

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan mengenai analisis perbaikan kuat tekan beton dengan metode *grouting* menggunakan bahan tambah *fly ash* antara lain sebagai berikut ini.

1. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Zat Aditif (*Bestmittel*). (Ervianto dkk., 2016).
2. Pengaruh Abu Terbang (*Fly Ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. (Umboh dkk, 2014).
3. Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas *Fly Ash* sebagai *Cementitious* pada Beton (Rommel dkk., 2014).
4. Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer dengan Variasi Poliester Resin 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. (Putra, 2013).
5. Pengaruh Zat Aditif Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer Resin. (Rayhan, 2014).
6. Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Variasi Lebar *Carbon Fibre Reinforced Polymer* (Jamal dkk., 2015).
7. Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku (Helmi, 2009).
8. Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi (Soenaryo dkk., 2009).
9. Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (Parmo dkk., 2013).
10. Perkuatan Struktur Beton Gedung Dengan Metode *Grouting* Dan *Glasss Fiber*. (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009).
11. Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. (Sumirin dan Arief, 2017).
12. Analisis Retak Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi Epoxy (Puspita dkk., 2018).

13. *Concrete Cracks Repair Using Epoxy Resin* (Krishnamoorthy dan Arif, 2013).

### **2.1.1. Penelitian Terkait Penggunaan *Fly Ash* dan Resin pada Beton**

Ervianto dkk., (2016) melakukan penelitian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) Dan Zat Adiktif (*Bestmittel*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar yang sesuai dalam penambahan zat adiktif dan *fly ash* pada beton mutu tinggi serta pengaruh penambahan kedua bahan tersebut terhadap kuat tekan beton. Pada penelitian ini digunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan 3 variasi campuran bahan. Penambahan zat adiktif (*Bestmittel*) dan *fly ash* pada pembuatan beton mutu tinggi mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin besar kadar *fly ash* yang digunakan maka semakin besar nilai kuat tekan, tetapi jika terlalu besar kadar *fly ash* yang digunakan, kuat tekan beton menurun. Berikut hasil kuat tekan beton dengan penambahan zat adiktif (*bestmittel*) dan *fly ash* dengan kadar 5%; 7,5%; dan 10% berurutan sebesar 35,95 MPa; 41,49 MPa; dan 40,45 MPa.

Umboh dkk., (2014) melakukan penelitian tentang Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Variasi jumlah *fly ash* yang digunakan antara lain 0%; 30%; 40%; 50%, 60%; dan 70% dari jumlah kebutuhan semen yang digunakan. Benda uji yang digunakan adalah silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm berjumlah 96 benda uji. Pengujian mendapatkan hasil kuat tekan beton maksimum dengan kadar *fly ash* 30% pada umur beton 28 hari yaitu sebesar 24,18 MPa. Sementara itu kuat tekan beton minimum didapatkan dari variasi *fly ash* 70% pada umur beton 7 hari yaitu sebesar 3,645 MPa.

Rommel dkk., (2014) melakukan penelitian tentang Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas *Fly Ash* sebagai *Cementitious* pada Beton. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui upaya perbaikan sifat fisik dan kimia dari *fly ash* untuk material pengganti sebagian semen serta pengaruh reaktifitas dari *fly ash* yang sudah mengalami perbaikan dengan pensintesisan silika. Penelitian ini

menggunakan metode eksperimen dengan pengujian pada bahan pozzolan limbah industri. Hasil yang di dapat dari penelitian ini pada pemeriksaan fisik, *fly ash* mengalami penurunan dari segi kualitas kehalusan dan mengalami kenaikan dari penyerapan kadar air pada konsistensi normal sesudah mengalami proses *treatment*. Hasil uji reaktifitas dengan menggunakan XRD di dapatakan bahwa *fly ash* mengalami penurunan jumlah struktur amorf sebesar 3,47% sesudah mengalami proses *treatment* dan tidak baik sebagai bahan pengganti semen dalam beton secara keseluruhan.

Putra (2013) melakukan penelitian tentang Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer dengan Variasi Poliester Resin 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik beton resin termasuk kuat tekan beton. Pada penelitian ini didapatkan kuat tekan beton pada masing-masing variasi kadar resin 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% adalah sebesar 0,48 MPa; 9,71 MPa; 50,13 MPa; 83,2 MPa dan 84,6% MPa. Semakin besar nilai kadar resin yang digunakan pada beton, semakin besar pula nilai kuat tekan beton.

Rayhan (2014) melakukan penelitian tentang Pengaruh Zat Aditif Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer Resin dengan tujuan meningkatkan performa beton resin dalam hal kekuatan dan kemudahan pengerjaan. Pada penelitian ini digunakan eksperimen 2 variasi kadar resin yaitu 10% dan 15% serta 3 variasi penambahan ter tiap kadar resin yaitu 0%; 0,2%; dan 0,4%. Untuk penggunaan *fly ash* didesain sama yaitu sebesar 10% tiap variasi ter. Nilai kuat tekan beton dengan variasi resin 10% dan variasi ter 0%; 0,2%; dan 0,4% berturut-turut adalah 15,40 MPa; 12,26 MPa; dan 11,27 MPa. Kemudian pada variasi resin 15% dan variasi ter 0%; 0,2%; 0,4% berturut-turut adalah 57,34 MPa; 52,71 MPa; dan 45,56 MPa. Dengan hasil tersebut, maka diketahui semakin banyak kandungan ter pada beton resin maka semakin rendah kuat tekannya.

