu, perlu di beri baja tulangan atau tulangan kasa.

## **6.2 Beton Polimer**

Beton polimer (polymer concrete) adalah material komposit, dimana bahan pengikatnya berasal dari bahan sintetik organik polimer atau dikenal sebagai beton resin (Ferreira, A.J.M., et.al., 2000). Pada beton resin digunakan binder polimer, seperti: thermoplastic (thermosetting polimer), mineral fillernya dapat berupa: aggregate, gravel dan crushed stone (Reis, J.M.L., et.al., 2004). Keunggulan beton polimer dibandingkan beton konvensional, antara lain: kekuatannya lebih tinggi, tahan terhadap bahan kimia dan korosi, penyerapan air rendah dan stabilitas pemadatan tinggi (Reis, J.M.L.,2006). Proses aging pada beton konvensional untuk menghasilkan kondisi terbaik biasanya didapat setelah 28 hari, sedangkan dengan beton polimer dapat dipersingkat hanya beberapa jam saja. Penambahan polimer

pada beton tanpa semen adalah untuk meningkatkan sifat-sifat beton, mempendek waktu pabrikan, biaya operasionalnya murah dan dapat digunakan untuk keperluan khususnya. Produk beton polimer antara lain dapat digunakan sebagai: tangga, sanitari, lantai, panel, bangunan komersial, pemipaan, skid-resistant overlays in highways dan lain-lain (Muthukumar, M. and Mohan, D., 2005).

Rekayasa beton dengan polimer atau disebut sebagai polymer modified concrete merupakan suatu perancangan material beton menggunakan material organik rantai panjang atau polimer. Terdapat dua macam polymer modified concrete, yaitu: ada polymer impregnated concrete (PIC) dan polymer cement concrete (PCC). Polymer impregnated concrete adalah suatu material yang dibuat melalui pengisian bahan polimer ke dalam beton jadi yang sudah mengeras. Impregnasi ini berfungsi untuk menutup pori-pori permukaan beton, sehingga lebih tahan terhadap kelembaban atau penyerapan air. Sedangkan polymer cement concrete adalah suatu material beton yang dibuat dengan menggantikan sebagian perekat semen dengan bahan polimer.

Beton polimer yang menggunakan resin epoksi dengan penambahan polyamides pada saat pengeringan dapat menghasilkan beton yang memiliki kekuatan lentur yang lebih besar, tahan terhadap panas dan mengurangi proses pelapukan pada beton yang digunakan di luar ruangan. Penggunaan polimer polysulfide pada beton polimer menggunakan resin epoksi juga dapat meningkatkan kekuatan lentur dari beton tersebut. Beton polimer yang menggunakan resin epoksi diperkuat dengan serat gelas, karbon, atau boron yang dapat digunakan pada pembuatan panel transparan, lambung dan bodi automobile.

### **6.2.1 Klasifikasi Beton Polimer**

Bahan dasar beton polimer ini ditemukan lewat hasil penelitian dan uji coba seorang peneliti bahan dasar bangunan, Prof. Ir. H. Djuanda Suraatmadja. Penelitian yang dilakukan di laboratorium Struktur Bahan serta Institut Teknologi Bandung dan LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) ini menarik perhatian para ilmuwan serta industriawan mengingat beberapa keistimewaan dan kelebihan beton polimer dibanding beton semen.

Beton polimer ini terdiri dari suatu polimer yang bahan perekatnya berupa *thermosetting polimer* dan bahan pengisinya berupa agregat (kumpulan pasir atau kerikil). Dan beton polimer memiliki sifat kedap air, tidak terpengaruh sinar ultraviolet, tahan terhadap larutan agresif seperti bahan kimia serta bisa mengeras di dalam air sehingga bisa digunakan untuk memperbaiki bangunan – bangunan di dalam air.

Satu – satunya kelemahan yang hingga kini belum teratasi adalah harga beton polimer masih belum bisa lebih rendah dibanding beton semen, kecuali untuk daerah Irian Jaya, sebab di Irian Jaya harga semen sangat mahal. Oleh karena itu beton polimer lebih banyak digunakan di Irian Jaya. Dan diluar itu, beton polimer lebih banyak digunakan untuk rehabilitasi bangunan yang rusak.



*Gambar 6.1 Beton Polimer*

**Berikut merupakan klasifikasi beton polimer :**

**1. Beton Polimer Semen (*Polymer Cement Concrete, PCC*)**

Pada pembuatan beton polimer semen ini, monomer bersama - sama dengan semen berfungsi sebagai matriks pengikat dalam campuran beton. Monomer terlebih dahulu ditambahkan ke dalam semen sebelum semen dicampurkan dalam bahan susun agregat lainnya. Mengerasnya monomer menjadi polimer secara organik terjadi bersamaan dengan mengerasnya pasta semen secara anorganik. Akibatnya sebagian pori - pori beton akan terisi oleh bahan polimer. Jumlah polimer yang dibutuhkan pada pembuatan *polymer cement concrete* kurang dari 30% berat total bahan susun beton. Perbandingan berat polimer dengan pasta semen berkisar antara 15-50%. Dengan komposisi ini pori - pori beton berkisar antara 10-20% isi total beton.

## **2. Polimer Impregnated Concrete ( PIC )**

Pembuatan *polymer impregnated concrete* bertujuan untuk menghasilkan beton dengan porositas yang rendah. Beton yang digunakan untuk *polymer impregnated concrete*, tidak memerlukan kriteria campuran yang khusus. Seluruh jenis agregat, semen dan bahan campuran lain, yang sudah biasa digunakan pada pembuatan beton biasa, bisa digunakan untuk *polymer impregnated concrete*, monomer diresapkan ke dalam pori - pori beton yang telah mengeras. Kemudian melalui proses pemanasan atau radiasi, monomer tersebut mengeras menjadi polimer. Untuk pembuatan *polymer impregnated concrete* ini dibutuhkan muatan polimer berkisar antara 3 - 8% berat total bahan susun beton. Perbandingan berat polimer dengan pasta semen berkisar antara 5 - 15%. Komposisi ini menghasilkan porositas antara 3 - 5% isi beton.

### **6.2.2 Sifat-Sifat Polimer**

Sifat-sifat yang dimiliki oleh polimer kebanyakan tergantung pada bentuk geometri ikatan polimer tersebut. Terdapat tiga jenis sifat utama polimer yang telah dikenal yaitu: sifat termoplastik (*thermoplastic*), termoset (*termoset*), dan elastomer (*elastomeric*).

#### **1. Polimer Termoplastik**

Polimer termoplastik adalah polimer yang dicairkan terlebih dahulu pada suhu yang tinggi sebelum proses selanjutnya. Setelah pendinginan pada suhu normal, bahan polimer tersebut tidak mengalami perubahan bentuk. Selain itu termoplastik juga dapat dicairkan kembali. Termoplastik terdiri dari polimer linear berantai panjang dan mengandung ikatan atom karbon yang terbentuk melalui ikatan kovalen. Pada umumnya bahan-bahan termoplastik dapat mencair pada suhu dari 100 oC sampai 250 oC.

#### **2. Polimer Termoset**

Polimer termoset memiliki struktur ikatan berantai silang dan dapat dibentuk melalui pemanasan atau proses kimia. Termoset mempunyai ketahanan terhadap suhu termal yang baik dan tidak dapat mencair pada suhu tinggi tetapi mudah terurai. Salah satu contoh dari polimer termoset adalah resin epoksi. Resin epoksi dapat dikeringkan menggunakan beberapa variasi suhu dan polimer resin epoksi lebih sering digunakan pada polyamines (*tertiary polyamines*).

Penggunaan polyamines dalam proses pengeringan pada beton polimer menghasilkan beton yang tahan terhadap zat kimia.

### 3. Polimer Elastomer

Polimer elastomer (rubber) adalah polimer yang mempunyai sifat elastik, ukurannya dapat berubah apabila mendapat tegangan. Apabila tegangan dilepaskan, polimer tersebut dapat kembali ke bentuk asalnya. Sifat elastik ini akan hilang apabila terkena suhu yang tinggi. Polimer elastomer pertama kali ditemui pada getah yang berasal dari lateks pohon getah tropika (*Havea Brasiliensis*) melalui sistem pemvulkanan dengan sulfur. Bahan ini terdiri dari bahan utama poly (Cis-Isoprena) dicampur dengan sedikit komponen lain termasuk protein dan lemak.

### 6.3 Material penyusunan Beton Polimer

Berikut ini adalah material-material yang merupakan komposisi campuran beton polimer yang akan dijadikan bahan penelitian

#### 6.3.1 Resin Epoxy



*Gambar 6.2 Resin Epoksi*

Resin epoxy atau secara umum dipasaran dikenal dengan bahan epoxy adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok thermoset. Resin termoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimis, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekanisnya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar

dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan sifat optimum bahan.

Thermoset memiliki sifat isotropis dan peka terhadap suhu, mempunyai sifat tidak bisa meleleh, tidak bisa diolah kembali, atomnya berikatan dengan kuat sekali, tidak bisa mengalami pergeseran rantai. Bentuk resin *epoxy* sebelum pengerasan berupa cairan seperti madu dan setelah pengerasan akan berbentuk padatan yang sangat getas.

***Epoxy secara umum mempunyai karakteristik yang baik, yaitu :***

- Kemampuan mengikat paduan metalik yang baik

Kemampuan ini disebabkan oleh adanya gugus hidrolik yang memiliki kemampuan membentuk ikatan via ikatan hidrogen. Gugus hidrosil ini juga dimiliki oleh oksida metal, dimana pada kondisi normal menyebar pada permukaan metal, dimana pada kondisi normal menyebar pada permukaan metal. Keadaan ini menunjang terjadinya ikatan antara atom pada *epoxy* dengan atom yang berada pada material metal.

- Ketangguhan

Kegunaan *epoxy* sebagai bahan matrik dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh. Oleh sebab itu saat ini terus dilakukan penelitian untuk meningkatkan ketangguhan bahan matrik atau *epoxy*.

Resin *epoxy* banyak digunakan untuk bahan komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan (*moulding compound*) dan perekat. Resin *epoxy* sangat baik digunakan sebagai matriks pada komposit dengan penguat serat gelas. Pada beton penggunaan resin *epoxy* dapat mempercepat proses pengerasan, karena resin *epoxy* menimbulkan panas sehingga membantu percepatan pengerasan (*Gemert V. D, 2004*).

## **1. Sifat Fisik**

Sebagaimana jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbonlain.

## **2. Sifat Kimia**

Sebagaimana umumnya plastik, secara kimia plastik termasuk inert Dalam jangka lama, sinar ultraviolet mempengaruhi struktur kimia plastik.

## **3. Sifat Mekanik**

Dalam bentuk asli epoksi resin keras dan getas. Tetapi dalam penggunaan, plastik hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik sangat banyak dimodifikasi sifatnya. Baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan.

## **4. *Painting***

Dua bagian pelapis epoksi dikembangkan untuk layanan tugas berat pada substrat logam dan menggunakan energi kurang dari bubuk pelapis panas-sembuh. Sistem ini menggunakan 04:01 oleh rasio volume mixing, dan cepat kering menyediakan, tangguh tahan UV, lapisan pelindung dengan kekerasan yang sangat baik. Volatilitas yang rendah mereka dan air bersih sampai membuat mereka berguna untuk pabrik besi tuang, baja tuang, cast aluminium aplikasi dan mengurangi eksposur dan mudah terbakar isu yang terkait dengan pelapis pelarut-ditanggung. Mereka biasanya digunakan dalam aplikasi industri dan otomotif karena mereka lebih tahan panas dari cat lateks-based dan alkid berbasis. Cat epoksi cenderung chaulk keluar karena paparan sinar UV. *Epoxies Polyester* digunakan sebagai pelapis bubuk untuk mesin cuci, pengering dan lainnya "barang putih". *Fusion Bonded Epoxy Powder Coating (FBE)* yang banyak digunakan untuk perlindungan korosi pipa baja dan alat kelengkapan yang digunakan dalam industri minyak dan gas, jaringan pipa transmisi air minum (baja), pasar ini memperkuat beton, dan lain-lain. Epoksi coating juga banyak digunakan sebagai primer untuk meningkatkan adhesi cat otomotif dan laut terutama pada permukaan logam dimana korosi (berkarat) resistensi adalah penting. Logam kaleng dan wadah sering dilapisi dengan epoksi untuk mencegah berkarat, terutama untuk makanan seperti tomat yang asam. Epoksi resin juga digunakan untuk kinerja tinggi dan aplikasi lantai hias terutama lantai teraso, lantai chip dan lantai agregat berwarna, juga digunakan sebagai perekat.

Perekat epoksi adalah bagian utama dari perekat disebut "perekat struktural" atau "perekat rekayasa" (yang meliputi poliuretan, akrilik, cyanoacrylate, dan kimia lainnya.) perekat ini kinerja tinggi digunakan dalam konstruksi pesawat terbang, mobil, sepeda, perahu, klub golf, ski, *Snowboards*, dan aplikasi lain di mana obligasi kekuatan tinggi diperlukan. Epoksi perekat dapat dikembangkan untuk memenuhi hampir aplikasi apapun. Mereka dapat digunakan sebagai perekat untuk kayu, logam, kaca, batu, dan beberapa plastik. Mereka dapat dibuat fleksibel atau kaku, transparan atau buram/berwarna, pengaturan cepat atau pengaturan lambat. Perekat epoksi lebih baik dalam ketahanan panas dan kimia dari perekat umum lainnya. Secara umum, perekat epoksi disemuhkan dengan panas akan lebih banyak panas dan bahan kimia tahan dari pada mereka sembuh pada suhu kamar. Kekuatan perekat epoksi adalah terdegradasi pada suhu di atas 350° F (177 ° C). Beberapa epoksi disemuhkan oleh paparan sinar ultraviolet. Epoksi tersebut biasa digunakan dalam optik, serat optik, dan kedokteran gigi.

## **5. Epoksi Di Industri**

Dalam industri *aerospace*, epoksi digunakan sebagai bahan matriks struktur yang kemudian diperkuat dengan serat. Bala bantuan serat umum termasuk kaca, karbon, Kevlar, dan boron. Epoksi juga digunakan sebagai perekat struktural. Bahan seperti kayu, dan lain-lain yang 'rendah teknologi' direkat dengan resin epoksi. Salah satu contoh akan menjadi RJ.03 IBIS homebuilt pesawat desas-desus. Desain ini didasarkan pada badan pesawat kisi kayu klasik terstruktur dan berdebat kayu klasik, internal menegang dengan busa dan benar-benar ditutup dengan kayu lapis. Kecuali untuk kayu lapis meliputi sayap, semuanya terpaku dengan resin epoksi.

## **6. Kegunaan Epoksi**

Epoksi dijual di toko-toko perangkat keras, biasanya sebagai paket yang mengandung resin dan hardener yang terpisah, yang harus dicampur segera sebelum digunakan. Mereka juga dijual di toko-toko perahu sebagai resin perbaikan untuk aplikasi laut. Epoxies biasanya tidak digunakan pada lapisan luar perahu karena mereka memburuk oleh paparan sinar UV. Mereka sering digunakan selama perbaikan perahu dan perakitan, dan kemudian lebih dilapisi

dengan cat poliuretan konvensional atau dua bagian atau laut-pernis yang memberikan perlindungan UV.

Ada dua bidang utama penggunaan laut. Karena sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan resin poliester lebih umum, epoksi digunakan untuk pembuatan komersial dari komponen mana kekuatan tinggi / perbandingan berat diperlukan. Area kedua adalah bahwa kekuatan mereka, sifat kesenjangan mengisi dan adhesi yang sangat baik untuk banyak bahan termasuk kayu telah menciptakan booming di proyek bangunan amatir, termasuk pesawat dan kapal.

Epoksi resin digunakan dalam pembuatan bilah rotor turbin angin. Resin ini tertanam pada bahan inti, seperti kayu balsa atau foam, dan media penguat, seperti kain, serat gelas atau serat karbon. Proses ini disebut VARTM, yakni *Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding*. Karena sifat yang sangat baik dan menyelesaikan baik, epoksi adalah resin yang paling disukai untuk komposit.

Epoksi resin, dicampur dengan pigmen, digunakan sebagai media lukisan, dengan menuangkan lapisan di atas satu sama lain untuk membentuk suatu gambaran yang lengkap.

## **7. Epoksi Dan Bahan Lainnya**

Bahan epoksi cenderung mengeras secara bertahap, sedangkan bahan poliester cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika banyak katalis yang digunakan. reaksi kimia dalam kedua kasus adalah eksotermik. jumlah besar dari campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri dan lebih mempercepat reaksi, sehingga biasa untuk mencampur jumlah kecil yang dapat digunakan dengan cepat.

Meskipun umum untuk resin poliester asosiasi dan resin epoksi, sifat mereka cukup berbeda bahwa mereka benar diperlakukan sebagai bahan yang berbeda. Polyester resin biasanya kekuatan rendah kecuali digunakan dengan bahan penguat seperti serat kaca, relatif rapuh kecuali diperkuat, dan memiliki adhesi rendah. Epoxies, sebaliknya, pada dasarnya kuat, agak fleksibel dan memiliki daya rekat sangat bagus. Namun, resin poliester jauh lebih murah.

Epoksi resin biasanya memerlukan campuran yang tepat dari dua komponen yang membentuk kimia ketiga. Tergantung pada sifat yang diperlukan, rasio mungkin apapun dari 1:1 atau lebih dari 10:1, tetapi dalam

setiap kasus mereka harus dicampur tepat. Produk akhir kemudian plastik termo-pengaturan yang tepat. Sampai mereka campuran dua elemen relatif inert, meskipun 'pengerasan' cenderung lebih kimia aktif dan harus dilindungi dari atmosfer dan kelembaban. Laju reaksi dapat diubah dengan menggunakan pengerasan yang berbeda, yang dapat mengubah sifat produk akhir, atau dengan mengendalikan suhu.

