

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Beton digunakan secara luas sebagai konstruksi bangunan gedung, bangunan air, dan sarana transportasi di bidang teknik sipil. Beton merupakan bahan yang terbuat dari campuran bersifat homogen dengan perbandingan tertentu yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta ditambahkan pula bahan tambahan lainnya jika dianggap perlu (Syamsiyyah, 2008). Secara umum bahan tambah yang sering digunakan dalam beton dapat digolongkan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*) (Megasari, dan Winayati, 2017). Tujuan pemberian bahan tambah adalah untuk mengubah satu atau lebih dari sifat beton, sewaktu dalam keadaan segar atau setelah mengeras (Rahmad dkk., 2016). Selain menaikkan mutu beton, ekonomis, dan membantu kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*), serta pengontrolan beton yang baik (*setting time*).

Pada penelitian kali ini akan meneliti kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton mutu tinggi dengan pencampuran limbah baja (*slag*) sebagai substitusi agregat kasar. Penelitian ini juga menggunakan bahan tambah (*admixture*) *Plastocrete RT 06* dengan kadar 0,6%, dan *Sikament NN* dengan kadar 3% untuk menaikkan nilai *workability*, *setting time*, dan *durability*. Adapun variasi dari substitusi *slag* pada beton adalah 50% dan 100% dari volume penggunaan agregat kasar. Bahan tambah pada beton berfungsi mengurangi air dan waktu ikat untuk mendapatkan uji *slump* yang baik, *setting time*, dan *workabilty* agar mempermudah pengerjaan di lapangan.

##### 2.1.1. Penelitian Sebelumnya

Megasari dan Winayati (2017) dalam penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Sikament-NN Terhadap Karakteristik Beton”. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis pengaruh variasi persentase bahan tambah Sikament-NN terhadap karakteristik kuat tekan beton. Sikament-NN merupakan *superplasticizer* untuk membantu menghasilkan kekuatan awal dan kekuatan akhir

tinggi. Perancangan pembuatan beton menggunakan metode *Department of Environment* (DOE) dengan cetakan sampel berbentuk silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Mesin molen pengaduk (*molen*) diatur kecepatannya 25 putaran per menit dengan lama pengadukan tidak lebih dari 5 menit. Persentase penambahan *Sikament-NN* yaitu 0%, 0,3%, 0,8%, 1,3%, 1,8%, 2,3% total jumlah sampel 18 dengan masing-masing persentase 3 sampel dapat di lihat pada Table 2.1, Untuk hasil kuat tekan di lihat pada Table 2.2. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Kesimpulan dari hasil pengujian terhadap benda uji menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tekan beton dengan penambahan *Sikament-NN* sebesar 1,3% dan 1,8%.

Tabel 2.1 Rancangan Benda Uji (Winayati dan megasari, 2017)

Bahan Tambah	% Penambahan						Jumlah Sampel
	0	0,3	0,8	1,3	1,8	2,3	
Sikament NN	3	3	3	3	3	3	18

Tabel 2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (Winayati dan megasari, 2017)

% Sikamen NN	Berat Rata-rata (g)	Luas Rata-rata (cm <sup>2</sup> )	Beban Rata-rata (kN)	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )
0	12783,33	176,79	476,66	27,49
0,3	12161,66	176,79	398,33	22,98
0,8	12316,66	176,79	403,33	23,26
1,3	12511	176,79	610	35,18
1,8	12643,33	176,79	670	38,65
2,3	12405,33	176,79	580	33,45

Rahmad dkk. (2016) yang berjudul “Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah *Reduced Water* dan *Accelerated Admixture*”. Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan tambah *reduced water* dan *accelerated* terhadap campuran beton, dan mengetahui komposisi jumlah optimum untuk bahan tambah *reduced water* dan *accelerated* agar mendapatkan kuat tekan maksimumnya. Bahan tambah yang digunakan adalah *Bestmittel*. *Bestmittel*

