

## **BAB II.**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Penelitian mengenai penggunaan *chemical admixture* pada beton sudah banyak dilakukan, diantaranya adalah pengaruh bahan tambah *plastiment-VZ* terhadap sifat beton (Maricar dkk., 2013), analisis pengaruh penambahan *sikament-NN* terhadap karakteristik beton (Winayati dan Megasari, 2017). Penelitian tentang *curing* (perawatan beton) yang dilakukan pada beton, diantaranya adalah pengaruh suhu *curing* beton terhadap kuat tekan beton (Mooy dkk., 2017), perbandingan kuat tekan antara beton dengan perawatan pada *elevated temperature* & perawatan dengan cara perendaman serta tanpa perendaman (Angjaya dkk., 2013), analisis pengaruh temperatur terhadap kuat tekan beton (Ahmad dkk., 2009), kajian kuat tekan beton pasca bakar dengan dan tanpa perendaman berdasarkan variasi mutu beton (Cornelis dkk., 2014), pemulihan kekuatan tarik belah beton dengan variasi durasi perawatan pasca bakar (Sutapa dkk., 2011), kinerja beton mutu tinggi dengan *elevated temperature* (Bastami dkk., 2011), dan pengaruh variasi suhu pada perawatan *elevated temperature* terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton (Kullit dkk., 2013). Jurnal lain yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini, diantaranya adalah permodelan beton menggunakan *Abaqus* (Chaudhari dan Chakrabarti, 2012) dan permodelan menggunakan *Abaqus* keretakan plat PCC (Loannides dkk., 2006).

##### **2.1.1. Penelitian Terdahulu**

Menurut Maricar dkk., (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Bahan Tambah *Plastiment-VZ* Terhadap Sifat Beton” disebutkan bahwa bahan tambah yang digunakan adalah *chemical admixture* yang diproduksi oleh PT. Sika Indonesia dengan jenis D, yaitu bahan tambah kimia untuk pengurang air dan pelambat waktu pengikatan beton (*Water Reducing and Retarder Admixture*). Pada penelitian ini, penguji membuat sampel uji dengan silinder ukuran 15 cm × 30 cm dengan menggunakan campuran semen tonasa,

pasir sungai palu, batu pecah sungai labuan dan air bersih yang diambil dari Laboratorium Bahan Bangunan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Taduluko. Metode yang dipakai dalam pemakaian *admixture* ini adalah campuran *Plasticizing*, yaitu mencampur terlebih dahulu *Plastiment-VZ* secara langsung kedalam campuran air setelah itu baru agregatnya. Mutu beton yang direncanakan dalam penelitian tersebut adalah  $f'c : 25$  MPa sehingga nilai  $f'cr$  yang digunakan adalah 37 MPa dan nilai  $Fas$  yang digunakan adalah 0,5 dengan variasi penambahan *Plastiment-VZ* tanpa mengurangi volume air sebesar 0%; 0,2%; 0,4%; dan 0,6% dari berat semen serta dibandingkan dengan variasi beton normal tanpa penambahan *admixture*. Dari variasi tersebut didapatkan nilai *slump* pada setiap variasi adalah 100 mm, 100 mm, 120 mm dan 150 mm. Peningkatan nilai *slump* dikarenakan adanya unsur kimia *polyhydroxy carbon salts* yang terkandung dalam *Plastiment-VZ* yang memberikan sifat *plasticizer* yaitu untuk meningkatkan kelecakan. Hasil pemeriksaan waktu ikat (*setting time*) pasta semen menunjukkan bahwa penambahan *Plastiment-VZ* dapat memperlambat waktu pengikatan semen, dengan diperlambatnya waktu ikatan awal secara otomatis memperlambat pula waktu ikatan akhirnya. Pengaruh *Plastiment-VZ* pada kuat tekan beton dengan variasi 0,6% dari berat semen yang digunakan dapat menunda pencapaian kekuatan beton pada umur dini (1-7 hari) yaitu sebesar 29,54% dari kuat tekan beton normalnya. Tetapi penambahan pada variasi 0,6% mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur dibuktikan dengan nilai kuat tekan sebesar 32,083 MPa pada umur 28 hari. Namun, penambahan *Plastiment-VZ* dengan variasi 0,2%; 0,4%; dan 0,6% tidak memberi pengaruh terhadap kuat tekan beton umur 28 hari. Dapat dilihat dari hasil kuat tekannya adalah 29,948 MPa; 30,951 MPa; dan 32,083 MPa dengan kuat tekan rata-rata beton normal 27,554 MPa, maka nilai kuat tekan tersebut tidak bisa mencapai nilai kuat tekan yang telah ditargetkan sebesar,  $f'cr : 37$  MPa.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah, kuat tekan rencana yang digunakan ( $f'c$ ) adalah 37,35 MPa dengan bahan tambah jenis *chemical admixture* yaitu *Plastocrete RT06* sebanyak 0,6% dan *Sikament-NN* sebesar 3% dari berat semen yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan

nilai  $F_{as}$  sebesar 0,41 yang diambil dari grafik hubungan nilai  $F_{as}$  dengan kuat tekan.

Menurut Winayati dan Megasari (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan *Sikament-NN* Terhadap Karakteristik Beton” disebutkan bahwa peneliti menggunakan bahan tambah *Plastiment-VZ* dan *Sikament-NN* pada beton, *Sikament-NN* merupakan *superplasticizer* yang sangat efektif dalam mengurangi jumlah air pada beton dan membantu menghasilkan kekuatan awal serta kekuatan akhir yang tinggi pada beton. *Sikament-NN* dan *Plastiment-VZ* adalah produk keluaran PT. Sika Indonesia. Peneliti merencanakan kuat tekan yang dibuat adalah K-300 ( $f'c = 24,9$  MPa) dengan menggunakan Semen dari PT. Semen Padang, Agregat kasar dari daerah Pangkalan, Agregat halus dari daerah Teratak Buluh dan Air yang digunakan dari Laboratorium *Batching Plant* PT. Mekar Abadi Mandiri Jalan Lintas Pekanbaru – Duri KM. 62. Adapun variasi *Sikament-NN* yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah 0%; 0,3%; 0,8%; 1,3%; 1,8%; dan 2,3% serta penggunaan *Plastiment-VZ* ditambahkan pada saat pengecoran awal yang diasumsikan untuk meningkatkan kelecakan (*workability*) selama di perjalanan. Perancangan beton menggunakan metode *Departement of Environment* (DOE) dengan cetakan silinder ukuran 15 cm × 30 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan benda uji pada variasi 0,3% dan 0,8% mengalami penurunan dibandingkan dengan benda uji yang tanpa penambahan *Sikament-NN*. Pada variasi 1,3% dan 1,8% beton mengalami peningkatan kuat tekan namun pada variasi 2,3% beton mengalami penurunan, akan tetapi kuat tekan tersebut tetap lebih besar daripada kuat tekan yang direncanakan. Berdasarkan analisis yang dilakukan peneliti dengan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) dapat dinyatakan bahwa terdapat interaksi atau perlakuan yang nyata antara kuat tekan beton dengan penambahan *Sikament-NN*.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah kuat tekan rencana yang digunakan ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa dengan menggunakan bahan tambah (*admixture*) jenis *chemical admixture* diantaranya, *Plastocrete RT06* dengan variasi 0,6% serta *Sikament-NN* dengan variasi 3% dari berat semen yang digunakan. Dalam penelitian ini beton akan mengalami

perawatan beton (*curing*) yang berbeda, yaitu dengan perendaman dan *elevated temperature*.

Menurut Mooy dkk., (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Suhu *Curing* Beton Terhadap Kuat Tekan Beton” disebutkan bahwa peneliti menggunakan benda uji beton dengan kuat tekan  $f'c$  : 17,5 MPa tanpa menggunakan tulangan dengan ukuran silinder 5 cm × 10 cm. Bahan material yang digunakan adalah semen portland berupa semen kupang, agregat kasar dari Takari dengan diameter maksimum 10 mm, agregat halus yang digunakan dari Takari dan air yang digunakan adalah air bersih. Untuk penggunaan suhu *curing*, peneliti menggunakan perawatan (*curing*) untuk beton normal dengan direndam dalam air dengan suhu 20° C - 30° C, untuk perawatan (*curing*) pada suhu rendah yaitu dengan memasukkan benda uji ke dalam *freezer* dengan suhu dibawah 10° C, serta untuk perawatan (*curing*) beton pada suhu tinggi dilakukan dengan metode *long cycle steam* selama 1 hari. Metode *long cycle steam* yang dilakukan selama 1 hari adalah dengan memasukkan beton ke dalam air dengan suhu 20° C - 30° C selama 2 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 80° C selama 5 jam, selanjutnya dinaikkan menjadi 100° C, setelah itu beton dimasukkan ke dalam air dengan suhu 20° C - 30° C, selanjutnya adalah pengujian tekan beton dengan mesin uji tekan. Hasil pengujian tekan beton yang diperoleh diantaranya adalah; untuk *curing* suhu normal 29° C didapat kuat tekan sebesar 23,85 MPa, untuk *curing* dengan suhu rendah -10° C didapatkan kuat tekan sebesar 26,29 MPa dan *curing* suhu tinggi dalam oven 87,5° C didapatkan kuat tekan sebesar 31,80 MPa. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwasannya kuat tekan beton yang lebih optimal terdapat pada kuat tekan beton yang di *curing* dengan suhu tinggi.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah, kuat tekan rencana yang digunakan ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa dan menggunakan cetakan silinder ukuran 15 cm × 30 cm. Beton yang akan dibuat akan ditambahkan zat tambah dengan jenis *chemical admixture* yaitu *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN*. Perawatan beton (*curing*) dilakukan dengan dua cara yaitu, dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* yang dilakukan yaitu dengan suhu 40° C selama 12 jam dengan oven dan beton tanpa di rendam kembali setelah dilakukan pengovenan.