Sebaliknya, resin poliester biasanya tersedia dalam bentuk yang 'dipromosikan', seperti bahwa kemajuan resin sebelumnya- campuran dari cair ke padat sudah berlangsung, meskipun sangat lambat. Variabel hanya tersedia untuk pengguna adalah mengubah tingkat proses ini menggunakan katalis, sering *Methyl-Ethyl-Ketone- Peroxide* (MEKP), yang sangat beracun. Keberadaan katalis dalam produk akhir benar-benar akan mengurangi sifat yang diinginkan, sehingga sejumlah kecil katalis yang lebih baik, asalkan hasil pengerasan dengan kecepatan yang dapat diterima. Tingkat kesembuhan dari poliester sehingga dapat dikontrol baik oleh jumlah katalis dan suhu.

Sebagai perekat, epoxies obligasi dalam tiga cara: a) mekanik, karena ikatan permukaan yang kasar, b) Dengan kedekatan, karena resin disembuhkan secara fisik begitu dekat dengan permukaan ikatan bahwa mereka sulit untuk memisahkan; c) Ionically, karena epoksi resin membentuk ikatan ion pada tingkat atom dengan permukaan ikatan. Hal ini memiliki substansi yang kuat dari ketiganya. Sebaliknya, resin poliester dapat hanya obligasi dengan menggunakan dua pertama, yang sangat mengurangi utilitas mereka sebagai perekat dan dalam perbaikan laut.

## **8. Bahaya Epoksi Pada Kesehatan**

Risiko utama yang terkait dengan penggunaan epoksi adalah sensitisasi ke pengeras, yang, dari waktu ke waktu, dapat menimbulkan reaksi alergi. Ini adalah sumber utama asma, kerja antara penggunaan dari plastik. Bisphenol A, yang digunakan dalam resin epoksi, adalah pengganggu endokrin dikenal.

### 6.3.2 Katalis (*Hardener*)



*Gambar 6.3 Katalis Hardener*

#### 1. Pengertian Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimiawi diakhir reaksi. Katalis tidak mengubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivasi.

Dalam penurunan energi aktivasi ini, maka energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya tumbukan berkurang sehingga terjadinya reaksi berjalan cepat. Katalis pada umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: aktivitas, stabilitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekanik. Secara umum katalis mempunyai 2 fungsi yaitu mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas dan meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas.

Katalis sebagai suatu substansi kimia mampu mempercepat laju reaksi kimia yang secara termodinamika dapat berlangsung. Hal ini disebabkan karena kemampuannya mengadakan interaksi dengan paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif.

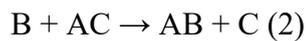
Interaksi ini akan dapat meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan, meningkatkan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan, sehingga meningkatkan jumlah tumbukan dan membuka alur reaksi dengan energi pengaktifan yang lebih rendah. Katalis dapat dibagi ke dalam 3 komponen yakni situs aktif,

penyangga atau pengemban dan promotor. Situs aktif berperan dalam reaksi kimia yang diharapkan, penyangga berperan dalam memodifikasi komponen aktif, menye diakan permukaan yang luas, dan meningkatkan stabilitas katalis, sementara itu promotor berperan dalam meningkatkan atau membatasi aktivitas katalis serta berperan dalam struktur katalis.

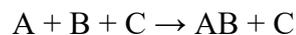
## 2. Jenis – Jenis Katalis

### ▪ Katalis Homogen

Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya. Berikut ini merupakan skema umum reaksi katalitik, dimana C melambangkan katalisnya.



Meskipun katalis (C) termakan oleh reaksi 1, tetapi selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi,



katalis tidak termakan ataupun tercipta. Enzim adalah biokatalis. Penggunaan istilah "katalis" dalam konteks budaya yang lebih luas, secara bisa dianalogikan dengan konteks ini.

### ▪ Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi kimia yang dikatalisisnya. Sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerat. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk barn. Ikatan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas.

- **Katalis Ziegler-Natta**

Katalis Ziegler-Natta adalah campuran antara senyawa-senyawa titanium seperti titanium (III) klorida,  $TiCl_3$ , atau titanium (IV) klorida,  $TiCl_4$ , dan senyawa-senyawa aluminium seperti aluminium trietil,  $Al(C_2H_5)_3$ .

Pada proses polimerisasi olefin menggunakan katalis Ziegler- Natta,  $AlEt_3$  dapat mereduksi  $TiCl_4$  menjadi  $TiCl_3$  dan atom klor digantikan dengan gugus gugus etil. Dasar polimerisasi sebanding dengan jumlah total  $TiCl_3$  dan pengaruh olefin serta konsentrasi  $AlEt_3$ .

### **3. Fungsi Katalis**

Fungsi katalis yaitu memperbesar laju reaksinya (mempercepat reaksi) dengan cara memperkecil energi aktivasi suatu reaksi dan dibentuknya tahap- tahap reaksi yang baru. Dengan menurunnya energi aktivasi maka pada suhu yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat.

Satu yang harus diketahui tentang prinsip kerja katalis adalah bahwa katalis tersebut tetap ikut dalam jalannya reaksi, tetapi pada kondisi akhir, katalis akan keluar lagi dalam bentuk yang sama. Sifat-sifat kimia katalis akan sama sebelum dan sesudah mengkatalis suatu reaksi.

Pentingnya katalis ditunjukkan oleh kenyataan bahwa lebih dari 75% proses produksi bahan kimia di Industri disintesis dengan bantuan katalis. Contoh proses kimia yang sangat penting misalnya sintesis metanol dari syngas ( $CO$  dan  $H_2$ ) dikatalisis oleh  $ZnO/Cr_2O_3$ , dan reaksi water gas shift (WGS), dikatalisis oleh besi oksida atau oksida campuran  $Zn$ ,  $Cu$  maupun  $Cr$ . Teknologi katalis telah digunakan dalam industri kimia lebih dari 100 tahun lamanya dan penelitian serta pengembangan teknologi katalis telah menjadi semacam bidang kekhususan kimia.

### **4. Penggolongan Katalis**

Katalis dapat digolongkan ke dalam 2 jenis, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Dalam reaksi dengan katalis homogen, katalis berada dalam fase yang sama dengan reaktan. Biasanya, semua reaktan dan katalis berada dalam satu fasa tunggal cair atau gas. Produksi biodiesel dengan katalis homogen secara umum menggunakan katalis  $H_2SO_4$ ,  $NaOH$  dan  $KOH$ . Dalam reaksi dengan katalis heterogen, katalis dan reaktan berada dalam fase yang berbeda.

Katalis heterogen cenderung lebih mudah untuk dipisahkan dan digunakan kembali dari campuran reaksi karena fasa yang digunakan berbeda dengan produk reaksinya. Katalis heterogen juga lebih mudah dibuat dan mudah diletakkan pada reaktor karena fasa yang berbeda dengan pereaktannya. Biasanya katalis heterogen yang digunakan berupa fase padat.

Adanya beda fasa pada katalis dan pereaktan menjadikan mekanisme reaksi menjadi sangat kompleks. Fenomena antarmuka menjadi sesuatu yang sangat penting dan berperan. Laju reaksi dikendalikan oleh fenomena-fenomena adsorpsi, absorpsi dan desorpsi. Reaksi cairan atau gas dengan adanya katalis padat adalah contoh yang khas.

Keuntungan penggunaan katalis heterogen adalah katalisnya dapat dipisahkan dengan penyaringan dari produk bila reaksi telah selesai. Banyak proses industri yang menggunakan katalis heterogen, sehingga proses dapat berlangsung lebih cepat dan biaya produksi dapat dikurangi. Beberapa logam ada yang dapat mengikat cukup banyak molekul-molekul gas pada permukannya, misalnya Ni, Pt, Pd dan V.

Gaya tarik menarik antara atom logam dengan molekul gas dapat memperlemah ikatan kovalen pada molekul gas, dan bahkan dapat memutuskan ikatan itu. Satu contoh sederhana untuk katalisis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi- pereaksi (atau substrat) untuk sementara terserap. Ikatan dalam substrat- substrat menjadi sedemikian lemah sehingga memadai terbentuknya produk baru. Ikatan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas.

Katalis dapat bekerja dengan membentuk senyawa antara atau mengabsorpsi zat yang direaksikan. Sehingga katalis dapat meningkatkan laju reaksi, sementara katalis itu sendiri tidak mengalami perubahan kimia secara permanen.

Cara kerjanya yaitu dengan menempel pada bagian substrat tertentu dan pada akhirnya dapat menurunkan energi pengaktifan dari reaksi, sehingga reaksi berlangsung dengan cepat. Suatu reaksi yang menggunakan katalis disebut reaksi katalis dan prosesnya disebut katalisme.

## **5. Penggolongan Katalis Berdasarkan Keberadaan Di Alam**

- Katalis biokimia
- Katalis yang dibuat manusia

### 6.3.3 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alam. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangat penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 60% - 80% dari volume total beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menjadi dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus, agregat kasar dapat didapat secara alami dan buatan.

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm untuk kerikil. Untuk pasir lubang ayakan 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan berdasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai butir-butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,8 mm. Sedangkan butir agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm.

Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut ini.

1. Pasir harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka kaitan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butirnya harus bersifat kekal. Sifat kekal ini berarti pasir tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.

3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka beton yang dihasilkan akan berkualitas rendah.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
5. Gradasi harus memenuhi syarat seperti yang terlihat pada Tabel 2.1.

*Tabel 6.1 Gradasi Pasir*

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	95-100	95-100
2,4	75-100	85-100	95-100	95-100
1,2	55-90	75-100	90-100	90-100
0,6	35-59	60-79	80-100	80-100
0,3	8-30	12-40	15-50	15-50
0,15	0-10	0-10	0-15	0-15

Sumber : Kardiyono Tjokrodimulyo, (1996)

Keterangan :

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

Daerah IV : Pasir halus

Untuk gradasi agregat kasar berdasarkan SNI-03-2834-2000 ditunjukkan pada Ta

*Tabel 6.2 Gradasi Agregat Kasar*

Ukuran Saringan				% Lolos Saringan/Ayakan		
(Ayakan)				Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
mm	SNI	ASTM	inch			
75,0	76	3 in	3,00			100 - 100
37,5	38	1½ in	1,50		100 - 100	95 - 100
19,0	19	¾ in	0,75	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,5	9,6	¾ in	0,3750	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,75	4,8	no. 4	0,1870	0 - 10	0 - 10	0 - 5

### 1. Agregat halus

- Agregat halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2mm – 5mm.
- Menurut SNI 02-6820-2002 , agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm.
- Menurut nevil (1997), agregat halus merupakan agregat yang besarnya tidak lebih dari 5 mm, sehingga pasir dapat berupa pasir alam atau berupa pasir dari pemecahan batu yang dihasilkan oleh pemecah batu.
- Menurut SNI 1737-1989-F , agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

- Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

## 2. Agregat kasar

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, agregat kasar harus memenuhi persyaratan dan ketentuan seperti berikut ini:

- Butiran agregat kasar harus bertekstur keras dan tidak berpori, indeks kekerasan  $< 5\%$ .
- Agregat kasar harus bersifat kuat, tidak mudah pecah atau hancur. Ketika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 12%-nya, jika diuji dengan garam Magnesium Sulfat bagian yang hancur pada agregat kasar tidak boleh lebih dari 18%.
- Agregat kasar tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06) lebih dari 1% dalam berat keringnya, jika melampaui 1% maka harus dicuci.
- Agregat kasar ini tidak boleh mengandung zat relatif alkali yang dapat merusak beton.
- Butiran agregat kasar yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya.
- Modulus halus butir atau angka kehalusan (fineness modulus) pada agregat kasar berkisar antara 6 – 7,1 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- Ukuran butir agregat kasar maksimalnya tidak boleh melebihi dari  $1/5$  jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,  $3/4$  jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan, dan  $1/3$  tebal pelat beton.

Jenis agregat kasar yang umum adalah:

- Batu pecah alami, yaitu agregat kasar yang diperoleh dari batuan cadas atau batu pecah alami yang digali.
- Kerikil alami, yaitu agregat kasar berupa kerikil yang diperoleh dari proses pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir secara alami.
- Agregat kasar buatan, yaitu agregat yang diperoleh dari hasil buatan berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.

- Agregat yang digunakan untuk pelindung nuklir, yaitu agregat kasar dengan bobot yang berat dan dapat berupa baja pecah, magnetit, limonit, dan barit.



*Gambar 6.4 Keramik*

### **6.3.4 Keramik**

Keramik adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan untuk melapisi lantai atau dinding yang biasanya berbentuk plat pesegi dan tipis yang di buat dari tanah liat dan bahan mentah keramik lainnya, dengan cara dibakar sampai suhu tertentu, sehingga mempunyai sifat-sifat fisik khusus.

Makna keramik adalah suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin dan lain sebagainya. Namun tidak semua keramik terbuat dari tanah liat.

Adapun bahan keramik yakni  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Dapat dilihat dari unsur-unsur tersebut terdapat dua paduan antara logam dan non logam. Sehingga keramik juga dapat diartikan sebagai bahan padat anorganik yang merupakan paduan dari unsur logam dan juga non logam.

#### **1. Klasifikasi keramik**

Perlu diketahui bahwa keramik pada prinsipnya terbagi atas keramik tradisional dan keramik halus, adapun penjelasan dari masing-masing pembagian keramik tersebut dapat diuraikan sebagai berikut

- Keramik tradisional

Keramik tradisional adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan alam, seperti kuarsa, kaolin dan lain-lain. Adapun contoh dari keramik tradisional yakni barang pecah belah (dinnerware), keperluan rumah tangga (tile, bricks) dan industri (refractory).

- **Keramik halus**

Keramik halus atau dalam bahasa Inggris fine ceramics adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam, seperti  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$  dan lain-lain. Penggunaan elemen tersebut digunakan untuk pemanas, semikonduktor, komponen turbin dan juga sangat berguna dalam bidang medis.

## **2. Bahan pembuat keramik**

Dalam membuat keramik terdapat bahan-bahan tertentu yang dipergunakan oleh pembuat keramik tersebut dengan 3 macam bahan (triaxial), yakni tanah liat, pasir dan feldspar yang akan dijelaskan berikut dibawah ini :

- **Tanah liat (clay)**

Didalam tanah liat terdapat empat kandungan utama yakni kaolinite, halloysite, montmorillinite dan illite. Dengan adanya perbedaan kandungan tanah liat maka akan menghasilkan sifat yang berbeda-beda pula. Sifat yang penting dalam tanah liat adalah plastisitas yang artinya kemampuan untuk dibentuk tanpa mudah retak, kemampuan untuk dilebur (fusibilitas), bahan baku pasir (kwarsa) dan sebagai bahan non plastik (fungsi).

- **Pasir**

Bahan baku pasir berfungsi sebagai bahan pengisi, namun jika penambahan terlalu banyak silikat dalam pasir maka akan menyebabkan keretakan pada saat pembakaran berlangsung.

- **Feldspar**

Bahan baku feldspar berfungsi sebagai bahan pengikat dalam pembuat keramik serta menurunkan temperatur pembakaran. Ada beberapa jenis bahan feldspar yang diantaranya adalah K-feldspar, Na-feldspar dan Ca-feldspar.

## **3. Sifat keramik**

Sifat yang umum dan mudah sekali dilihat secara fisik pada kebanyakan jenis keramik adalah rapuh. Hal seperti ini dapat kita temukan pada keramik jenis tradisional seperti barang pecah belah, gerabah, gelas, kendi dan lain sebagainya. Sifat rapuh ini tidak berlaku pada jenis keramik tertentu, terutama jenis keramik hasil sintering dan campuran sintering antara keramik dengan logam. Sifat lain keramik yang sangat menarik adalah adanya ketahanan terhadap suhu tinggi.

#### **6.4 Metode Campuran Beton (*mixing*)**

Dalam praktek ada beberapa metode rancangan campuran beton yang telah dikenal, antara lain seperti metode DOE yang dikembangkan oleh Department of Environment di Inggris dan Metode ACI (American Concrete Institute). Metode rancangan campuran beton dengan cara DOE ini di Indonesia dikenal sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam Standar SNI 03-2834-2000, "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal". Sedangkan SNI 7656:2012, "Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa" mengacu pada ACI. Secara garis besar kedua metode tersebut didasarkan pada hubungan empiris, bagan, grafik dan tabel, tetapi pada beberapa procedural terdapat perbedaan.

#### **6.5 Kuat Tekan**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton sudah tinggi, maka sifat-sifat lainnya juga baik.

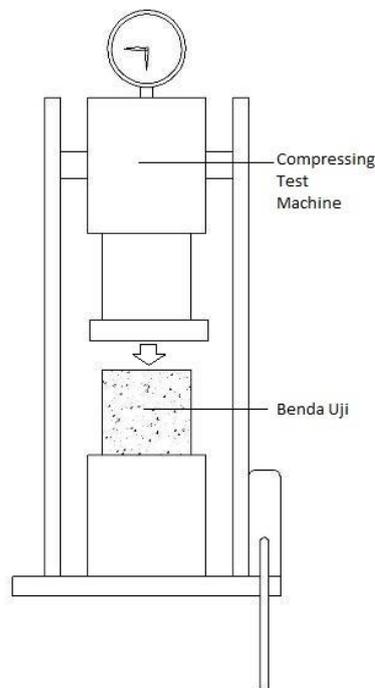
Beton berdasarkan kuat tekan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Beton sederhana, dipakai untuk bagian-bagian non struktur seperti dinding bukan penahan tembok, kuat tekan  $f'c < 100$  Mpa.
2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang, bagian struktur penahan beban misalnya kolom dan balok, kuat tekan  $f'c < 30$  Mpa.
3. Beton prategang untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan ditarik terlebih dahulu sebelum diberi beban, kuat tekan  $f'c < 40$  Mpa.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi dipakai pada struktur khusus, misalnya gedung bertingkat sangat banyak, kuat tekan  $f'c \leq 80$  Mpa. (Tjokrodimulyo, 1995)

Kuat tekan beton polimer dipengaruhi oleh sejumlah faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah:

1. Jenis resin dan kualitasnya,
2. Komposisi resin dan *Hardener*,
3. Jenis dan bentuk permukaan agregat,
4. Efisiensi peralatan,
5. Faktor umur, dan
6. Mutu agregat.

Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai  $1000 \text{ kg/cm}^2$  atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan. Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar  $200 \text{ kg/cm}^2$  sampai  $500 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran  $15 \times 30 \text{ cm}$ . Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam MPa atau  $\text{kg/cm}^2$ . Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar *ASTM C 39* atau menurut yang disyaratkan PBI 1989.



*Gambar 6.5 Skema Uji Beton*

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah :

$$f'c = P/A \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$f'c$  = kuat desak beton

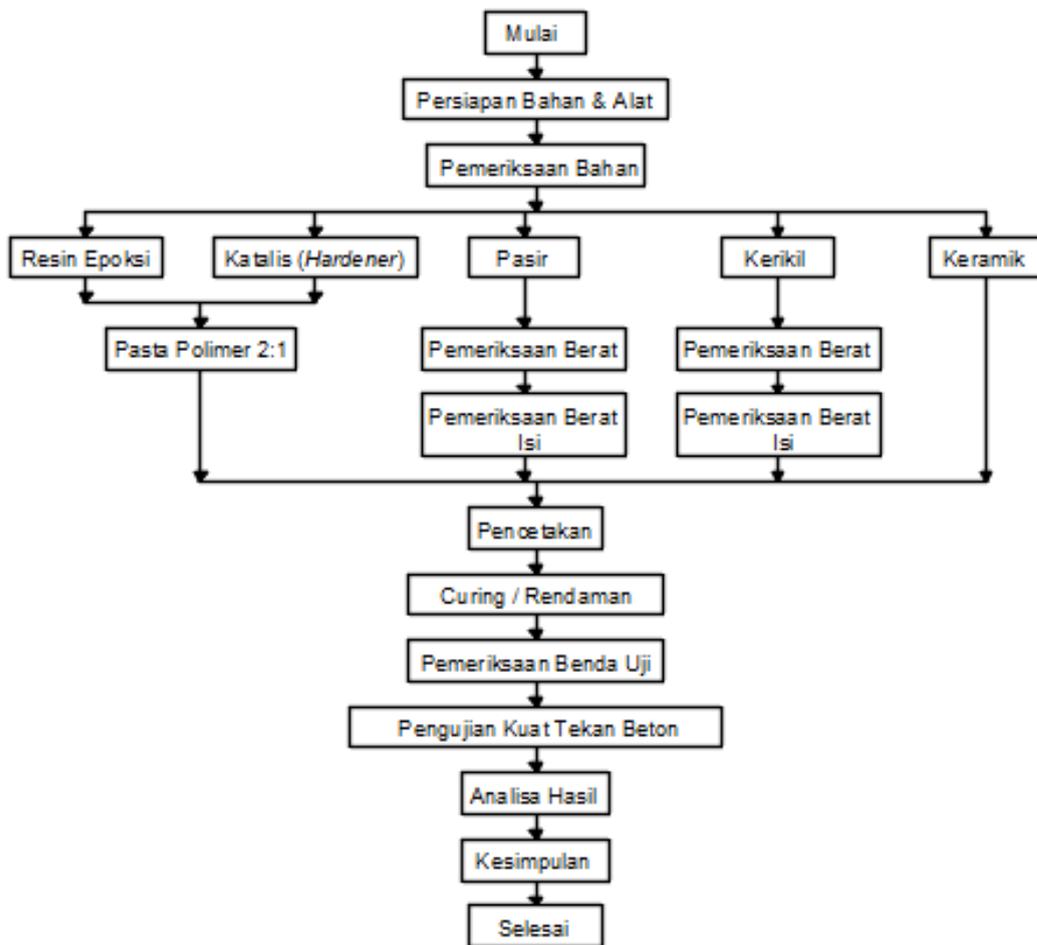
$P$  = beban maksimum

$A$  = luas penampang benda uji

## BAB III METODE PENELITIAN

### 7.1 Diagram Alir

Flowchart atau bagan alur adalah diagram yang menampilkan langkah-langkah dan keputusan untuk melakukan sebuah proses dari suatu program. Setiap langkah digambarkan dalam bentuk diagram dan dihubungkan dengan garis atau arah panah. Fungsi utama dari flowchart adalah memberi gambaran jalannya sebuah program dari satu proses ke proses lainnya. Sehingga, alur program menjadi mudah dipahami oleh semua orang.



*Gambar 7.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian*

## 7.2 Umum

Metode penelitian adalah suatu cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, atau dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga pada gilirannya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah dalam bidang tertentu. Jenis-jenis metode penelitian dapat dikelompokkan menurut bidang, tujuan, metode, tingkat eksplanasi, dan waktu. Menurut bidang, penelitian dapat dibedakan menjadi penelitian akademis, profesional dan institusional. Dari segi tujuan, penelitian dapat dibedakan menjadi penelitian murni dan terapan.

Prosedur dan teknik penelitian merupakan bagian dalam metodologi penelitian. Metodologi penelitian merupakan suatu langkah penting untuk memecahkan masalah-masalah dalam penelitian. Kemampuan memahami metodologi penelitian dapat membantu dalam pencarian jawaban untuk permasalahan penelitian. Tidak hanya sekedar memudahkan memecahkan permasalahan penelitian, tetapi metodologi penelitian juga bermanfaat dalam pengembangan bidang keilmuan dan menambah penemuan-penemuan baru yang bermanfaat bagi dunia pendidikan dan umat manusia di seluruh dunia.

Dari segi metode penelitian, dapat dibedakan menjadi penelitian *survey*, penelitian *expofacto*, *eksperimen*, *naturalistik*, *policy research*, *evaluation research*, *action research*, sejarah, dan *Research and development*. Dari *level of expalanation* dapat dibedakan menjadi penelitian deskriptif, komparatif dan asiosiatif. Dari segi waktu dapat dibedakan menjadi penelitian *cross sectional dan longitudinal*. Dibawah akan diuraikan jenis metode penelitian menurut tujuan, metode, dan tingkat eksplanasi.

Metode penelitian adalah langkah-langkah umum atau metode yang dilakukan dalam penelitian suatu masalah, kasus, fenomena, atau yang lain secara ilmiah untuk memperoleh hasil yang rasional. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan dilakukan di Laboratorium Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana – YPKP. Objek utama penelitian ini adalah beton polimer dengan menggunakan keramik dan batu pecah.

### 7.3 Variable Penelitian

Untuk penelitian yang dilakukan di laboratorium, benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan diameter 15 cm dan tinggi 15 cm. Jumlah sampel beton kubus yang dibuat pada pengujian ini adalah berjumlah 3 buah. Benda uji beton kubus dibuat dalam 3 variasi campuran seperti yang terlihat pada tabel 3.1 berikut.

#### Pengujian Kuat Tekan Beton

*Tabel 7.1 Variabel Penelitian Pengujian Kuat Tekan Beton*

No	Sampel	Jenis Resin	Pasta Polimer (%)	Kadar Keramik (%)	Jumlah Sampel
1	BPK45 <sup>(1)</sup>	Epoksi	20	45	1
2	BPK45 <sup>(2)</sup>	Epoksi	40	45	1
3	BPK45 <sup>(3)</sup>	Epoksi	50	45	1
Total Jumlah Sampel					3

Keterangan :

1. BPK45-1 = Beton polimer Keramik kadar 45%, Pasta Polimer 20% no sampel 1
  2. BPK45-2 = Beton polimer Keramik kadar 45%, Pasta Polimer 40% no sampel 2
  3. BPK45-3 = Beton polimer Keramik kadar 45%, Pasta Polimer 50% no sampel 3
- Rencana campuran pasta polimer yaitu 1 : 2 ( Katalis : Resin)

## 7.4 Bahan – Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

### 1. Resin *Epoxy*

Resin yang digunakan adalah jenis *epoxy*



*Gambar 7.2 Resin Epoxy*

### 2. Katalis (Hardener)



*Gambar 7.3 Hardener*

### 3. Agregat

Agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus berupa pasir yang lolos saringan 4,80 mm dan agregat kasar berupa batu pecah dengan variasi ukuran 15 mm, 25 mm, dan 30 mm. Agregat halus dan agregat kasar yang digunakan berasal dari Cimalaka. Agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 berikut ini.



*Gambar 7.4 Agregat Halus Pasir*



*Gambar 7.5 Agregat Kasar Batu Pecah*

#### **4. Keramik**

keramik adalah suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin dan lain sebagainya. Namun tidak semua keramik terbuat dari tanah liat.

Adapun bahan keramik yakni  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Dapat dilihat dari unsur-unsur tersebut terdapat dua paduan antara logam dan non logam. Sehingga keramik juga dapat diartikan sebagai bahan padat anorganik yang merupakan paduan dari unsur logam dan juga non logam.



*Gambar 7.6 Keramik*

## 7.5 Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

### 1. Ayakan Agregat

Ayakan agregat digunakan untuk mengayak agregat halus dengan lubang diameter 10mm, 4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm, dan 0,15mm.



*Gambar 7.7 Ayakan Agregat*

### 2. Cetakan Kubus

Cetakan kubus digunakan untuk mencetak benda uji untuk pengujian kuat tekan.



*Gambar 7.8 Cetakan Kubus*

### 3. Ember

Ember digunakan untuk menampung resin dan agregat halus.



*Gambar 7.9 Ember*

### 4. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur takaran resin epoxy dan Hardener.



*Gambar 7.10 Gelas Ukur*

### 5. Sendok Beton

Sendok beton digunakan untuk memasukkan dan meratakan campuran beton ke dalam cetakan silinder.



*Gambar 7.11 Sendok Beton*

## 6. Sekrop

Sekrop digunakan untuk mengaduk dan memasukan agregat ke dalam *mixer* beton.



*Gambar 7.12 sekrop*

## 7. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang bahan uji dan dapat dilihat pada Gambar berikut.



*Gambar 7.13 Timbangan*

## 8. Tongkat Pematik

Tongkat pemadat digunakan untuk memadatkan benda uji.



*Gambar 7.14 Tongkat Pematik*

## 9. Compressing Test Machine (CTM)

*Compressing Test Machine* (CTM) adalah alat yang berfungsi untuk menguji kuat tekan.



*Gambar 7.15 Compressing Test Machine*

## 10. Sigmat

Sigmat digunakan untuk mengukur dimensi benda uji.



*Gambar 7.16 Sigmat*

## 7.6 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat dilakukan untuk mengetahui sifat serta karakteristik bahan tersebut memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan atau tidak jika digunakan dalam pencampuran beton polimer pracetak atau *prepack polymer concrete*.

## 7.6.1 Pemeriksaan Agregat Halus

### 1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus.

#### a. Peralatan

- Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram
- Penggantungan keranjang
- Keranjang kawat
- Bak perendam
- Saringan No. 4 (4,75 mm)
- Oven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$
- Pengukur suhu dengan ketelitian  $1^{\circ}\text{C}$
- Talam

#### b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 500 gram.

#### c. Prosedur Pengujian

- Siapkan semua peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam praktikum.
- Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau kotoran yang melekat pada benda uji.
- Setelah dicuci keringkan agregat dalam oven selama 24 jam.
- Dinginkan agregat kemudian timbang (BK)
- Rendam agregat dalam air selama 24 jam
- Setelah selesai direndam 24 jam keluarkan benda uji dari air dan lap dengan menggunakan kain lap pada permukaannya untuk mendapatkan agregat dalam keadaan SSD.
- Timbang berat agregat tersebut dan catat sebagai W<sub>ssd</sub>
- Masukkan agregat tadi kedalam gelas ukur plastik sedikit ditambah air pada batas tertentu.

- Setelah itu kocok agar tidak ada lagi gelembung udara dan kemudian timbang berat bejana + air + agregat (B)
- Keluarkan agregat, kemudian masukan air pada batas tertentu, lalu timbang (BT)
- Lakukan pengolahan data untuk menentukan nilai Bj kering, Bj SSD, Bj semu dan penyerapan berdasarkan rumus yang telah ditentukan.

#### d. Perhitungan

Berat Jenis Curah	$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	3.1
Berat Jenis SSD	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	3.2
Berat Jenis Semu	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	3.3
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	3.4

Dengan :

- Bk = Berat benda uji kering oven (gram)
- B = Berat piknometer berisi air (gram)
- Bt = Berat piknometer berisi benda uji air (gram)
- 500 = Berat benda uji dalam keadaan SSD (gram)

## 2. Analisis saringan agregat halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat dengan menggunakan saringan.

### a. Peralatan

- Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram
- Satu set saringan
- Alat pemisah contoh
- Mesin pengguncang saringan
- O
- ven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- Kuas, sikat halus, sikat kuningan, talam

### b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan keadaan kering oven sebanyak 500 gram.

### c. Prosedur Pengujian

- Saringan disusun dari yang lubangnya paling besar di bagian atas dan pan diletakkan pada bagian paling bawah.
- Benda uji dimasukkan dari bagian atas saringan, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin pengguncang selama 10-15 menit agar hasil ayakan terpisah merata.
- Kemudian benda uji yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang dan dicatat beratnya

### d. Perhitungan

MHB	$\frac{\sum \text{persen tertinggal kumulatif mulai dari saringan } 0,15}{100}$	3.5
-----	---	-----

Dengan :

MHB = Modulus halus butir

## 3. Pemeriksaan berat isi agregat halus

Pemeriksaan berat isi pada agregat halus dibedakan menjadi berat isi gembur dan berat isi padat.

### a. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh
- Silinder kapasitas 5 liter
- Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm
- Oven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- Talam
- Mistar perata

### b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat halus yang telah dikeringkan sampai berat tetap.

### c. Prosedur Pengujian

- Silinder kosong ditimbang dan dicatat dimensinya.
- Untuk berat isi padat, benda uji dimasukkan ke dalam silinder per 1/3 bagian dari tinggi silinder dan dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali secara merata. Untuk berat isi gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder sampai penuh tanpa dipadatkan.
- Permukaan benda uji diratakan dengan mistar perata, kemudian silinder beserta isinya ditimbang dan dicatat beratnya.
- Selanjutnya dihitung berat benda uji dan volume silinder

### d. Perhitungan

Berat isi	$\frac{W3}{V}$	3.6
-----------	----------------	-----

Dengan :

W3 = Berat benda uji (gram)

V= Volume silinder (cm<sup>3</sup>)

## 4. Pengujian kandungan lumpur agregat halus

Pengujian kandungan lumpur pada agregat halus dilakukan dengan memeriksa butiran yang lolos saringan No. 200 dan bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar lumpur pada agregat halus.

### a. Peralatan

- Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram
- Saringan No. 200
- Tempat untuk pencucian dengan saluran air mengalir
- Oven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu (110±5)°C
- Cawan

### b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan keadaan kering oven sebanyak 500 gram.

**c. Prosedur Pengujian**

- Benda uji diletakkan dalam saringan dan dialirkan air di atasnya.
- Saringan digerakkan dengan air mengalir yang cukup deras sehingga bagian yang halus menembus saringan No. 200 dan bagian yang kasar tertinggal di atasnya.
- Pekerjaan di atas diulangi hingga air pencucian jernih.
- Benda uji diletakkan dalam cawan dan dikeringkan dengan oven sampai berat tetap. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya.

**d. Perhitungan**

Kadar Lumpur	$\frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$	3.7
--------------	-----------------------------------	-----

Dengan :

W1 = Berat benda uji kering oven (gram)

W2 = Berat uji kering oven setelah dicuci (gram)

**7.6.2 Pemeriksaan Agregat Kasar**

**1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar**

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat kasar.

**a. Peralatan**

- Timbangan kapasitas 20000gram atau lebih dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No. 6 atau No. 8) dengan kapasitas ±5000 gram.
- Tempat air dengan kapasitas dan bentuk sesuai untuk pemeriksaan dan dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air tetap
- Alat pemisah contoh
- Saringan No. 4 (4,75 mm)
- Oven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu (110±5)°C
- Pengukur suhu dengan ketelitian 1°C
- Kain lap, sekop kecil, pan

## b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm), diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 1000 gram.

## c. Prosedur Pengujian

- Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ , sampai berat tetap. Kemudian benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam.
- Kemudian benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama  $(24 \pm 4)$  jam.
- Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh kering permukaan/SSD), untuk butiran yang besar dilap satu persatu.
- Benda uji keadaan SSD ditimbang.
- Benda uji diletakkan dalam keranjang air, lalu benda uji digoncangkan untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan
- beratnya di dalam air. Suhu air diukur untuk penyesuaian pada suhu standar  $25^\circ\text{C}$ .
- Benda uji dimasukkan ke dalam pan dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  selama  $(24 \pm 4)$  jam, kemudian setelah kering ditimbang beratnya.

## d. Perhitungan

Berat Jenis Curah	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	3.8
Berat Jenis SSD	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	3.9
Berat Jenis Semu	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	3.10
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	3.11

Dengan :

$Bk$  = Berat benda uji kering oven (gram)

$B$  = Berat benda uji SSD (gram)

$Bj$  = Berat benda uji SSD di dalam air (gram)

## 2. Analisis saringan agregat kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat dengan menggunakan saringan.

### a. Peralatan

- Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,2% dari berat contoh
- Satu set saringan
- Alat pemisah contoh
- Mesin pengguncang saringan
- Oven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- Kuas, sikat halus, sikat kuningan, talam

### b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat kasar dengan keadaan kering oven sebanyak 5000 gram.

### c. Prosedur Pengujian

- Saringan disusun dari yang lubangnya paling besar di bagian atas dan pan diletakkan pada bagian paling bawah.
- Benda uji dimasukkan dari bagian atas saringan, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin pengguncang selama 10-15 menit agar hasil ayakan terpisah merata.
- Kemudian benda uji yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang dan dicatat beratnya.

### d. Perhitungan

MHB	$\frac{\sum \text{persen tertinggal kumulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100}$	3.12
-----	--	------

Dengan :

MHB = Modulus halus butir

### 3. Pemeriksaan berat isi agregat kasar

Pemeriksaan berat isi pada agregat kasar dibedakan menjadi berat isi gembur dan berat isi padat.

#### a. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh
- Silinder kapasitas 10 liter
- Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm
- Oven dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
- Talam
- Mistar perata

#### b. Benda Uji

Benda uji adalah agregat kasar yang telah dikeringkan sampai berat tetap.