### **2.1.2. Penelitian Terkait Perbaikan Beton**

Jamal dkk., (2015) melakukan penelitian tentang Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Variasi Lebar *Carbon Fibre Reinforced Polymer*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui peningkatan kekuatan lentur dari balok beton bertulang setelah dilakukan perbaikan dengan CFRP. Pada penelitian ini digunakan 3 buah balok dengan ukuran 15cm × 20cm × 120cm. Hasil

penelitian mendapatkan pada perbaikan balok dengan lebar CFRP 5 cm dapat meningkatkan kapasitas beban balok sebesar 60%, lebar 10 cm sebesar 123,38% dan lebar 15 cm sebesar 140,25%. Perbaikan balok dengan CFRP dapat menahan beban yang lebih besar dan lendutan semakin rendah.

Helmi (2009) melakukan penelitian tentang Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku balok beton bertulang yang telah diperbaiki dengan baja siku. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Hasil yang didapat dalam penelitian yaitu setelah mengalami pembebanan kekuatan dasar balok tidak mengalami perubahan yang signifikan, namun kekuatan balok menurun dari kekuatan awalnya sebesar 19%. Balok yang diperbaiki dengan baja siku lebih besar kekakuannya, retak-retak merupakan penyebab utama kehancuran balok yang terjadi dalam daerah 1/3 tengah dari bentang (momen lentur). Terjadi peningkatan pada balok bertulang setelah diperbaiki dibandingkan dengan beton original sebesar 2 % sampai 15 % dan peningkatan terbesar pada balok BRB3.

Soenaryo dkk., (2009) melakukan penelitian tentang Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Presentase Beban Runtuh yang Bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kapasitas maksimum kolom beton bertulang setelah diperbaiki dengan *concrete jacketing*. Hasil dari penelitian yaitu pengujian statistik dengan menggunakan uji F dalam mencari keseragaman data-data dan uji kuat tekan beton, dari uji T diperoleh kesimpulan bahwa metode perbaikan dengan *concrete jacketing* memiliki pengaruh yang signifikan dan memiliki pengaruh yang nyata terlihat dari variasi pembebanan 65% dengan 85% dan variasi pembebanan 75% dengan 85%, sedangkan pada variasi pembebanan 65% dengan 75% tidak adanya pengaruh nyata. Kolom beton bertulang sangat efektif untuk diperbaiki dengan *concrete jacketing* setelah mendapat beban runtuh awal sebesar 75% P maksimum. Metode perbaikan dengan *concrete jacketing* dapat digunakan pada kolom beton bertulang sesudah menerima beban runtuh sebesar 75%-85% P maksimum agar dapat hasil yang signifikan.

Parmo dkk., (2013) melakukan penelitian tentang Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* yang bertujuan untuk mengetahui penambahan daktilitas dan kekuatan kolom beton bertulang setelah *diretrofit* menggunakan *glass fiber reinforced polymer* (GFRP). Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan beban lateral siklik yang menggunakan metode *displacement control* untuk mensimulasikan beban gempa dan dengan cara memberikan beban aksial konstan sebesar 748 kN. Hasil penelitian menunjukkan analisis teoritis bahwa terjadi peningkatan kapasitas lateral pada kolom sebesar 43,9% dan kapasitas lateral mengalami penambahan sebesar 21,43%. *Retrofit* kolom dengan GFRP memiliki sifat daktail yang ditunjukkan dengan meningkatnya perpindahan daktailitas sebesar 129,14% dan daktilitas kurvatur sebesar 118,27%.

### **2.1.3. Penelitian Terkait Perbaikan dengan Metode *Grouting* dan Injeksi**

Yurmansyah dan Mukhlis (2009), melakukan penelitian tentang Perkuatan Struktur Beton Gedung dengan Metode *Grouting* dan *Glass Fiber* dengan tujuan menambah pengetahuan tentang jenis-jenis material yang digunakan dalam perkuatan struktur dengan *glass fiber* mulai dari teknologi dan proses pelaksanaannya. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimen perkuatan beton dengan metode *grouting* yaitu menyuntikkan bahan perekat pada retakan beton yang memiliki keretakan 0,2 mm sampai 5,00 mm agar menjadi satu kesatuan (homogen). Untuk perkuatan pada strukturnya dengan metode *reinforcing* atau dengan menambah baja tulangan dengan bahan serat dalam / *glass fiber*.