merupakan bahan tambah yang berfungsi ganda mengurangi air dan mempercepat pengerasannya sehingga meningkatkan mutu atau kuat beton 5% - 10% pada usia awal beton (7 – 10 hari) dan mengurangi air 5% - 20% menjadikan beton lebih solid dan plastis. Metode penelitian dilaksanakan di Labor Teknik Sipil Universitas Balikpapan. Bahan yang digunakan ialah semen tipe I merk Gersik, agregat halus pasir palu, agregat kasar kerikil palu, air PDAM, dan *bestmittel*. Adapun pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan agregat halus, agregat kasar, semen, air, dan bahan tambah. Benda uji berbentuk silinder dengan ukuran Ø15 cm dan tinggi 30 cm. benda uji di buat dengan 3 variasi *bestmittel* yaitu 0,2% , 0,4% , dan 0,6% dari berat semen. Perawatan beton dengan melepas dari cetakan dan di rendam dalam bak perawatan agar selalu terjaga kelembapannya dari proses hidrasi semen. Hasil dari kuat tekan beton rencana awal  $f'c$  25 MPa dapat di lihat pada Tabel 2.3. Kesimpulan penelitian penggunaan *reduced water and accelerated admixture* yang baik pada umur 14 hari dengan kadar *bestmittel* 0,4%. Bahwa dengan kadar 0,4% beton mengalami kuat tekan sebesar 28,74 MPa, sedangkan penambahan 0,6% kuat tekan beton 25,50MPa.

Tabel 2.3 Hasil Rata-rata Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Dengan Bahan Tambah *Bestmittel* (Rahmad dkk., 2016)

Variasi Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)		
	7 hari	14 hari	28 hari
Beton Normal	19,02	21,61	25,61
0,2%	19,56	23,12	27,66
0,4%	20,74	28,74	29,50
0,6%	20,53	25,50	31,44

Mustika dkk. (2015) dalam penelitian yang berjudul “Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton” dengan tujuan mengetahui nilai *slump* beton segar dan sifat mekanik beton yang di buat dari terak nikel sebagai agregat pada campuran beton dengan membandingkan beton menggunakan agregat alami pasir dan kerikil. Metode pengujian yang dilakukan terhadap benda uji beton meliputi kuat tekan pada beton, modulus elastisitas beton, dan kuat Tarik beton. Gradasi agregat pencampuran di rancang dan ditetapkan untuk agregat maksimum 40 mm. komposisi pencampuran susunan beton di rancang dengan perbandingan

semen: agregat halus: agregat kasar adalah 1 : 2 : 3 dalam perbandingan faktor air semen (fas) sebesar 0,5. Benda uji ditetapkan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 12 benda uji. Variasi penggunaan terak pada Tabel 2.4. Hasil uji *slump* pada beton bahwa penggunaan terak nikel sebagai agregat halus dapat meningkatkan nilai *slump* daripada terak nikel sebagai agregat kasar. Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari pada Tabel 2.5. Hasil pengujian modulus elastisitas beton pada Tabel 2.6. Hasil Pengujian kuat tarik belah beton pada Tabel 2.7. Dapat disimpulkan bahwa pengujian kuat tekan penggunaan terak nikel unggul pada penggunaan sebagai agregat kasar sebesar 42,27%. Pengujian modulus elastisitas menunjukkan penggunaan terak nikel unggul dengan penggunaan terak nikel sebagai agregat kasar yaitu 19,37%. Kuat tarik belah beton berpengaruh terhadap mengatasi retak awal dan sebelum dibebani penggunaan terak nikel sebagai agregat halus mengalami penurunan sebesar 1,59 MPa sedangkan terak nikel sebagai agregat kasar unggul sebesar 2,61 MPa. Penggunaan terak nikel sebagai pengganti agregat kasar menyebabkan terjadinya peningkatan sifat mekanis pada beton.