#### c. Prosedur Pengujian

- Silinder kosong ditimbang dan dicatat dimensinya.
- Untuk berat isi padat, benda uji dimasukkan ke dalam silinder per 1/3 bagian dari tinggi silinder dan dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali secara merata. Untuk berat isi gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder sampai penuh tanpa dipadatkan.
- Permukaan benda uji diratakan dengan mistar perata, kemudian silinder beserta isinya ditimbang dan dicatat beratnya.
- Selanjutnya dihitung berat benda uji dan volume silinder.

#### d. Perhitungan

Berat isi	$\frac{W_3}{V}$	3.13
-----------	-----------------	------

Dengan :

$W_3$  = Berat benda uji (gram)

$V$  = Volume Silinder (cm<sup>3</sup>)

### 7.7 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Pembuatan benda uji dikerjakan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Siapkan bahan yang dibutuhkan sesuai dengan takaran yang diperhitungkan sebelumnya.
2. Setelah mendapatkan persentasi dan perbandingan yang pas kemudian persiapkan bahan-bahan uji seperti resin *epoxy*, katalis (*Hardener*), keramik, pasir sebagai agregat halus, kerikil atau batu pecah sebagai agregat kasar sesuai dengan komposisi campuran yang telah dihitung.
3. Kemudian persiapkan alat-alat pendukung untuk penelitian seperti ember, sendok semen, tongkat penggetar dan yang lainnya dengan terlebih dahulu membersihkan alat-alat yang akan digunakan.
4. Olesi cetakan kubus beton dengan oli sebelum memasukan adukan beton polimer ke dalam cetakan silinder beton supaya mudah dalam membuka cetakan apabila sudah mengering.
5. Selanjutnya persiapkan ember untuk tempat menampung agregat halus dengan persentase takaran yang telah dihitung sebelumnya.
6. Masukan campuran resin *epoxy* dan katalis dengan persentase takaran yang telah dihitung sebelumnya ke dalam ember yang berisi agregat halus, lalu aduk dengan sendok semen hingga merata selama kurang lebih 3 menit.
7. Setelah tercampur rata, masukan agregat kasar kedalam ember yang berisi pasta polimer kemudian kembali diaduk kurang lebih 3 menit, atau adukan sudah dirasa sudah tercampur rata.
8. Setelah semua bahan tercampur, tuangkan adukan beton polimer kedalam cetakan kubus.
9. Setelah campuran telah tertuang kedalam cetakan kubus beton, kemudian pukul sisi luar cetakan kubus beton dengan tongkat penggetar berulang-ulang untuk membantu mempercepat proses pemadatan campuran yang ada di dalam cetakan kubus beton.
10. Setelah campuran menyebar secara merata ke dalam cetakan kubus beton, ratakanlah permukaan cetakan kubus beton menggunakan sendok semen.
11. Kemudian simpanlah benda uji di tempat yang teduh untuk menghindari air hujan dan cahaya matahari.

12. Setelah menunggu kurang lebih 3 sampai 5 jam, benda uji dapat dilepaskan dari cetakan kubus beton dan berikanlah keterangan pada benda uji agar tidak tertukar dengan benda uji yang lain.
13. Kemudian letakkan benda uji dengan suhu ruang yang teduh selama kurang lebih 1 hari.
14. Setelah menunggu kurang lebih 1 hari maka benda uji siap untuk diuji kekuatannya.

## **7.8 Pengertian Curing**

Curing beton adalah metode yang lebih dipahami sebagai perawatan beton. Struktur beton umumnya bersifat cepat mengeras dan mudah mengering, oleh karena itu curing beton dilakukan agar kadar air pada beton tidak cepat berkurang sehingga menghasilkan beton bermutu baik.

Perawatan beton ini dilaksanakan ketika permukaan beton yang terbuka telah mengalami fase hardening (pengerasan) dan dimaksudkan agar reaksi senyawa kimia pada material campuran pembuat beton berada pada kondisi yang stabil. Proses curing beton adalah metode penting untuk memelihara kualitas beton karena tidak hanya menjaga kadar kelembaban pada bagian dalam atau permukaan beton, tetapi juga untuk memastikan beton yang dihasilkan sesuai dengan mutu yang diinginkan.

## **7.9 Metode Curing Beton**

Terdapat tiga metode yang digunakan saat melakukan curing atau perawatan beton. Ketiga metode tersebut adalah:

### **1. Curing Beton Dengan Pembasahan**

Komponen utama dalam metode ini adalah air yang diselipkan ke beton agar menghambat penguapan air pada proses pengadukan beton cor. Selain metode penyelimutan air, terdapat beberapa metode lainnya:

- Menempatkan beton segar di ruangan dengan kelembaban yang baik.
- Menaruh beton segar ke dalam air atau sekedar digenangi.
- Selimuti beton dengan beberapa karung basah.
- Menyiram beton segar beberapa saat dengan cairan kimia khusus yang biasa disebut dengan curing compound.

Metode curing basah banyak digunakan pula pada produk beton pracetak, hal ini dikarenakan biayanya yang relatif terjangkau. Beberapa produk yang menggunakan metode curing ini yaitu paving block, uditch, box culvert dan buis beton.

## **2. Curing Beton Dengan Penguapan**

Sebelumnya, pastikan beton sudah di diamkan pada suhu 10°-30°C dalam beberapa jam. Metode curing beton dengan penguapan ini biasanya dilakukan pada daerah yang terdapat musim dingin. Oleh karena itu terdapat prosedur khusus yakni beton didiamkan terlebih dahulu kemudian harus diikuti dengan perawatan pembasahan selama beberapa hari.

Metode ini bertujuan agar kekuatan dari beton bisa lebih tahan lama dengan cuaca ekstrem di musim dingin. Curing beton dengan penguapan terdapat dua cara yaitu:

- Perawatan tekanan rendah selama 10-12 jam.
- Lalu perawatan tekanan tinggi selama 10-16 jam.

## **3. Curing Beton Dengan Membran**

Membran yang dimaksud adalah penghalang fisik yang bertujuan untuk mencegah penguapan air pada beton. Bahan yang digunakan sebagai membran harus kering dalam kurun waktu 4 jam, berbentuk selembat film, melekat dengan baik, bebas dari lubang halus, dan tidak mengandung racun agar tidak membahayakan beton.

Perawatan dengan penghalang membran ini adalah pilihan terbaik jika lokasi pengecoran beton tidak memiliki sumber air yang cukup. Cara ini dapat dikatakan fleksibel karena bisa dilakukan pada sebelum atau sesudah pembasahan beton.

Beberapa contoh sistem perawatan curing beton membran yaitu menggunakan kain geotextile, plastik cor, terpal dan sebagainya.

## **Manfaat dan Tujuan Pelaksanaan Curing Beton Beton**

Beberapa manfaat yang diperoleh ketika melakukan perawatan pada beton antara lain:

- Menjaga beton dari kehilangan kadar air selama proses pengerasan awal.

- Menjaga perbedaan suhu beton dengan berbagai kemungkinan perubahan cuaca.
- Memelihara stabilitas dari dimensi struktur pada beton.
- Membantu untuk menghasilkan kekuatan beton yang bermutu tinggi.
- Menjaga bagian dalam atau bagian permukaan luar beton agar tidak kehilangan air pada saat penguapan di hari-hari pertama.
- Membantu proses perkembangan kuat tekan pada beton melalui curing beton dengan penguapan.

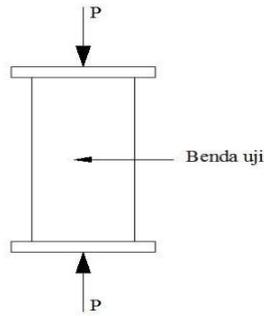
Selain berbagai manfaat yang di dapatkan pada perawatan beton, terdapat durasi waktu tertentu pada pelaksanaan perawatan beton itu sendiri. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Bagaimana mutu atau kekuatan suatu beton.
- Keawetan struktur dan stabilitas beton.
- Tingkat kedap air pada beton.
- Resistensi permukaan beton dari keausan, yaitu hilangnya durabilitas dari permukaan beton karena gesekan dari benda lain.
- Kestabilan volume dari beton yang berhubungan dengan adanya penyusutan.

### **7.10 Pengujian Kuat Tekan Beton**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (**SNI 03-1974-1990**).Langkah-langkah pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel,
2. Timbanglah berat dan ukurlah dimensi benda uji,
3. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris,
4. Jalankan mesin tekan dan lakukan pembebanan secara perlahan dengan penambahan konstan, sekitar 2 sampai 4 kg/cm<sup>3</sup> perdetik,
5. Catat beban maksimum selama beton mengalami kehancuran,
6. Kemudian hitung kuat tekan beton.



Gambar 7.17 Ilustrasi Kuat Tekan Beton

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$  = kuat desak beton (MPa)

$P$  = beban maksimum (N)

$A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 7.11 Pengolahan Data

Setelah bahan dan alat uji siap serta sampel uji telah dibuat, maka siap untuk diuji sesuai prosedur penelitian. Hasil dari pengujian berupa data-data kasar yang masih perlu diolah lebih lanjut berdasarkan peraturan SNI-03-2834-2000 untuk mengetahui hubungan/korelasi antara satu pengujian dengan pengujian lainnya. Secara umum dari pengujian-pengujian yang akan dilakukan nantinya akan menghasilkan pengaruh bahan tambah dan penggunaan polimer pada mutu beton.

### 7.12 Proposal Anggaran Biaya Untuk 3 Benda Uji Beton Polimer

#### Perhitungan Campuran Beton Polimer

$$\begin{aligned} \text{Volume Kubus} &= s \times s \times s \\ &= 0.15 \times 0.15 \times 0.15 \\ &= 0.003375 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### 1. Benda Uji 1

BPK45<sub>(1)</sub>

##### a. Kebutuhan agregat kasar / kerikil

$$\begin{aligned} &= V \text{ Kubus} \times 80\% \times \text{Berat isi padat} \\ &= 0.003375 \times 0.8 \times 1752.17 \\ &= 0.0027 \times 1752.17 \\ &= \mathbf{4.7 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

**b. Kebutuhan agregat halus / kerikil**

$$= V \text{ Kubus} \times 20\%$$

(Dianggap 100% guna perbandingan resin,hardener dan pasir)

$$= 0.003375 \times 0.2$$

$$= 0.000675$$

$$= 0.000675 \times (80 \% \text{ Perbandingan pasir dan resin epoksi})$$

$$= 0.000675 \times 0.8$$

$$= 0.000135 \times \text{Berat isi padat}$$

$$= 0.000135 \times 1830.8$$

$$= 0.25 \text{ Kg}$$

**c. Kebutuhan resin dan hardener**

Setelah dilakukan *trial and error* didapat kebutuhan resin dan hardener sebagai berikut :

· Resin epoksi (2) = 900 ml

· Hardener (1) = 450 ml

**d. Kebutuhan Keramik**

Kebutuhan Keramik dihitung berdasarkan berat campruran total beton polimer, maka kebutuhan Keramik adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- Berat kerikil = 4.62 kg

- Berat pasir = 0.988 kg

- Berat resin = 900 ml → 0.90 kg

- Berat hardener = 450 ml → 0.45 kg

**Berat total = 6.958 Kg**

- Berat total tersebut dikali dengan kebutuhan Keramik

$$= \text{Berat total} \times 45 \%$$

$$= 6.958 \times 0.45$$

$$= 3.13 \text{ Kg}$$

Jadi kebutuhan Keramik adalah 3.13 kg

**e. Rekap kebutuhan material**

- Kebutuhan kerikil = 4.7 Kg

- Kebutuhan pasir = 0.988 kg

- Kebutuhan resin = 900 ml
- Kebutuhan hardener = 450 ml
- Kebutuhan Keramik = 3.13 kg

Tabel 7.2 Kebutuhan Material Benda Uji 1

Krikil	Pasir	Resin & Hardener		Keramik
		2	1	45%
Kg	Kg	ml	ml	Kg
4.7	0.25	900	450	3.13

## 2. Benda Uji 2

BPK45<sub>(2)</sub>

### a. Kebutuhan agregat kasar / kerikil

$$\begin{aligned}
 &= V \text{ Kubus} \times 60\% \times \text{Berat isi padat} \\
 &= 0.003375 \times 0.6 \times 1673.56 \\
 &= 0.002025 \times 1673.56 \\
 &= \mathbf{3.4 \text{ Kg}}
 \end{aligned}$$

### b. Kebutuhan agregat halus / kerikil

$$\begin{aligned}
 &= V \text{ Kubus} \times 40\% \\
 &\text{(Dianggap 100\% guna perbandingan resin,hardener dan pasir)} \\
 &= 0.003375 \times 0.4 \\
 &= 0.00135 \\
 &= 0.00135 \times (60\% \text{ Perbandingan pasir dan resin epoksi}) \\
 &= 0.00135 \times 0.6 \\
 &= 0.00081 \times \text{Berat isi padat} \\
 &= 0.00081 \times 1845.02 \\
 &= \mathbf{1.5 \text{ Kg}}
 \end{aligned}$$

### c. Kebutuhan resin dan hardener

Setelah dilakukan *trial and error* didapat kebutuhan resin dan hardener sebagai berikut :

- Resin epoksi (2) = 600 ml
- Hardener (1) = 300 ml

#### d. Kebutuhan Keramik

Kebutuhan Keramik dihitung berdasarkan berat campuran total beton polimer, maka kebutuhan Keramik adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- Berat kerikil = 3.4 kg
- Berat pasir = 1.5kg
- Berat resin = 600 ml → 0.60 kg
- Berat hardener = 300 ml → 0.30 kg

**Berat total = 5.8 Kg**

- Berat total tersebut dikali dengan kebutuhan Keramik  
= Berat total x 45 %  
= 5.8 x 0.45  
**= 2.61 Kg**

Jadi kebutuhan Keramik adalah 2.61 kg

#### e. Rekap kebutuhan material

- Kebutuhan kerikil = 3.4 Kg
- Kebutuhan pasir = 1.5 kg
- Kebutuhan resin = 600 ml
- Kebutuhan hardener = 300 ml
- Kebutuhan Keramik = 2.61 kg

*Tabel 7.3 Kebutuhan Material Benda Uji 1*

Krikil	Pasir	Resin & Hardener		Keramik
		2	1	
Kg	Kg	ml	ml	Kg
3.4	1.55	600	300	2.61

### 3. Benda Uji 3

BPK45<sub>(1)</sub>

#### a. Kebutuhan agregat kasar / kerikil

$$\begin{aligned} &= V \text{ Kubus} \times 50\% \times \text{Berat isi padat} \\ &= 0.003375 \times 0.50 \times 1752.17 \\ &= 0.0016875 \times 1752.17 \\ &= \mathbf{2.95 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

**b. Kebutuhan agregat halus / kerikil**

$$= V \text{ Kubus} \times 50\%$$

(Dianggap 100% guna perbandingan resin,hardener dan pasir)

$$= 0.003375 \times 0.5$$

$$= 0.0010125$$

$$= 0.0010125 \times (50 \% \text{ Perbandingan pasir dan resin epoksi})$$

$$= 0.0010125 \times 0.5$$

$$= 0.00050625 \times \text{Berat isi padat}$$

$$= 0.00050625 \times 1830.8$$

$$= \mathbf{0.93 \text{ Kg}}$$

**c. Kebutuhan resin dan hardener**

Setelah dilakukan *trial and error* didapat kebutuhan resin dan hardener sebagai berikut :

· Resin epoksi (2) = 500 ml

· Hardener (1) = 250 ml

**d. Kebutuhan Keramik**

Kebutuhan Keramik dihitung berdasarkan berat campruran total beton polimer, maka kebutuhan Keramik adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- Berat kerikil = 2.95 kg

- Berat pasir = 0.93 kg

- Berat resin = 500 ml → 0.50 kg

- Berat hardener = 250 ml → 0.25 kg

**Berat total = 4.63 Kg**

- Berat total tersebut dikali dengan kebutuhan Keramik

$$= \text{Berat total} \times 45 \%$$

$$= 4.63 \times 0.45$$

$$= \mathbf{2.083 \text{ Kg}}$$

Jadi kebutuhan Keramik adalah 2.083 kg

**e. Rekap kebutuhan material**

- Kebutuhan kerikil = 2.95 Kg

- Kebutuhan pasir = 0.93 kg

- Kebutuhan resin = 500 ml
- Kebutuhan hardener = 250 ml
- Kebutuhan Keramik = 2.083 kg

*Tabel 7.4 Kebutuhan Material Benda Uji 3*

Krikil	Pasir	Resin & Hardener		Keramik
		2	1	45%
Kg	Kg	ml	ml	Kg
2.95	0.93	500	250	2.08

### **Rencana Anggaran Biaya**

#### Harga material

- Kerikil = Rp. 194.000,00 / m<sup>3</sup>  
= Rp. 10,778 / kg
- Pasir = Rp. 242.500,00 / m<sup>3</sup>  
= Rp. 17,322 / kg
- Resin = Rp. 1000.000,00 / 10 kg / pail  
= Rp. 100.000 /kg
- Hardener = Rp. 500.000,00 / 5 kg / jrg  
= Rp. 100.000 / kg
- Keramik = Rp. 60.000 / kg

#### **1. Kebutuhan biaya benda uji 1**

- Kerikil = Rp 4.7x Rp. 10,778  
= Rp. 50.6566
- Pasir = Rp. 0.25 x Rp. 17,322  
= Rp. 4.330
- Resin = Rp. 0.9 x Rp. 100.000  
= Rp. 90.000
- Hardener = Rp. 0.45 x Rp. 100.000  
= Rp. 45.000
- Keramik = Rp. 2.835 x Rp.60.000  
= Rp. 170.100

**Total biaya untuk pengujian benda uji 1 = Rp. 368.301**

## 2. Kebutuhan biaya benda uji 2

- Kerikil = Rp 3.4x Rp. 10,778  
= Rp. 36.645
- Pasir = Rp. 1.5 x Rp. 17,322  
= Rp. 25.983
- Resin = Rp. 0.60 x Rp. 100.000  
= Rp. 60.000
- Hardener = Rp. 0.30 x Rp. 100.000  
= Rp. 30.000
- Keramik = Rp. 2.61 x Rp.60.000  
= Rp. 156.600

**Total biaya untuk pengujian benda uji 2 = Rp. 309.228**

## 3. Kebutuhan biaya benda uji 3

- Kerikil = Rp 2.95 x Rp. 10,778  
= Rp. 31.795
- Pasir = Rp. 0.93 x Rp. 17,322  
= Rp. 16.109
- Resin = Rp. 0.50 x Rp. 100.000  
= Rp. 50.000
- Hardener = Rp. 0.25 x Rp. 100.000  
= Rp. 25.000
- Keramik = Rp. 2.083 x Rp.60.000  
= Rp. 124.980

**Total biaya untuk pengujian benda uji 3 = Rp. 247.884**

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **8.1 Tinjauan Umum**

Pada bab ini, penulis akan menguraikan tahapan – tahapan pengujian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Beton Universitas Sangga Buana YPKP, meliputi pengujian bahan / meterial, perencanaan beton (*Mix Design*), hingga pengujian beton polimer. Pada penelitian ini, penulis menggunakan bahan atau material seperti, pasir, kerikil, air, keramik, resin epoksi dan katalis.