Sumirin dan Arief (2017) dengan penelitian Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng memiliki tujuan untuk menganalisis efektifitas pengaruh injeksi cairan semen terhadap peningkatan angka keamanan lereng pada timbunan tanah granular. Dengan metode *grouting* menggunakan bahan pasta semen didapatkan hasil yang terbukti efektif memberikan kekuatan pada lereng tanah. Peningkatan angka keamanan yang terjadi mulai dari FS = 1,9 (33,33%) sampai dengan FS = 2,80 (90,0%). Beberapa faktor menentukan tingkat efektifitas injeksi yang dilakukan

yaitu faktor air semen pada bahan pasta semen untuk injeksi serta diameter lubang injeksi dan jarak injeksi.

Puspita dkk., (2018) melakukan penelitian tentang Analisis Retak Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi *Epoxy*. Tujuan penelitian ini untuk mengamati perilaku lentur pada balok beton bertulang dengan mutu tinggi yang diperbaiki dengan injeksi *epoxy*. Penelitian yang digunakan dengan metode eksperimen, dengan pengujian pembebanan pada 4 sampel balok. Perbaikan dengan injeksi *epoxy* pada balok BBMT dapat meningkatkan kekuatan BBMT normal. Pengujian dilakukan pada umur perbaikan balok 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan terjadi peningkatan kapasitas beban maksimumnya yaitu sebesar 18,36%, 23,46% dan 44,59%. Disimpulkan bahwa semakin lama umur perbaikan beton setelah diinjeksi *epoxy* maka semakin besar beban maksimum yang dapat ditumpu balok.

Krishnamoorthy dan Arif, (2013) melakukan penelitian berjudul *Concrete Cracks Repair Using Epoxy Resin*. Penelitian ini dilakukan menggunakan benda uji beton kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm yang diperbaiki dengan injeksi *epoxy* dan juga melapisi permukaan benda uji dengan bahan *epoxy*. Hasil penelitian ini adalah kekuatan beton yang diperbaiki dengan injeksi *epoxy* mengalami persentase pengurangan kekuatan beton pada kisaran 14 hingga 21%.

#### 2.1.4. Perbedaan Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa perbedaan dengan penelitian-penelitian terdahulu, selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Perbedaan dengan penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Perbedaan Penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
1	Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) dan Zat Aditif ( <i>Bestmittel</i> )	Penggunaan bahan tambah berupa abu terbang dan <i>Bestmittel</i> sebagai penyusun beton	Penggunaan bahan tambah berupa resin dan abu terbang sebagai bahan perbaikan beton

Tabel 2.1. Perbedaan dengan penelitian terdahulu (lanjutan)

No	Judul Penelitian	Perbedaan Penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
2	Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton	Penggunaan <i>Fly Ash</i> sebagai bahan penyusun pembuatan beton	Penggunaan <i>Fly Ash</i> sebagai bahan <i>grouting</i> untuk perbaikan beton
3	Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas <i>Fly Ash</i> sebagai Cementitious pada Beton (Rommel dkk., 2014)	<i>Fly Ash</i> digunakan sebagai pengganti semen pada pembuatan beton	<i>Fly Ash</i> dicampurkan dengan resin dan digunakan sebagai bahan <i>grouting</i> untuk perbaikan beton
4	Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer dengan Variasi Poliester Resin 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%	Penggunaan resin sebagai bahan penyusun pembuatan beton	Penggunaan resin sebagai bahan <i>grouting</i> untuk perbaikan beton
5	Pengaruh Zat Aditif Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer Resin	Penggunaan <i>Fly Ash</i> dibuat sama yaitu 10% pada tiap variasi bahan	Penggunaan <i>Fly Ash</i> dibuat bervariasi pada tiap variasi campuran bahan
6	Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Variasi Lebar <i>Carbon Fibre Reinforced Polymer</i>	Perbaikan beton dengan menggunakan CFRP	Perbaikan beton dengan metode <i>grouting</i>
7	Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku	Perbaikan beton dengan menggunakan Baja Siku	Perbaikan beton dengan metode <i>grouting</i>

Tabel 2.1. Perbedaan dengan penelitian terdahulu (lanjutan)

No	Judul Penelitian	Perbedaan Penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
8	Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan <i>Concrete Jacketing</i> dengan Presentase Beban Runtuh yang Bervariasi	Perbaikan beton dengan metode <i>concrete jacketing</i>	Perbaikan beton dengan metode <i>grouting</i>
9	Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i>	Perbaikan beton dengan menggunakan GFRP	Perbaikan beton dengan metode <i>grouting</i>
10	Perkuatan Struktur Beton Gedung dengan Metode <i>Grouting</i> dan <i>Glass Fiber</i>	Bahan <i>grouting</i> yang digunakan adalah semen sika <i>grout</i>	Bahan <i>grouting</i> yang digunakan adalah campuran resin <i>catalyst</i> dan <i>fly ash</i>
11	Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng	Bahan injeksi yang digunakan adalah semen	Bahan injeksi yang digunakan adalah resin <i>catalyst</i> dan <i>fly ash</i>
12	Analisis Retak Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi <i>Epoxy</i>	Penelitian yang dilakukan dengan injeksi <i>epoxy</i>	Penelitian yang dilakukan dengan injeksi campuran resin <i>catalyst</i> dan <i>fly ash</i>
13	<i>Concrete Cracks Repair Using Epoxy Resin</i>	Penelitian yang dilakukan dengan injeksi <i>epoxy</i>	Penelitian dilakukan dengan injeksi resin <i>catalyst</i> dan <i>fly ash</i>