Tabel 2.4 Variasi Benda Uji (Mustika dkk., 2016)

<b>Kode Benda Uji</b>	<b>Persentase Terak Nikel Dalam Campuran Beton (%)</b>	<b>Keterangan</b>
V.01	0	Tanpa terak
V.02	50	Terak sebagai agregat kasar
V.03	33,33	Terak sebagai agregat halus
V.04	83,33	Terak sebagai agregat kasar dan halus

Tabel 2.5 Nilai Kuat Campuran Beton (Mustika dkk., 2016)

<b>Jenis Benda Uji</b>	<b>Nilai Kuat Beton Rata-rata</b>	
	<b>(MPa)</b>	<b>(%) Terhadap V.01</b>
V.01	18,31	100,00
V.02	26,04	142,27
V.03	15,24	83,25
V.04	20,19	110,31

Tabel 2.6 Nilai Modulus Elastisitas Beton (Mustika dkk., 2016)

Jenis Benda Uji	Modulus Elastisitas Rata-rata	
	(MPa)	(%) Terhadap V.01
V.01	16006,71	100,00
V.02	19107,40	119,37
V.03	14934,45	93,30
V.04	17489,27	109,26

Tabel 2.7 Nilai Uji Kuat Tarik Belah Beton (Mustika dkk., 2016)

Jenis Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rata-rata	
	(MPa)	(%) Terhadap V.01
V.01	2,11	100,00
V.02	2,61	123,46
V.03	1,59	75,42
V.04	2,25	106,70

Putra dan Karolina (2017) berjudul “Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Agregat Beton Mutu Tinggi (Studi Eksperimental)”. Bahan pembuatan bembuan beton terdiri dari *slag* yang di peroleh dari PT. Growth Sumatra Industries. Tujuan penelitian tersebut untuk mengetahui nilai *slump* dari penggunaan *steel slag* sebagai agregat pada beton, nilai kuat tekan, dan kuat Tarik pada beton dengan membandingkan beton konvensional dengan proporsi yang sama. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan cara kuat tekan benda uji silinder pada umur 1, 3, 7, 14, dan 28 hari. Berdasarkan dari Tabel 2.8 bahwa dalam 1 hari beton telah mencapai kuat tekan yang tinggi hingga umur 7 hari, kemudian beton mengalami peningkatan kuat tekan yang tidak signifikan. Hasil pengujian kuat tarik beton silinder pada Tabel 2.9. Hasil pengujian kuat lentur balok pada Tabel 2.10. Kesimpulan hasil pengujian kuat tekan benda uji beton *steel slag* sebagai bahan utama memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton konvensional. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik beton silinder disimpulkan bahwa kuat Tarik beton biasa lebih tinggi dibandingkan beton *slag*. Sedangkan hasil kuat lenntur balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm menunjukkan bahwa beton *Steel Slag* memiliki modulus patahan dan lentur lebih tinggi dari beton biasa.

Tabel 2.8 Hasil Kuat Tekan Beton *Slag* dan Beton *Non-slag* (Putra dan Karolina, 2017)

Umur Beton (hari)	Benda Uji	Berat Uji Rata-rata (kg)	Beban Tekan Aktual (kN)	Luas Penampang (cm)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	<i>Slag</i>	4,891	331	78,5	43,896
	<i>Non-slag</i>	3,875	254	78,5	33,651
3	<i>Slag</i>	4,804	540	78,5	71,541
	<i>Non-slag</i>	3,902	361	78,5	47,871
7	<i>Slag</i>	4,831	583	78,5	77,282
	<i>Non-slag</i>	3,968	433	78,5	57,321
14	<i>Slag</i>	4,957	533	78,5	70,658
	<i>Non-slag</i>	4,024	401	78,5	53,170
28	<i>Slag</i>	4,930	573	78,5	75,958
	<i>Non-slag</i>	4,068	510	78,5	67,567

Tabel 2.9 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton *Slag* dan Beton *Non-Slag* (Putra dan Karolina, 2017)

Benda Uji	Umur Beton (hari)	Berat Uji (kg)	Beban Tarik Aktual (kN)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
<i>Slag</i>	28	4,887	162	5,159	5,053
<i>Slag</i>		1,911	154	4,904	
<i>Slag</i>		4,881	160	5,096	
<i>Non-slag</i>	28	3,830	168	5,350	5,435
<i>Non-slag</i>		3,931	180	5,732	
<i>Non-slag</i>		3,881	164	5,223	

Tabel 2.10 Hasil Pengujian Momen Lentur Beton *Slag* dan Beton *Non-Slag* (Putra dan Karolina, 2017)

