

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

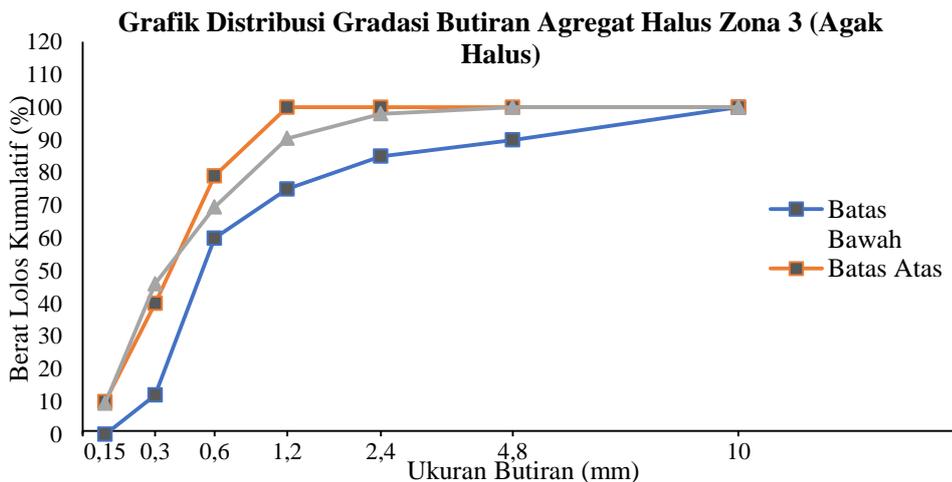
Pengujian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Adapun penjelasannya mengenai hasil setiap pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat yang digunakan adalah Pasir Progo yang berasal dari Sungai Progo. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Hasil pengujian analisis gradasi butiran

Berdasarkan hasil pengujian analisis gradasi butiran didapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 1,87. Menurut (BSN, 1989) modulus halus butir agregat halus adalah 1,5 – 3,8, maka MHB pada agregat halus yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Pasir yang telah diuji merupakan pasir yang agak halus dan termasuk dalam zona 3, serta hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 3.



Gambar 4. 1 Grafik hubungan antara ukuran butir agregat dengan berat lolos kumulatif.

b. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pada pengujian ini menggunakan agregat halus yang lolos saringan No. 4 atau 4,75 mm. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai berat jenis sebesar 2,31 dengan nilai penyerapan air sebesar 11,37%. Menurut Tjokrodimuljo (1996) agregat halus dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, untuk berat jenis agregat halus dengan kategori normal berkisar 2,3 – 2,7 dan berat jenis agregat halus yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 2,31 dan dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton. Sedangkan menurut (ASTM, 2001), nilai penyerapan air pada agregat halus berkisar 1% - 3%, namun penyerapan air yang diperoleh pada penelitian ini sebesar 11,37% yang menunjukkan bahwa agregat memiliki banyak pori yang nantinya akan menyerap air pada campuran beton. Untuk menghindari penyerapan yang berlebih, maka agregat halus yang digunakan dalam campuran beton harus berkondisi SSD (*saturated surface dry*). Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 5.

c. Hasil pengujian kadar lumpur

Berdasarkan hasil pengujian kadar lumpur agregat halus yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kadar lumpur sebesar 2,4%. Menurut (BSN, 1989) agregat halus tidak diperkenankan mengandung kadar lumpur lebih dari 5%. Oleh karena itu, agregat halus pada penelitian ini memenuhi ketentuan dan dapat digunakan dalam campuran beton. Adapun perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Lampiran 7.

d. Hasil pengujian kadar air

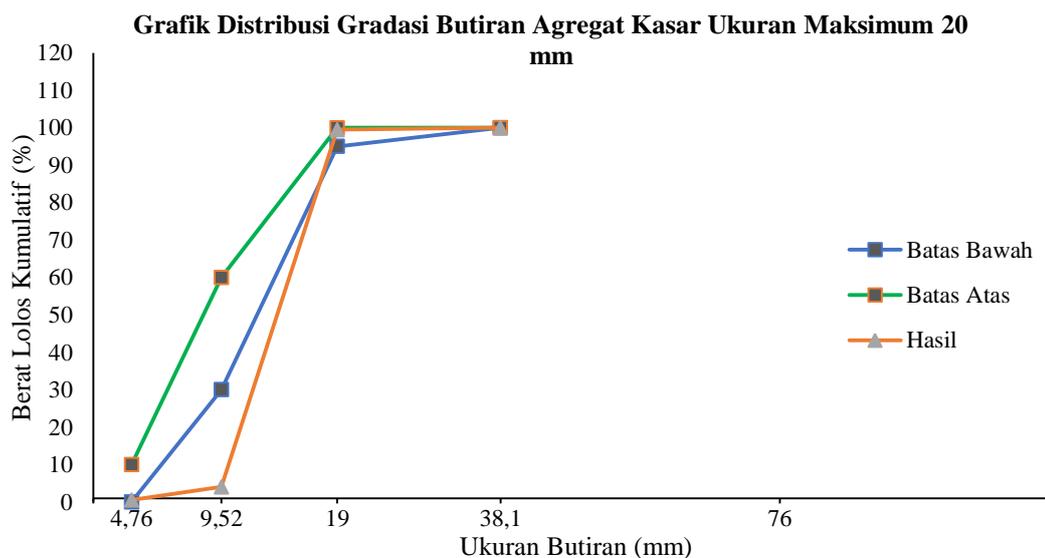
Berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat halus yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kadar air dalam agregat sebesar 1,63%. Menurut (BSN, 2000) nilai kadar air agregat halus tidak lebih dari 6,5%, maka agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi ketentuan dan dapat digunakan dalam campuran beton. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 9.