Hasil penelitian ini dianalisis guna mengetahui seberapa besar kuat tekan polimer dengan menggunakan bahan campuran resin epoksi, katalis (*hardener*), agregat halus berupa pasir yang diambil dari pasir lokal Bandung, agregat kasar berupa kerikil yang diambil dari kerikil lokal bandung serta penambahan keramik dengan kadar 45% . Berdasarkan referensi metode pengujian berdasarkan standar yang berlaku, maka penulis melakukan penelitian di Laboratorium Beton Universitas Sangga Buana YPKP.

Data – data yang diolah atau hasil penelitian yang diperoleh berupa data material, diantaranya :

##### **1. Pengujian agregat kasar**

- a. Pengujian berat jenis
- b. Pengujian penyerapan air
- c. Pengujian kadar air
- d. Pengujian kadar lumpur
- e. Pengujian bobot isi / berat isi
- f. Pengujian analisis saringan / modulus kehalusan

##### **2. Pengujian agregat halus**

- a. Pengujian berat jenis
- b. Pengujian penyerapan air
- c. Pengujian kadar air
- d. Pengujian kadar lumpur
- e. Pengujian bobot isi / berat isi
- f. Pengujian analisis saringan / modulus kehalusan

### **3. Pengujian resin epoxy**

- a. Pengujian berat jenis

### **4. Pengujian katalis (Hardener)**

- a. Pengujian berat jenis

### **5. Pembuatan benda uji**

Pada penelitian ini, campuran beton polimer yang sudah di aduk, dimasukan kedalam bekisting berbentuk kubus dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 15 cm.

### **6. Pengujian beton polimer**

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian kuat tekan beton polimer.

### **7. Analisis hasil pengujian beton polimer**

Pada penelitian ini resin epoksi yang digunakan adalah epoksi bening Type Hard, Keramik yang digunakan berjenis keramik lantai standar, agregat kasar batu pecah/ kerikil yang digunakan maksimum berdiameter 20 mm dan berasal dari kerikil lokal bandung, agregat halus pasir yang digunakan adalah pasir yang berasal dari lokal bandung, penelitian ini menggunakan benda uji bentuk kubus dengan diameter 15 cm serta tinggi 15 cm, kadar/komposisi resin epoksi bervariasi yaitu 20%, 40%, 50% perbandingan resin epoksi dan katalis (*hardener*) yaitu 2:1, pada penelitian ini, masing masing pengujian yaitu uji tekan, membuat 3 benda uji, dengan kadar Keramik 45%.

## **8.2 Pengujian Bahan / Material.**

Pada tahap ini, penulis akan menguraikan hasil pengujian pada bahan campuran beton polimer, yaitu pengujian terhadap agregat halus berupa pasir yang berasal dari lokal Bandung, agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari lokal Bandung, serta pengujian berat jenis pada resin epoksi dan katalis sebagai bahan pengganti semen pada penelitian beton polimer ini.

### **8.2.1 Pengujian Agregat Halus**

#### **1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus**

Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, penulis mengacu pada SNI 1969 : 2008. Didapat hasil sebagai berikut:

### A. Bahan uji I

- a. Berat benda uji jenuh kering permukaan ( S ) = 500 gr
- b. Berat benda uji kering oven ( A ) = 478.27 gr
- c. Berat piknometer berisi air ( B ) = 1308.75 gr
- d. Berat piknometer + air + benda uji ( C ) = 1611.77 gr

### Perhitungan

- a. Berat jenis curah kering ( sd )  
$$= A / ( B + S - C )$$
$$= 478.27 / (1308.75 + 500 - 1611.77)$$
$$= 2,428 \text{ g/cm}^3$$
- b. Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( ss )  
$$= S / ( B + S - C )$$
$$= 500 / (1308.75 + 500 - 1611.77)$$
$$= 2,538 \text{ g/cm}^3$$
- c. Berat jenis semu ( sa )  
$$= A / ( B + A - C )$$
$$= 478.27 / (1308.75 + 478.27 - 1611.77)$$
$$= 2,729 \text{ g/cm}^3$$
- d. Penyerapan air ( sw )  
$$= (( S - A ) / A ) \times 100\%$$
$$= (( 500 - 478.27 ) / 478.27 ) \times 100\%$$
$$= 4.543\%$$

### B. Bahan uji II

- a. Berat benda uji jenuh kering permukaan ( S ) = 500 gr
- b. Berat benda uji kering oven ( A ) = 478.27 gr
- c. Berat piknometer berisi air ( B ) = 1308.75 gr
- d. Berat piknometer + air + benda uji ( C ) = 1611.77 gr

### Perhitungan

- a. Berat jenis curah kering ( sd )  
$$= A / ( B + S - C )$$
$$= 478.27 / (1308.75 + 500 - 1611.77)$$
$$= 2,428 \text{ g/cm}^3$$

b. Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( ss )

$$\begin{aligned} &= S / ( B + S - C ) \\ &= 500 / (1308.75 + 500 - 1611.77) \\ &= 2,538 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

c. Berat jenis semu ( sa )

$$\begin{aligned} &= A / ( B + A - C ) \\ &= 478.27 / (1308.75 + 478.27 - 1611.77) \\ &= 2,729 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

d. Penyerapan air ( sw )

$$\begin{aligned} &= (( S - A ) / A ) \times 100\% \\ &= (( 500 - 478.27 ) / 478.27 ) \times 100\% \\ &= 4.543\% \end{aligned}$$

### C. Bahan uji III

- a. Berat benda uji jenuh kering permukaan ( S ) = 500 gr  
b. Berat benda uji kering oven ( A ) = 478.27 gr  
c. Berat piknometer berisi air ( B ) = 1308.75 gr  
d. Berat piknometer + air + benda uji ( C ) = 1611.77 gr

### Perhitungan

a. Berat jenis curah kering ( sd )

$$\begin{aligned} &= A / ( B + S - C ) \\ &= 478.27 / (1308.75 + 500 - 1611.77) \\ &= 2,428 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( ss )

$$\begin{aligned} &= S / ( B + S - C ) \\ &= 500 / (1308.75 + 500 - 1611.77) \\ &= 2,538 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

c. Berat jenis semu ( sa )

$$\begin{aligned} &= A / ( B + A - C ) \\ &= 478.27 / (1308.75 + 478.27 - 1611.77) \\ &= 2,729 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

d. Penyerapan air ( sw )

$$= (( S - A ) / A ) \times 100\%$$

$$= (( 500 - 478.27 ) / 478.27 ) \times 100\%$$

$$= 4.543\%$$

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.1. berikut ini :

*Tabel 8.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus*

<b>PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS</b>					
<b>*SNI 1969 : 2008</b>					
<b>Pengujian</b>	<b>Notasi</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Satuan</b>
Berat benda uji jenuh kering permukaan	S	500	500.01	500.01	Gram
Berat benda uji kering oven	A	478.28	478.28	478.28	Gram
Barat piknometer yang berisi air	B	1308.75	1308.75	1308.75	Gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	C	1611.77	1611.6	1611.6	Gram
*g/cm <sup>3</sup>					
<b>Perhitungan</b>	<b>Notasi</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>Rata-Rata</b>
Berat jenis curah kering (sd)	A/(B+S-C)	2.428	2.426	2.426	2.427
BJ curah jenuh kering permukaan (ss)	S/(B+S-C)	2.538	2.536	2.536	2.537
Berat jenis semu (sa)	A/(B+S-C)	2.279	2.726	2.726	2.728
Penyerapan air	((S-A)/A)x100%	4.543%	4.543%	4.543%	4.543%

Dari hasil pengujian berat jenis di atas didapat berat jenis Bulk Specific Gravity sebesar 2.427 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diijinkan antara 2,2 sampai 2,7. Penyerapan air yang didapat dari pengujian yaitu 4.543%. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam penyerapan air dari keadaan kering mutlak sampai dengan jenuh kering muka sebesar 4.543% dari berat kering agregat itu sendiri.

## 2. Pengujian kadar air agregat halus

Pada pengujian kadar air agregat halus, penulis mengacu pada SNI 1971 : 2011. Didapat hasil sebagai berikut:

### A. Bahan uji I

a. Massa wadah + Benda uji	= 325.13 gr
b. Massa wadah	= 125.06 gr
c. Massa benda uji ( w1 )	= 200.07 gr
d. Massa wadah + Benda uji kering oven	= 314.68 gr
e. Massa wadah	= 125.06 gr
f. Massa benda uji kering oven ( w2 )	= 189.62 gr

### Perhitungan

a. Kadar air

$$= (( w1 - w2 ) / w2 ) * 100\%$$
$$= (( 200.07 - 189.62 ) / 189.62 ) * 100\%$$
$$= 5.511\%$$

### B. Bahan uji II

a. Massa wadah + Benda uji	= 317.59 gr
b. Massa wadah	= 177.55 gr
c. Massa benda uji ( w1 )	= 200.04 gr
d. Massa wadah + Benda uji kering oven	= 307.16 gr
e. Massa wadah	= 117.55 gr
f. Massa benda uji kering oven ( w2 )	= 189.61 gr

### Perhitungan

a. Kadar air

$$= (( w1 - w2 ) / w2 ) * 100\%$$
$$= (( 200.04 - 189.61 ) / 189.61 ) * 100\%$$
$$= 5.501\%$$

### C. Bahan uji III

a. Massa wadah + Benda uji	= 317.59 gr
b. Massa wadah	= 177.55 gr
c. Massa benda uji ( w1 )	= 200.04 gr
d. Massa wadah + Benda uji kering oven	= 307.16 gr

- e. Massa wadah = 117.55 gr  
 f. Massa benda uji kering oven ( w2 ) = 189.61 gr

**Perhitungan**

- a. Kadar air  

$$= (( w1 - w2 ) / w2 ) * 100\%$$

$$= (( 200.04 - 189.61 ) / 189.61 ) * 100\%$$

$$= 5.501\%$$

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.2. berikut ini :

*Tabel 8.2 Pengujian kadar air agregat halus*

<b>PENGUJIAN KADAR AIR AGREGAT HALUS</b>			
	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III
Massa wadah + benda uji	325.13	317.59	317.59
Massa wadah	125.06	117.55	117.55
Massa benda uji (w1)	200.07	200.04	200.04
Massa wadah + benda uji kering oven	314.68	307.16	307.16
Massa wadah	125.06	117.55	117.55
Massa benda uji (w2)	189.62	189.62	189.62
Kadar air total (P) = (w1-w2/w3)x100%	5.511%	5.501%	5.501%
Kadar air total rata - rata	5.506%		

**3. Pengujian kadar lumpur agregat halus**

Pada pengujian kadar lumpur agregat halus, penulis mengacu pada SNI ASTM C117 : 2012. Didapat hasil sebagai berikut:

**A. Bahan uji I**

- a. Berat benda uji kering oven 1 ( A ) = 189.62 gr  
 b. Berat kering oven 2 ( B ) = 159.8 gr

**Perhitungan**

- a. Kadar lumpur  

$$= (( A - B ) / A ) x 100\%$$

$$= ((189.62 - 159.8 ) / 189.62) x 100\%$$

$$= 15.726 \%$$

## B. Bahan uji II

a. Berat benda uji kering oven 1 ( A ) = 189.61 gr

b. Berat kering oven 2 ( B ) = 150.67gr

### Perhitungan

a. Kadar lumpur

$$= (( A - B ) / A ) \times 100\%$$

$$= ((189.61 - 150.67) / 189.61) \times 100\%$$

$$= 20.537 \%$$

## C. Bahan uji III

a. Berat benda uji kering oven 1 ( A ) = 189.61 gr

b. Berat kering oven 2 ( B ) = 150.67gr

### Perhitungan

a. Kadar lumpur

$$= (( A - B ) / A ) \times 100\%$$

$$= ((189.61 - 150.67) / 189.61) \times 100\%$$

$$= 20.537 \%$$

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.3. berikut ini :

*Tabel 8.3 Pengujian kadar lumpur agregat halus*

<b>PENGUJIAN KADAR LUMPUR AGREGAT HALUS</b>				
<b>Pengujian</b>	<b>Notasi</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Berat kering oven 1	A	189.62	189.61	189.61
Berat kering oven 1	B	159.8	150.67	150.67
Kadar lumpur	A-B/A	15.726%	20.537%	20.537%
Kadar lumpur rata - rata		18.132%		

## 4. Pengujian bobot isi / berat isi agregat halus

Pada pengujian bobot isi agregat halus, penulis mengacu pada SNI 03 – 4804 - 1998. Didapat hasil sebagai berikut:

**A. Bahan uji I**

- a. Berat gembur = 1631 gr  
 b. Berat padat = 1830.8 gr

**B. Bahan uji II**

- a. Berat gembur = 1625.26 gr  
 b. Berat padat = 1845.02 gr

**C. Bahan uji III**

- a. Berat gembur = 1631 gr  
 b. Berat padat = 1830.8 gr

**D. Berat rata – rata**

- a. Berat gembur = 1629.08 gr/l  
 b. Berat padat = 1835.54 gr/l

*Tabel 8.4 Pengujian bobot isi agregat halus*

Pengujian	I	II	III
Berat Gembur	1631	1625.26	1631
Berat Padat	1830.8	1845.02	1830.8
Rata-Rata	1835.54		

**5. Pengujian analisis saringan / modulus kehalusan agregat halus**

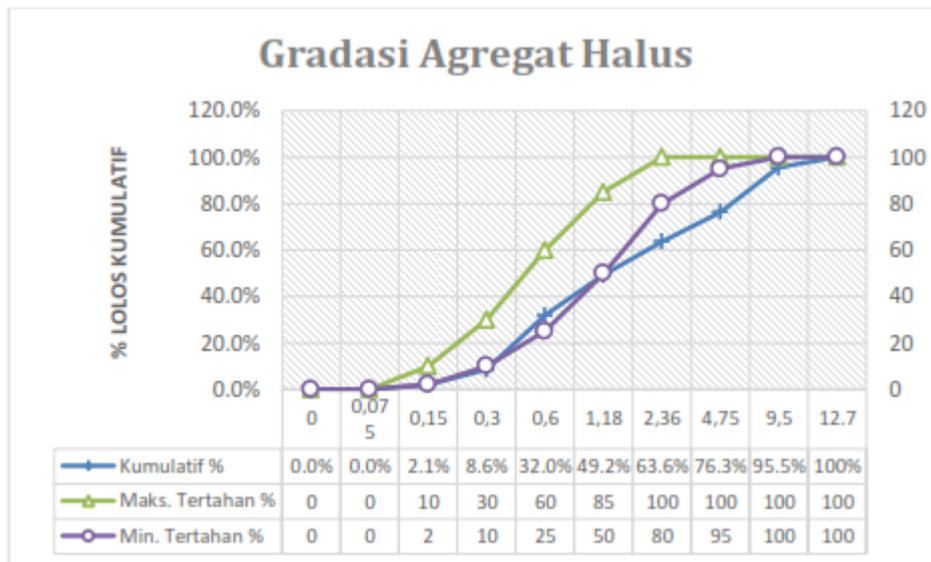
Pada pengujian modulus kehalusan agregat halus, penulis mengacu pada SNI ASTM C136 - 2012. Didapat hasil sebagai berikut:

*Tabel 8.5 Pengujian gradasi / modulus kehalusan agregat halus*

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan					Kumulatif		Spek ASTM C.33	
	Berat (gram)		Prosen (%)			Tertahan	Lolos	Min	Maks
	I	II	I	II	Rata-rata	(%)	(%)		
12.7	0	0	0	0	0	0	100	100	100
9.5	71,6	71,1	4,5	4,5	4,5	4,5	95,5	100	100
4.75	306,6	307,1	19,2	19,2	19,2	23,7	76,3	95	100
2.36	202,68	202,18	12,7	12,7	12,7	36,4	63,6	80	100
1.18	229,9	230,4	14,4	14,4	14,4	50,8	49,2	50	85
0.6	276,19	275,69	17,3	17,3	17,3	68,0	32,0	25	60
0.3	373,15	373,65	23,4	23,4	23,4	91,4	8,6	10	30
0.15	103,45	102,95	6,5	6,5	6,5	97,9	2,1	2	10
0.075	33,4	33,9	2,1	2,1	2,1	100	0	0	0
0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
Jumlah	<b>1596,97</b>	<b>1596,97</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>472,7</b>			
	<b>FM</b>					<b>4,73</b>			

$$\begin{aligned}
 FM &= \% \text{ Kumulatif} / 100 \\
 &= 472,7 \% / 100 \\
 &= 4.73 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa saringan atau modulus kehalusan diatas, kemudian data tersebut akan dimasukan ke dalam grafik untuk mengetahui kelolosan pengujian agregat halus pada minimal dan maksimal standar gradasi agregat halus menurut ASTM.



Gambar 8.1 Grafik gradasi agregat halus

Pada penelitian ini, penulis menggunakan butiran agregat halus yang lolos pada saringan no. 4 (4.75) dan tertahan pada saringan no. 8 (2.36).