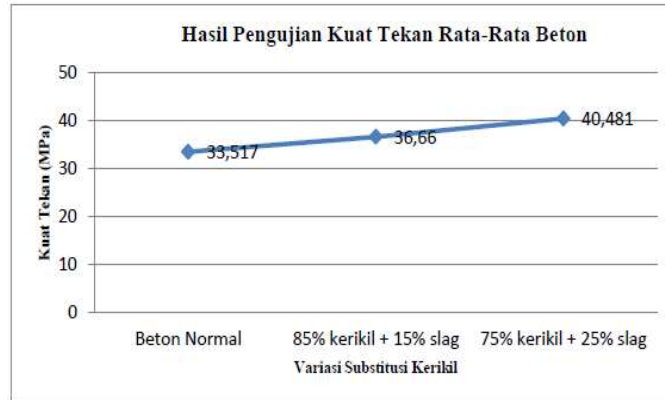
Benda Uji	Momen Maksimum (kgcm)	Momen Maksimum Rata-rata (kgcm)
<i>Slag Flexure 01</i>	51287,000	51473,938
<i>Slag Flexure 02</i>	51660,875	
<i>Non-Slag Flexure 01</i>	44003,250	44064,965
<i>Non-Slag Flexure 02</i>	44216,680	

Pandiangan dan Karolina (2017) dalam penelitian berjudul “Pengaruh Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Dan Lentur Pada Beton Bertulang Dibandingkan Dengan Beton Normal”. Beberapa manfaat penggunaan *steel slag* dalam pencampuran beton yaitu menaikkan rasio kelenturan

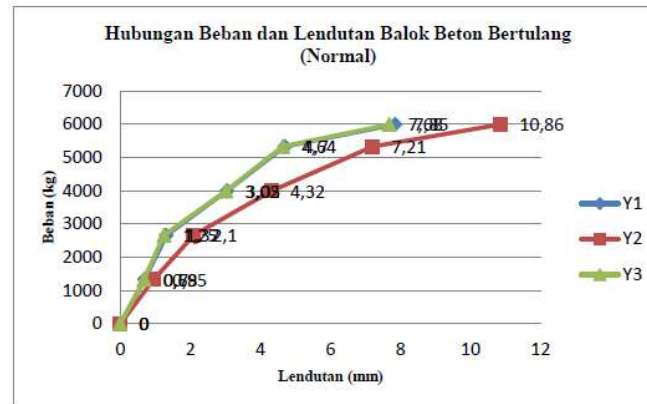
dan kuat tekan beton, tahan terhadap sifat sulfat yang terkandung dalam air laut, mengurangi porositas, tahan terhadap serangan klorida, mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu. *Steel slag* yang digunakan merupakan limbah baja dari PT. Growth Sumatra Industry. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan berbagai variasi penggantian agregat kasar dengan limbah baja dibandingkan dengan beton normal. Metode pengujian yaitu dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder Ø 15 cm dengan tinggi 30 cm. Variasi substitusi kerikil yang digunakan adalah 0%, 15%, dan 25%. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian lendut beton bertulang dilakukan dengan menggunakan *Hydraulic Jack* dan 3 buah *Dial Indikator* dengan jarak masing-masing sepanjang 75 cm. Hasil slump pada Gambar 2.1 bahwa variasi beton normal memiliki nilai slump optimal. Hal ini menunjukkan *workability* pada beton normal lebih tinggi dibandingkan beton variasi lainnya. Hasil pengujian kuat tekan pada Gambar 2.2 bahwa variasi *slag* 25% meningkat dibandingkan beton normal. Hasil pengujian lendut beton bertulang pada Gambar 2.3, Gambar 2.4, dan Gambar 2.5 benda uji dengan tinggi 15 cm, lebar 15 cm, dan panjang 60 cm. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin besar substitusi kerikil dengan steel slag, semakin besar juga beban yang bisa dipikul balok dan lendutan yang terjadi semakin besar. Sama halnya dengan kuat tekan beton, dengan bertambahnya penggunaan *steel slag* sebagai agregat kasar dapat meningkatkan lendutan balok beton bertulang.