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat yang digunakan adalah Kerikil Clereng yang berasal dari Kulon Progo. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Hasil pengujian analisis gradasi butiran

Berdasarkan hasil pengujian analisis gradasi butiran didapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 6,96. Menurut (BSN, 1989) modulus halus butir agregat kasar adalah 6 – 7,1, maka MHB pada agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Kerikil yang telah diuji merupakan kerikil dengan ukuran maksimum 20 mm, dan hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 2 dan Lampiran 4.



Gambar 4. 2 Grafik hubungan antara ukuran butir agregat dengan berat lolos kumulatif.

b. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pada pengujian ini menggunakan agregat kasar yang lolos saringan $\frac{1}{2}$ '' atau 9 mm. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat kasar dan penyerapan air yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai berat jenis sebesar 2,51 dengan nilai penyerapan air sebesar 1,42%. Sedangkan menurut (ASTM, 1993) nilai berat jenis adalah 2,5 – 2,9 dan nilai penyerapan air pada agregat

kasar kurang dari 2%. Pada penelitian ini nilai berat jenis dan nilai penyerapan air pada penelitian ini memenuhi spesifikasi dan berat jenis agregat kasar lebih besar dari berat jenis agregat halus, maka agregat kasar dapat digunakan pada campuran beton. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 6.

c. Hasil pengujian kadar lumpur

Berdasarkan hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kadar lumpur sebesar 2,48%. Berdasarkan (BSN, 1989) kadar lumpur pada agregat kasar tidak lebih dari 1%, sedangkan agregat kasar pada penelitian ini melebihi batas ketentuan. Oleh karena itu, agregat kasar yang digunakan harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam pencampuran beton. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 8.

d. Hasil pengujian kadar air

Berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat kasar yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kadar air dalam agregat kasar sebesar 1,8%. Menurut (BSN, 2000) nilai kadar air agregat kasar tidak lebih dari 1,06%, dan nilai kadar air pada penelitian ini sebesar 1,8%, maka agregat kasar tidak memenuhi ketentuan. Oleh karena itu, perhitungan air dalam campuran beton harus diperhatikan. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 10.

e. Hasil pengujian keausan (*Los Angeles*)

Berdasarkan hasil pengujian keausan agregat kasar yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai keausan sebesar 20,3%. Menurut (BSN, 1989) persyaratan nilai keausan pada agregat kasar maksimal 40%, maka agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan tersebut. Adapun hasil perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran 11.

4.1.3. Hasil Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini, perancangan campuran beton mengacu pada SNI 02-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Perancangan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui komposisi serta proporsi bahan – bahan penyusun beton yang digunakan. Dalam penelitian ini, peneliti

menggunakan bahan tambah (*admixture*) dalam campuran beton dengan jenis *chemical admixture*, diantaranya yaitu *Sikament- NN* sebanyak 3% dari berat semen dan *Plastocrete RT06* sebanyak 0,6% dari berat semen yang digunakan. Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini sebanyak 12 benda uji dengan cetakan berbentuk silinder yang memiliki ukuran 15 cm × 30 cm. Perawatan yang dilakukan terhadap beton terbagi menjadi 2 jenis, diantaranya adalah: perawatan dengan cara perendaman, dan perawatan dengan cara perendaman kemudian diikuti dengan perawatan dengan *elevated temperature* yang didapatkan dengan cara mengoven beton pada suhu 40° C. Berdasarkan hasil dari *mix design* yang telah dilakukan dalam pembuatan benda uji dengan pengurangan air sebanyak 25% dari air yang digunakan, maka didapatkan hasil *mix design* untuk 1 m³ yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan hasil *mix design* untuk satu cetakan silinder standar ukuran 15 cm × 30 cm yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 12.

Tabel 4. 1 Kebutuhan bahan penyusun beton dengan cara perendaman dan beton *elevated temperature* untuk 1 m³

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Air	153,68	Lt
2	Semen	499,76	Kg
3	Kerikil	528,62	Kg
4	Pasir	981,72	Kg
5	<i>Sikament-NN</i> 3%	14,99	Lt
6	<i>Plastocrete RT06</i> 0,6%	3,00	Lt

Tabel 4. 2 Kebutuhan bahan penyusun beton dengan cara perendaman dan beton *elevated temperature* untuk 1 cetakan silinder

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Air	1,14	Lt
2	Semen	3,71	Kg
3	Kerikil	3,92	Kg
4	Pasir	7,28	Kg
5	<i>Sikament-NN</i> 3%	111,25	ml
6	<i>Plastocrete RT06</i> 0,6%	22,25	ml

4.1.4. Hasil Pengujian *Slump* Beton

Pengujian *slump* pada beton yang dilakukan mengacu pada SNI 1972:2008 tentang cara uji *slump* beton. *Slump* adalah salah satu cara untuk mengetahui *workability* suatu beton segar sebelum beton tersebut diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. *Workability* merupakan kemudahan memindahkan beton segar dari *mixer* menuju struktur atau objek yang akan dibebankan kepada campuran beton tersebut. Adapun hasil pengujian nilai *slump* yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian *slump*

No	Uraian	Nilai <i>slump</i> (cm)		Nilai <i>slump</i> rata-rata (cm)
		Percobaan 1	Percobaan 2	
1	Beton dengan cara perendaman	12	12	12
2	Beton dengan <i>elevated temperature</i>	11	9	10

Dalam penelitian ini dilakukan pecampuran beton selama 2 kali, untuk pertama dilakukan pencampuran beton dengan cara perendaman kemudian yang kedua adalah pencampuran beton dengan *elevated temperature*. Dapat dilihat pada Tabel 4.3 nilai *slump* pada masing-masing berbeda, perbedaan tersebut terjadi karena beberapa faktor yang terkandung diantaranya karena *human eror* saat pengadukan. Nilai *slump* pada masing-masing beton berbeda, sehingga nilai *setting time* tersebut juga memiliki perbedaan. Pemeriksaan *setting time* pada penelitian ini dilakukan dengan cara manual yaitu dengan cara pengamatan setelah beton dilakukan pencampuran hingga tahap pengerasan beton yang sudah tidak dapat di ubah lagi bentuknya atau kedudukannya. Adapun hasil pengujian *setting time* pada beton yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.4..