### **2.1.5. Keaslian Penelitian**

Berdasarkan perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang seperti pada tabel di atas, penelitian dengan judul Analisis Perbaikan Kekuatan Beton dengan Metode *Grouting* Menggunakan Variasi Bahan Tambah Resin dan *Fly Ash*, menurut sepengetahuan penulis adalah asli dan belum pernah dilakukan peneliti sebelumnya.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Beton**

Beton merupakan bahan komposit dari berbagai campuran yang bahan utamanya terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dan atau tanpa adanya tambahan lain yang memiliki perbandingan tertentu. Karna beton komposit maka kulaitras beton sangat bergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Tjokrodimuljo, 2007). Beton merupakan ikatan material-material pembentuk beton, terdiri dari campuran agregat kasar dan agregat halus, semen, air, dan ditambah dengan bahan campuran tertentu jika dianggap perlu. Bahan pengikat terdiri dari air dan semen dan jika disatukan akan terbentuk pasta semen, sedangkan bahan pengisi berupa agregat halus dan agregat kasar (Nugraha dan Antoni, 2007).

Menurut Susilorini dan Sambowo (2011), klasifikasi beton umumnya dilakukan berdasarkan kuat tekan dan berat jenis, berdasarkan kuat tekannya beton dikategorikan sebagai beton mutu tinggi, mutu sedang dan mutu rendah, untuk beton mutu tinggi memiliki kuat tekan di atas 40 Mpa, sedangkan beton mutu sedang memiliki kuat tekan 20-40 Mpa, dan beton mutu rendah memiliki kuat tekan di bawah 20 Mpa. Berdasarkan berat jenisnya terdiri dari beton berat, beton rendah, dan beton normal. Beton berat memiliki berat jenis di atas 3200 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan beton ringan memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/m<sup>3</sup> dan beton normal memiliki berat jenis 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Menurut Mulyono (2004), beton dalam keadaan mengeras seperti batu karang dengan kekuatan tinggi. Beton dalam keadaan segar dapat dibuat bermacam-macam bentuk sesuai dengan seni yang diinginkan. Beton juga harus kuat terhadap serangan api dan korosi, secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut ini.

- a. Kelebihan Beton
  1. Mampu dengan mudah memikul beban yang berat.
  2. Biaya pemeliharaan kecil.
  3. Pada tempertatur tinggi beton lebih tahan.
  4. Mudah di bentuk sesuai kebutuhan.
- b. Kekurangan Beton
  1. Dalam pelaksanaan pembuatan dibutuhkan ketelitian yang sangat tinggi.
  2. Beton yang sudah di cetak sulit di rubah.
  3. Daya pantul suara yang dimiliki tinggi.
  4. Berat.

### 2.2.2. Komposisi Beton

#### a. Semen

Terdapat dua jenis semen yaitu semen hidraulik dan non-hidraulik. Semen yang dapat mengikat dan mengeras di dalam air disebut semen hidraulik, sedangkan semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air namun dalam proses pengerasan perlu udara disebut semen non-hidraulik. Campuran semen *Portland* dengan *pozolan* antara 15%-40% berat total campuran dengan kandungan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  didalam *pozolan* minimum 70% disebut Semen *Portland-pozolan* (Badan Standarisasi Nasional, 2000).

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2004), Semen hidrolis (OPC) yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *Portland* khususnya yang terdiri dari kalsium silikat yang memiliki sifat hidrolis dan dapat digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh di tambah dengan bahan tambah lain disebut semen *Portland*.

Semen *Portland* memiliki 5 jenis kategori, yaitu sebagai berikut ini.

1. Semen *Portland* Tipe I, semen *Portland* dengan kegunaan umum dan tidak ada persyaratan khusus.
2. Semen *Portland* Tipe II, semen *Portland* yang memerlukan kalor hidrasi sedang dan ketahanan dengan sulfat dalam penggunaannya.
3. Semen *Portland* Tipe III, semen *Portland* yang memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4. Semen *Portland* Tipe IV, semen *Portland* yang memerlukan kalor hidrasi yang rendah dalam penggunaannya.
5. Semen *Portland* Tipe V, semen *Portland* yang memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat dalam penggunaannya.

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2004), semen PCC (*Portland Cement Composit*) yaitu bahan pengikat dari hasil penggilingan hidrolis bersama dengan terak semen *Portland* dan gips dengan bahan anorganik antara lain: terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), batu kapur, senyawa silikat, *pozzolan*, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen *Portland* komposit. Semen *Portland* komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pemasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya. Menurut jenis dan penggunaannya, semen PPC dapat dibagi menjadi empat yaitu sebagai berikut:

1. jenis IP-U yaitu semen *Portland pozzolan* yang digunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton,
2. jenis P-K yaitu semen *Portland pozzolan* yang digunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah,
3. jenis IP-K yaitu semen *Portland pozzolan* yang digunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen ini juga bisa untuk tahan panas hidrasi sedang dan sulfat sedang, dan
4. jenis P-U yaitu semen *Portland pozzolan* yang digunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.

b. Agregat halus

Dalam Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik (1971), Agregat halus untuk beton dapat digunakan pasir alam dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu. Adapun persyaratan umum agregat halus yang digunakan untuk campuran beton adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat halus harus berbutir tajam dan keras, tidak mudah hancur karena pengaruh cuaca seperti hujan dan terik matahari.