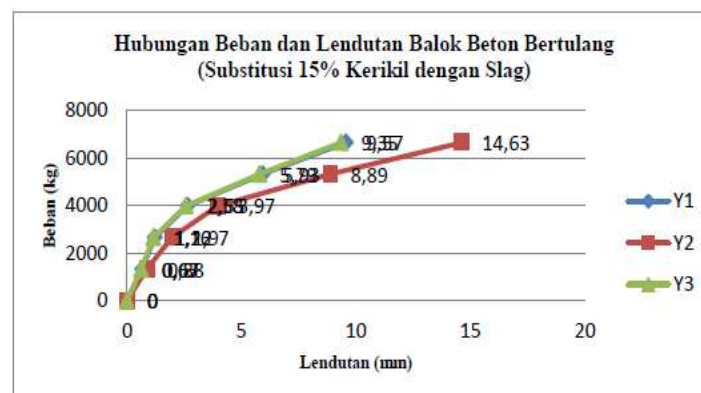
Gambar 2.1 Grafik Nilai *Slump* Terhadap Persentase Substitusi Kerikil dengan *Steel Slag* (Pandiangan dan Karolina, 2017)



Gambar 2.2 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Berbagai Variasi (Pandiangan dan Karolina, 2017)

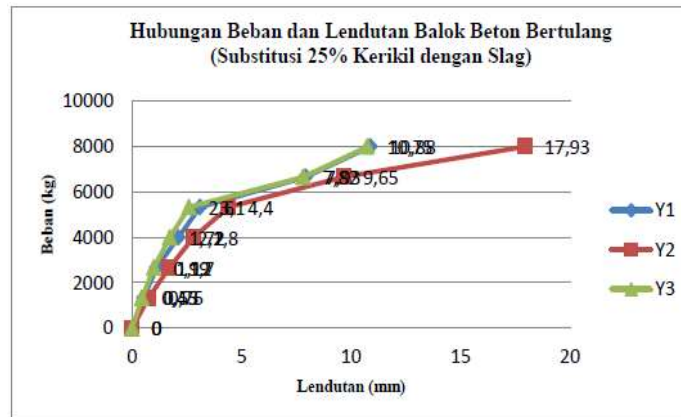


Gambar 2.13 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Balok Bertulang Normal (Pandiangan dan Karolina, 2017)



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Balok Bertulang Substitusi *Steel Slag* 15% (Pandiangan dan Karolina, 2017)





Gambar 2.5 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Balok Bertulang Substitusi *Steel Slag* 25% (Pandiangan dan Karolina, 2017)

Ulhaq dkk. (2016) dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Modulus Elastisitas Beton”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah batu *onyx* dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar pada beton, untuk mengetahui faktor air semen maksimum pada beton. Umumnya nilai FAS (faktor air semen) minimum adalah 0,4 dan maksimum 0,65. Batu *onyx* di peroleh dari sisa limbah pengerajin *furniture* di Campuradat, Tulungagung, semen tipe PCC semen gersik, pasir dan kerikil berasal dari daerah malang. Dalam metode penelitian ini terdapat dua variabel. Pada variabel bebas yaitu variasi persentase faktor air semen (FAS) sebesar 0,4, 0,5, dan 0,6 sementara variabel terikat yaitu agregat lainnya seperti pasir, semen, pecahan batu *onyx*, dan air. Setiap variasi benda uji dalam penelitian ini adalah 15 buah benda uji dengan agregat batu *onyx* dan 10 buah benda uji agregat kerikil. Benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan mutu beton K-200 ( $f^c$  16,66 MPa) pada umur 28 hari. Hasil pengujian agregat limbah batu *onyx* dan kerikil memiliki karakteristik yang berbeda yaitu rongga permungkaan *onyx* lebih rapat dibandingkan kerikil normal. Hal ini menyebabkan tingkat penyerapan air pada kedua sample ini berbeda. Berdasarkan Tabel 2.11 hasil penelitian mengenai modulus elastisitas, dapat di ketahui bahwa nilai modulus elastisitas rata-rata untuk beton *onyx* dan beton normal dengan variasi FAS 0,4; 0,5; dan 0,6; berumur 28 hari.