Tabel 4. 4 Hasil pengujian *setting time*

No	Uraian	Nilai <i>setting time</i> (menit)
1	Beton dengan cara perendaman	140
2	Beton dengan <i>elevated temperature</i>	125

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai *setting time* pada masing-masing beton berbeda. Perbedaan nilai *setting time* pada beton diperoleh karena nilai

slump pada masing-masing beton berbeda. Nilai *slump* diuji untuk mengetahui *workability* suatu beton, dan *workability* umumnya dapat digunakan untuk mengindikasikan beton segar masih dalam keadaan plastis atau tidak. Oleh karena itu, nilai *setting time* berbeda karena penentuan nilai *setting time* dilakukan sampai dengan beton mengeras dan tidak dapat di ubah lagi bentuknya serat kedudukannya. Nilai *setting time* pada beton normal sebesar 90 menit, namun dalam penelitian ini nilai *setting time* pada beton melebihi standar nilai *setting time* beton normal pada umumnya. Perbedaan nilai *setting time* beton normal dengan beton yang diteliti terjadi karena adanya penggunaan *chemical admixture* pada beton yaitu *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN*. *Plastocrete RT06* digunakan sebagai *water reducing* serta *set retarder*. Karena memiliki fungsi *set retarder* maka *setting time* yang terjadi dapat dikontrol. Hal tersebut sangat berguna ketika jarak tempuh lokasi proyek dengan *batching plant* terlampaui jauh.

4.1.5. Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Pengujian berat isi beton yang dilakukan mengacu pada SNI 1973:2008 tentang tata cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton. Pengujian ini dilakukan guna untuk mengetahui perbandingan antara volume beton pengadukan yang telah dilaksanakan dengan volume beton perencanaan. Adapun hasil perhitungan berat isi pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian berat isi beton

No	Uraian	Umur beton (hari)	Berat satuan beton segar (Kg)
1	Beton dengan cara perendaman	7	2,46
2		7	2,47
3		21	2,44
4		21	2,44
5		28	2,34
6		28	2,45
1	Beton dengan <i>elevated temperature</i>	7	2,41
2		7	2,45
3		21	2,46
4		21	2,46
5		28	2,50
6		28	2,35

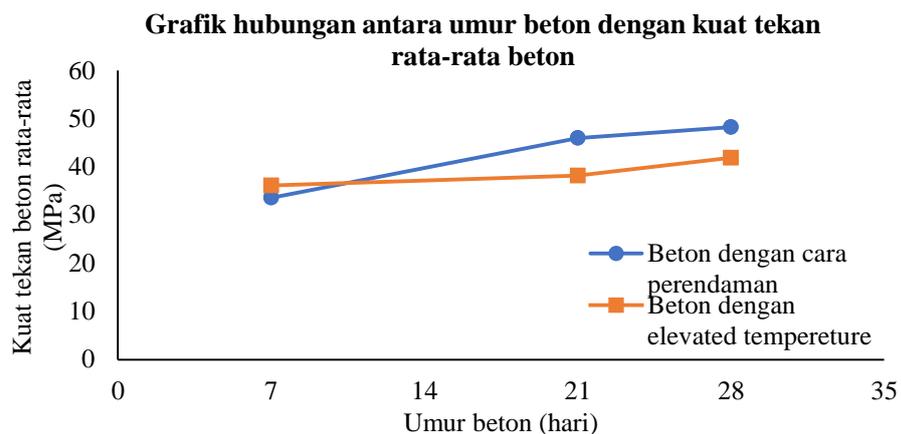
Dilihat dalam Tabel 4.5 nilai berat isi beton sangat bervariasi namun berat isi beton dalam perancangan campuran beton (*mix design*) yang digunakan sebesar 2215 Kg/m³. Nilai berat isi beton perencanaan lebih besar dari pada berat isi dalam percobaan karena berat isi yang diuji hanya dalam satu cetakan silinder standar yang berukuran 15 cm × 30 cm dan bukan dalam volume 1 m³. Apabila hasil dari berat isi beton percobaan kurang dari berat isi beton dalam *mix design*, maka kebutuhan bahan penyusun beton harus dikoreksi kembali agar didapatkan kebutuhan bahan yang sebenarnya.

4.1.6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada pengujian kuat tekan beton dengan penambahan *chemical admixture* yaitu *Sikament-NN* sebanyak 3% dari berat semen dan *Plastocrete RT06* sebanyak 0,6% dari berat semen yang digunakan dan terdapat pengurangan air sebanyak 25% serta beton mendapatkan perawatan yang berbeda, maka hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6. dan Gambar 4.3. Adapun hasil kuat tekan beton secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 13.

