

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan mengenai analisis perbaikan kekuatan beton antara lain sebagai berikut ini.

1. Substitusi Material Pozolan Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. (Waani dan Elisabeth, 2017)
2. Pengaruh Rasio Agregat Semen dan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous (Ginting, 2015).
3. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Zat Aditif (*Bestmittel*) (Ervianto dkk., 2016).
4. Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap *Flowability* dan Kuat Tekan Pada *Self Compacting Concrete* (Setyawan dkk., 2016).
5. Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Dan Penambahan Fiber Optik Terhadap Kuat Tekan Beton Serat (Ikhsan dkk., 2016).
6. Perkuatan Struktur Beton Gedung dengan Metode *Grouting* Dan *Glasss Fiber*. (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009).
7. Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng (Sumirin dan Areif, 2017).
8. Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (Parmo dkk., 2013).
9. Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik Pada Beban Ultimit (Soebandono dkk., 2011).
10. Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi (Soenaryo dkk., 2009).
11. Kajian Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Eksternal Prestressin* (Khrisna dkk., 2015).
12. Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas *Fly Ash* sebagai *Cementitious* pada Beton (Rommel dkk., 2014).

13. Analisis Retak Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi Epoxy (Puspita dkk., 2018).
14. Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Variasi Lebar *Carbon Fibre Reinforced Polymer* (Jamal dkk., 2015).
15. Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku (Helmi, 2009).

Berdasarkan referensi dari penelitian terdahulu diyakinkan bahwa Penelitian dengan judul Analisis Perbaikan Kekuatan Beton dengan *Grouting* Menggunakan Variasi Bahan Tambah Semen *Grout* adalah asli dan tidak pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

2.1.1. Penelitian Yang Terkait tentang Beton

Waani dan Elisabeth (2017), melakukan penelitian tentang Substitusi Material Pozolan Terhadap Semen Pada Kinerja Campuran Semen. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui penggunaan material pozolan sebagai bahan material tambahan atau substitusi terhadap semen untuk campuran beton mutu tinggi (*High-Strength and High Workability Concrete*) atupun campuran semen berkekuatan rendah (*low strength material*). Penelitian yang digunakan menggunakan metode eksperimen. Penelitian ini menghasilkan material pozolan dapat digunakan sebagai bahan material tambahan atau substansi pada campuran beton, sifat-sifat fisik dan kinerja campuran menunjukkan peningkatan yaitu berkurangnya susut saat proses pengeringan yang bisa mengakibatkan keretakan, berkurangnya sifat ekspansif campuran, berkurangnya pori dalam campuran dapat mengakibatkan penurunan permeabilitas campuran, mengurangi kebutuhan air di dalam campuran, peningkatan kekuatan campuran yang besar seiring bertambahnya umur campuran, meningkatkan workabilitas campuran, dan peningkatan ketahanan campuran terhadap abrasi (pozolan buatan). Dari berbagai peningkatan kinerja dan sifat campuran semen maka material pozolan dapat menjadi bahan tambahan/substitusi terhadap beberapa semen pada campuran semen untuk konstruksi bangunan.

2.1.2. Penelitian Yang Terkait tentang Agregat Kasar

Ginting (2015), melakukan penelitian tentang Pengaruh Rasio Agregat Semen Dan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton *Porous*. Penelitian yang digunakan menggunakan metode kuantitatif yaitu dengan

melakukan eksperimen di laboratorium. Agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Dari pengujian agregat kasar didapat berat jenis yang normal karena berada antara 2,5-2,7 dengan hasil sebesar 2,69; nilai dari penyerapan air sebesar 0,88%; dan nilai dari kadar air agregat kasar sebesar 0,74%. Nilai dari modulus halus butir tergolong baik karena mempunyai nilai 5-8 dengan hasil 7,64 namun nilai dari keausan agregat kasar masih lebih kecil dari 40%.

Ervianto dkk., (2016) melakukan penelitian tentang Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Zat Adiktif (*Bestmittel*). Penelitian yang digunakan menggunakan metode eksperimen. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian berasal dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Dari pengujian tersebut didapat berat satuan sebesar 1,55 g/cm³; berat jenis sebesar 2,63; keausan sebesar 21,36%; kadar air sebesar 0,549%; kadar lumpur sebesar 1,750% dan penyerapan air sebesar 1,438%. Hasil dari pengujian kadar lumpur agregat kasar belum memenuhi standar kadar lumpur yang baik.