## 8.2.2 Pengujian Agregat Kasar

### 1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, penulis mengacu pada SNI 1969 : 2008. Didapat hasil sebagai berikut:

#### A. Bahan uji I

- a. Berat benda uji jenuh kering permukaan ( S ) = 500 gr
- b. Berat benda uji kering oven ( A ) = 492.99 gr
- c. Berat piknometer berisi air ( B ) = 1308.75 gr
- d. Berat piknometer + air + benda uji ( C ) = 1627.31 gr

### Perhitungan

- a. Berat jenis curah kering ( sd )
- $$= A / ( B + S - C )$$
- $$= 492.99 / (1308.75 + 500 - 1627.31)$$
- $$= 2,717 \text{ g/cm}^3$$
- b. Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( ss )
- $$= S / ( B + S - C )$$
- $$= 500 / (1308.75 + 500 - 1627.31)$$
- $$= 2,756 \text{ g/cm}^3$$
- c. Berat jenis semu ( sa )
- $$= A / ( B + A - C )$$
- $$= 492.99 / (1308.75 + 492.99 - 1627.31)$$
- $$= 2,826 \text{ g/cm}^3$$
- d. Penyerapan air ( sw )
- $$= (( S - A ) / A ) \times 100\%$$
- $$= (( 500 - 492.99 ) / 492.99) \times 100\%$$
- $$= 1,422 \%$$

### B. Bahan uji II

- a. Berat benda uji jenuh kering permukaan ( S ) = 500.49 gr
- b. Berat benda uji kering oven ( A ) = 493.25 gr
- c. Berat piknometer berisi air ( B ) = 1308.75 gr
- d. Berat piknometer + air + benda uji ( C ) = 1627.56 gr

### Perhitungan

- a. Berat jenis curah kering ( sd )
- $$= A / ( B + S - C )$$
- $$= 493.25 / (1308.75 + 500.49 - 1627.56)$$
- $$= 2,715 \text{ g/cm}$$
- b. Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( ss )
- $$= S / ( B + S - C )$$
- $$= 500.49 / (1308.75 + 500.49 - 1627.56)$$
- $$= 2,755 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned}
\text{c. Berat jenis semu ( sa )} \\
&= A / ( B + A - C) \\
&= 493.25 / (1308.75 + 493.25 - 1627.56) \\
&= 2,828 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{d. Penyerapan air ( sw )} \\
&= (( S - A ) / A ) \times 100\% \\
&= (( 500.49 - 493.25 ) / 493.25) \times 100\% \\
&= 1,468 \%
\end{aligned}$$

### C. Bahan uji III

$$\begin{aligned}
\text{a. Berat benda uji jenuh kering permukaan ( S )} &= 500 \text{ gr} \\
\text{b. Berat benda uji kering oven ( A )} &= 492.99 \text{ gr} \\
\text{c. Berat piknometer berisi air ( B )} &= 1308.75 \text{ gr} \\
\text{d. Berat piknometer + air + benda uji ( C )} &= 1627.31 \text{ gr}
\end{aligned}$$

### Perhitungan

$$\begin{aligned}
\text{a. Berat jenis curah kering ( sd )} \\
&= A / ( B + S - C) \\
&= 492.99 / (1308.75 + 500 - 1627.31) \\
&= 2,717 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{b. Berat jenis curah jenuh kering permukaan ( ss )} \\
&= S / ( B + S - C) \\
&= 500 / (1308.75 + 500 - 1627.31) \\
&= 2,756 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{c. Berat jenis semu ( sa )} \\
&= A / ( B + A - C) \\
&= 492.99 / (1308.75 + 492.99 - 1627.31) \\
&= 2,826 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{d. Penyerapan air ( sw )} \\
&= (( S - A ) / A ) \times 100\% \\
&= (( 500 - 492.99 ) / 492.99) \times 100\% \\
&= 1,422 \%
\end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.6. berikut ini :

Tabel 8.6 Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR					
*SNI 1969 : 2008					
Pengujian	Notasi	I	II	III	Satuan
Berat benda uji jenuh kering permukaan	S	500	500.01	500.01	Gram
Berat benda uji kering oven	A	492.99	493.25	493.25	Gram
Barat piknometer yang berisi air	B	1308.75	1308.75	1308.75	Gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air samnai batas pembacaan	C	1627.31	1627.56	1627.56	Gram
*g/cm <sup>3</sup>					
Perhitungan	Notasi	I	II		Rata-Rata
Berat jenis curah kering (sd)	A/(B+S-C)	2.717	2.715	2.715	2.716
BJ curah jenuh kering permukaan (ss)	S/(B+S-C)	2.756	2.755	2.755	2.755
Berat jenis semu (sa)	A/(B+S-C)	2.826	2.828	2.828	2.827
penyerapan air	((S-A)/A)x100%	1.422%	1.468%	1.468%	1.445%

## 2. Pengujian kadar air agregat kasar

Pada pengujian kadar air agregat kasar, penulis mengacu pada SNI 1971 : 2011. Didapat hasil sebagai berikut:

### A. Bahan uji I

- a. Massa wadah + Benda uji = 325.62 gr
- b. Massa wadah = 125.35 gr
- c. Massa benda uji ( w1 ) = 200.27 gr
- d. Massa wadah + Benda uji kering oven = 324,48 gr
- e. Massa wadah = 125.35 gr
- f. Massa benda uji kering oven ( w2 ) = 199,13 gr

### Perhitungan

- a. Kadar air

$$\begin{aligned}
 &= (( w1 - w2 ) / w2 ) * 100\% \\
 &= (( 200.27 - 199,13) / 199,13) * 100\% \\
 &= 0,572 \%
 \end{aligned}$$

## **B. Bahan uji II**

- a. Massa wadah + Benda uji = 321.37 gr
- b. Massa wadah = 120.93 gr
- c. Massa benda uji ( w1 ) = 200.44 gr
- d. Massa wadah + Benda uji kering oven = 319.46 gr
- e. Massa wadah = 120.93 gr
- f. Massa benda uji kering oven ( w2 ) = 198.53 gr

### **Perhitungan**

- a. Kadar air

$$\begin{aligned} &= (( w1 - w2 ) / w2 ) * 100\% \\ &= (( 200.44 - 198.53 ) / 198.53 ) * 100\% \\ &= 0.962 \% \end{aligned}$$

## **C. Bahan uji III**

- a. Massa wadah + Benda uji = 325.62 gr
- b. Massa wadah = 125.35 gr
- c. Massa benda uji ( w1 ) = 200.27 gr
- d. Massa wadah + Benda uji kering oven = 324,48 gr
- e. Massa wadah = 125.35 gr
- f. Massa benda uji kering oven ( w2 ) = 199,13 gr

### **Perhitungan**

- a. Kadar air

$$\begin{aligned} &= (( w1 - w2 ) / w2 ) * 100\% \\ &= (( 200.27 - 199,13) / 199,13) * 100\% \\ &= 0,572 \% \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.7. berikut ini :

Tabel 8.7 Pengujian kadar air agregat kasar

<b>PENGUJIAN KADAR AIR AGREGAT KASAR</b>			
	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III
Massa wadah + benda uji	325.62	321.37	325.62
Massa wadah	125.35	120.93	125.35
Massa benda uji (w1)	200.27	200.44	200.27
Massa wadah + benda uji kering oven	324.48	319.46	324.48
Massa wadah	125.35	120.93	125.35
Massa benda uji (w2)	199.13	198.53	199.13
Kadar air total (P) = (w1- w2/w2)x100%	5.511%	5.501%	5.511%
Kadar air total rata - rata	0.767%		

### 3. Pengujian kadar lumpur agregat kasar

Pada pengujian kadar lumpur agregat kasar, penulis mengacu pada SNI ASTM C117 : 2012. Didapat hasil sebagai berikut:

#### A. Bahan uji I

- a. Berat benda uji kering oven 1 ( A ) = 199.13 gr
- b. Berat kering oven 2 ( B ) = 198.23 gr

#### Perhitungan

- a. Kadar lumpur
  - = (( A – B ) / A ) x 100%
  - = ((199.13 - 198.23) / 199.13) x 100%
  - = 0.452 %

#### B. Bahan uji II

- a. Berat benda uji kering oven 1 ( A ) = 198.521 gr
- b. Berat kering oven 2 ( B ) = 198.271 gr

### Perhitungan

a. Kadar lumpur

$$\begin{aligned} &= ((A - B) / A) \times 100\% \\ &= ((198.521 - 198.271) / 198.521) \times 100\% \\ &= 0.126\% \end{aligned}$$

### C. Bahan uji III

a. Berat benda uji kering oven 1 ( A ) = 199.13 gr

b. Berat kering oven 2 ( B ) = 198.23 gr

### Perhitungan

a. Kadar lumpur

$$\begin{aligned} &= ((A - B) / A) \times 100\% \\ &= ((199.13 - 198.23) / 199.13) \times 100\% \\ &= 0.452\% \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.8. berikut ini :

*Tabel 8.8 Pengujian kadar lumpur agregat kasar*

PENGUJIAN KADAR LUMPUR AGREGAT KASAR				
Pengujian	Notasi	I	II	III
Berat kering oven 1	A	199.13	198.521	199.13
Berat kering oven 1	B	198.23	198.271	198.23
Kadar lumpur	A-B/A	0.452%	0.126%	0.452%
Kadar lumpur rata - rata		0.289%		

### 4. Pengujian bobot isi / berat isi agregat kasar

Pada pengujian bobot isi agregat kasar, penulis mengacu pada SNI 03 – 4804 - 1998. Didapat hasil sebagai berikut:

#### A. Bahan uji I

a. Berat gembur = 1473.71 gr

b. Berat padat = 1752.17 gr

#### B. Bahan uji II

a. Berat gembur = 1477.81 gr

b. Berat padat = 1673.56 gr

### C. Bahan uji III

a. Berat gembur = 1473.71 gr

b. Berat padat = 1752.17 gr

### D. Berat rata – rata

a. Berat gembur = 1475.08 gr/l

b. Berat padat = 1725.96 gr/l

Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada tabel 4.9. berikut ini :

*Tabel 8.9 Pengujian berat isi / bobot isi agregat kasar*

Pengujian	I	II	III
Berat Gembur	473.71	1477.81	473.71
Berat Padat	1752.17	1673.56	1752.17
Rata-Rata	1725.96		

### 5. Pengujian analisis saringan / modulus kehalusan agregat kasar

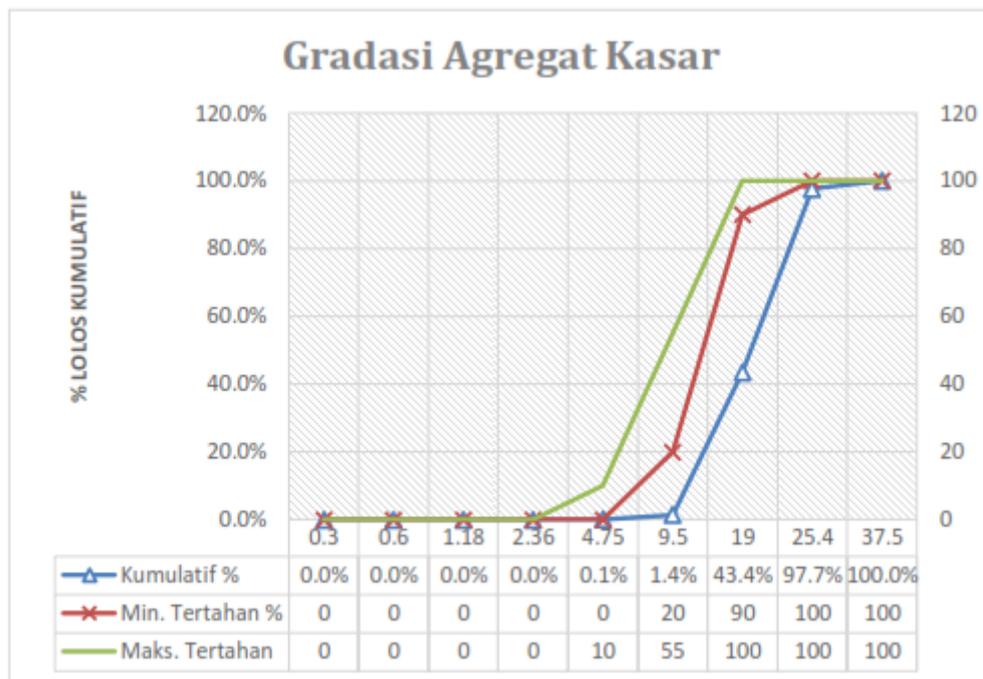
Pada pengujian modulus kehalusan agregat kasar, penulis mengacu pada SNI ASTM C136 - 2012. Didapat hasil sebagai berikut:

*Tabel 8.10 Pengujian gradasi / modulus kehalusan agregat kasar*

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gram)		Prosen (%)			Kumulatif tertahan %	Kumulatif lolos %	SPEK ASTM C.33	
	I	II	I	II	Rata <sup>2</sup>			Min	Maks
37,5	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
25,4	92,85	93,35	2,30	2,30	2,30	2,30	97,70	100	100
19	2166,32	2165,82	54,30	54,30	54,30	56,60	43,40	90	100
9,5	1674,63	1675,13	42,00	42,00	42,00	98,60	1,40	20	55
4,75	54,56	54,06	1,40	1,40	1,40	99,90	0,10	0	10
2,36	2,52	2,02	0,10	0,10	0,10	100,00	0,00	0	0
1,18	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0	0
0,6	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0	0
0,3	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0	0
0	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0	0
3990,88	3990,38	100,00	100,00	100,00	557,40				
<b>FM</b>				73	<b>5,57</b>				

$$\begin{aligned}
 FM &= \% \text{ Kumulatif} / 100 \\
 &= 557.4 \% / 100 \\
 &= 5.57 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa saringan atau modulus kehalusan diatas, kemudian data tersebut akan dimasukan ke dalam grafik untuk mengetahui kelolosan pengujian agregat halus pada minimal dan maksimal standar gradasi agregat halus menurut ASTM.



Gambar 8.2 Grafik gradasi agregat kasar

Pada penelitian ini, penulis menggunakan butiran agregat halus yang lolos pada saringan 1” (25.4) dan tertahan pada saringan ¼” (19.1).

### 8.2.3 Pengujian Resin Epoksi Dan Katalis Hardener

A. Pengujian berat jenis resin epoksi dan katalis

Tabel 8.11 Pengujian bobot isi resin dan hardener

NO	Nama Material	Volume wadah uji	Berat benda	Berat jenis
			Kg	Kg/m <sup>3</sup>
1	Resin Epoksi	0.001m <sup>3</sup>	1.07	1070
2	Hardener	0.001m <sup>3</sup>	0.934	934

### 8.3 Pembuatan Benda Uji

Setelah semua proses pengujian bahan / material selesai, kemudian bisa lanjut ke pembuatan benda uji, dengan perencanaan yang sudah ditentukan atau direncanakan.

#### 8.3.1 Perencanaan Campuran Beton Polimer

Untuk penelitian yang dilakukan di laboratorium, benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan diameter 15 cm dan tinggi 15 cm. Jumlah sampel beton kubus yang dibuat pada pengujian ini adalah berjumlah 3 buah, dengan jumlah masing – masing 3 benda uji untuk pengujian kuat tekan beton.

Variabel penelitian pada karakterisasi beton polimer dengan tambahan keramik dan resin epoksi. Variasi komposisi bahan yang digunakan terdapat pada tabel 4.12. dibawah ini.