Tabel 4. 6 Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Uraian	Umur beton (hari)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1		7	28,35	
2		7	38,81	33,58
3	Beton dengan cara perendaman	21	48,1	45,98
4		21	43,86	
5		28	52,1	
6		28	44,43	
1	Beton dengan <i>elevated temperature</i>	7	37,46	36,15
2		7	34,84	
3		21	39,62	38,21
4		21	36,79	
5		28	40,13	
6		28	43,68	



Gambar 4. 3 Grafik hubungan antara umur beton dengan kuat tekan rata-rata beton

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.3, kuat tekan beton memiliki perbedaan, prosentase selisih kuat tekan tersebut adalah 13,18%, dengan kuat tekan beton dengan cara perendaman yang lebih tinggi. Nilai kuat tekan beton dengan cara perendaman dan dengan *elevated temperature* memiliki kenaikan yang cukup bagus dan dari kuat tekan tersebut beton dapat diklasifikasikan menjadi beton mutu tinggi ($f'c > 40$ MPa). Beton dalam penelitian ini memiliki kesamaan dalam hal material penyusun beton dan cara perancangannya, namun berbeda dalam hal perawatannya. Karena hal tersebut, beton dengan cara perendaman mengalami kenaikan kuat tekan dengan signifikan pada umur 21 hari dan beton dengan perawatan *elevated temperature* tidak terjadi kenaikan kuat tekan yang cukup signifikan pada masing-masing umur beton. Perubahan *temperature* pada beton dapat merugikan untuk beton itu sendiri. Beton akan mengembang ketika *temperature* naik dan akan menyusut ketika *temperature* turun. *Temperature* yang turun pada beton akan membuat terjadinya pengurangan volume pada beton dan akan menimbulkan retak-retak yang tidak diinginkan. Apabila pengurangan volume ini digabungkan dengan penyusutan yang terjadi karena kandungan air, pada struktur statis tak tentu deformasi akibat adanya perubahan *temperature* akan menyebabkan timbulnya tegangan yang besar dan membahayakan (Winter, G., dan Nilson, A. H., 1993)

Perbedaan nilai kuat tekan beton juga bisa terjadi karena campuran pada beton yang dibuat tidak homogen sehingga rongga pada beton cukup banyak dan dapat menurunkan kuat tekan beton. Dan perbedaan nilai kuat tekan beton yang

lain dapat disebabkan karena *human error*, serta perbedaan perawatan pada beton. Seperti yang telah dijelaskan diatas yaitu karena perbedaan *temperature* dapat menimbulkan penyusutan dan pengurangan volume sehingga terjadi retakan-retakan pada beton.

4.1.7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Penentuan nilai modulus elastisitas beton pada penelitian ini menggunakan rumus perhitungan modulus elastisitas yang tercantum dalam (LPMB, 1991) yaitu persamaan 2.18. Adapun hasilnya pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil pengujian modulus elastisitas beton

No	Uraian	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
1	Beton dengan cara perendaman	48,27	32652,32
2	Beton dengan <i>elevated temperature</i>	41,91	30425,01

4.1.8. Nilai Parameter Material Pada Permodelan

Input geometri yang dilakukan pada *software abaqus* berdasarkan ukuran yang telah direncanakan. Untuk *input* data permodelan ini berdasarkan data primer dan data sekunder. Berikut akan di tunjukkan data-data yang digunakan dalam permodelan ini. Adapun data untuk pengisian material beton sebagai material penyusun lapis permukaan yang digunakan pada *modul property* dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13.

Tabel 4. 8 Nilai Parameter Material Beton

Material	Parameter	Nilai	
		Beton Dengan Cara Perendaman	Beton Dengan <i>Elevated Temperature</i>
<i>Density</i>	(T/mm ³)	0,0000000024	0,0000000024
<i>Elastic</i>	<i>Young's Modulus</i> (MPa)	32652,32	30425,01
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,2	0,2

Tabel 4. 9 Parameter *Placticity* Beton (Panduan Permodelan Struktur Beton Bertulang Dengan *Abaqus*)

<i>Dilatation Angle</i> (Ψ)	<i>Eccentricity</i>	<i>Fko/Fco</i>	<i>K</i>	<i>Viscosity</i>
30	0,1	1,16	0,6667	0

Tabel 4. 10 *Compressive Behavior* (Panduan Permodelan Struktur Beton Bertulang Dengan *Abaqus*)

<i>Yield Stress</i> (MPa)	<i>Inelastic Strain</i>
11,47417	0
17,67084	0,00039
21,01294	0,00061
26,05119	0,00109
28,47684	0,00159

28,68542	0,00179
28,22981	0,00209
Tabel 4. 11 Lanjutan	
<i>Yield Stress (MPa)</i>	<i>Inelastic Strain</i>
25,53734	0,00259
14,34271	0,00354
6,05362	0,00459
3,49047	0,00559
0,93815	0,00959

Tabel 4. 12 *Concrete Compression Damage* (Panduan Permodelan Struktur Beton Bertulang Dengan *Abaqus*)

<i>Damage Parameter</i>	<i>Inelastic Strain</i>
0	0
0	0,00039
0	0,00061
0	0,00109
0	0,00159
0	0,00179
0,02	0,00209
0,11	0,00259
0,5	0,00354
0,79	0,00459
0,88	0,00559
0,97	0,00959

Tabel 4. 13 *Tensile Behavior* (Panduan Permodelan Struktur Beton Bertulang Dengan *Abaqus*)

<i>Yield Stress</i>	<i>Cracking Strain</i>
0,00959	0
2,10825	8,00E-05
1,99877	0,00013
1,94403	0,00015
1,82213	0,0002
1,34192	0,00039
1,01349	0,00052
0,79454	0,00061
0	0,00093

Tabel 4. 14 Concrete Tensile Damage (Panduan Permodelan Struktur Beton Bertulang Dengan *Abaqus*)