Menurut Angjaya dkk., (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “Perbandingan Kuat Tekan Antara Beton Dengan Perawatan Pada *Elevated Temperature* & Perawatan Dengan Cara Perendaman Serta Tanpa Perendaman” disebutkan bahwasannya, peneliti menggunakan beberapa metode perawatan, diantaranya adalah; perawatan dengan perendaman, perawatan dengan di oven 1 hari tanpa perendaman, perawatan dengan di oven 1 hari dengan perendaman, dan tanpa perawatan. Benda uji yang digunakan memiliki kuat tekan rencana ( $f'c$ ) = 30 MPa dan benda uji berukuran 10 cm × 20 cm, benda uji tersebut dibentuk dari Semen Tonasa, pasir alam yang berasal dari Amurang, batu pecah yang berasal dari Airmadidi dan air yang digunakan berasal dari Sumur Fakultas Teknik Universitas Samratulangi, Manado. *Temperature* yang digunakan pada perawatan *elevated temperature* adalah suhu 60° C menggunakan oven dan dilakukan selama 24 jam. Pengujian kuat tekan pada benda uji dilakukan pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari pada setiap metode adalah; pada perawatan dengan perendaman sebesar 31,32 MPa, pada perawatan dengan di oven 1 hari tanpa perendaman sebesar 27,08 MPa, pada perawatan dengan di oven 1 hari dengan perendaman sebesar 28,61 MPa, dan beton tanpa perawatan sebesar 18,02 MPa. Dapat dilihat dari hasil tersebut bahwasannya, nilai kuat tekan yang diinginkan terdapat pada beton dengan perawatan dengan perendaman sebesar 31,32 MPa.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah, kuat tekan rencana yang digunakan ( $f'c$ ) adalah 37,35 MPa dan pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari, 21 hari, serta 28 hari. Beton dalam penelitian ini akan menggunakan formula khusus, yaitu dengan penambahan zat tambah (*admixture*) dengan jenis *chemical admixture*. *Chemical admixture* yang digunakan adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN* dengan variasi masing-masing yang digunakan sebesar 0,6% dan 3% dari berat semen yang digunakan. Setelah dilakukan pengadukan beton, perawatan beton (*curing*) yang diterima oleh beton ini diantaranya adalah, dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* pada beton didapatkan dengan menggunakan oven dengan suhu 40°C selama 12 jam, dan tidak direndam kembali setelah dioven

melainkan langsung dilakukan pengujian terhadap kuat tekan dengan umur yang telah ditentukan.

Menurut Ahmad dkk., (2009) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton” disebutkan bahwa peneliti menggunakan benda uji kubus dengan ukuran  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ . Peneliti membuat 100 benda uji, masing- masing benda uji sebanyak 10 buah untuk kubus normal (tidak dibakar) dan sisanya adalah kubus untuk dibakar dalam oven pada temperatur  $200^\circ \text{ C} - 600^\circ \text{ C}$  dengan interval kenaikan temperatur sebesar  $50^\circ \text{ C}$ . Komposisi campuran beton yang digunakan adalah 1 semen *portland* : 2 pasir : 3 batu pecah, campuran tersebut di masukkan ke dalam molen dan diaduk secara merata. Nilai *slump* yang didapat dari hasil adukan tersebut sebesar  $8 \text{ cm} - 10 \text{ cm}$ . Setelah benda uji berumur 24 jam dalam cetakan, cetakan tersebut kemudian dibuka dan dilakukan perawatan dengan direndam di dalam bak air selama umur beton 28 hari. Selanjutnya benda uji tersebut di simpan dengan suhu ruang selama kurang lebih 90 hari, setelah itu dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur  $200^\circ \text{ C} - 600^\circ \text{ C}$  dengan interval kenaikan temperatur  $50^\circ \text{ C}$  dan benda uji sisanya tidak dibakar karena digunakan sebagai benda uji pengontrol. Dari hasil campuran tersebut didapatkan kuat tekan beton normal berkisar  $229,58 \text{ kg/cm}^2 - 266,19 \text{ kg/cm}^2$ , pada temperatur  $200^\circ \text{ C}$  kuat tekannya menurun berkisar  $183,22 \text{ kg/cm}^2 - 242,53 \text{ kg/cm}^2$ , pada temperatur  $250^\circ \text{ C}$  kuat tekannya berkisar  $131,15 \text{ kg/cm}^2 - 209,96 \text{ kg/cm}^2$ , sedangkan pada temperatur  $300^\circ \text{ C}$ ,  $350^\circ \text{ C}$ ,  $400^\circ \text{ C}$  kuat tekannya berkisar  $139,42 \text{ kg/cm}^2 - 160,61 \text{ kg/cm}^2$ , serta terjadi penurunan yang signifikan pada temperatur  $450^\circ \text{ C}$  berkisar  $120,40 \text{ kg/cm}^2 - 138,24 \text{ kg/cm}^2$ , pada temperatur  $500^\circ \text{ C}$  kuat tekan yang dihasilkan berkisar  $76,96 \text{ kg/cm}^2 - 114,79 \text{ kg/cm}^2$ , pada temperatur  $550^\circ \text{ C}$  kuat tekan yang dihasilkan berkisar  $78,89 \text{ kg/cm}^2 - 107,82 \text{ kg/cm}^2$ , dan pada temperatur  $600^\circ \text{ C}$  kuat tekan yang dihasilkan berkisar  $62,11 \text{ kg/cm}^2 - 105,82 \text{ kg/cm}^2$ . Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwasannya kuat tekan beton mengalami penurunan pada kenaikan temperatur yang terjadi.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah, kuat tekan yang digunakan ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa dan benda uji yang digunakan adalah benda uji berbentuk silinder dengan ukuran  $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ . Beton yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bahan tambah

(*admixture*) dengan jenis *chemical admixture* yaitu *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN* dengan variasi masing-masing sebesar 0,6% dan 3% dari berat semen yang digunakan. Proporsi campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan tidak berdasarkan perbandingan seperti penelitian sebelumnya. Setelah dilakukan pengadukan beton, perawatan beton (*curing*) akan dilakukan dengan dua cara, diantaranya adalah dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* didapatkan dengan menggunakan bantuan oven dengan suhu 40°C selama 12 jam, setelah dioven benda uji tidak dilakukan perendaman kembali, melainkan langsung dilakukan pengujian terhadap kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Menurut Cornelis dkk., (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Kajian Kuat Tekan Beton Pasca Bakar Dengan dan Tanpa Perendaman Berdasarkan Variasi Mutu Beton” disebutkan bahwa peneliti menggunakan mutu beton rencana ( $f'c$ ) 15 MPa, 20 MPa, 22 MPa, dan 25 MPa dengan benda uji kubus ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan 3 perlakuan pada beton, diantaranya adalah; perlakuan standar, perlakuan beton pasca bakar dengan perendaman, dan perlakuan beton pasca bakar tanpa perendaman dengan masing-masing memiliki 9 sampel benda uji. Suhu yang digunakan untuk pembakaran beton sebesar 400° C selama 3 jam dan alat yang digunakan untuk pembakaran adalah tanur dengan kapasitas suhu berkisar 30° C - 3000° C. Untuk beton pasca bakar yang tidak di rendam, setelah beton dilakukan pembakaran selama 3 jam, beton tersebut di biarkan selama 2 hari di dalam suhu ruangan kemudian di uji kuat tekannya. Untuk beton pasca bakar yang dilakukan pembakaran, setelah beton di bakar maka beton tersebut dilakukan perendaman selama 14 hari lalu dibiarkan selama 2 hari di dalam suhu ruangan dan di uji kuat tekannya. Beberapa perlakuan tersebut memberikan pengaruh terhadap kuat tekan betonnya yang dapat di lihat dari hasil kuat tekan yang dihasilkan, untuk kuat tekan beton pada perlakuan standar mutu beton yang dihasilkan adalah; pada mutu beton 15 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 26 MPa, mutu beton 20 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 26,67 MPa, mutu beton 22 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 28,44 MPa, dan mutu beton 25 MPa

menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 29,84 MPa. Untuk nilai kuat tekan beton dengan perlakuan pasca bakar tanpa perendaman, pada mutu beton 15 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 24,89 MPa, mutu beton 20 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 25,78 MPa, mutu beton 22 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 28,67 MPa, dan pada mutu beton 25 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 30,52 MPa. kemudian nilai kuat tekan beton dengan perlakuan pasca bakar tanpa perendaman, pada mutu beton 15 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 19,41 MPa, pada mutu beton 20 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 22,37 MPa, pada mutu beton 22 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 24,15 MPa, dan pada mutu beton 25 MPa menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 25,85 MPa. Pada masing-masing perlakuan memberikan pengaruh terhadap kuat tekan betonnya yaitu untuk hasil beton dengan perlakuan standar memberikan nilai kuat tekan yang rata-rata semakin meningkat dan pada beton pasca bakar tanpa perendaman nilai kuat tekan beton yang dihasilkan mengalami peningkatan serta penurunan dibandingkan nilai kuat tekan beton dengan perlakuan standar. Penurunan dan peningkatan pada beton pasca bakar tanpa perendaman terjadi karena beton yang telah dibakar didiamkan selama 2 hari sehingga kemungkinan besar akan terjadi penyerapan air dari udara yang lembab, hal tersebut dapat dilihat dengan adanya peningkatan berat sampel pada beton. Nilai kuat tekan pada beton pasca bakar dengan rendaman memberikan hasil yang lebih rendah diantara yang lain. Penurunana pada beton pasca bakar dengan rendaman terjadi karena setelah beton di bakar, beton tersebut di rendam selama 14 hari, dari perendaman tersebut beton tidak terjadi reaksi kembali antara air dengan semen sehingga tidak terjadi pengikatan antara butiran dengan spesi. Dan perlu diketahui bahwasannya, kapur hasil pembakaran ditambahkan air maka akan mengembang dan mengalami retak-retak.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah, beton yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kuat tekan rencana ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa dan tidak memiliki variasi kuat tekan lainnya. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton dengan bentuk silinder berukuran 15 cm × 30 cm. Beton dalam penelitian ini menggunakan bahan

tambah (*admixture*) dengan jenis *chemical admixture*. *Chemical admixture* yang digunakan adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN* dengan variasi masing-masing sebesar 0,6% dan 3% dari berat semen yang digunakan. Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini sebanyak 6 buah dengan satu perlakuan, dan jumlah keseluruhan yang digunakan adalah 12 benda uji. Dari jumlah beton yang dibuat, maka dilakukan dua perlakuan terhadap beton. Perlakuan yang membedakan yaitu pada perawatan beton (*curing*) yang dilakukan, diantaranya dengan perendaman, dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* yang dilakukan yaitu dengan bantuan oven dengan suhu 40°C selama 12 jam, dan tidak dilakukan perendaman kembali setelah beton dioven. Dan setelah itu beton dilakukan pengujian terhadap kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton yang dilakukan pada umur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Menurut Sutapa dkk., (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “Pemulihan Kekuatan Tarik Belah Beton Dengan Variasi Durasi Perawatan Pasca Bakar” disebutkan bahwa peneliti menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm × 30 cm. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa perlakuan, diantaranya adalah: beton standar, beton pasca bakar, beton pasca bakar yang di rendam selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Untuk mendapatkan beton pasca bakar, benda uji tersebut dibakar dengan tungku pembakaran keramik BPPT. Pembakaran yang dilakukan yaitu pada suhu ruangan sebesar 27° C dengan suhu yang ditargetkan sebesar 800° C, dan pembakaran berlangsung selama 200 menit. Setelah dilakukan perlakuan tersebut, beton dilakukan uji tekan dengan hasil untuk kuat tarik belah rata-rata beton standar sebesar 3,357 MPa, untuk kuat tarik belah beton pasca bakar (tanpa perendaman) sebesar 1,061 MPa, untuk kuat tarik belah beton pasca bakar yang direndam selama 7 hari sebesar 2,170 Mpa, untuk kuat tarik belah beton pasca bakar yang direndam selama 14 hari sebesar 2,277 MPa, serta kuat tarik belah beton pasca bakar yang direndam selama 28 hari sebesar 1,895 MPa. Sedangkan pada beton yang terbakar dengan suhu 800° C yang dicapai dalam waktu 180 menit mengalami penurunan kuat tarik belah sebesar 2,296 MPa. Kemudian beton tersebut direndam guna memulihkan kuat tarik belah beton, selama perendaman air meresap ke dalam beton dan mengaktifkan kembali lekatan semen dengan agregat-agregat dalam beton.

Setelah beton dilakukan perendaman, beton tersebut mengalami penurunan masing-masing pada beton rendam selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sebesar 35,192%, 32,092%, dan 43,506% terhadap beton standar. Dari hal tersebut dapat dilihat bahwasannya, pemulihan beton pasca bakar dengan perendaman tidak mampu memberikan pemulihan beton mencapai kekuatan awal dari beton standar. Korelasi antara durasi peredaman dengan tingkat pemulihan kuat tarik belah beton pasca bakar yaitu, tingkat pemulihan optimum beton pasca bakar terjadi pada umur 14 hari dan setelahnya akan mengalami penurunan seiring bertambahnya umur perendaman pada beton pasca bakar.

Perbedaan pada penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah kuat tekan rencana beton ( $f'c$ ) yang digunakan sebesar 37,35 MPa dan menggunakan benda uji dengan bentuk silinder berukuran 15 cm  $\times$  30 cm. Beton yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bahan tambah (*admixture*) dengan jenis *chemical admixture*. *Chemical admixture* yang digunakan diantaranya adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN* dengan variasi masing-masing 0,6% dan 3% dari berat semen yang digunakan. Setelah dilakukan pengadukan beton, perawatan beton (*curing*) yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua cara, diantaranya dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari oven dengan suhu 40°C selama 12 jam dan tidak dilakukan perendaman kembali setelah beton dioven. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada umur beton 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Menurut Bastami dkk., (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “*Performance of High Strength Concrete at Elevated Temperatures*” disebutkan bahwa peneliti menggunakan ukuran silinder 150 mm  $\times$  300 mm dengan kuat tekan ( $f'c$ )  $>$  65 Mpa. Penelitian ini dilakukan guna untuk mengetahui pengaruh suhu tinggi pada sifat mekanis dan potensi kerusakan pada beton mutu tinggi. Pengaruh empat parameter yaitu, perbandingan faktor air semen ( $Fas$ ), perbandingan pasir, perbandingan *silica fume*, dan variasi jumlah penambahan *silica fume* dalam pengujian. Dalam pengujian ini, benda uji di panaskan dalam suhu 20° C – 800° C dengan menggunakan tungku pemanas. Beton dalam penelitian ini menggunakan bahan tambah yaitu *mineral admixture* yang

digunakan untuk menurunkan berat beton dan menambah kuat tekan beton. Hasil penelitian ini memberikan pengaruh peningkatan kualitas mutu yang cukup signifikan pada perbandingan faktor air semen, dan perbandingan agregat halus. Peningkatan rasio air pada beton dalam suhu ruang memberikan pengaruh penurunan kuat tekan beton mutu tinggi, namun pada suhu tinggi memberikan peningkatan kuat tekan yang relatif meningkat. Pada beton dengan *silica fume* dan tanpa *silica fume* terdapat perbedaan yang berpengaruh pada dua hal dalam beton, pertama memberikan kuat tekan yang meningkat pada beton normal dan tidak berpengaruh dalam peningkatan kuat tekan pada beton suhu tinggi, serta yang kedua adalah yang berhubungan dengan keretakan terjadi secara meningkat dalam beton. Untuk mendapatkan campuran yang optimal dari keempat parameter adalah, nilai faktor air semen 0,23 – 0,32, nilai perbandingan agregat halus 0,33 – 0,44, nilai perbandingan *silica fume* sebesar 4,8% - 13,6%, kemudian untuk variasi jumlah penambahan *silica fume* dalam pengujian sebesar 25 kg – 89 kg. Untuk mendapatkan campuran yang optimal tersebut, perencanaan yang dilakukan dengan menggunakan metode Taghuci yang dapat memberikan kesesuaian data dengan penelitian sebelumnya, namun untuk ketepatan suatu penelitian tergantung dalam rentang proses dengan parameter panjang berdasarkan tingkat yang telah dipilih. Penurunan kuat tekan adalah suatu ancaman, jika beton dipanaskan dalam suhu tinggi sebesar 800° C, dan dalam penelitian ini beton yang dipanaskan menunjukkan nilai aman karena kekuatan sisa campuran sesuai dengan perhitungan. Dalam pengujian ini dapat diketahui bahwasannya perbandingan faktor air semen meningkat akan memberikan pengaruh penurunan pada keretakan beton yang menggunakan tambahan *silica fume*. Pengaruh yang ditimbulkan dari penggunaan agregat halus serta agregat kasar terhadap derajat keretakan yang ditimbulkan cukup kecil. Campuran beton tanpa menggunakan *silica fume* tidak memungkinkan adanya penurunan kuat tekan seperti beton yang telah dipanaskan.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah, kuat tekan yang digunakan ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa dengan bentuk benda uji silinder yang berukuran 15 cm × 30 cm. Campuran beton pada penelitian ini menggunakan nilai  $Fas$  0,41 yang didapatkan dari grafik hubungan antara  $Fas$