2. Kadar lumpur tidak lebih dari 5%, apabila kadar lumpur agregat halus lebih dari 5% maka harus di cuci.
3. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik.
4. Agregat halus harus memiliki butiran yang beraneka ragam, adapun persyaratan apabila di ayak adalah sebagai berikut ini.
  - a) Minimum harus 2% berat ,sisa yang ada pada di atas ayakan 4 mm.
  - b) Minimum harus 10% berat, sisa yang ada pada di atas ayakan 1 mm.
  - c) Harus berkisar antara 80% dan 95% berat, sisa yang ada pada diatas ayakan 0,25mm.
5. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus pada semua mutu beton, kecuali dengan pemeriksaan bahan-bahan dan petunjuk dari lembaga yang diakui.

Berikut merupakan tahapan pengujian yang dilakukan pada agregat halus/pasir.

1) Pengujian berat jenis

Berat jenis agregat merupakan perbandingan antara massa padat agregat terhadap massa air dalam volume yang sama. Hasil dari pengujian berat jenis tanpa satuan (Tjokrodimuljo, 2007). Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat dibedakan menjadi tiga berdasarkan berat jenisnya seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Kategori berat jenis (Tjokrodimuljo, 2007)

Kategori	Nilai berat jenis	Contoh
Agregat ringan	< 2	<i>Pumice, diatomite, fly ash, tanah bakar, dll.</i>
Agregat normal	2,5 – 2,7	Kuarsit, granit, basalt, dll
Agregat berat	> 2,8	Magnetik, serbuk besi, dll.

Analisis perhitungan berat jenis pada agregat halus menggunakan acuan Badan Standarisasi Nasional, (2008), seperti pada Persamaan 2.1 – 2.3.

$$\text{berat curah kering} = \frac{A}{(B + S - C)} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{berat jenis curah} = \frac{S}{(B + S - C)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{berat jenis semu} = \frac{A}{(B + A - C)} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

A = berat benda uji dalam kondisi kering oven (gram),

B = berat dari piknometer yang berisi air (gram),

C = berat piknometer dengan air dan benda uji, sampai batas pembacaan air (gram), dan

S = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan/SSD ( gram).

2) Pengujian penyepapan air pada agregat halus

Penyerapan air merupakan penambahan berat pada suatu agregat karena air yang meresap ke dalam pori-pori agregat, tidak termasuk air yang tertahan di luar permukaan partikel, dan dinyatakan dalam persentase berat keringnya (Badan Standarisasi Nasional, 2008).

Analisis perhitungan penyerapan air menggunakan acuan SNI-1970-2008, seperti yang ditampilkan pada Persamaan 2.4.

$$\text{Penyerapan air} = \left[ \frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

S = berat benda uji kondisi kering oven (gram), dan

A = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gram).

3) Pengujian gradasi pada agregat halus

Tabel 2. 3. Persyaratan gradasi agregat halus (ASTM 1999)

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif (%)
9,5 (3/8-in)	100
4,75 (No. 4)	95 – 100
2,36 (No. 8)	80 – 100
1,18 (No. 16)	50 – 85
0,6 (No. 30)	25 – 60
0,3 (No. 50)	5 – 30
0,15 (No. 100)	0 – 10

Gradasi agregat merupakan hasil distribusi dari ukuran butiran pada agregat (Tjokrodinuljo, 2007). ASTM, (1999) dalam “*Standard Spesification for Concrete Agregates*” memiliki persyaratan pada gradasi agregat halus seperti

pada Tabel 2.3. Dalam persyaratan tersebut agregat halus tidak boleh memiliki bagian yang lolos pada satu ayakan lebih dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

4) Pengujian berat satuan pada agregat halus

Berat satuan merupakan berat agregat per satuan bejana (Tjokrodinuljo, 2007). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui volume campuran beton. Pengujian ini menggunakan standar acuan SNI-03-4804-1998 (Departemen Pekerjaan Umum 1998), dengan metode perhitungan seperti pada Persamaan 2.5.

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

M = berat satuan agregat (kg/m<sup>3</sup>),

G = berat cetakan dengan isian agregat (kg),

T = berat cetakan (kg), dan

V = volume cetakan (m<sup>3</sup>).