<i>Damaged Parameter</i>	<i>Cracking Strain</i>
0	0
0	8,00E-05
0,05	0,00013
0,08	0,00015
0,14	0,0002
0,36	0,00039
0,52	0,00052
0,62	0,00061
0,99	0,00093

Adapun data untuk pengisian material agregat kasar (kerikil) sebagai material penyusun lapis pondasi bawah yang digunakan pada *modul property* dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Nilai Parameter Material Agregat Kasar

Material	Parameter	Nilai
<i>Density</i>	(T/mm ³)	0,0000000018
<i>Elastic</i>	<i>Young's Modulus</i> (MPa)	137,2931004
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,3

Adapun data untuk pengisian material tanah sebagai material penyusun *subgrade* yang digunakan pada *modul property* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Nilai Parameter Material Tanah

Material	Parameter	Nilai Parameter
<i>Elastic</i>	<i>Young's Modulus</i> (MPa)	58,3145886
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,3
	<i>Angle of Friction</i>	5
<i>Drucker Prager</i>	<i>Init Tension</i>	0,05
	<i>Dilation Angle</i>	5
<i>Drucker Prager Hardening</i>	<i>Yield Stress</i> (MPa)	0,005
	<i>Abs plastic Strain</i>	0

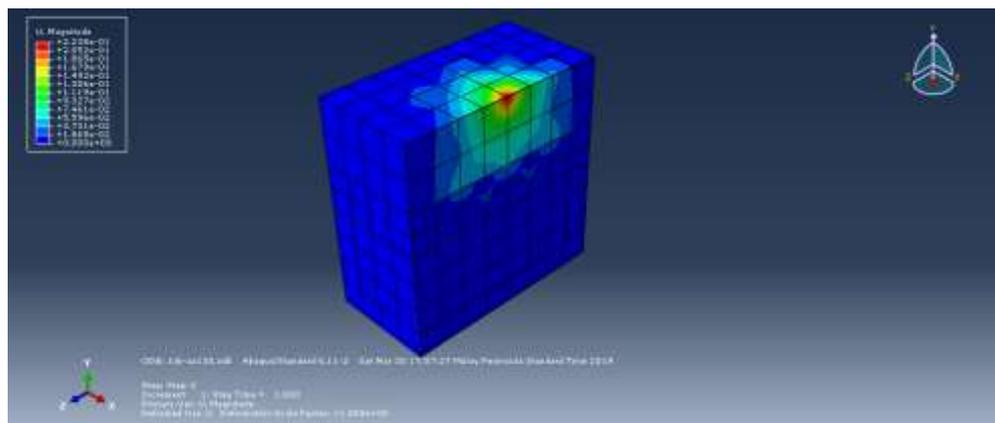
4.1.9. Model Perkerasan Kaku Pada *Software Abaqus*

a. Perkerasan kaku menggunakan beton dengan cara perendaman

Nilai kuat tekan beton dalam penelitian ini didapat dari pengujian laboratorium, kemudian dilakukan analisis dengan *software abaqus* untuk mengetahui nilai penurunan yang terjadi ketika diberikan beban dari muatan sumbu terberat pada jalan kelas 1. Kuat tekan beton dengan cara perendaman yang didapatkan sebesar 48,27 MPa, dan nilai modulus elastisitas beton tersebut sebesar 32.652,32 MPa. Setelah di analisis dengan *software abaqus*, nilai penurunan yang terjadi sebesar 0,22355 mm yang telah dibebani 98066,5 N yang setara dengan 10 Ton dengan *mesh* 130. Penentuan *mesh* dilakukan berdasarkan analisis konvergensi dari beberapa data *mesh* guna mengetahui *mesh* yang tepat. Adapun data analisis konvergensi dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan grafik analisis konvergensi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.4. Penurunan pada penelitian ini didapatkan berdasarkan permodelan yang telah dilakukan, nilai penurunan yang terjadi di lapangan bisa melampui nilai penurunan yang didapatkan dari permodelan ataupun sebaliknya. Nilai penurunan yang terjadi dengan menggunakan pelat beton dengan cara perendaman dapat dilihat pada Gambar 4.5. Adapun tampilan yang terjadi dalam *abaqus* dapat dilihat pada Gambar 4.6, dan Gambar 4.7. Nilai penurunan pada beton dengan cara perendaman dapat dilihat pada Lampiran 14.

Tabel 4. 17 Data analisis konvergensi beton dengan cara perendaman

No	Mesh	Jumlah Elemen			Total Jumlah Elemen	Beban Maksimum (N)	Penurunan Maksimum
		Lapis Permukaan	Lapis Pondasi Bawah	Subgrade			
1	70	784	588	1372	2744	98066,5	1,38062
2	90	432	288	864	1584	98066,5	1,26513
3	100	300	200	500	1000	98066,5	0,878589
4	110	300	200	500	1000	98066,5	0,878589
5	120	192	128	256	576	98066,5	0,289015
6	130	128	128	256	512	98066,5	0,223552
7	140	128	64	256	448	98066,5	0,220922
8	150	72	36	108	216	98066,5	0,112673
9	160	72	36	108	216	98066,5	0,112673
10	170	72	36	108	216	98066,5	0,112673