Tabel 2.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Satuan	Penguji	
			Ginting (2015)	Ervianto dkk. (2016)
1	Berat Jenis	-	2,69	2,63
2	Kadar Air	%	0,74	0,549
3	Penyerapan Air	%	0,88	1,438
4	Kadar Lumpur	%	-	1,750
5	Keausan	%	<40%	21,36
6	Berat Satuan	gr/cm ³	-	1,55

2.1.3. Penelitian Yang Terkait tentang Agregat Halus

Ervianto dkk., (2016) melakukan penelitian tentang Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) Dan Zat Adiktif (*Bestmittel*). Penelitian yang digunakan menggunakan metode eksperimen. Agregat halus yang di gunakan untuk pengujian berasal dari Kali Progo, Kabupaten Kulon Progo. Hasil dari pengujian agregat halus dengan berat jenis sebesar 2,59, kadar air sebesar 4,57%, penyerapan air sebesar 0,26%, kadar lumpur sebesar 4,532%, berat satuan 1,31 g/cm³ dan gradasi butiran sebesar 2,65. Dari hasil tersebut agregat halus masuk pada gradasi butiran daerah 2.

Setyawan dkk., (2016) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap *Flowability* Dan Kuat Tekan Pada *Self Compacting Concrete*. Penelitian yang digunakan menggunakan metode eksperimen. Agregat halus yang di gunakan untuk pengujian berasal dari Kali Progo, Kabupaten Kulon Progo. Hasil pengujian agregat halus tersebut masuk dalam daerah 2 dengan berat jenis sebesar 2,59, kadar air sebesar 4,57%, penyerapan air sebesar 0,26%; berat satuan 1,31 g/cm³, kadar lumpur sebesar 4,532%, dan gradasi butiran sebesar 2,65.

Ikhsan dkk., (2016) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus dan Penambahan Fiber Optik Terhadap Kuat Tekan Beton Serat. Agregat halus yang berasal dari Kali Progo, Kabupaten Kulon Progo. Hasil pengujian agregat halus menghasilkan agregat halus tersebut masuk dalam daerah gradasi 2 dengan nilai berat jenis sebesar 2,58, kadar air sebesar 4,575%, modulus halus butir sebesar 2,648, penyerapan air sebesar 0,26%, berat satuan sebesar 1,31 g/cm³ dan kadar lumpur sebesar 4,532%.

Tabel 2.2 Hasil pengujian agregat halus

No	Jenis Pengujian	Satuan	Penguji		
			Ervianto dkk. (2016)	Setyawan dkk. (2016)	Ikhsan dkk. (2016)
1	Gradasi	-	Daerah 2	Daerah 2	Daerah 2
2	Modulus Halus Butir	-	2,648	-	2,648
3	Berat Jenis	-	2,59	2,59	2,58
4	Penyerapan Air	%	0,26	0,26	0,26
5	Kadar Air	%	4,57	4,57	4,575
6	Kadar Lumpur	%	4,532	4,532	4,532
7	Berat Satuan	g/cm ³	1,31	1,31	1,31

2.1.4. Penelitian Yang Terkait tentang Perbaikan Beton

Yurmansyah dan Mukhlis (2009), melakukan penelitian tentang Perkuatan Struktur Beton Gedung Dengan Metode *Grouting* dan *Glasss Fiber*. Tujuan penelitian ini untuk memberikan pengetahuan tentang jenis-jenis material yang di pakai dalam perkuatan struktur dan perkembangan dari teknologi dan proses pelaksanaannya dengan menggunakan *glass fiber*. Metode yang di gunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen yaitu dengan cara melakukan perkuatan pada beton dengan metode *grouting* dengan cara menyuntikan bahan perekat pada

retakan beton yang retaknya ada 0,2 mm sampai 5,00 mm agar menjadi satu kesatuan (homogen). Metode perkuatan pada struktur beton adalah *reinforcing* atau dengan menambah baja tulangan dengan bahan serat gelas / *glass fiber*. Hasil yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan cara perbaikan struktur yang perlu diperhatikan kerusakan yang terjadi dengan tujuan agar metode ataupun material yang digunakan untuk memperbaiki kerusakan pada beton dapat dipilih dan disesuaikan dengan sifat konstruksinya. Peralatan yang digunakan untuk merepair konstruksi sangat sederhana dan untuk memperbaiki struktur dengan sempurna maka perlu memahami metode kerja serta sifat struktur yang diperbaiki dan perilaku dari material yang akan digunakan