#### 1. Pengujian Kuat Tekan Beton

*Tabel 8.12 Variabel penelitian pengujian kuat tekan beton*

No	Sampel	Jenis Resin	Pasta Polimer (%)	Kadar Keramik (%)	Jumlah Sampel
1	BPK45 <sub>(1)</sub>	Epoksi	20	45	1
2	BPK45 <sub>(2)</sub>	Epoksi	40	45	1
3	BPK45 <sub>(3)</sub>	Epoksi	50	45	1
Total Jumlah Sampel					3

Keterangan :

1. BPK45-1 = Beton polimer Keramik kadar 45%, Pasta Polimer 20% no sampel 1
2. BPK45-2 = Beton polimer Keramik kadar 45%, Pasta Polimer 40% no sampel 2
3. BPK45-3 = Beton polimer Keramik kadar 45%, Pasta Polimer 50% no sampel 3

Rencana campuran pasta polimer yaitu 1 : 2 ( Katalis : Resin)

### 8.3.2 Perhitungan Campuran Beton Polimer

$$\begin{aligned}\text{Volume Kubus} &= s \times s \times s \\ &= 0.15 \times 0.15 \times 0.15 \\ &= 0.003375 \text{ m}^3\end{aligned}$$

#### Benda Uji 1

BPK45<sub>(1)</sub>

##### A. Kebutuhan agregat kasar / kerikil

$$\begin{aligned}&= V \text{ Kubus} \times 80\% \times \text{Berat isi padat} \\ &= 0.003375 \times 0.8 \times 1752,17 \\ &= 0.0027 \times 1752.17 \\ &= \mathbf{4.7 \text{ Kg}}\end{aligned}$$

##### B. Kebutuhan agregat halus / kerikil

$$\begin{aligned}&= V \text{ Kubus} \times 20\% \\ &\text{(Dianggap 100\% guna perbandingan resin,hardener dan pasir)} \\ &= 0.003375 \times 0.2 \\ &= 0.000675 \\ &= 0.000675 \times (20 \% \text{ Perbandingan pasir dan resin epoksi}) \\ &= 0.000675 \times 0.2 \\ &= 0.000135 \times \text{Berat isi padat} \\ &= 0.000135 \times 1830.8 \\ &= 0.25 \text{ Kg}\end{aligned}$$

##### C. Kebutuhan resin dan hardener

Setelah dilakukan *trial and error* didapat kebutuhan resin dan hardener sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\cdot \text{ Resin epoksi (2)} &= 900 \text{ ml} \\ \cdot \text{ Hardener (1)} &= 450 \text{ ml}\end{aligned}$$

##### D. Kebutuhan Keramik

Kebutuhan Keramik dihitung berdasarkan berat campuran total beton polimer, maka kebutuhan Keramik adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$\begin{aligned}- \text{ Berat kerikil} &= 4.7 \text{ kg} \\ - \text{ Berat pasir} &= 0.25 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Berat resin = 900 ml  $\square$  0.90 kg
- Berat hardener = 450 ml  $\square$  0.45 kg
- Berat total = 6.3 Kg
- Berat total tersebut dikali dengan kebutuhan Keramik
  - = Berat total x 45 %
  - = 6.3 x 0.45
  - = 2.835 Kg

Jadi kebutuhan Keramik adalah 2,835 kg

#### E. Rekap kebutuhan material

- Kebutuhan kerikil = 4.7 Kg
- Kebutuhan pasir = 0.25 kg
- Kebutuhan resin = 900 ml
- Kebutuhan hardener = 450 ml
- Kebutuhan Keramik = 2.835 kg

*Tabel 8.13 Kebutuhan material benda uji 1*

Krikil	Pasir	Resin & Hardener		Keramik
		2	1	45%
Kg	Kg	ml	ml	Kg
4.7	0.25	900	450	2.835

### Benda Uji 2

BPK45<sub>(2)</sub>

#### A. Kebutuhan agregat kasar / kerikil

$$\begin{aligned}
 &= V \text{ Kubus} \times 60\% \times \text{Berat isi padat} \\
 &= 0.003375 \times 0.6 \times 1673.56 \\
 &= 0.002025 \times 1673.56 \\
 &= 3.4 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

#### B. Kebutuhan agregat halus / kerikil

$$\begin{aligned}
 &= V \text{ Kubus} \times 40\% \\
 &\text{(Dianggap 100\% guna perbandingan resin,hardener dan pasir)} \\
 &= 0.003375 \times 0.4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.00135 \\
&= 0.00135 \times (60 \% \text{ Perbandingan pasir dan resin epoksi}) \\
&= 0.00135 \times 0.6 \\
&= 0.00081 \times \text{Berat isi padat} \\
&= 0.00081 \times 1845.02 \\
&= 1.5 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

#### C. Kebutuhan resin dan hardener

Setelah dilakukan *trial and error* didapat kebutuhan resin dan hardener sebagai berikut :

- Resin epoksi (2) = 600 ml
- Hardener (1) = 300 ml

#### D. Kebutuhan Keramik

Kebutuhan Keramik dihitung berdasarkan berat campuran total beton polimer, maka kebutuhan Keramik adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- Berat kerikil = 3.4 kg
- Berat pasir = 1.5 kg
- Berat resin = 600 ml  $\rightarrow$  0.60 kg
- Berat hardener = 300 ml  $\rightarrow$  0.30 kg

**Berat total = 5.8 Kg**

- Berat total tersebut dikali dengan kebutuhan Keramik
  - = Berat total x 45 %
  - = 5.8 x 0.45
  - = 2.61 Kg

Jadi kebutuhan Keramik adalah 2.61 kg

#### E. Rekap kebutuhan material

- Kebutuhan kerikil = 3.4 Kg
- Kebutuhan pasir = 1.5 kg
- Kebutuhan resin = 600 ml
- Kebutuhan hardener = 300 ml
- Kebutuhan Keramik = 2.61 kg

Tabel 8.14 Kebutuhan material benda uji 2

Krikil	Pasir	Resin & Hardener		Keramik
		2	1	45%
Kg	Kg	ml	ml	Kg
3.4	1.5	600	300	2.61

### Benda Uji 3

BPK45<sub>(1)</sub>

A. Kebutuhan agregat kasar / kerikil

$$\begin{aligned}
 &= V \text{ Kubus} \times 50\% \times \text{Berat isi padat} \\
 &= 0.003375 \times 0.5 \times 1752.17 \\
 &= 0.0016875 \times 1752.17 \\
 &= 2.95\text{Kg}
 \end{aligned}$$

B. Kebutuhan agregat halus / kerikil

$$\begin{aligned}
 &= V \text{ Kubus} \times 50\% \\
 &\text{(Dianggap 100\% guna perbandingan resin,hardener dan pasir)} \\
 &= 0.003375 \times 0.5 \\
 &= 0.0010125 \\
 &= 0.0010125 \times (50\% \text{ Perbandingan pasir dan resin epoksi}) \\
 &= 0.0010125 \times 0.5 \\
 &= 0.00050625 \times \text{Berat isi padat} \\
 &= 0.00050625 \times 1830.8 \\
 &= 0.93 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

C. Kebutuhan resin dan hardener

Setelah dilakukan *trial and error* didapat kebutuhan resin dan hardener sebagai berikut :

- Resin epoksi (2) = 500 ml
- Hardener (1) = 250 ml

D. Kebutuhan Keramik

Kebutuhan Keramik dihitung berdasarkan berat campuran total beton polimer, maka kebutuhan Keramik adalah sebagai berikut :

Diketahui :

- Berat kerikil = 2.95 kg
- Berat pasir = 0.93 kg
- Berat resin = 500 ml → 0.50 kg
- Berat hardener = 250 ml → 0.25 kg
- Berat total = 4.63 Kg**
- Berat total tersebut dikali dengan kebutuhan Kerami  
 = Berat total x 45 %  
 = 4.63 x 0.45  
 = 2.083 Kg

Jadi kebutuhan Keramik adalah 2.083 kg

E. Rekap kebutuhan material

- Kebutuhan kerikil = 2.95 Kg
- Kebutuhan pasir = 0.93 kg
- Kebutuhan resin = 500 ml
- Kebutuhan hardener = 250 ml
- Kebutuhan Keramik = 2.083 kg

Tabel 8.15 Kebutuhan material benda uji 3

Krikil	Pasir	Resin & Hardener		Keramik
		2	1	45%
Kg	Kg	ml	ml	Kg
2.95	0.93	500	250	2.083

8.3.3 Rencana Anggaran Biaya

Harga material

- Kerikil = Rp. 194.000,00 / m<sup>3</sup>  
 = Rp. 10,778 / kg
- Pasir = Rp. 242.500,00 / m<sup>3</sup>  
 = Rp. 17,322 / kg
- Resin = Rp. 1000.000,00 / 10 kg / pail  
 = Rp. 100.000 / kg
- Hardener = Rp. 500.000,00 / 5 kg / jrg  
 = Rp. 100.000 / kg
- Keramik = Rp. 60.000 / kg

1. Kebutuhan biaya benda uji 1

- Kerikil = Rp 4.7x Rp. 10,778  
= Rp. 50.6566
- Pasir = Rp. 0.25 x Rp. 17,322  
= Rp. 4.3305
- Resin = Rp. 0.9 x Rp. 100.000  
= Rp. 90.000
- Hardener = Rp. 0.45 x Rp. 100.000  
= Rp. 45.000
- Keramik = Rp. 2.835 x Rp.60.000  
= Rp. 170.100

2. Kebutuhan biaya benda uji 2

- Kerikil = Rp 3.4 x Rp. 10,778  
= Rp. 36.645
- Pasir = Rp. 1.5 x Rp. 17,322  
= Rp. 25.983
- Resin = Rp. 0.60 x Rp. 100.000  
= Rp. 60.000
- Hardener = Rp. 0.30 x Rp. 100.000  
= Rp. 30.000
- Keramik = Rp. 2.61 x Rp.60.000  
= Rp. 156.600

3. Kebutuhan biaya benda uji 3

- Kerikil = Rp 2.95 x Rp. 10,778  
= Rp. 31.795
- Pasir = Rp. 0.93 x Rp. 17,322  
= Rp. 16.109
- Resin = Rp. 0.50 x Rp. 100.000  
= Rp. 50.000
- Hardener = Rp. 0.25 x Rp. 100.000  
= Rp. 25.000
- Keramik = Rp. 2.083 x Rp.60.000  
= Rp. 124.980

#### 8.4 Curing / Rendaman

Setelah benda uji beton polimer berbentuk kubus dibuat lalu direndam kedalam air selama kurang lebih 3 hari. Curing merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk memprediksi dan mengetahui kekuatan dan kualitas beton polimer yang dihasilkan. Beton polimer yang berkualitas baik memiliki daya

serap air yang kecil dimana jumlah pori-pori pada permukaan sedikit dan rapat. Semakin besar kerapatan dari permukaannya maka semakin kecil daya serapnya terhadap air.



*Gambar 8.3 Curing / Rendaman*

### **8.5 Analisa Hasil Pengujian Tekan Beton Polimer**

Setelah benda uji beton polimer direndam kedalam air dan didiamkan selama kurang lebih 24 jam, kemudian disiapkan untuk dilakukan pengujian tekan beton dengan alat CTM yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP.

#### **8.5.1 Benda Uji BPK 45<sup>(1)</sup>**



*Gambar 8.4. Benda Uji 1 Pasta Polimer 20%*



*Gambar 8.5. Pengujian Benda Uji 1 Pasta Polimer 20%*

- Beton Polimer Keramik 45% umur 3 hari
- Faktor konversi benda uji kubus ke silinder = 0.83
- Berat benda uji = 6.527 Kg
- 1 KN = 1000 N
- Area Kubus =  $a^2$   
=  $150^2$  mm  
= 22500 mm
- Nilai kuat tekan = 600 KN  
=  $600 \times 1000$   
= 600000 N
- $F'_{ck}$  =  $600000 / 22500$   
= 26.66 Kg/cm<sup>2</sup>  
= 266.6 Kg/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_{ck}$  =  $(26.66 \text{ Kg/cm}^2 \times 100) / 9.81$   
= 271.76 Kg/cm<sup>2</sup>
- Koefisien Silinder =  $271.76 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.83$   
= 225.56 Kg/cm<sup>2</sup>
- Jadi,  $F'_{c}$  =  $(225.56 \text{ Kg/cm}^2 \times 9.81) / 100$   
= 22.12 Mpa

Tabel 8.16 Hasil pengujian kuat tekan benda uji 1 kadar keramik 45%

Benda Uji	Beban (N)	a <sup>2</sup> (mm)	F'ck (Kg/mm <sup>2</sup> )	σck (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (N/mm <sup>2</sup> ) (Mpa)
BPK45 <sub>(1)</sub>	600000	22500	266.6	271.76	22.12

### 8.5.2 Benda Uji BPK 45<sub>(2)</sub>



Gambar 8.6. Benda Uji 2 Pasta Polimer 40%



Gambar 8.7. Pengujian Benda Uji 2 Pasta Polimer 40%

- Beton Polimer Keramik 45% umur 3 hari
- Faktor konversi benda uji kubus ke silinder = 0.83
- Berat benda uji = 6.447 Kg
- 1 KN = 1000 N
- Area Kubus = a<sup>2</sup>  
= 150<sup>2</sup> mm  
= 22500 mm

- Nilai kuat tekan = 450 KN  
= 450 x 1000  
= 450000 N
- $F'_{ck}$  = 450000 / 22500  
= 20 Kg/cm<sup>2</sup>  
= 200 Kg/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_{ck}$  = (20 Kg/cm<sup>2</sup> x 100) / 9.81  
= 203.87 Kg/cm<sup>2</sup>
- Koefisien Silinder = 203.87 Kg/cm<sup>2</sup> x 0.83  
= 169.21 Kg/cm<sup>2</sup>
- Jadi,  $F'c$  = (169.21 Kg/cm<sup>2</sup> x 9.81) / 100  
= 16.59 Mpa

*Tabel 8.17 Hasil pengujian kuat tekan benda uji 2 kadar keramik 45%*

Benda Uji	Beban (N)	a <sup>2</sup> (mm)	F'ck (Kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ck}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (N/mm <sup>2</sup> ) (Mpa)
BPK45 <sub>(2)</sub>	450000	22500	200	203.87	16.59

### 8.5.3 Benda Uji BPK 45<sub>(3)</sub>



*Gambar 8.8. Benda Uji 3 Pasta Polimer 50%*



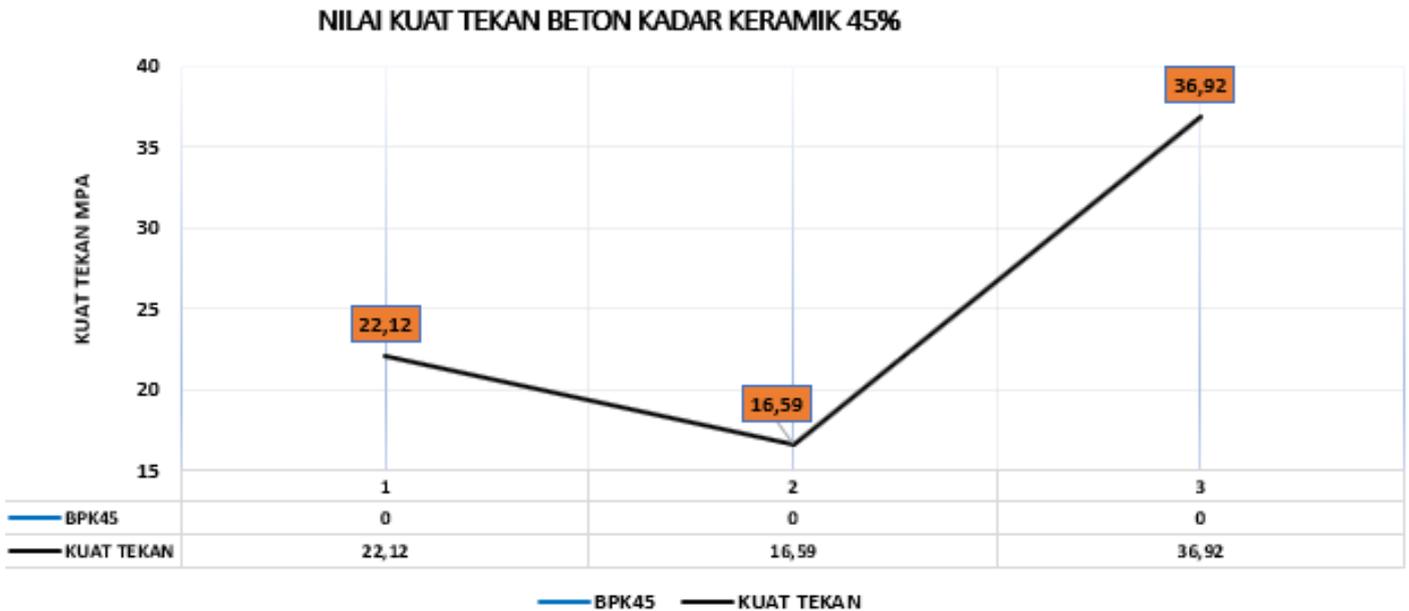
*Gambar 8.9. Pengujian Benda Uji 3 Pasta Polimer 50%*

- Beton Polimer Keramik 45% umur 3 hari
- Faktor konversi benda uji kubus ke silinder = 0.83
- Berat benda uji = 6.593 Kg
- 1 KN = 1000 N
- Area Kubus =  $a^2$   
=  $150^2$  mm  
= 22500 mm
- Nilai kuat tekan = 1000 KN  
= 1000 x 1000  
= 1000000 N
- $F'_{ck}$  =  $1000000 / 22500$   
=  $44.44 \text{ Kg/cm}^2$   
=  $444.4 \text{ Kg/mm}^2$
- $\sigma_{ck}$  =  $(44.44 \text{ Kg/cm}^2 \times 100) / 9.81$   
=  $453.51 \text{ Kg/cm}^2$
- Koefisien Silinder =  $453.51 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.83$   
=  $376.41 \text{ Kg/cm}^2$
- Jadi,  $F'_{c}$  =  $(376.41 \text{ Kg/cm}^2 \times 9.81) / 100$   
=  $36.92 \text{ Mpa}$

Tabel 8.18 Hasil pengujian kuat tekan benda uji 3 kadar keramik 45%

Benda Uji	Beban (N)	a <sup>2</sup> (mm)	F'ck (Kg/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>ck</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (N/mm <sup>2</sup> ) (Mpa)
BPK45 <sub>(3)</sub>	1000000	22500	444.4	453.51	36.92

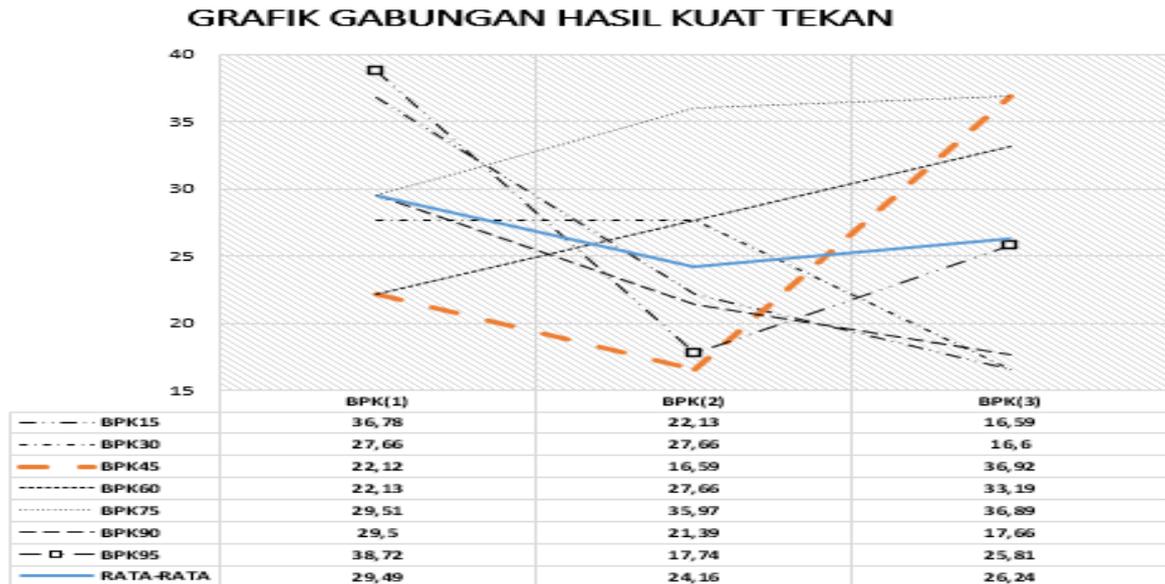
#### 8.5.4 Perbandingan Uji Tekan Dengan Pasta Polimer Berbeda



Gambar 8.10. Perbandingan Uji Tekan Dengan Pasta Polimer Berbeda

Setelah melakukan pengujian kuat tekan, maka didapat hasil perbandingan sebagai berikut:

Dari data diatas, kita bisa mengetahui bahwa pasta polimer sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karna sistem polimer mengikat campuran beton menjadi lebih maksimal.