dengan kuat tekan rencana serta bahan tambah (*admixture*) yang digunakan dengan jenis *chemical admixture*. *Chemical admixture* yang digunakan diantaranya adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN* dengan variasi masing-masing *chemical admixture* sebesar 0,6% dan 3% dari berat semen yang digunakan. Setelah dilakukan pengadukan beton, perawatan beton (*curing*) yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi dalam dua perlakuan, diantaranya adalah dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* didapatkan dari oven dengan suhu 40°C selama 12 jam, dan tidak dilakukan perendaman kembali setelah beton di oven. Setelah dilakukan perawatan beton, maka beton akan diuji kuat tekannya. Pengujian kuat tekan yang dilakukan yaitu pada umur beton 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Menurut Kullit dkk., (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “pengaruh variasi suhu pada perawatan *elevated temperature* terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton” disebutkan bahwa peneliti menggunakan benda uji silinder dengan dimensi 10/20 cm. Beton tersebut dirawat dengan perawatan *elevated temperature* dengan 3 variasi suhu yaitu 40°C, 50°C, dan 60°C. Perawatan benda uji dilakukan dengan memasukkan benda uji ke dalam oven selama 24 jam dengan variasi suhu yang telah ditentukan kemudian dibiarkan dengan suhu ruangan. Pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik belah beton yang diperoleh dengan perawatan *elevated temperature* dengan variasi suhu 40°C, 50°C, dan 60°C menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur 3 hari, sedangkan pada umur 28 hari menunjukkan semakin tinggi suhu perawatan yang digunakan maka nilai kuat tekan dan kuat tarik semakin rendah.

Perbedaan pada penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah kuat tekan rencana beton ( $f'c$ ) yang digunakan sebesar 37,35 MPa dan menggunakan benda uji dengan bentuk silinder berukuran 15 cm × 30 cm. Beton yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bahan tambah (*admixture*) dengan jenis *chemical admixture*. *Chemical admixture* yang digunakan diantaranya adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN* dengan variasi masing-masing 0,6% dan 3% dari berat semen yang digunakan. Setelah dilakukan

pengadukan beton, perawatan beton (*curing*) yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua cara, diantaranya dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari oven dengan suhu 40°C selama 12 jam dan tidak dilakukan perendaman kembali setelah beton dioven. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada umur beton 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Menurut Chaudhari dan Chakrabarti (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “*Modeling of Concrete for Nonlinier Analysis Using Finite Element Code ABAQUS*” disebutkan bahwa peneliti menggunakan bentuk benda uji kubus untuk permodelan yang digunakan. Permodelan ini dilakukan guna untuk mengetahui keretakan dan kerusakan plastis pada beton. Model benda uji adalah kubus dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm dengan tebal plat baja 25 mm yang diletakkan dibagian atas dan bawah kubus. Permodelan tersebut menggunakan beton dengan mutu beton ( $f'c$ ) 30 MPa, dengan nilai regangan ultimit sebesar 0,0035 dan nilai regangan pada tegangan putus sebesar 0,002. Pada penelitian ini, hasil permodelan pada keretakan beton memberikan kurva tegangan-regangan yang optimal pada *mesh* ukuran 25 mm dengan nilai-nilai kuat tekan beton sebesar 29,39 MPa dengan nilai regangan sebesar 0,0019 dan menunjukkan penurunan secara alami pada kurva yang terjadi. Pada permodelan kerusakan plastis, beton memperoleh kuat tekan sebesar 32,33 MPa dengan nilai regangan sebesar 0,00195 pada *mesh* ukuran 25 dan setelah itu grafik yang dihasilkan mengalami penurunan. Permodelan kerusakan plastis pada material beton melebihi dari perkiraan, dan keretakan yang terjadi memberikan perubahan nilai yang cukup signifikan pada kuat tekan yang direncanakan. Ukuran *mesh* pada pemodelan yang dilakukan di *Abaqus* memberikan pengaruh yang cukup penting pada kerusakan plastis beton. Ukuran *mesh* dapat menurunkan nilai kuat tekan dan mendekati kuat tekan yang telah direncanakan. Permodelan yang dilakukan pada penelitian ini memberikan nilai yang cocok dengan kuat tekan rencana yang telah direncanakan. Permodelan keretakan pada beton dengan permodelan kerusakan plastis pada beton memberikan nilai yang sama dan tidak melebihi dari perkiraan awal.

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah, kuat tekan rencana yang digunakan ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa dengan benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm  $\times$  30 cm. Nilai  $Fas$  yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0,41 yang didapat dari grafik hubungan antara nilai  $Fas$  dengan kuat tekan beton. Dan dalam penelitian ini perawatan beton (*curing*) yang dilakukan diantaranya, dengan perendaman dan dengan *elevated temperature*. *Elevated temperature* yang dilakukan didapat dari oven dengan suhu 40°C selama 12 jam, dan setelah dioven benda uji tidak dilakukan perendaman kembali. Kuat tekan benda uji dengan perendaman akan dijadikan pembanding oleh beton dengan *elevated temperature*. Dan pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari. Setelah didapatkan nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton, selanjutnya akan di modelkan dalam *software abaqus* guna untuk mengetahui besar nilai penurunan beton dengan *elevated temperature*.

Menurut Loannides dkk., (2006) dalam penelitiannya yang berjudul “*ABAQUS Model for PCC Slab Cracking*” disebutkan bahwa peneliti fokus pada penerepan *software finite element* dalam *software abaqus* untuk mengetahui keretakan slab pada beton PCC. Slab yang digunakan untuk permodelan yaitu dengan dimensi, panjang (L) = 240 in, lebar (W) = 120 in, dan tebal slab yang digunakan sebesar 6 in. Kemudian nilai-nilai lain yang dimasukkan dalam *software abaqus* diantaranya adalah, modulus elastisitas tanah dasar sebesar 200 psi/in, modulus elastisitas slab sebesar 4 Mpsi, nilai *poissons ratio* sebesar 0,15, kuat tarik slab sebesar 463 psi, gaya retak sebesar  $4,31 \times 10^{-4}$  kips/in, serta untuk beban tepi 12 in  $\times$  12 in dengan tekanan 100 psi, dengan nilai tegangan lentur maksimum sebesar 768 psi, dan nilai lendutan maksimum sebesar 40 mils. Analisis ini digunakan untuk menguji efek yang ditunjukkan dari parameter beban, ukuran takik, ukuran dari beban luasan dan ketebalan slab. Dari data-data yang telah dimasukkan dan dilakukan analisis dengan teliti menggunakan pendekatan *finite element nonlinear* pada slab perkerasan beton dapat dilakukan dengan kode yang tersedia secara komersial. Teori mekanika fraktur dapat digunakan sebagai langkah yang dapat mengarahkan pada arti kegagalan mekanis yang dapat dipercaya dan lebih realistis, dan akan mengatasi kelemahan fungsi penyaluran yang umumnya digunakan dalam perencanaan desain perkerasan jalan.

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan adalah kuat tekan yang direncanakan ( $f'c$ ) sebesar 37,35 MPa (K-450). Pasir yang digunakan adalah Pasir Progo, Sungai Progo dan Kerikil Clereng, Kulon Progo serta semen yang digunakan adalah Semen Tiga Roda. *Chemical admixture* yang digunakan adalah 0,6% *Plastocrete RT06* dan 3% *Sikament NN* dengan pengurangan penggunaan air sebanyak 25% dari kebutuhan pencampuran *mix design* normal. Dan dalam penelitian ini akan dilakukan perawatan beton (*curing*) dengan *Elevated Temperature* sebesar 40° C selama 12 jam didalam oven dan perawatan dengan rendaman. Kemudian beton dengan perawatan beton *elevated temperature* tersebut akan di analisis untuk menentukan penurunan kapasitas struktural dengan bantuan *software abaqus*.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Beton**

Beton merupakan campuran antara semen portland/semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, serta air dengan bahan tambah (*admixture*) yang membentuk massa yang padat, kuat serta stabil. Beton dibedakan menjadi 3 jenis, diantaranya adalah beton normal, beton berat, dan beton massa. Adapun berat isi masing-masing jenis beton, diantaranya adalah: beton normal mempunyai berat isi 2200 kg/m<sup>3</sup> – 2500 kg/m<sup>3</sup>, dan beton berat mempunyai berat isi >2500 kg/m<sup>3</sup>. Beton massa merupakan beton yang mempunyai ukuran penampang komponen besar, sehingga memerlukan perlakuan untuk mengatasi panas hidrasi dari semen serta menjaga perubahan volume yang dapat menimbulkan keretakan pada beton tersebut (BSN, 2012).