Sumirin dan Areif (2017), melakukan penelitian tentang Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas pengaruh dari injeksi cairan semen terhadap peningkatan angka keamanan lereng pada timbunan tanah granular. Penelitian yang digunakan dengan metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Hasil yang didapat dari penelitian ini didapatkan metode *grouting* dengan menggunakan bahan pasta semen ini terbukti efektif untuk memberi kekuatan pada lereng tanah dengan gradasi kasar dan kandungan batu krosok sampai 60%. Peningkatan yang terjadi dengan injeksi pasta semen mulai dari FS = 1,9 (33,3%) samapai dengan FS = 2,80 (90,0%). Ada beberapa faktor yang menentukan efektifitas injeksi pasta semen untuk timbunan lereng dengan butiran kasar yaitu: (a) faktor air semen yang optimum $w/c=1,4$; (b) diameter injeksi dan jarak injeksi yang dapat membentuk kolom dengan ratio sama dengan 8, dengan kedalaman injeksi $p = 0,75 H$, dimana H adalah tinggi dari timbunan.

Parmo dkk., (2013) melakukan penelitian tentang Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui penambahan daktilitas dan kekuatan kolom beton bertulang setelah diretrofit menggunakan *glass fiber reinforced polymer* (GFRP) dan mendapat beban gempa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan menggunakan dua benda uji berupa kolom dengan tiga kali pengujian. Hasil dari

pengujian benda uji untuk masing-masing ukuran kolom $350 \times 350 \times 1100$ mm dengan $f'_c = 20,34$ MPa dan $f_y = 549,94$ MPa. Pengujian 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 daktalitas sebesar 129,14% dan daktalitas kurvatur sebesar 118,27%.

Soebandono, dkk., (2011) telah melakukan penelitian Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Fero semen Akibat Beban Siklik Pada Beban Ultimit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui beban ultimit yang mengalami kenaikan sebelum dan sesudah perbaikan (*retrofitting*), dan mengetahui perilaku setelah perbaikan (*retrofitting*), meliputi *envelope curve*, *hysteresis energy*, model keruntuhan, hubungan beban–lendutan, kekakuan (*stiffness*), pola retak dan daktalitas. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan perbaikan pada benda uji dengan menggunakan metode *jacketing*. Pada penelitian ini menghasilkan perbaikan pada struktur (retrofit) pada tahap ultimit dengan menggunakan metode *jacketing* dengan bahan fero semen yang mampu meningkatkan kapasitas dari beban ultimit sebesar 28,571% (UBB menjadi R-UBB) dan 81,828% (US-2 menjadi R-US.2), serta 91,667% (US-1 menjadi R-US.1). metode jackting mengalami peningkatan energy hysteretic untuk pengujian perbaikan sebesar 389,84%(UBB-menjadi RUBB) dan 273,11% (US-2 menjadi RUS.2), serta 215,66% (US-1 menjadi R-US.1). Didapatkan pola retakan pada balok sebelum dan sesudah perbaikan sesuai dengan tipe kerusakan yang sudah di rencanakan. Retatak lentur di trandai dengan retak utama melintang di area pangkal dari balok disertai retak-retak kecil yang merata seanjang jarak pembebanan, sedangkan retak geser di tandani dengan retak miring/diagonal dari arah ujung tumpuan ke titik pembebanan.

Soenaryo dkk., (2009) melakukan penelitian tentang Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kapasitas

maksimum kolom beton bertulang setelah di perbaiki dengan *concrete jacketing*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, sampel beton yang di buat akan di uji. 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 jackting* 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 jackting* setelah mendapat beban runtuh awal sebesar 75% P maksimum. Metode perbaikan dengan *concrete jackting* dapat di gunakan pada kolom beton bertulang sesudah menerima beban runtuh sebesar 75%-85% P maksimum agar dapat hasil yang signifikan.