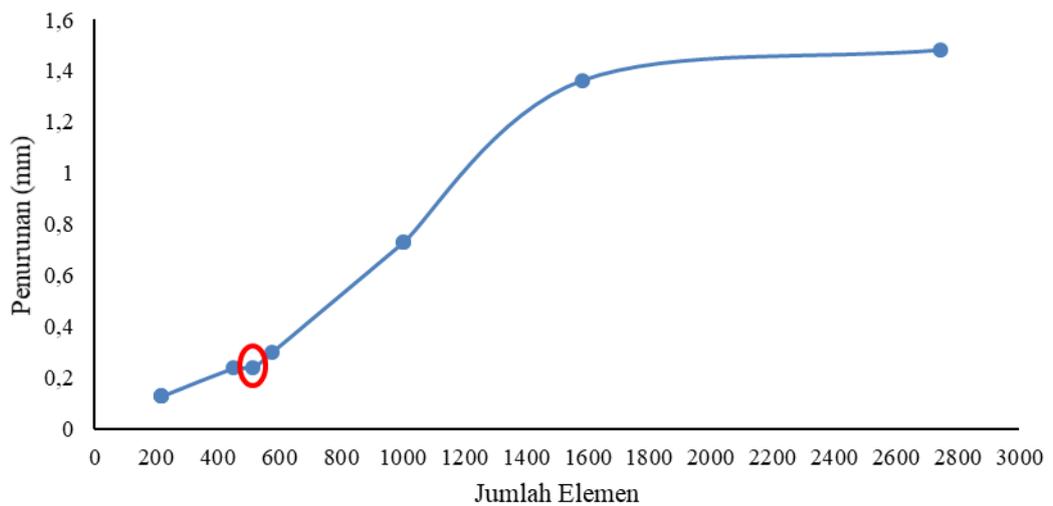
Gambar 4. 7 Tampilan penurunan pada model.

b. Perkerasan kaku menggunakan beton dengan *elevated temperature*

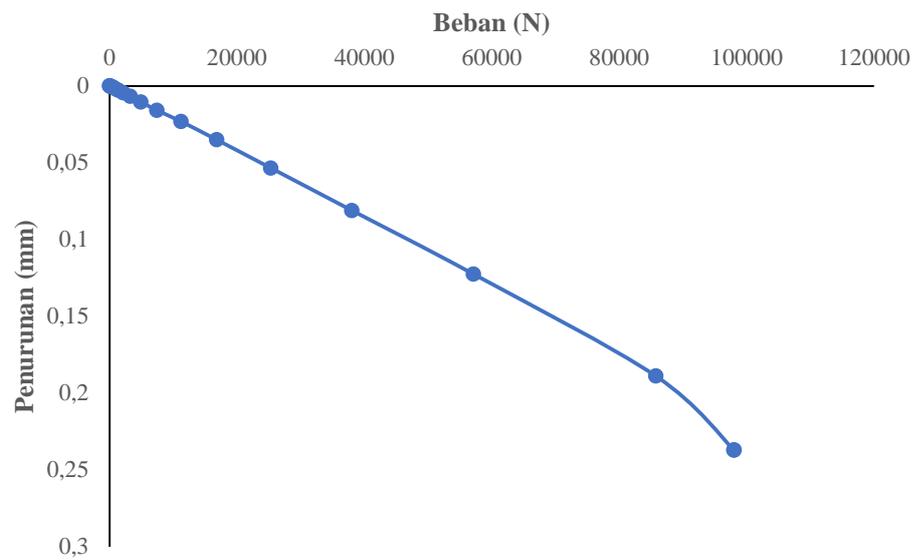
Nilai kuat tekan beton yang didapat dalam penelitian ini merupakan nilai yang didapat dari pengujian di laboratorium. Untuk beton dengan *elevated temperature* merupakan beton yang tetap dilakukan perendaman saat *curing* (perawatan beton) namun sebelum diuji tekan, beton tersebut dioven pada suhu 40°C selama 12 jam guna untuk mengetahui pengaruh suhu yang terjadi terhadap kuat tekan beton. Suhu 40°C merupakan suhu yang didapatkan dari pengujian di lapangan, yaitu temperatur perkerasan kaku. Nilai kuat tekan beton dengan *elevated temperature* sebesar 41,91 MPa dengan nilai modulus elastisitas yang didapat sebesar 30.425,01 MPa. setelah dilakukan analisis numerik dengan bantuan *software abaqus*, nilai penurunan yang terjadi menggunakan beton dengan *elevated temperature* sebesar 0,237242 mm dengan beban sebesar 98066,5 N yang setara dengan 10 Ton dengan *mesh* 130. Penentuan *mesh* dilakukan berdasarkan analisis konvergensi dari beberapa data *mesh* guna mengetahui *mesh* yang tepat. Adapun data analisis konvergensi dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan kurva analisis konvergensi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.8. Sedangkan penurunan pada beton dengan *elevated temperature* lebih besar dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada beton dengan cara perendaman, penurunan terjadi karena perbedaan kuat tekan beton yang ada. Nilai penurunan yang terjadi pada pelat beton dengan *elevated temperature* dapat dilihat pada Gambar 4.9. Adapun tampilan yang terjadi dalam *abaqus* dapat dilihat pada Gambar 4.10, dan Gambar 4.11. Nilai penurunan pada beton dengan *elevated temperature* dapat dilihat pada Lampiran 15.