Menurut Mulyono (2004), beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya, yang terdiri dari semen hidrolik (*portland cement*), agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Karena susunan beton tersebut, beton dapat digunakan secara mudah dan dapat dibentuk dengan cara menempatkan campuran yang masih basah ke dalam cetakan beton sampai dengan terjadinya waktu pengerasan beton, namun apabila beton sudah mengeras maka bentuk beton sulit untuk dirubah.

Menurut Nawy (1990), beton memiliki beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kualitas beton. Adapun parameter yang dimaksud, sebagai berikut:

- a. kualitas semen yang digunakan,
- b. proporsi semen terhadap air dalam campuran,
- c. kebersihan serta kekuatan agregat yang digunakan,
- d. interaksi atau adhesi antara pasta semen serta agregat,
- e. pencampuran yang cukup dari bahan-bahan penyusun beton,
- f. penempatan yang tepat, penyelesaian, serta pemadatan beton segar,
- g. perawatan beton pada temperatur yang tidak  $< 50^{\circ}$  F pada saat beton hendak mencapai kekuatannya,
- h. kandungan klorida dalam beton tidak melebihi 0,15 % untuk beton yang di ekspos dan 1 % untuk beton yang terlindungi.

Menurut Mulyono (2004), beton dalam keadaan segar dapat dibentuk lebih mudah dan dapat digunakan untuk membentuk seni arsitektur atau untuk dekoratif sedangkan beton dalam keadaan yang mengeras bagaikan batu karang dan memiliki kekuatan tinggi, serta beton dalam keadaan mengeras sulit untuk dirubah. Oleh karena itu, beton memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Adapun kelebihan dari beton, sebagai berikut :

- a. beton dapat dengan mudah untuk dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi,
- b. beton mampu memikul beban yang berat,
- c. tahan terhadap suhu tinggi,
- d. beton memiliki biaya pemeliharaan yang murah.

Setelah memiliki berbagai kelebihan, beton juga memiliki beberapa kekurangan. Adapun kekurangan dari beton, seperti berikut ini.

- a. Apabila dalam keadaan mengeras, bentuk beton sulit untuk diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan beton membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Berat.
- d. Beton memiliki daya pantul yang besar.

Selain itu, penyusun beton memiliki sifat-sifat dan karakteristik yang dapat mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. Kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton, sebagai berikut :

- a. memenuhi kriteria konstruksi yaitu beton dapat dikerjakan secara mudah dikerjakan dan dibentuk, serta memiliki nilai ekonomis,
- b. kekuatan tekan beton,
- c. durabilitas atau keawetan.

Beton memiliki beberapa klasifikasi dalam hal kelas serta mutu beton, adapun pembagiannya berdasarkan PBI 1971 N.I-2 adalah seperti berikut ini.

- a. Beton kelas I

Beton kelas I merupakan beton untuk pekerjaan-pekerjaan nonstruktur. Pelaksanaan pada beton ini tidak memerlukan keahlian khusus, serta untuk pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan pada kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.

- b. Beton kelas II

Beton kelas II digunakan untuk pekerjaan struktur secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli. Beton kelas II dibagi menjadi beberapa mutu standar, diantaranya: B1, K125, K175, serta K225. Pada mutu standar B1, pengawasan yang dilakukan hanya dibatasi pada pengawasan sedang terhadap mutu bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan adanya pemeriksaan. Pada mutu standar K125, K175, dan K225, pengawasan mutu dilakukan secara ketat terhadap mutu bahan dengan mengahruskan pemeriksaan kuat tekan beton secara kontinyu.

- c. Beton kelas III

Beton kelas III digunakan untuk pekerjaan struktural di mana di pakai mutu beton dengan nilai kekuatan tekan karakteristik yang lebih tinggi dari  $225 \text{ kg/cm}^2$ . Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan dilakukan dibawah pimpinan tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap yang dilayani oleh tenaga ahli yang dapat melaksanakan pengawasan terhadap beton, secara kontinyu.

### 2.2.2. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan, yaitu  $f'c \geq 41,4$  MPa. Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kemampuan lebih dari beton normal dengan kuat tekan ( $f'c$ ) sebesar 40 MPa – 80 MPa berdasarkan benda uji standar dengan bentuk silinder dengan diameter 15 cm  $\times$  30 cm (BSN, 2000).

### 2.2.3. Bahan Penyusun Beton

#### a. Semen Portland

Menurut Mulyono (2004), semen portland merupakan salah satu bahan yang sering digunakan dalam pekerjaan beton. Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis serta digiling secara bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah yang lain (BSN, 2004).

Menurut Mulyono (2004), semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil dan pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat tersebut, komposisi semen dalam beton sekitar 10% namun karena fungsi semen sebagai bahan pengikat maka peranan semen dalam beton menjadi penting.

Semen portland memiliki sifat dan karakteristik tersendiri, untuk sifat-sifat semen portland dibedakan menjadi dua, diantaranya adalah sifat fisika dan sifat kimia. Sifat fisika yang dimaksud, diantaranya adalah: kehalusan butir (*fineness*), kepadatan (*density*), konsistensi, waktu pengikatan, panas hidrasi, perubahan volume (kekalan), dan kekuatan tekan. Untuk sifat kimia dalam beton, diantaranya adalah : kesegaran semen, sisa yang tak larut (*insoluble residue*), panas hidrasi semen, dan kekuatan pasta semen dan faktor air semen (*Fas*). Faktor air semen yang rendah akan menyebabkan air yang berada di antara bagian-bagian semen menjadi sedikit dan jarak yang terdapat

di antara butiran-butiran semen menjadi pendek. Oleh karena itu, massa semen lebih menunjukkan keterkaitannya (kekuatan awal lebih berpengaruh). Faktor air semen juga memiliki hubungan terhadap kuat tekan beton, apabila faktor air semen semakin besar maka kekuatan tekan beton akan menurun.

Berdasarkan (BSN, 2004) semen portland di bagi menjadi beberapa jenis berdasarkan jenis dan penggunaannya, adapun pembagiannya adalah seperti berikut ini.

- 1) Jenis I adalah semen portland yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Jenis II adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
- 3) Jenis III adalah semen portland yang penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi setelah terjadi pengikatan.
- 4) Jenis IV adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah.
- 5) Jenis V adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat yang tinggi.

b. Air

Menurut Mulyono (2004), air digunakan dalam pembuatan beton guna untuk memicu terjadinya proses kimiawi semen, membasahi agregat dalam beton dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Menurut Nawy (1990), air diperlukan dalam pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen yang berguna untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia yang lain, apabila digunakan dalam campuran beton maka dapat menurunkan kekuatan beton dan dapat mengubah sifat-sifat semen.

Berdasarkan (BSN, 2002) air yang digunakan adalah air yang memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Adapun persyaratannya adalah seperti berikut ini.

- 1) Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan lain yang merugikan beton ataupun tulangan.
- 2) Air yang digunakan pada beton prategang atau tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan beton tersebut.
- 3) Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan untuk campuran beton.

Air yang dibutuhkan untuk terjadinya proses penggabungan air dengan semen (hidrasi) yaitu sekitar 20% dari berat semen dalam beton. Penggunaan air dibatasi karena penggunaan air yang berlebih pada beton akan menurunkan kuat tekan beton.

#### c. Agregat

Menurut Nawy (1990), agregat merupakan komponen dalam beton yang menentukan besarnya beton. Pada beton terdapat sekitar 60% - 80% volume agregat. Agregat dalam beton sebaiknya bergradasi sedemikian rupa agar massa beton dapat berfungsi secara utuh sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, di mana agregat yang berukuran kecil dalam beton dapat mengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar.

Menurut Mulyono (2004), Indonesia merupakan negara berkembang dan posisi geografis serta geologis Indonesia terletak di daerah tropis, dan sebagian Indonesia terdapat jalur pegunungan berapi, maka Indonesia sangat kaya akan jenis-jenis batuan. Agregat dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan)., sedangkan agregat alam dan buatan dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (gradasi), dan tekstur permukaan agregat.

Menurut Nawy (1990), agregat dibedakan menjadi dua jenis, diantaranya adalah : agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahandari *blast-furnance*) serta agregat halus (pasir alami dan buatan). Agregat merupakan bahan yang terbanyak sebagai penyusun beton. Oleh karena itu, semakin banyak persen agregat yang digunakan maka semakin

murah harga beton dengan syarat beton masih cukup mudah untuk dikerjakan sebagai elemen struktur yang memakai beton tersebut.