Khrisna dkk., (2015) melakukan penelitian tentang Kajian Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Eksternal Prestressing*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan membuat sample balok yang akan diuji dengan metode *Eksternal Prestressing* yang dilakukan dengan cara batang atau kabel prestressing dengan cara di tanam pada balok yang rusak, memberikan tegangan pada balok sampai suatu tegangan tarik tertentu lalu mengangkerkannya sehingga elemen yang sudah rusak mendapatkan gaya tekan. Penelitian ini menghasilkan balok nomor 1 yang sudah di uji, kemudian di perbaiki dengan memberikan gaya prategang sebesar 4 ton setelah itu di uji kembali. Hasil dari pengujian kedua menghasilkan balok tersebut tidak mampu menahan momen lentur aktual sebesar 16,706,250 Nmm sedangkan secara teoritis kapasitas penampang hanya mampu menahan momen sebesar 16,670,000 Nmm, sehingga balok mengalami pola runtuh yang berbeda-beda di pengujian kedua , dan balok tersebut mengalami runtuh geser meskipun pada pengujian pertama mengalami runtuh lentur.

Rommel dkk., (2014) telah 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.

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 di gunakan dengan metode eksperimen, dengan pengujian dengan pembebanan pada 4 sampel balok. Hasil dari penelitian ini didapatkan balok BBMT mengalami gagal lentur, dimana dengan perbandingan rasio geser dan lentur serta di lihat dari pola retak yang sudah terjadi yaitu retak lentur. Balok BBMT setelah di injeksi epoxy dapat memberikan kekuatan yaang lebih baik di bandingkan balok BBMT normal. Hasil pngujian menunjukan terjadi peningkatan kapasitas beban maksimumnya yaitu BBMT normal yaitu sebesar 18,36%, 23,46% dan 44,59%. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama umur perbaikan beton setelah di injeksi epoxy maka semakin besar beban maksimum yang dapat ditumpu oleh balok BBMT. Epoxy mempengaruhi perilaku lentur balok BBMT yaitu balok lebih daktail di bandingkan dengan balok BBMT normal, pada balok BBMT E-28 sebesar 115,823%, BBMT E-14 sebesar 355,908 dan pada BBMT E-7 sebesar 434,358%.

Jamal dkk., (2015) melakukan penelitian tentang Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Variasi Lebar *Carbon Fibre Reinforced Polymer*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan kekuatan lentur dari balok beton bertulang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, FTSP, UII. Pada penelitian ini digunakan 3 buah balok dengan ukuran 15cm × 20cm × 120cm dibagi menjadi dua yaitu Balok Kontrol dan Balok Karbon. Lebar CFRP 5 cm dapat meningkatkan kapasitas beban sebesar 60%

lebar 10cm sebesar 123,38% dan lebar 15cm 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. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Hasil yang didapat dalam penelitian yaitu Setelah mengalami pembebanan kekuatan dasar balok tidak mengaami perubahan yang signifikan, namun kekuatan balok menurun dari kekuatan awalnya sebesar 19%, Balok yang di perbaiki 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 di perbaiki di dibandingkan dengan beton original sebesar 2 % sampai 15 %dan peningkatan terbesar pada balok BRB3, dilihat dari kemiringan grafik hubungan beban lendutan dimna pada level beban yang sama balok diperbaiki mengalami lendutan yang lebih kecil

2.1.5. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian terdahulu mengenai perbaikan beton, selengkapnya dapat di lihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian sekarang

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan komposisi material yang dipakai pada penelitian	
				Terdahulu	Sekarang
1	Substitusi Material Pozolan Terhadap Semen Pada Kinerja Campuran Semen. (Waani dan Elisabeth, 2017)	2017	Metode Eksperimen	Mengetahui penggunaan material poszolan sebagai bahan material tambahan atau substitusi terhadap semen untuk campuran beton mutu tinggi	Mengetahui pengaruh bahan dari semen <i>grout</i> terhadap kuat tekan beton umur 7, 14 dan 28 hari