5) Pengujian kadar air pada agregat halus

Kadar air agregat merupakan perbandingan antara berat air yang terdapat pada agregat dengan agregat dalam kondisi kering dan dinyatakan dalam persen (Departemen Pekerjaan Umum, 1990). Analisis perhitungan kadar air dapat dilihat pada Persamaan 2.6 dengan acuan SNI-03-1971-1990 (Departemen Pekerjaan Umum, 1990).

$$\text{Kadar air} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

W<sub>3</sub> = berat benda uji awal (gram), dan

W<sub>5</sub> = berat benda uji kering oven (gram).

6) Pengujian kadar lumpur pada agregat halus

Pengujian kadar lumpur dilakukan guna mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus. Kadar lumpur yang disyaratkan pada agregat halus sebesar 5%. Semakin banyak lumpur yang melekat pada agregat akan mempengaruhi agregat dalam proses pembuatan beton, seperti berkurangnya daya ikat antara semen dan agregat halus. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 03-1750-1990 (Departemen Pekerjaan Umum, 1990) dengan metode perhitungan seperti pada Persamaan 2.7

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{\text{tinggi endapan lumpur (cm)}}{\text{tinggi pasir (cm)}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

#### 7) Modulus Halus Butir (MHB)

Modulus halus butir merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan ukuran kehalusan atau kekerasan pada butir-butir agregat (Tjokrodimuljo, 2007). Secara umum modulus halus butir didefinisikan sebagai jumlah kumulatif dalam persen dari butir agregat yang tertahan pada satu set ayakan/saringan yang kemudian dibagi seratus. Susunan lubang ayakan/saringan dimulai dari ukuran 38 mm; 19 mm; 9,6 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm dan 0,15 mm. Menurut Tjokrodimuljo (2007), nilai modulus halus butir pada agregat halus berkisar antara 1,5 – 3,8, sedangkan untuk agregat kasar berkisar antara 6 – 8. Semakin besar nilai modulus halus butir maka semakin besar ukuran butir pada agregatnya. Cara perhitungan modulus halus butir (mhb) dapat dilihat pada Persamaan 2.8.

$$\text{Modulus halus butir (mhb)} = \frac{\text{persen jumlah kumulatif tertahan}}{100} \dots \dots \dots (2.8)$$

#### c. Agregat Kasar

Dalam Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik (1971), agregat kasar yang digunakan dalam membuat beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang di hasilkan dari alat pemecah batu. Adapun persyaratan umum agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton adalah sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur terlalu tinggi, maksimal kadar lumpur agregat kasar yaitu 1% (ditentukan dari berat kering), apabila kadar lumpur agregat kasar lebih dari 1% maka harus dicuci.
2. Agregat kasar harus memiliki butiran yang keras dan tidak memiliki pori. Agregat kasar yang memiliki butiran yang pipih jumlahnya tidak boleh lebih dari 20% dari total berat agregat kasar. Butirannya harus kuat tidak mudah pecah jika terkena terik matahari dan hujan.
3. Kekerasan agregat kasar tidak boleh kehilangan berat lebih dari 50% setelah diuji dengan mesin pengaus *Los Angeles*.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat kimia yang dapat merusak.
5. Ukuran dari agregat kasar harus beraneka ragam, dengan syarat berikut ini.

- a) Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
- b) Sisa diatas ayakan 31,5 mm, harus 0% dari berat.
- c) Selisih dari sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, minimum 10% berat dan maksimum 60% berat.

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar atau batu pecah adalah sebagai berikut ini.

1) Pengujian berat jenis pada agregat kasar

Pengujian berat jenis dilakukan untuk menentukan volume yang dapat diisi oleh agregat (Mulyono, 2003). Pengujian berat jenis pada agregat kasar menggunakan acuan SNI-1969-2008 (Badan Standarisasi Nasional, 2008), dengan tata cara perhitungan seperti pada Persamaan 2.9- 2.11.

$$\text{Berat jenis kering curah} = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan :

A = berat benda uji dengan kondisi kering oven (gram),

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (SSD) (gram), dan

C = berat benda uji di dalam air (gram).

2) Pengujian penyerapan air pada agregat kasar

Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap oleh agregat di dalam air (Mulyono, 2003). Pengujian penyerapan air pada agregat kasar menggunakan acuan SNI-1969-2008 (Badan Standarisasi Nasional, 2008). Tata cara perhitungan penyerapan air seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 2.12.

$$\text{Penyerapan air} = \left[ \frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan :

A = berat benda uji dalam kondisi kering oven (gram), dan

B = berat benda uji dengan kondisi jenuh kering muka (SSD) (gram).

3) Pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi *Los Angeles*



Tabel 2. 4. Persyaratan kekuatan pada agregat kasar (Tjokrodinuljo, 2008)

Kelas dan mutu beton	Maksimum agregat yang hancur dari mesin <i>Los Angeles</i> , lolos ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I mutu B 0 dan B 1	50
Kelas II mutu K-125 ( $f_c' = 10$ Mpa) hingga K-225 ( $f_c' = 20$ MPa)	40
Kelas II mutu lebih dari K-225 ( $f_c' = 20$ MPa)	27

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat keausan agregat dengan membandingkan berat bahan aus terhadap berat awal dan dinyatakan dalam persen. Pengujian ini menggunakan acuan SNI-2417-2008 (Badan Standarisasi Nasional, 2008), dengan metode perhitungannya seperti pada Persamaan 2.13. Hasil pengujian *Los Angeles* harus memenuhi persyaratan seperti yang pada Tabel 2.4.