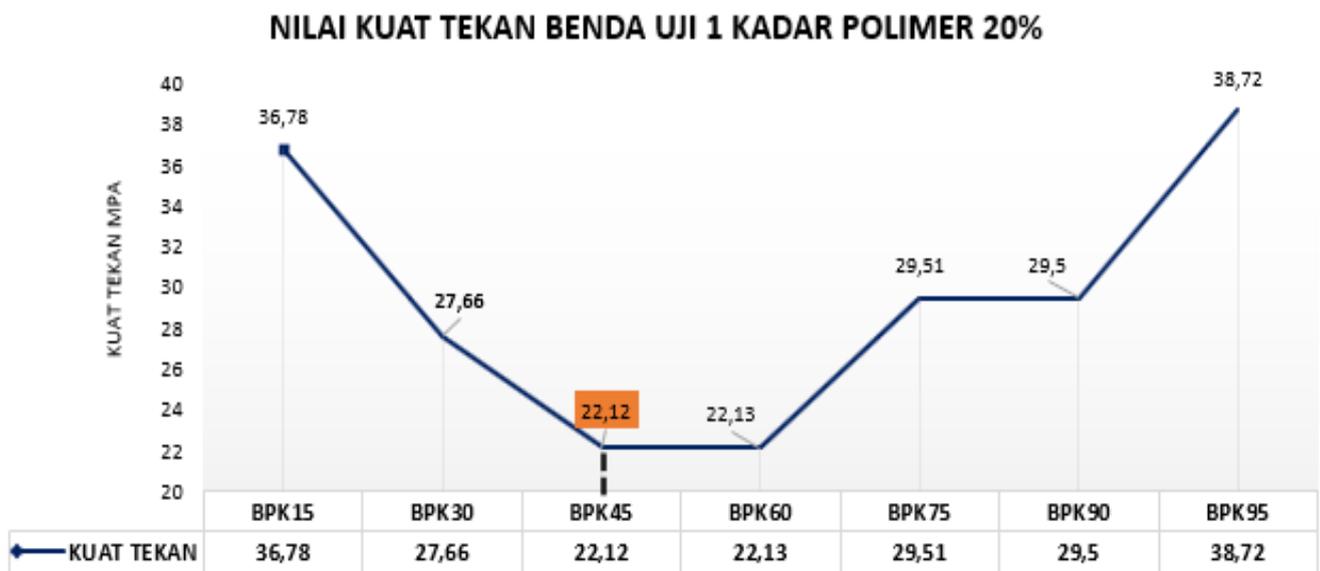


*Gambar 8.11 Grafik Gabungan Perbandingan Kuat Tekan dengan Kadar Keramik Berbeda dan Pasta Polimer Berbeda*

Didapatkan bahwa nilai kuat tekan paling tinggi didapat pada campuran beton polimer BPK95 yaitu 38.72 Mpa, dan hasil kuat tekan terendah didapat pada campuran beton BPK15 yaitu 16.59 Mpa.

### 8.5.5 Perbandingan Uji Tekan Dengan Kadar Keramik Berbeda Pasta Polimer sama kadar 20%.

1. Perbandingan dengan kadar keramik berbeda dan kadar resin epoksi sama 20%

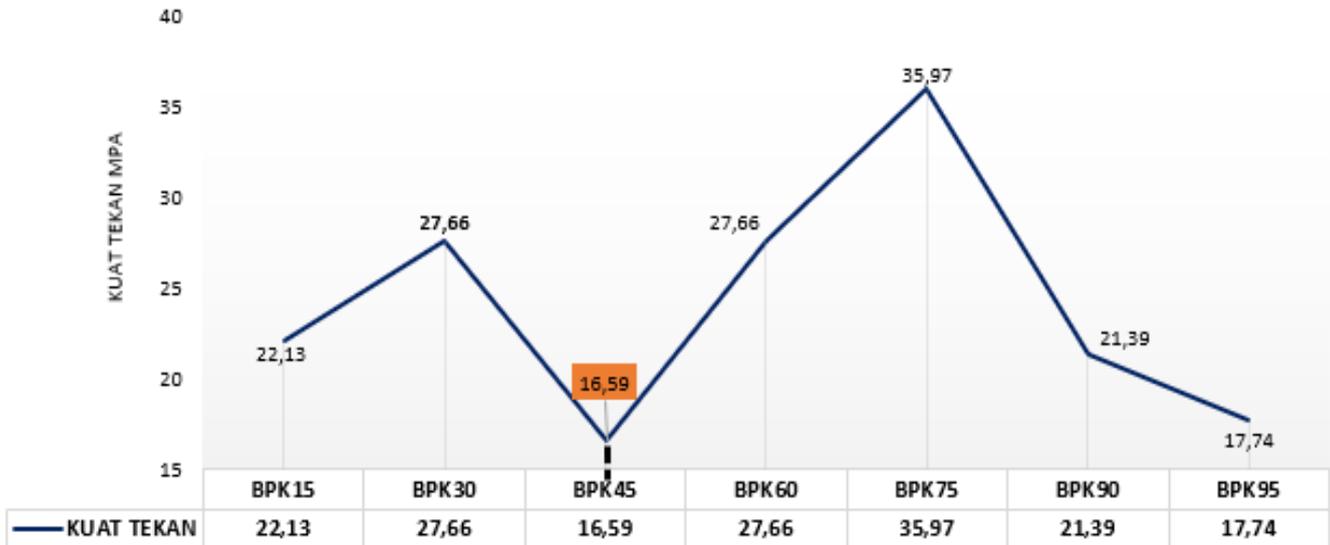


*Gambar 8.12. Grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer sama 20%*

Didapatkan bahwa nilai kuat tekan paling tinggi didapat pada campuran beton polimer BPK95 yaitu 38.72 Mpa, dan hasil kuat tekan terendah didapat pada campuran beton BPK45 yaitu 22.12 Mpa.

2. Perbandingan dengan kadar keramik berbeda dan kadar resin epoksi sama 40%

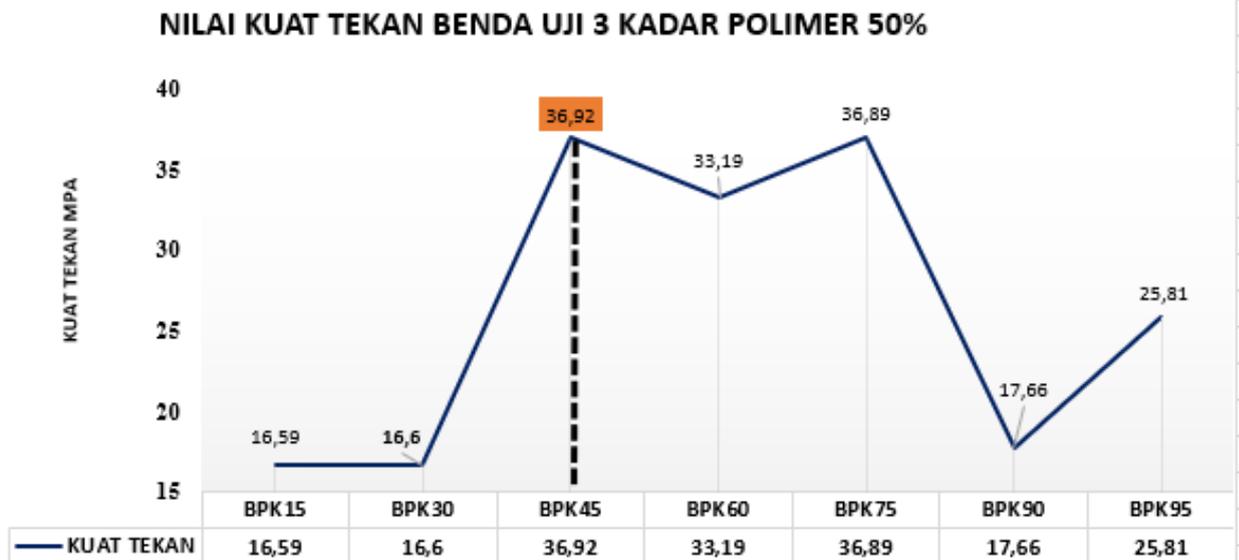
**NILAI KUAT TEKAN BENDA UJI 2 KADAR POLIMER 40%**



*Gambar 8.13. Grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer sama 40%*

Didapatkan bahwa nilai kuat tekan paling tinggi didapat pada campuran beton polimer BPK75 yaitu 35.97 Mpa, dan hasil kuat tekan terendah didapat pada campuran beton BPK45 yaitu 16.59 Mpa.

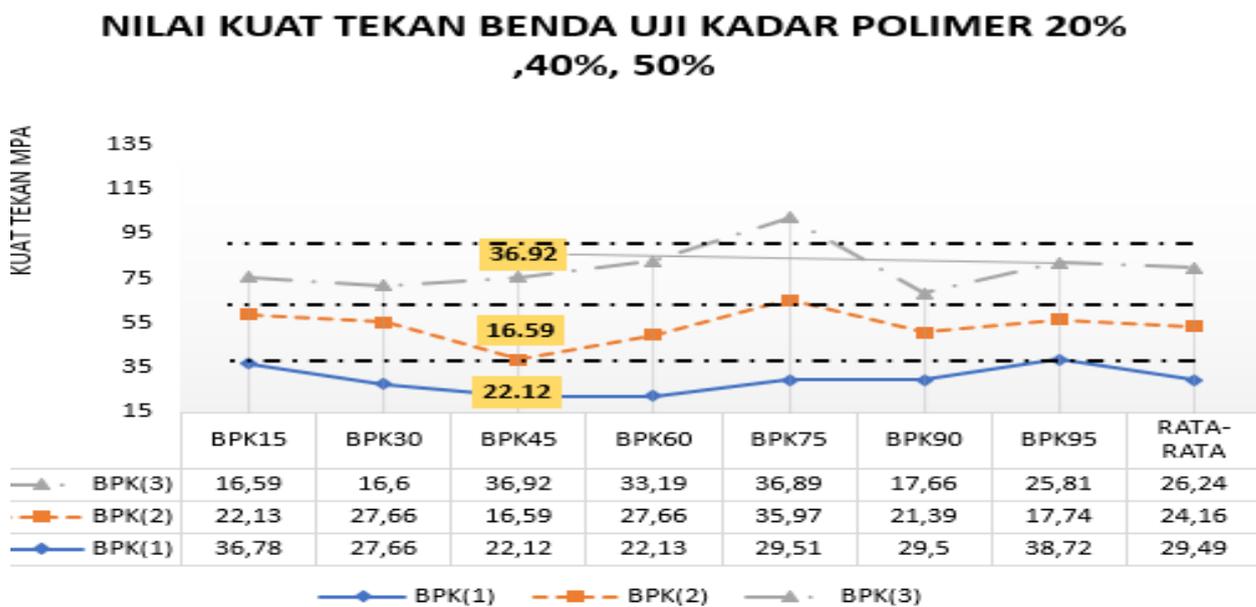
3. Perbandingan dengan kadar keramik berbeda dan kadar resin epoksi sama 50%



Gambar 8.14. Grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer sama 50%

Didapatkan bahwa nilai kuat tekan paling tinggi didapat pada campuran beton polimer BPK45 yaitu 36.92 Mpa, dan hasil kuat tekan terendah didapat pada campuran beton BPK15 & BPK30 yaitu 16.6 Mpa.

4. Perbandingan kuat tekan beton dengan kadar keramik berbeda dan kadar resin epoksi berbeda.



Gambar 8.15 Grafik perbandingan kuat tekan dengan kadar keramik berbeda pasta polimer berbeda

**Catatan :**

**1. Nilai Kuat Tekan BPK15 (Sumber Candra Muhamad Darajat, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 15% dan batu pecah 85% polimer sebagai perekat.”

**2. Nilai Kuat Tekan BPK30 (Sumber Adi Mulyadi, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 30% dan batu pecah 70% polimer sebagai perekat.”

**3. Nilai Kuat Tekan BPK45 (Sumber Angga Ari Saputra, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 45% dan batu pecah 55% polimer sebagai perekat.”

**4. Nilai Kuat Tekan BPK60 (Sumber Danni Taufik Hidayat, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 60% dan batu pecah 40% polimer sebagai perekat.”

**5. Nilai Kuat Tekan BPK75 (Sumber Pipit Rohmana, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 75% dan batu pecah 25% polimer sebagai perekat.”

**6. Nilai Kuat Tekan BPK90 (Sumber Pasha Iza Maulana, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 90% dan batu pecah 10% polimer sebagai perekat.”

**7. Nilai Kuat Tekan BPK95 (Sumber Reka Fadillah Deliana, 2023)**

“Kajian kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar berupa keramik 95% dan batu pecah 5% polimer sebagai perekat.”

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 9.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. BPK45<sub>(1)</sub> dengan komposisi pasta polimer 20% dan penambahan Keramik dengan kadar 45% memiliki nilai kuat tekan sebesar 22.12 MPa.
2. BPK45<sub>(2)</sub> dengan komposisi pasta polimer 40% dan penambahan Keramik dengan kadar 45% memiliki nilai kuat tekan sebesar 16.59 MPa.
3. BPK45<sub>(3)</sub> dengan komposisi pasta polimer 50% dan penambahan Keramik dengan kadar 45% memiliki nilai kuat tekan sebesar 36.92 MPa.
4. Dari data-data diatas dapat di simpulkan terjadi penurunan nilai kuat tekan terhadap beton BPK45<sub>(1)</sub> dengan beton BPK45<sub>(2)</sub> sebesar 25%, kemudian terjadi kenaikan nilai kuat tekan terhadap beton BPK45<sub>(2)</sub> dengan beton BPK45<sub>(3)</sub> sebesar 55%.
5. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kuat tekan terendah sebesar 16.59 MPa yaitu beton polimer BPK45<sub>(2)</sub> dan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 36.92 MPa yaitu beton polimer BPK45<sub>(3)</sub>.
6. Daya rekat agregat terhadap polimer terjadi dengan baik, dengan ditandai tidak adanya keretakan ataupun korosi beton akibat proses pencampuran.
7. Komposisi campuran resin *epoxy* dan hardener sudah sesuai yaitu 2 : 1, ini dibuktikan dengan resin *epoxy* dapat mengeras sempurna dan mendapatkan nilai kuat tekan yang baik.

Dari data pengujian beton polimer diatas, yaitu pengujian kuat tekan beton didapatkan fakta bahwa penambahan keramik sebagai bahan tambah campuran beton polimer, sangat berpengaruh besar terhadap nilai kuat tekan beton polimer yang penulis uji.

## 9.2 Saran

Adapun berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilaksanakan , maka didapat beberapa saran dari penulis sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan pencampuran material, sebaiknya menyiapkan cetakan pelapis dalam kubus agar resin tidak menempel dan merusak cetakan.
2. Dalam pembuatan beton polimer dengan mutu beton yang tinggi di perlukan material yang berkualitas. Bahan yang di gunakan harus teruji dengan hasil yang baik.
3. Data hasil pengujian bahan / material seperti agregat kasar, agregat halus, keramik, resin epoksi dan katalis harus diperhitungkan secara lebih teliti, karena hasil pengujian bahan / material dapat mempengaruhi rencana campuran beton serta dapat mempengaruhi nilai mutu beton yang dihasilkan
4. Dalam pembuatan benda uji, setelah dilakukan penyiapan alat-alat dan material, resin epoxy yang sudah di campur dengan hardener harus segera di masukan ke dalam cetakan dengan bertahap, karena resin akan segera mengental dan mengeras.
5. Pada saat membuka cetakaan harus hati-hati agar tidak menimbulkan kerusakan pada benda uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amirudin, Nursyafril. 1982. *Pedoman Konstruksi Beton*. Edisi Pertama
- Blaga, A, J. J Beaudoin. 1985. *Polymer Modified Concrete*.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU. 1989. *Pedoman Beton*. Jakarta.
- Amar Bramantyo, 2008. Pengaruh Konsentrasi Serat Rami Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-Serat Alam. Jurusan Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia: 2008.
- Departemen Pekerjaan Umum. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. SNI 03 - 1974 : 1990. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1990.
- Departemen Pekerjaan Umum. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar. SNI 03 – 1968 : 1990. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1990.
- <https://dokumen.tips/documents/makalah-beton-polimer.html>
- Reis, J.M.L., (2006), Fracture and Flectural Characterization of Polymer Concrete Reinforced with Wood Waste, 17o CBECIMat – Congresso de Engenharia e Ciencia dos Materials, 15 a 19 de Novembro de 2006.
- Ferreira, A.J.M., Tavares, C.M.L., and Ribeiro, M.C.S., (2000), Flectural Properties of Polyester Resin Concretes, Journal of Polymer Engineering, 2000.
- H, M Hadi, ST. 2019. *Limbah Terak Baja (Slag Steel) Sebagai Pengganti Agregat dan Alternatif Bahan Dasar Pembuatan Semen*.  
<https://www.ilmubeton.com/2019/10/LimbahTerakBaja-SlagSteel.html>.  
(akses Oktober 2021).
- Badan Standardisasi Nasional. SNI 03-2834-2000. Tata cara pembuatan rencana beton normal.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 1971. Peraturan Beton Indonesia 1971. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. 1990. Metoda Pengujian Tentang Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus. SNI 03-1970-1990, Indonesia: Kementerian PU.

Kementerian Pekerjaan Umum. 1990. Metoda Pengujian Slump Beton. SNI 03-1972-1990, Indonesia: Kementerian PU.

Kementerian Pekerjaan Umum. 1991. Metoda Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. SNI 03-2493-1991, Indonesia: Kementerian PU.

<https://asiacon.co.id/blog/ilmu-sipil/curing-beton>

## LAMPIRAN