Tabel 2.4 Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan komposisi material yang dipakai pada penelitian	
				Terdahulu	Sekarang
2	Perkuatan Struktur Beton Gedung Dengan Metode <i>Grouting</i> Dan <i>Glasss Fiber</i> (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009)	2009	Metode Eksperimen	Metode perkuatan pada struktur beton adalah <i>reinforcing</i> atau dengan menambah baja tulangan dengan bahan serat dalas / <i>glass fiber</i>	Metode yang digunakan dengan cara menginjeksi semen <i>grout</i> dengan perbandingan campuran fas 0,28, fas 0,26, dan fas 0,23
3	Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas <i>Fly Ash</i> sebagai Cementitious pada Beton (Rommel dkk., 2014)	2014	Metode Eksperimen	Pengaruh reaktifitas <i>fly ash</i> yang sudah mengalami perbaikan	Pengaruh dari bahan semen <i>grout</i> sesudah mengalami perbaikan pada beton.
4	Analisis Retak Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi Epoxy (Puspita dkk., 2018)	2018	Metode Eksperimen	Metode perbaikan yang digunakan menggunakan injeksi <i>epoxy</i>	Metode perbaikan yang digunakan menggunakan metode <i>grouting</i>

Tabel 2.5 Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sekarang (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan komposisi material yang dipakai pada penelitian	
				Terdahulu	Sekarang
5	Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. (Sumirin dan Areif, 2017)	2017	Metode Eksperimen	Material <i>grouting</i> yang digunakan adalah campuran semen 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,5, 1,7, dan 2,0	Bahan grouting yang digunakan ada tiga macam dengan perbandingan campuran fas 0,23, 0,26 dan 0,28
6	Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> . (Parmo dkk., 2013)	2013	Metode Eksperimen	Hasil dari pengujian benda uji untuk masing-masing ukuran kolom 350 × 350 × 1100 mm.	Pengujian dilakukan pada beton dengan ukuran 15 × 15 × 15 cm untuk mendapatkan hasil kuat tekan beton.
7	Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik Pada Beban Ultimit. (Soebandono, dkk., 2011)	2011	Metode Eksperimen	Untuk mengetahui beban ultimit sebelum dan setelah perbaikan.	Untu mengetahui nilai kuat tekan sebelum dan sesudah di perbaiki.

Tabel 2.6 Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan (lanjutan)

No	Penelitian	Tahun	Jenis Penelitian	Perbedaan komposisi material yang dipakai pada penelitian	
				Terdahulu	Sekarang
8	Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan <i>Concrete Jacketing</i> dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi. (Soenaryo dkk., 2009)	2009	Metode Eksperimen	Metode perbaikan dengan <i>concrete jacking</i> memiliki pengaruh yang signifikan dan memiliki pengaruh yang nyata terlihat dari variasi pembebanan 65% dengan 85%.	Metode perbaikan pada pengujian ini tidak mengalami kenaikan nilai kuat tekan.
9	Kajian Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode <i>Eksternal Prestressing</i> (Khrisna dkk., 2015)	2015	Metode Eksperimen	Metode Eksternal <i>Prestressing</i> dilakukan dengan kabel prestressing yang ditanam pada balok yang rusak, memberikan tegangan pada balok sampai suatu tegangan tarik tertentu lalu mengangkerkannya sehingga elemen yang sudah rusak mendapatkan gaya tekan.	Metode <i>grouting</i> dilakukan dengan cara menginjeksikan semen <i>grout</i> pada tekanan tertentu dengan campuran semen dan air dengan perbandingan tertentu.
10	Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku, (Helmi, 2009)	2009	Metode Eksperimen	Benda uji berupa balok yang berukuran 120×185×1550 mm, balok tersebut sebelumnya sudah mengalami pembebanan kemudian balok tersebut diperbaiki menggunakan baja siku pada bagian bawah penampang balok yang dikaitkan dengan dynabolt.	Benda uji berupa kubus dengan ukuran 15 × 15 × 15 yang sudah di uji kuat tekan dan mengalami retakan kemudian balok diperbaiki dengan cara injeksi campuran semen dan air dengan perbandingan 0,23, 0,26 dan 0,28.

2.1.6. Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan hasil pemikiran penulis, apabila ada kesamaan dengan penelitian terdahulu maka bukan salah penulis dikarenakan penulis tidak mengetahui atau bukan ruang lingkup penulis dan apabila terdapat penelitian terdahulu yang penulis kutip maka penulis akan mencantumkan sumber secara jelas. Penelitian ini mendapatkan hasil di dapatkan pengujian yang dilakukan di laboratorium

2.2. Dasar Teori

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. Karena beton komposit maka kualitas beton sangat bergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Tjokrodimulyo, 2007).