#### 1) Agregat halus

Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang telah dihasilkan oleh industri pemecah batu dengan ukuran butir maksimum 4,75 mm / saringan No. 4 (BSN, 2008). Berdasarkan (BSN, 1989) agregat halus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah diatur. Adapun syarat-syarat untuk agregat halus yang dapat digunakan adalah :

- a) agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam serta keras,
- b) butir agregat halus bersifat kekal, yaitu tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca,
- c) tidak mengandung lumpur > 5%, apabila melebihi ketentuan tersebut maka agregat halus di cuci,
- d) tidak banyak mengandung zat-zat organik,
- e) modulus halus butir agregat halus sebesar 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai dengan standar gradasi. Gradasi butiran agregat halus memiliki batasan-batasan yang akan dijelaskan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Batas Gradasi Butiran Pasir (BSN, 1989)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir yang Lewat Ayakan			
	Zone 1 (Pasir Kasar)	Zone 2 (Pasir Agak Kasar)	Zone 3 (Pasir Agak Halus)	Zone 4 (Pasir Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	1-15

Menurut ASTM C.33 (dalam Mulyono, 2004 : 107), persyaratan untuk agregat halus yang boleh digunakan adalah:

- a) modulus halus butir agregat halus sebesar 2,3 – 3,1,

- b) kadar lumpur yang diijinkan untuk beton yang mengalami abrasi adalah 3%, sedangkan untuk beton jenis yang lain adalah 5%,
- c) kadar gumpalan tanah liat dan partikel lain yang mudah dirapikan dalam agregat halus sebesar  $\leq 3\%$ ,
- d) kandungan arang dan lignit pada beton ekspos maksimum 0,5% sedangkan pada beton yang lain maksimum 1%,
- e) kadar zat yang ditentukan dengan cara mencampurkan agregat halus dengan larutan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) sebanyak 3% dan tidak menghasilkan warna yang lebih tua dibandingkan dengan warna standar,
- f) tidak memiliki sifat alkali,
- g) kekalan agregat halus yang hancur karena penambahan natrium sulfat maksimum 10%, sedangkan dengan magnesium sulfat maksimum 15%,
- h) susunan gradasi harus memenuhi syarat seperti pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Berat dan Gradasi Benda Uji (Mulyono, 2004)

Lubang Ayakan (mm)		Berat Benda Uji (gram)		
Lewat	Tertinggal	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C
38,1	25,4	1250		
25,4	19,05	1250		
19,05	12,7	1250	1250	
12,7	9,51	1250	1250	
9,51	6,35			1250
6,35	4,75			1250

## 2) Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 4,75 mm (saringan No. 4) – 40 mm (saringan No.  $1\frac{1}{2}$  inci) (BSN,2008). Sedangkan menurut Nawy (1990) agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirnya melebihi  $\frac{1}{4}$  inci (6 mm). Sifat dalam agregat kasar memiliki pengaruh dalam kekuatan akhir

beton keras dan daya tahan terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral harus bersih dari bahan organik serta mempunyai ikatan yang baik dengan semen. Adapun jenis-jenis agregat kasar adalah sebagai berikut:

- a) batu pecah alami, yaitu bahan yang didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. batu pecah ini memberikan kekuatan yang tinggi terhadap beton, namun dalam pengerjaannya terdapat kesulitan serta dalam pengecoran dibandingkan jenis agregat lain,
- b) kerikil alami, yaitu kerikil yang didapat dari proses alami baik dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air yang mengalir. kerikil ini memberikan kemudahan dalam pengerjaan namun memberikan kuat tekan yang rendah terhadap beton,
- c) agregat kasar buatan, yaitu berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan dalam pembuatan beton berbobot ringan,
- d) agregat yang dipergunakan sebagai pelindung nuklir dan berbobot berat, agregat kasar yang diklasifikasikan dalam jenis ini adalah baja pecah, barit, magnetit, serta limonit. Beton yang menggunakan agregat ini, syarat ekonomis serta kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan.

Berdasarkan (BSN, 1989) agregat kasar yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah diatur. Adapun syarat-syarat untuk agregat kasar yang dapat digunakan adalah :

- a) agregat kasar terdiri dari butir-butir yang keras serta tidak berpori,
- b) agregat kasar bersifat kekal, yaitu tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca,
- c) kadar lumpur yang terdapat dalam agregat kasar  $\leq 1\%$ , apabila lebih dari syarat tersebut maka agregat kasar harus dicuci,
- d) agregat kasar tidak mengandung zat reaktif terhadap alkali,
- e) modulus halus butir agregat kasar sebesar 6 - 7,1 dengan variasi butir sesuai dengan standar gradasi.

#### d. Bahan Tambah

Menurut Nawy (1990), bahan tambah (*admixture*) merupakan bahan yang bukan air, agregat serta semen yang ditambahkan ke dalam campuran beton sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan tambah (*admixture*) adalah sebagai pengubah sifat-sifat beton agar sesuai dengan pekerjaan tertentu, ekonomis, atau untuk tujuan lain yaitu penghematan energi. Menurut Mulyono (2004), *admixture* adalah bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran. Sedangkan menurut (BSN, 1991) bahan tambah adalah bahan berupa bubuk atau cairan, yang dimasukkan kedalam campuran beton baik selama pengadukan dalam jumlah tertentu guna untuk mengubah beberapa sifatnya.

Bahan tambah kimia yang ditambahkan ke dalam beton lebih banyak sebagai pengubah perilaku pada saat pelaksanaan pengerjaan, jadi dapat disebut juga bahan tambah kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan agar memperbaiki kinerja pelakasana. Berdasarkan (ASTM, 1999), bahan tambah kimia di bedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya seperti berikut ini.

- a) Tipe A, "*Water-Reducing Admixture*" merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam pencampuran beton dengan konsistensi tertentu,
- b) Tipe B, "*Retarding Admixture*" merupakan bahan tambah yang digunakan untuk menghambat waktu pengikatan dalam beton,
- c) Tipe C, "*Accelerating Admixtures*" merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat pengikatan serta menaikkan kuat tekan awal beton,
- d) Tipe D, "*Water Reducing and Retarding Admixtures*" merupakan bahan tambah yang berfungsi ganda, diantaranya adalah mengurangi jumlah air dalam pencampuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal beton,
- e) Tipe E, "*Water Reducing and Accelerating Admixtures*" merupakan bahan tambah yang berfungsi ganda, diantaranya adalah mengurangi jumlah air dalam pencampuran beton dengan konsistensi tertentu serta mempercepat waktu pengikatan awal beton.

- f) Tipe F, “ *Water Reducing, High Range Admixture*” merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam pencampuran beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih,
- g) Tipe G, “ *Water Reducing, High Range Retarding, and Retarding Admixture*” merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam pencampuran beton dengan konsistensi tertentu, yaitu 12% atau lebih serta sebagai penghambat waktu pengikatan beton.

Bahan tambah (*admixture*) yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan tambah tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*” yaitu *Plastocrete RT06 Plus* dan bahan tambah yang digunakan adalah tipe A dan F “*Water Reducing, High Range Admixture*” yaitu *Sikament-NN*. Berdasarkan data teknis yang dikeluarkan oleh PT. Sika Indonesia terdapat karakteristik masing-masing produk, diantaranya seperti berikut ini.

a) *Plastocrete RT06 Plus*

Berdasarkan data teknis (PT. Sika Indonesia, 2016) *Plastocrete RT06 Plus* merupakan bahan tambah (*admixture*) beton yang dapat mereduksi penggunaan air pada pencampuran beton dan dapat mengontrol waktu pengerasan pada beton. *Plastocrete RT06* merupakan bahan tambah (*admixture*) yang masuk dalam ASTM C 494-92 *Type D*. Kegunaan dari bahan tambah ini (*admixture*) adalah untuk penuangan dalam volume besar, menghindari sendi dingin atau *cold joint*, penempatan yang sulit, pengangkutan yang panjang, serta beton yang mengandung getaran (*revibrated concrete*). Tingkat kesempurnaan pada campuran ini dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah : tingkat dosis yang digunakan, kualitas semen, kualitas agregat serta suhu. Dosis yang disarankan untuk penggunaan bahan tambah ini berkisar 0,2% sampai dengan 0,6% dari berat semen yang digunakan.