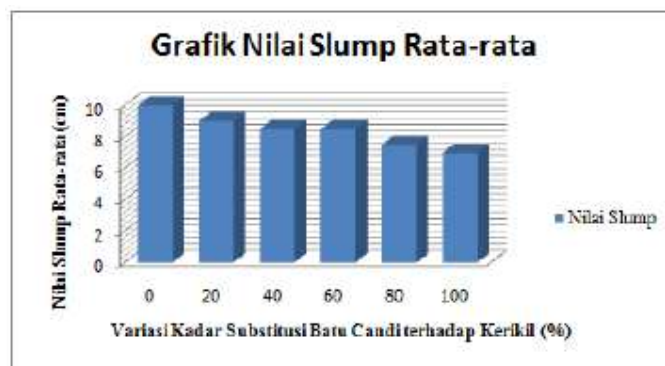
Kesimpulan hasil pengujian modulus elastisitas dengan variasi perubahan FAS (Faktor Air Semen) mempengaruhi nilai modulus elastisitasnya, di mana di antara ketiga variasi FAS (Faktor Air Semen) nilai modulus elastisitas maksimum di dapat pada nilai FAS 0,4 pada tiap variasi.

Tabel 2.11 Rekap Nilai Modulus Elastisitas Beton (Eksperimen) (Ulhaq dkk., 2016)

No	Beton <i>Onyx</i>			Beton Normal		
	wEc (MPa)			Ec (MPa)		
	FAS 0,4	FAS 0,5	FAS 0,6	FAS 0,4	FAS 0,5	FAS 0,6
1.	20933	23334	16405	22807	11737	15351
2.	23109	15457	21580	17286	13498	18716
3.	41675	20117	22355	19109	13035	16849
4.	19899	19598	16895	17953	18047	15372
5.	30969	16010	18441	16940	9999	16568
6.	18359	25020	15320	11376	16044	15790
7.	14316	19472	18643	16323	20690	14054
8.	16431	13854	17902	19628	15860	13298
9.	25897	16397	16355	21420	14044	15310
10.	35325	16083	18 673	21381	10222	13761
11.	23335	20400	16528			
12.	47001	21433	32944			
13.	10167	16477	17025			
14.	22656	13150	17871			
15.	36604	13584	25392			
Rata- Rata	25778	18026	19489	18422	14318	15507

Gusanti dkk. (2014) dalam pengujian yang berjudul "Tinjauan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Menggunakan Limbah Batu Candi Sebagai Pengganti Agregat Kasar". Tujuan penelitian untuk meninjau kuat tekan beton yang merupakan parameter utama mutu beton demikian juga dengan modulus elastisitasnya. Kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas bahan, perancangan pencampuran, dan pengerjaan pembuatan beton. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah adanya perkuatan beton dengan menggantikan agregat kasar beton dengan limbah batu candi pada campuran adukan beton. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat tekan dan besarnya modulus of elasticity (MOE). Limbah batu candi sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari berat kerikil sebanyak 3 sampel tiap variasi. Hasil pengujian *slump*

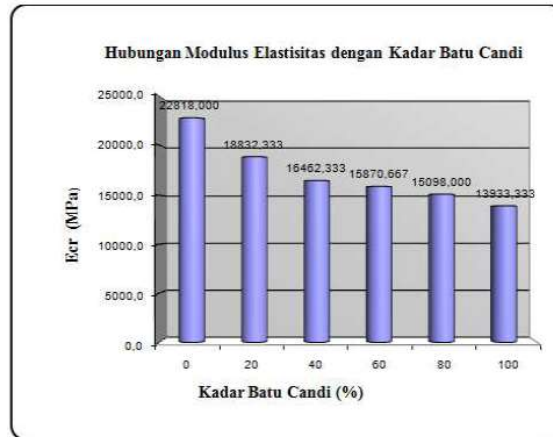
dapat di lihat pada Gambar 2.6 bahwa semakin banyak campuran batu candi maka nilai *slump* rendah. Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dapat di lihat Table 2.12 bahwa kuat tekan beton menurun antara 14,872% hingga 34,359%. Pengujian tegangan dan regangan aksial diperoleh persamaan regresi dan hubungan modulus elastisitas pada Gambar 2.7. Hasil pengujian tersebut menunjukkan penggunaan limbah batu candi terhadap nilai modulus elastisitas menurun antara 17,467% hingga 38,937%. Kesimpulan nilai kuat tekan beton untuk kadar batu candi 0% hingga 80% memenuhi syarat beton normal yang ditargetkan yaitu 25 MPa. Sedangkan untuk beton dengan kadar batu candi 100% tidak memenuhi syarat mutu beton yang ditargetkan. Nilai modulus Elastisitas beton menurut SNI 03-2847-2002, batu candi layak digunakan sebagai pengganti kerikil untuk memenuhi standar beton struktural.