Beton merupakan ikatan material-material pembentuk beton, terdiri dari campuran agregat kasar dan agregat halus, semen, air, dan pula 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 diatas 40 MPa, sedangkan beton mutu sedang memiliki kuat tekan 20-40 MPa, dan beton 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/m³, sedangkan beton ringan memiliki berat jenis di bawah 1800 kg/m³ dan beton normal memiliki berat jenis 2400 kg/m³.

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 di inginkan. 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 beton membutuhkan ketelitian tinggi
 - 2. Beton yang sudah di cetak sulit di rubah.
 - 3. Memiliki daya pantul suara yang tinggi.
 - 4. Berat.

2.2.1. Komposisi Beton

Adapun bahan penyusun beton yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut ini.

a. Semen

Semen memiliki dua macam yaitu semen hidraulik dan non-hidraulik. Semen yang dapat mengikat dan mengeras didalam 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* (BSN, 2000).

Berdasarkan BSN (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 BSN (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.

Berdasarkan BSN (2004), semen PPC (*Portland Pozzolan Cement*) adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara *pozzolan* halus dengan semen *portland*, yang dibuat dengan cara menggiling *pozzolan* dan klinker semen *portland* bersama-sama, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar *pozzolan* 6% sampai dengan 40% dari masa semen *portland pozzolan*. 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.
 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 menggunakan pasir alam dari batuan-batuan atau berupa

pasir buatan yang di hasilkan 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 dicuci.
3. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik.
4. Besarnya butiran dari agregat halus harus beraneka ragam, adapun persyaratan apabila di ayak adalah sebagai berikut ini.
 - a) Harus minimum 2% berat ,sisa yang ada pada di atas ayakan 4 mm.
 - b) Harus minimum 10% berat, sisa yang ada pada di atas ayakan 1 mm.
 - c) Harus berkisar anantara 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 di akui

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 dimensi/satuan (Tjokrodimuljo, 2007). Menurut Tjokrodimuljo, (2007) agregat dibedakan menjadi tiga berdasarkan berat jenisnya seperti pada Tabel 2.32.

Tabel 2.7 Kategori berat jenis (Tjokrodimuljo, 2007)

Kategori	Nilai berat jenis	Contoh
Agregat ringan	< 2	<i>Pumice, diatomite, fly ash</i> , tanah bakar, dll.
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 BSN, (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)

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

2) Pengujian penyerapan 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 (BSN, 2008).

Analisis perhitungan penyerapan air menggunakan acuan SNI- 1970-2008 (BSN, 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)

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

3) Pengujian gradasi pada agregat halus

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

Tabel 2.8 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

4) Pengujian berat satuan pada agregat halus

Berat satuan merupakan berat agregat per satuan bejana (Tjokrodimuljo, 2007). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui volume campuran beton. Pengujian ini menggunakan standar acuan SNI-03-4804-1998 (DPU, 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/m³)

G= berat cetakan dengan isian agregat (kg)

T= berat cetakan (kg)

V= volume cetakan (m³)

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 (DPU, 1990). Analisis perhitungan kadar air dapat dilihat pada Persamaan 2.6 dengan acuan SNI-03-1971-1990 (DPU, 1990).

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

dengan:

W_3 = berat benda uji awal (gram)

W_5 = 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 (DPU, 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 2.16.

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

c. Agregat Kasar (Kerikil)

Dalam Dalam Departemen pekerjaan umum dan tenaga listik (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 di cuci.
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. Butiran 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 uji keausan agregat kasar *los angels*.
4. Tidak boleh mengandung zat-zat kimia yang dapat merusak agregat kasar.
5. Ukuran dari agregat kasar harus beraneka ragam, dengan syarat sebagai 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 komulatif di atas dua ayakan yang berurutan, minimum 10% berat dan maksimum 60% berat.

Berikut merupakan beberapa pengujian yang dilakukan pada agregat kasar atau batu pecah.

8) 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 (BSN, 2008), dengan tata cara perhitungan seperti pada Persamaan 2.8- 2.10.

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

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

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

dengan :

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

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

C= berat benda uji di dalam air (gram)

9) 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 (BSN, 2008). Tata cara perhitungan penyerapan air seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 2.6.

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

dengan:

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

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

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

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 (BSN, 2008), dengan metode perhitungannya seperti pada Persamaan 2.12. Hasil pengujian *Los Angeles* harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, seperti yang ditampilkan oleh Tabel 2.34.