b) *Sikament-NN*

Berdasarkan data teknis (PT. Sika Indonesia, 2005) *Sikament NN* merupakan *superplasticizer* yang memiliki sifat mengurangi penggunaan air dengan jumlah yang besar serta dapat mempercepat pengerasan pada campuran beton. *Sikament NN* merupakan bahan tambah (*admixture*) yang

masuk dalam ASTM C 494-92 *Type A* dan *F*. Adapun kegunaan dari bahan tambah (*admixture*) ini sebagai *superplasticizer* dalam produksi beton yang mengalir (pelat dan pondasi, dinding/kolom dan dermaga, bangunan ramping dengan penulangan rapat, permukaan dengan *finishing* bertekstur) dan sebagai bahan pengurang air dengan kuat tekan awal tinggi (beton pra-cetak, beton pra-tekan, jembatan dan struktur penyangga, daerah dimana bekisting harus cepat dipindahkan atau segera dibebani). Keuntungan terhadap penggunaan bahan tambah ini sebagai *plasticiser* diantaranya adalah: *workability* meningkat tajam, mengurnagi jumlah getaran, dan dapat menurunkan risiko segregasi secara signifikan terhadap campuran beton. Sedangkan keuntungan sebagai bahan pengurang air, diantaranya adalah: pengurangan air sebanyak 25% akan memberikan peningkatan kuat tekan 28 hari sebanyak 40% serta kekuatan akan tinggi setelah 16 jam. Dosis yang disarankan dalam penggunaan bahan tambah *sikament-NN* adalah berkisar 0,6% sampai dengan 3% dari berat semen yang digunakan.

e. Perawatan Beton

Perawatan pada beton dilakukan apabila beton sudah mencapai *final setting*, yaitu beton telah mengeras. Perawatan pada beton dilakukan agar proses hidrasi pada beton tidak mengalami gangguan. Menurut Mulyono (2004) perawatan pada beton dilakukan untuk mendapatkan kuat tekan beton yang tinggi serta untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, dan stabilitas dimensi struktur.

Menurut Nawy (1990), proses hidrasi pada semen terjadi apabila ada uap air pada suhu  $> 50^{\circ}$  F. Apabila beton cepat mengering, maka beton akan mengalami keretakan di permukaannya dan keretakan pada beton dapat menurunkan kuat tekan beton. Kondisi perawatan yang baik pada beton dapat dicapai dengan menggunakan salah satu metode dibawah ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

- a) beton dibasahi secara terus menerus dengan air,
- b) beton di rendam dalam air,

- c) beton dilindungi menggunakan karung basah, film plastik, atau menggunakan perawatan yang tahan air,
- d) perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari beton yang basah,
- e) perawatan uap untuk beton yang dihasilkan dari pabrik, temperatur uap ini sekitar 150° F dan lama perawatan biasanya 24 jam.

#### 2.2.4. Pengujian Bahan

- a. Pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar

Berdasarkan (BSN, 1990) pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) pada agregat halus serta agregat kasar dengan menggunakan saringan. Analisis saringan agregat merupakan penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set ayakan, dan angka-angka yang digambarkan pada grafik pembagian butir. Dalam pengujian ini, data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mencari nilai modulus halus butir (MHB) agregat. Modulus halus butir adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengetahui ukuran kehalusan dan kekasaran butiran agregat. Berdasarkan (BSN, 1989) nilai modulus halus butir agregat halus adalah 1,5 – 3,8 dan untuk nilai modulus halus butir agregat kasar adalah 6 – 7,1. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai modulus halus butir adalah sebagai berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\text{Jumlah berat tertahan kumulatif (\%)}}{\text{Jumlah berat tertahan (\%)}} \dots (2.1)$$

Adapun cara pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar adalah sebagai berikut :

- 1) mengeringkan agregat yang akan diperiksa kedalam oven dengan suhu 110 ± 5° c sampai beratnya tetap, kemudian diambil beratnya sesuai dengan ketentuan untuk sampel,
- 2) mengatur ayakan menurut susunannya,
- 3) menyaring agregat dengan ayakan yang telah disusun dengan menggunakan *shave shaker machine* selama 15 menit,
- 4) menimbang butiran-butiran yang tertahan pada setiap saringan kemudian mencari modulus halus butirnya.

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat satuan volume suatu material terhadap berat air dengan volume sama pada suhu yang ditentukan. Sedangkan penyerapan air adalah penambahan berat dalam suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori agregat, namun belum termasuk air yang tertahan dalam permukaan agregat yang dinyatakan dalam persen dari berat keringnya (BSN, 2008). Dalam hal ini, dilakukan pengujian terhadap berat jenis curah kering, berat jenis curah (jenuh kering permukaan), berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan air. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungannya sebagai berikut ini,

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(B + S - C)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)} = \frac{S}{(B + S - C)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{(B + A - C)} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \left[ \frac{S - A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

A : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat piknometer berisi air (gram)

C : Berat piknometer dengan benda uji dan air (gram)

S : Berat benda uji jenuh kering permukaan (gram)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujiannya, sebagai berikut :

- 1) menyiapkan benda uji dengan kondisi jenuh kering muka sebesar  $500 \pm 10$  gram,
- 2) memasukkan benda uji ke dalam piknometer dan isi dengan air suling sampai 90%. kemudian mengguling-gulingkan untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap diantara butir-butir agregat halus,
- 3) menambahkan air suling pada piknometer sampai penuh agar gelembung udara terbuang, setelah itu ditimbang beratnya,

- 4) mengeluarkan pasir dari dalam piknometer, kemudian di keringkan sampai beratnya tetap dan dinginkan dalam desikator, setelah itu timbang beratnya,
- 5) mengisi piknometer kosong dengan air sampai penuh, kemudian timbang beratnya,
- 6) kemudian menghitung berat jenis curah kering, berat jenis curah (jenuh kering permukaan), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan air.

c. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat satuan volume suatu material terhadap berat air dengan volume sama pada suhu yang ditentukan. Sedangkan penyerapan air adalah penambahan berat dalam suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori agregat, namun belum termasuk air yang tertahan dalam permukaan agregat yang dinyatakan dalam persen dari berat keringnya (BSN, 2008). Dalam hal ini, dilakukan pengujian terhadap berat jenis curah kering, berat jenis curah (jenuh kering permukaan), berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan air. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungannya sebagai berikut ini,

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{A}{(B - C)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat Jenis Curah (Jenuh Kering Permukaan)} = \frac{B}{(B - C)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{A}{(B - C)} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \left[ \frac{B - A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

A : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat benda uji jenuh kering permukaan (gram)

C : Berat benda uji dalam air (gram)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujiannya, sebagai berikut :

- 1) menyiapkan benda uji dengan kondisi jenuh kering muka dengan berat benda uji minimum sesuai ketentuan, kemudian catat berat benda ujinya,

- 2) memasukkan benda uji ke dalam keranjang kawat, dan memasukkannya ke dalam air, kemudian menggerak-gerakkan keranjang kawat agar udara yang tersekap keluar dan mencatat beratnya dalam air.
- 3) kemudian menghitung berat jenis curah kering, berat jenis curah (jenuh kering permukaan), berat jenis semu (*apparent*), dan penyerapan air.

d. Pemeriksaan Kandungan Lumpur Agregat Halus dan Agregat Kasar

Kadar lumpur merupakan banyaknya bahan yang lolos dari saringan No. 200 setelah benda uji di cuci. Kandungan kadar lumpur yang diijinkan untuk agregat halus diantaranya adalah, agregat halus dengan kategori bersih (0% - 3%), sedang (3% - 5%), dan kotor (5% - 7%). Untuk kandungan kadar lumpur yang diijinkan pada agregat kasar adalah < 1% (BSN, 1996). Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan pada pengujian kadar lumpur adalah, sebagai berikut :

$$\text{Berat Kering Benda Uji Awal, } w_3 = w_1 - w_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Berat Kering Benda Uji Sesudah Pencucian, } w_5 = w_4 - w_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{Kadar Lumpur, } w_6 = \frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

$W_1$  : Berat benda uji kering + wadah (gram)

$W_2$  : Berat wadah (gram)

$W_3$  : Berat benda uji awal (gram)

$W_4$  : Berat benda uji setelah dicuci + wadah (gram)

$W_5$  : Berat benda uji setelah dicuci (gram)

$W_6$  : % bahan lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujiannya, sebagai berikut :

- 1) menyiapkan benda uji sesuai dengan ketentuan berat minimum benda uji, untuk berat benda uji agregat halus yang digunakan sebesar 500 gram, dan untuk berat benda uji agregat kasar sebesar 5000 gram,
- 2) memasukkan benda uji ke dalam wadah dan tambahkan air secukupnya sampai benda uji terendam,

- 3) menggoncang-goncangkan wadah yang berisi benda uji lalu menuangkannya ke saringan no. 200,
  - 4) mengulangi langkah (b) sampai dengan air cucian tidak keruh atau tampak jernih,
  - 5) memasukkan benda uji yang tersisa di saringan no. 200 ke dalam wadah dan dikeringkan ke dalam tungku pengering selama  $\pm 24$  jam,
  - 6) menimbang pasir yang telah kering tungku,
  - 7) menghitung kandungan kadar lumpur sesuai dengan persamaan 2.12.
- e. Pemeriksaan Kandungan Air Agregat Halus dan Agregat Kasar

Kadar air aregat merupakan perbandingan antara massa air dalam agregat dengan massa agregat yang telah kering dalam oven dan dinyatakan dalam satuan persen (BSN, 2011). Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan kadar air dalam agregat, sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air Total, } P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