Tabel 4. 18 Data analisis konvergensi beton dengan *elevated temperature*

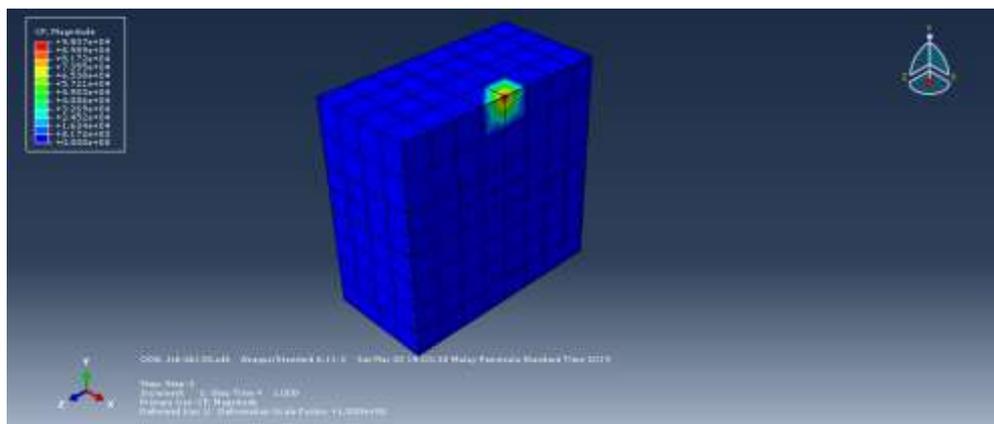
No	Mesh	Jumlah Elemen			Total Jumlah Elemen	Beban Maksimum (N)	Penurunan Maksimum
		Lapis Permukaan	Lapis Pondasi Bawah	Subgrade			
1	70	784	588	1372	2744	98066,5	1,48216
2	90	432	288	864	1584	98066,5	1,36393
3	100	300	200	500	1000	98066,5	0,728559
4	110	300	200	500	1000	98066,5	0,728559
5	120	192	128	256	576	98066,5	0,301335
6	130	128	128	256	512	98066,5	0,237242
7	140	128	64	256	448	98066,5	0,236341
8	150	72	36	108	216	98066,5	0,127951
9	160	72	36	108	216	98066,5	0,127951
10	170	72	36	108	216	98066,5	0,127951



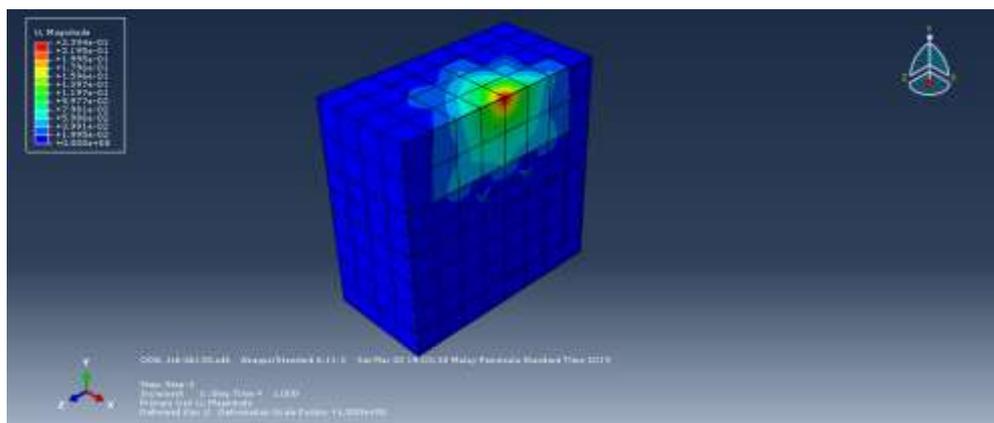
Gambar 4. 8 Grafik analisis konvergensi permodelan.



Gambar 4. 9 Kurva penurunan dengan beban hasil analisis numerik.



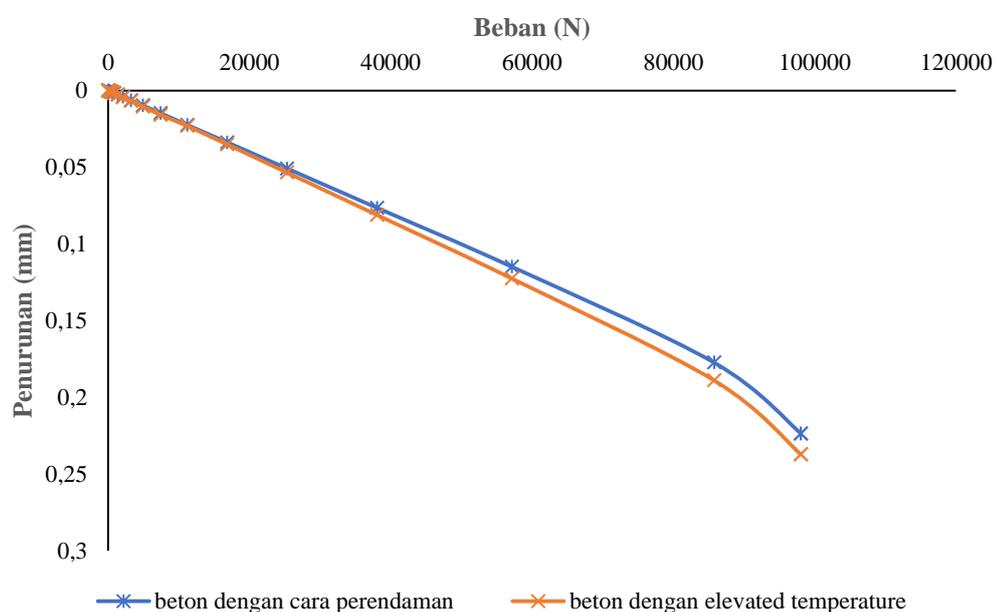
Gambar 4. 10 Tampilan model karena beban yang diberikan.



Gambar 4. 11 Tampilan penurunan pada model.

Berdasarkan permodelan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwasannya terdapat perbedaan nilai penurunan dari kedua beton tersebut. Nilai

kerusakan diambil dari nilai penurunan yang terjadi dalam permodelan yang telah dilakukan dengan *software abaqus*, nilai kerusakan yang didapatkan dapat melebihi nilai kerusakan yang terjadi di lapangan ataupun sebaliknya. Perbedaan perlakuan pada beton ini memberikan nilai kuat tekan yang berbeda, sehingga ketika akan di terapkan dilapangan akan memberikan dampak yang cukup signifikan, seperti halnya besar penurunan yang terjadi berdasarkan permodelan yang telah dilakukan. Perbedaan penurunan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Kurva penurunan dengan beban hasil analisis numerik pada kedua permodelan.