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

dengan:

a= berat benda uji awal (gram)

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

Tabel 2.9 Persyaratan kekuatan pada agregat kasar (Tjokrodimuljo, 2008)

Kelas dan mutu beton	Maksimum agregat yang hancur dari mesin <i>Los Angeles</i> , lolos ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I mutu B0 dan B1	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

11) 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 (DPU, 1990) dengan metode perhitungan kadar air seperti pada Persamaan 2.13.

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

dengan:

W_3 = berat awal benda uji (gram)

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

12) 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 kg/m^2 . Pengujian ini menggunakan acuan SNI 03-4804-1998 (DPU, 1998) dengan metode perhitungan menggunakan Persamaan 2.14.

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

dengan:

G = berat agregat kasar dan bejana (kg)

T = berat bejana (kg)

V = volume bejana (m^3)

13) 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 (DPU, 1989) dengan metode perhitungan menggunakan Persamaan 2.15.

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

Dengan:

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

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

d. Air

Dalam Departemen pekerjaan umum dan tenaga listik (1971), air dalam pembuatan dan perawatan beton tidak mengandung asam, minyak, alkali, garam, bahan organis atau bahan lain yang dapat merusak beton. Sebaiknya menggunakan air yang dapat di minum.

Dalam pembuatan beton air merupakan bahan dasar yang penting dengan harga yang paling murah. Air digunakan untuk bereaksi dengan semen, dan dapat mnjadi 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 dap merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
2. Air tidak mengandung lumpur (benda melayang) lebih daru 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.

2.2.2. 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 (BSN, 1990). Pengujian ini dapat digunakan untuk pekerjaan berikut ini.

- a. Pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembutan beton.
- b. Membuat rancangan campuran beton.

Ada beberapa cara perhitungan dalam pengujian kuat tekan beton, perhitungan tersebut seperti yang tertulis pada persamaan (2.1).

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

dengan :

A = Luas penampang (cm²)

P = Beban maksimum (kg)

Menurut Tjokrodimuljo (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 2.6.

Tabel 2.10 Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya (Tjokrodimuljo, 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. Stiuasi pengecoran yang dipengaruhi lingkungan setempat.

2.2.3. Grout

Slurry semen yang di injeksikan ke dalam pipa-pipa, retak-retak, dan lubang-lubang lainnya disebut *grout*. Bisa juga untuk pelindug beton di samping bangunan yang tak tembus air. Pasir juga bisa digunakan jika volumenya besar. Admixture mineral, seperti bentonite dan abu-terbang, bahan tersebut ering digunakan untuk bahan kecairan. Adimixeture juga dapat digunakan untuk menambah daya lekat, mengurangi kadar air dan untuk mengendalikan waktu pengikatan. Adimixeture bisa ditambahkan untuk melawan susut juga. Bahan penyusun campuran *grout* adalah air dan semen. Senyawa utama yang di miliki semen yaitu: trikalsium silikat (Ca_3SiO_5), dikalsium silikat (Ca_2SiO_4), trikalsium aluminat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), dan tetrakalsium aluminoferrit ($2\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$). Secara termodinamis Senyawa kimia dari semen bila dicampurkan dengan air tidak stabil, sehingga cenderung bereaksi ketika

dicampurkan. Reaksi hidrasi semen awalnya cepat setelah itu akan semakin lambat. Sifat eksotermik reaksi hidrasi menandakan panas yang dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen. C_3S (*alite*) C_2S (*belite*) merupakan senyawa yang memiliki sifat perekat dalam kandungan semen (Nugraha dan Antoni, 2004).

Metode *grouting* pada pengujian ini adalah metode yang dilakukan dengan cara menyuntikan bahan *grout* kedalam suatu rongga atau retakan pada beton, metode *grouting* memiliki kelebihan dan kekurangan, antara lain untuk kelebihan dari metode ini yaitu bahan yang lebih encer lebih mudah diinjeksikan ke dalam sebuah lubang atau retakan dengan tujuan dapat mencegah korosi dan penyusutan. Setelah itu kelemahan dari metode *grouting* adalah bahan yang digunakan lebih mahal dibandingkan semen pada umumnya, dan bahan sulit untuk dicari karena tidak semua toko material menjualnya.