P : Kadar air benda uji dalam satuan persen

$W_1$  : Berat benda uji awal (gram)

$W_2$  : Berat benda uji kering oven (gram)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujiannya, sebagai berikut :

- 1) menimbang benda uji sesuai dengan ketentuan berat minimum benda uji,
  - 2) memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5$  ° c selama 24 jam,
  - 3) kemudian dinginkan benda uji dan menimbang benda uji kering oven,
  - 4) menghitung kadar air yang terkandung dalam agregat sesuai dengan persamaan 2.13.
- f. Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

Keausan agregat merupakan perbandingan antara berat agregat yang hilang atau tergerus dengan berat awal agregat. Dalam pengujian ini digunakan alat mesin abrasi *Los Angeles* yang terbuat dari pelat baja dan berputar dengan kecepatan tertentu, serta didalamnya dimasukkan bola baja

sebagai beban untuk menggerus agregat (BSN, 2008). Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan keausan agregat kasar, sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{a - b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

a : Berat benda uji awal (gram)

b : Berat benda uji yang tertahan saringan No. 12 (gram)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujiannya, sebagai berikut :

- 1) mencuci dan mengeringkan agregat gradasi a pada suhu  $110 \pm 5$  ° c selama 24 jam sampai dengan berat tetap,
- 2) memasukkan benda uji dan bola baja ke dalam mesin abrasi los angeles,
- 3) memutar mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm; dengan jumlah putaran untuk agregat gradasi a sebanyak 500 putaran,
- 4) mengeluarkan benda uji setelah selesai diputar dalam mesin abrasi los angeles dan menyaring agregat dengan saringan no.12 (1,7 mm),
- 5) mencuci agregat yang tertahan dalam saringan kemudian di keringkan dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5$  ° c sampai berat tetap,
- 6) menimbang benda uji yang telah di oven,
- 7) menghitung keausan agregat sesuai dengan persamaan 2.14.

### **2.2.5. Slump Beton**

*Slump* merupakan penurunan permukaan beton yang diukur segera setelah kerucut terpancung diangkat. Nilai *slump* berkaitan dengan *workability*, yang berarti kemudahan dalam pengerjaan beton segar (BSN, 2008).

Menurut Manuahe dkk., (2014) pengujian *slump* adalah salah satu metode untuk mengetahui *workability* suatu campuran beton. Nilai *slump* merupakan nilai yang didapatkan dari hasil uji *slump* dengan cara memasukkan beton segar ke dalam kerucut terpancung, kemudian kerucut tersebut ditarik ke atas sehingga beton segar tersebut meleleh ke bawah. Nilai penurunan permukaan beton segar tersebut diukur, dan disebut nilai “*slump*”. Semakin besar nilai *slump* maka semakin encer beton dan dapat memberikan kemudahan dalam pengerjaan.

Menurut PBI - 1971 untuk mencegah terjadinya penggunaan adukan beton yang terlalu kental atau encer maka dianjurkan menggunakan nilai *slump* yang terletak pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Nilai *Slump* Untuk Berbagai Pekerjaan Beton (PBI, 1971)

Uraian	<i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi di bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal	7,5	2,5

### 2.2.6. Berat Isi Beton

Berat isi beton merupakan berat per satuan volume. Berat isi teoritis beton biasanya ditentukan di laboratorium dan nilainya di asumsikan tetap untuk semua campuran dengan komposisi dan bahan yang dibuat (BSN, 2008).

Berat isi beton dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara volume beton pengadukan yang telah dilaksanakan dengan volume beton perencanaan. Volume beton ini memiliki hubungan erat dengan rencana biaya untuk membuat suatu konstruksi yang diinginkan. Dalam hal ini, apabila nilai volume beton yang diuji sama dengan nilai volume perencanaan, maka pada pengadukan selanjutnya dapat menggunakan perbandingan bahan-bahan pengadukan yang pertama. Namun, apabila nilai volume beton yang diuji berbeda dengan nilai volume perencanaan, maka kebutuhan bahan yang digunakan harus dikoreksi dengan nilai perbandingan antara bobot isi yang diuji dengan bobot isi perencanaan. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan bobot isi beton, sebagai berikut :

$$\text{Berat Isi, } D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

D : Berat isi beton

$M_c$  : Berat wadah yang diisi beton

$M_m$  : Berat wadah

$V_m$  : Volume wadah

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujiannya, sebagai berikut :

- 1) menimbang wadah beton dan mencatat nilainya,
- 2) memasukkan adukan beton ke dalam wadah dalam 3 lapis. tiap-tiap lapis yang dimasukkan ke dalam wadah didapatkan dengan cara menusuk beton dengan tongkat penusuk sebanyak 25 kali secara merata. dan dalam penusukannya tongkat tidak diperbolehkan masuk sampai  $\pm 2,5$  cm di bawah lapisan beton,
- 3) mengetuk sisi wadah secara perlahan-lahan sampai dengan tidak terlihatnya gelembung udara dan rongga-rongga bekas tusukan pada permukaan beton,
- 4) meratakan permukaan beton,
- 5) menimbang wadah yang diisi beton dan mencatat beratnya,
- 6) menghitung berat isi beton dengan persamaan 2.15.

#### **2.2.7.Uji Kuat Tekan Silinder**

Kuat tekan beton merupakan besarnya nilai beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya tekan yang dihasilkan oleh mesin uji tekan (BSN, 1990). Untuk mengetahui besarnya kuat tekan beton yang telah mengeras yang disarankan, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton biasanya dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari serta 28 hari. Setelah dilakukan pengujian kuat tekan beton, maka dilakukan perhitungan berdasarkan SNI 1974:2011 yaitu dengan menggunakan persamaan 2.16.

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

P : Gaya tekan aksial (N)

A : Luas penampang melintang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Kuat tekan beton benda uji silinder : MPa atau  $\text{N}/\text{mm}^2$

#### **2.2.8.Modulus Elastisitas**

Menurut Rompas dkk., (2013) modulus elastisitas beton merupakan rasio antara tegangan normal tarik atau tekan dengan regangan. Modulus elastisitas beton tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan emen, kecepatan pembebanan, serta jenis dan ukuran dari benda uji.

Menurut Fiu (2015), modulus elastisitas disebut juga sebagai modulus. Thomas Young menemukan konsep baru pada tahun 1807 yaitu modulus elastisitas, modulus elastisitas (E) dapat digunakan untuk berbagai material padat yang merupakan rasio konstan antara tegangan dan regangan dengan persamaan 2.17.

$$\text{Modulus Elastisitas, } E = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\varepsilon)} \dots\dots\dots(2.17)$$

Menurut (LPMB, 1991) modulus elastisitas beton dapat dihitung berdasarkan nilai kuat tekan beton ( $f_c'$ ). Adapun rumus perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton berdasarkan kuat tekan beton yaitu dengan persamaan 2.18.

$$\text{Modulus Elastisitas Beton, } E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

$E_c$  : Modulus elastisitas beton (MPa)

$f_c'$  : Kuat tekan beton (MPa)

### **2.2.9. Permodelan Perkerasan Kaku Dengan *Software***

Menurut Fiu (2015), analisis perkerasan kaku dengan metode elemen hingga mulai digunakan pada awal tahun 1970-an. Terkait dengan kompleksitas lapisan perkerasan, permodelan material, serta kondisi pembebanan tidak ada solusi eksak yang dikembangkan dalam hal perhitungan tegangan, regangan, serta lendutan pada struktur perkerasan jalan. Metode pendekatan yang populer untuk menghitung tegangan, regangan, serta lendutan pada kondisi kompleks seperti hal tersebut, maka dapat digunakan Metode Elemen Hingga atau dapat disebut juga *Finite Element Method (FEM)*. Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menghitung banyak aspek penting dalam permodelan perkerasan jalan, seperti halnya perilaku non linier dari material perkerasan jalan, pembebanan secara statis dan dinamis, serta pengaruh dari temperatur.

Aplikasi metode elemen hingga banyak ragamnya, salah satunya adalah *software Abaqus*. Menurut Syarif dkk. (2017), *Abaqus* merupakan program simulasi teknik berdasarkan metode elemen hingga yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permodelan baik secara nonlinier ataupun linier. *Software Abaqus* memiliki fungsi untuk menyelesaikan permasalahan dalam permodelan dengan

respon statik, dinamik, *thermal*, listrik, serta elektromagnetik. Dalam program ini ada 3 langkah umum yang harus dilakukan untuk mensimulasikan satu model, diantaranya adalah memasukkan model baik secara dua dimensi atau tiga dimensi, proses analisis atau simulasi sesuai dengan permasalahan yang akan disimulasikan serta *output* dari permodelan tersebut adalah berupa gambar simulasi yaitu berupa kontur yang berbeda warna untuk menjelaskan kondisi serta modelnya, animasi dan grafik dari model tersebut.