Penurunan yang terjadi pada beton menggunakan *chemical admixture* 0,6% *Plastocrete RT06* dan 3% *Sikament-NN* dengan cara perendaman serta pada beton dengan *elevated temperature* berturut-turut sebesar 0,22355 mm dan 0,237242 mm. Penurunan terbesar terjadi pada beton dengan *elevated temperature*, dengan beban yang diterima sebesar 98066,5 N yang setara dengan 10 Ton. Nilai kerusakan pada penelitian ini dilihat dari nilai penurunan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Karena hal tersebut, nilai kuat tekan beton sangat menentukan mampu atau tidaknya beton tersebut menopang beban yang diberikan dan akan berdampak terhadap nilai penurunan yang terjadi. Kuat tekan

beton memiliki peran penting dalam perkerasan kaku. Karena dalam perkerasan kaku, beban yang melintas akan dipikul secara langsung oleh plat beton tersebut.

4.2. Pembahasan

Menurut Winayati dan Megasari (2017) penambahan *Sikament-NN* memberikan interaksi atau perlakuan yang nyata terhadap kuat tekan beton. Sedangkan menurut Mooy dkk., (2017), suhu tinggi (80° C - 100° C) pada *curing* beton memberikan kuat tekan yang optimal. Pada penelitian ini beton menggunakan *chemical admixture Plastocrete-RT06* dan *Sikament-NN* yang masing-masing memiliki variasi yang sama disetiap betonnya yaitu 0,6% *Plastocrete RT06* dan 3% *Sikament-NN*. Kuat tekan yang terjadi pada masing-masing beton memiliki hasil yang berbeda karena campuran pada beton yang dibuat tidak homogen sehingga rongga pada beton cukup banyak dan dapat menurunkan kuat tekan beton. Selain itu, perbedaan dapat terjadi karena *human error* serta adanya perbedaan terhadap *curing* beton. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini bukan 80° C - 100° C, melainkan 40° C berdasarkan pengujian *temperature* lapis perkerasan kaku di lapangan secara langsung. Suhu yang digunakan tidak dalam *range* suhu tinggi seperti yang dijelaskan dalam Mooy dkk., sehingga kuat tekan yang terjadi tidak optimal. Prosentase selisih kuat tekan beton tersebut sebesar 13,18%, dengan kuat tekan beton dengan cara perendaman yang lebih tinggi. Menurut Angjaya dkk., (2013) kuat tekan beton yang dihasilkan dari beton dengan perawatan dengan cara perendaman, dengan perawatan dengan oven 1 hari tanpa perendaman, dengan perawatan dengan oven 1 hari dengan perendaman dan beton tanpa perawatan memiliki nilai kuat tekan yang sesuai hanya pada beton dengan perawatan dengan cara perendaman. Menurut Kullit dkk., (2013) kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton dengan perawatan *elevated temperature* dengan variasi suhu 40°C, 50°C, dan 60°C mengalami peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 3 hari, dan mengalami penurunan pada umur 28 hari.

Menurut Chaudhari dan Cakrabarti (2012) permodelan yang dilakukan berbentuk kubus dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm dengan menggunakan plat baja 25 mm yang diletakkan dibagian atas serta bawah kubus. Permodelan yang dilakukan menggunakan beton dengan kuat tekan 30 MPa.

Ukuran *mesh* pada permodelan yang dilakukan di *software abaqus* memberikan pengaruh yang cukup penting pada kerusakan plastis beton yang didapat. Sedangkan menurut Loannides dkk., (2006) permodelan yang dilakukan untuk mengetahui keretakan slab pada beton PCC dan nilai-nilai yang dimasukkan ke dalam *software abaqus* diantaranya adalah nilai modulus elastisitas tanah dasar, modulus elastisitas slab, poisson *ratio*, kuat Tarik slab, gaya retak slab, beban tepi, dan nilai lendutan maksimum. Dan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui efek dari parameter beban, ukuran takik, ukuran dari beban luasan dan ketebalan slab. Sedangkan penelitian yang sedang dilakukan oleh peneliti saat ini, permodelan yang digunakan tidak menggunakan plat baja yang di letakkan diatas dan dibawah permodelan. Permodelan yang dilakukan di *software abaqus* berbentuk benda uji kubus dengan dimensi 1000 mm × 1000 mm × 1000 mm dan nilai yang dimasukkan ke dalam *software abaqus* tidak seperti penelitian sebelumnya yang telah dilakukan. Setelah dilakukan analisis numerik, nilai penurunan sebagai indikator kerusakan yang terjadi pada permodelan ini memiliki nilai yang berbeda. Nilai penurunan yang terjadi pada masing-masing beton yaitu beton dengan cara perendaman dan beton dengan *elevated temperature* berturut-turut sebesar 0,22355 mm dan 0,237242 mm. penurunan terbesar terjadi pada beton dengan *elevated temperature* dengan besaram *mesh* 130. Beban yang diberikan pada permodelan ini berasal dari muatan sumbu terberat pada jalan kelas 1 sebesar 98066,5 N yang setara dengan 10 Ton. Dalam penelitian in, nilai penurunan yang didapatkan merupakan indikator kerusakan yang dicari. Oleh karena itu, beton dengan *elevated temperature* tetap cocok apabila diterapkan di lapangan, karena dalam penelitian ini beban yang diberikan dianggap sebagai beban terekstrim.