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan :

a = berat benda uji awal (gram), dan

b = berat benda uji yang tertahan saringan nomor 12 (1,70 mm) (gram).

#### 4) Pengujian kadar air pada agregat kasar

Tujuan dari pengujian kadar air pada agregat kasar adalah untuk mendapatkan nilai persentase dari kadar air yang terdapat pada agregat kasar. Pengujian ini menggunakan acuan SNI-03-1971-1990 (Departemen Pekerjaan Umum, 1990) dengan metode perhitungan kadar air seperti pada Persamaan 2.14.

$$\text{Kadar air} = \frac{(W_3 - W_5)}{W_5} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

$W_3$  = berat awal benda uji (gram), dan

$W_5$  = berat benda uji dalam kondisi kering oven (gram).

## 5) Pengujian berat satuan pada agregat kasar

Pengujian berat satuan pada agregat kasar digunakan untuk mengetahui berat isi/satuan dari agregat kasar pada bejana, dan dinyatakan dalam  $\text{kg/m}^3$ . Pengujian ini menggunakan acuan SNI 03-4804-1998 (Departemen Pekerjaan Umum, 1998) dengan metode perhitungan menggunakan Persamaan 2.15.

$$\text{Berat satuan} = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan :

G = berat agregat kasar dan bejana (kg),

T = berat bejana (kg), dan

V = volume bejana ( $\text{m}^3$ ).

## 6) Pengujian kadar lumpur pada agregat kasar

Pengujian kadar lumpur pada agregat kasar bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang melekat pada agregat kasar. Pengujian ini menggunakan acuan SK SNI-04-1989-F (Departemen Pekerjaan Umum, 1989) dengan metode perhitungan menggunakan Persamaan 2.16.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{(B_1-B_2)}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

$B_1$  = berat agregat kasar dalam keadaan jenuh kering muka (gram), dan

$B_2$  = berat agregat kasar dalam keadaan kering oven (gram).

## d. Air

Dalam Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik (1971), air dalam pembuatan dan perawatan beton tidak mengandung asam, minyak, alkali, garam, bahan organis atau bahan lain yang dapat merusak beton.

Dalam pembuatan beton air merupakan bahan dasar yang penting dengan harga yang paling murah. Air digunakan untuk bereaksi dengan semen, dan dapat menjadi bahan pelumas untuk agregat dengan tujuan agar mudah dikerjakan dan mudah dipadatkan. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen yaitu hanya 25 persen dari berat semen. Semakin banyak air yang di campurkan maka kekuatan beton akan rendah atau akan terjadi porous (Tjokrodimulyo, 2007). Persyaratan air yang dapat digunakan dalam campuran beton sebagai berikut ini.

1. Air tidak boleh mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.

2. Air tidak mengandung lumpur (benda melayang) lebih dari 2 gram/liter.
3. Air tidak boleh mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
4. Air tidak boleh mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.

### 2.2.3. Kuat Tekan Beton

Tujuan pengujian kuat tekan beton yaitu untuk mendapatkan data kuat tekan beton dengan metode yang benar. Pada pengujian ini beton segar (*fresh concrete*) di uji dengan mewakili campuran beton, benda uji berbentuk kubus ataupun silinder (Badan Standarisasi Nasional, 1990). Pengujian ini dapat digunakan untuk pekerjaan berikut ini.

- a. Pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembuatan beton.
- b. Pembuatan rancangan campuran beton.

Ada beberapa cara perhitungan dalam pengujian kuat tekan beton, perhitungan tersebut seperti yang tertulis pada persamaan (2.17).

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan:

A = luas penampang (cm<sup>2</sup>), dan

P = beban maksimum (kg).

Menurut Tjokrodinuljo (2007), nilai kuat tekan beton umumnya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, untuk meninjau mutu beton ditinjau kuat tekannya saja. Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya (Tjokrodinuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	>80 MPa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40 – 80 MPa
Beton Pra Tegang	30 – 40 MPa
Beton Normal (Beton Biasa)	15 – 30 MPa

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton pada pengujian ini ada empat bagaian yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton antara lain sebagai berikut ini.

1. Metode perancangan yang digunakan.
2. Proporsi dari bahan penyusunnya.
3. Perawatan beton.
4. Situasi pengecoran yang dipengaruhi lingkungan setempat.

#### **2.2.4. Grouting**

Metode *grouting* yaitu menyuntikkan bahan perekat pada retakan beton yang memiliki keretakan 0,2 mm sampai 5,00 mm agar menjadi satu kesatuan (homogen) (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009). Bahan *grouting* yang biasa digunakan adalah campuran semen dan air, akan tetapi campuran ini dinilai masih belum dapat mengembalikan kekuatan struktur bangunan secara optimal, karena bahan tersebut tidak dapat memenuhi rongga yang mengalami kerusakan atau keretakan secara menyeluruh. Untuk mengatasi masalah ini, dipilih resin sebagai pengganti semen dan air (Rayhan, 2014).

Metode *grouting* pada pengujian ini adalah metode yang dilakukan dengan cara menyuntikan bahan *grouting* berupa campuran resin *catalyst* kedalam suatu rongga atau retakan pada beton. *Grouting* memiliki kelebihan dan kekurangan, antara lain untuk kelebihan dari metode ini yaitu bahan yang diinjeksikan dapat memenuhi rongga yang mengalami kerusakan atau keretakan secara lebih menyeluruh. Sementara itu kelemahan dari metode *grouting* adalah bahan yang digunakan lebih mahal dibandingkan semen pada umumnya.

#### **2.2.5. Pengertian Tentang Bahan Tambah**

Menurut Badan Standarisasi Nasional (1991) dengan kode SNI 03-2495-1991 bahan tambah berupa bubuk dan cairan yang dicampurkan kedalam campuran beton agar memperoleh sifat khusus seperti kemudahan pengerjaan, pengikatan, pengerasan, kekedapan hingga keawetan. Bahan tambah memiliki 3 variasi yang berbeda antara lain adalah bahan tambah kimia, bahan tambah pozolan dan bahan tambah serat. beberapa tipe bahan tambah kimia antara lain sebagai berikut ini.

1. Tipe A bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi air pada proses campuran beton.
2. Tipe B bahan tambah yang digunakan untuk menghambat pengikatan beton.

3. Tipe C bahan tambah untuk mempercepat pengikatan beton dan menambah kekuatan awal beton.
4. Tipe D bahan tambah untuk mengurangi campuran beton dan memperlambat pengikatan beton.
5. Tipe E bahan tambah untuk mengurangi penggunaan air, mempercepat pengikatan dan menambah kekuatan awal pada beton.
6. Tipe F bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi air sebanyak 12% agar menghasilkan beton dengan konsistensi yang telah direncanakan.
7. Tipe G yaitu bahan tambah untuk mengurangi air sebanyak 12% atau lebih dan memperlambat waktu pengikatan.

Pada penelitian ini digunakan bahan tambah Tipe C, yaitu penggunaan bahan resin *catalyst* dan abu terbang dengan tujuan untuk mempercepat pengikatan dan menambah kekuatan pada beton.

#### **2.2.6. Resin dan *Catalyst***

Menurut Nugraha dan Antoni (2004) resin *catalyst* merupakan salah satu bahan material perbaikan dikarenakan bahan tersebut memiliki kecepatan dalam proses pengerasan agar tidak terjadi kehilangan lekatan yang menyebabkan terjadinya retak baru. Karakteristik dari resin yang seperti getah atau lem inilah fungsi utamanya sebagai perekat kemudian ditambah dengan bahan pengeras seperti *catalyst* merupakan oksidator terhadap bahan kimia dari resin yang mempercepat laju reaksi sehingga resin cepat mengeras.

Menurut Mulyono (2007) material dengan menggunakan modifikasi polimer merupakan bahan tambah baru memiliki nilai kekuatan beton cukup tinggi yaitu sebesar 15000 Psi (1000 Psi = 6,9 MPa) serta memiliki nilai kuat tarik sebesar 1500Psi. Beton polimer ini menggunakan bahan dari *resin* dan bahan pengeras sebagai tambahannya. Pada dasarnya beton polimer yang menggunakan resin dan pengeras ini menggantikan air sebagai campuran agar memperoleh beton berkekuatan tinggi serta mutu yang baik.

Pada pembahasan sebelumnya menurut Badan Standarisasi Nasional (1991) mengenai bahan tambah kimia digunakan dengan tujuan untuk memperoleh kemudahan pengerjaan, waktu pengikatan campuran, pengerasan, kekedapan serta

keawetan. Sehingga dengan kata lain bahwa modifikasi polimer ini baik digunakan dalam campuran beton.

### **2.2.7. Abu Terbang (*Fly Ash*)**

Menurut Nugroho dan Antoni (2004) abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa pembakaran batu bara yang kebanyakan digunakan oleh pembangkit listrik tenaga uap. Kandungan dari *fly ash* tersebut memiliki kadar semen yang cukup tinggi dan juga mempunyai unsur kimia seperti silikat dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium ( $\text{CaO}$ ), magnesium, potasium, sodium, titanium dan sulfur. Keunggulan campuran pada beton menggunakan *fly ash* adalah sebagai berikut ini.

1. Keunggulan pada beton segar.
  - a) Meningkatkan *workability* dikarenakan bentuk dari *fly ash* yang bulat dan halus.
  - b) Mengurangi terjadinya pemisahan agregat dan meminimalisir *bleeding*.
2. Keunggulan pada beton keras.
  - a) Berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan beton umur 52 hari.
  - b) Meningkatkan kepadatan pada beton.
  - c) Meningkatkan *durabilitas* pada beton.
  - d) Meminimalisir terjadinya penyusutan pada beton.