Gambar 2.6 Hubungan Kuat Tekan Beton Rata-rata dengan Kadar Batu Candi  
(Gusanti dkk., 2014)

Tabel 2.12 Pengaruh Penggunaan Kadar Batu Candi Sebagai Pengganti Kerikil  
Terhadap Kuat Tekan (Gusanti dkk., 2014)

Kadar Batu Candi	Kuat Tekan Beton dengan Batu Candi (MPa)	Kuat Tekan Beton Tanpa Batu Candi (MPa)	Selisih Kuat Tekan	
			(MPa)	%
20%	31,300		5,468	14,872
40%	28,283		8,485	23,077
60%	27,152	36,768	9,616	26,135
80%	25,266		11,502	31,283
100%	24,135		12,633	34,359



Gambar 2.7 Grafik Nilai Modulus Elastisitas Rata-rata dengan Variasi Kadar Batu Candi (Gusanti dkk., 2014)

Mulyati dan Arman (2014) dalam penelitian berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Normal”. Tujuan Penelitian yaitu untuk mengetahui karakteristik limbah beton dengan menggunakan standar pengujian AASHTO 27, PB-0208-76, PB-0204-1976SK-SNI-M-1989-F, SNI-03-2417-1990/AASHTO 96-87. Metode penelitian yaitu menggunakan agregat halus (Pasir) berasal dari Gunung Nago dan agregat kasar (split) berasal dari PT.Jaya Sentrikon Indonesia. Pecahan limbah beton untuk digunakan sebagai agregat kasar dan agregat halus. Benda uji dibuat dengan cetakan kubus yang mempunyai ukuran (15x15x15) cm. Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa saringan, diperoleh bahwa agregat kasar mempunyai gradasi yang baik pada campuran agregat kasar yang memenuhi spesifikasi gradasi sesuai standar AASHTO T 27, masuk pada zona butiran 40 mm dengan modulus kehalusan 7,01, dan agregat halus memenuhi spesifikasi gradasi sesuai standar AASHTO T 27. Nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi pada umur 28 hari dari penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar pada proporsi 60% dengan nilai kuat tekan 24,82 MPa, sedangkan dari penggunaan limbah beton sebagai agregat halus pada proporsi 80% dengan nilai kuat tekan 25,82 MPa. Kesimpulan hasil pengujian kuat tekan Nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari penggunaan limbah beton sebagai agregat halus lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1 Beton

Berdasarkan (SNI 7656 – 2012) beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*), membentuk massa yang padat, kuat, dan stabil. Beton normal yaitu beton yang mempunyai berat isi 2.200 kg/m<sup>3</sup> hingga 2.500 kg/m<sup>3</sup>. beton berat yaitu beton yang mempunyai berat isi lebih besar dari 2.500 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan beton massa yaitu beton yang mempunyai ukuran penampang komponen besar, sehingga memerlukan perlakuan khusus untuk mengatasi panas hidrasi dari semen serta menjaga perubahan volume yang dapat menimbulkan keretakan.

Menurut Mulyono (2004) beton berdasarkan kelas dan mutu beton diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

a. Beton kelas I

Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaan dan pekerjaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.

b. Beton kelas II

Beton kelas II adalah Beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Mutu kelas II dinyatakan dalam B1, K 125, K175, dan K225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu-mutu K125, K175, dan K225 diharuskan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara menerus dan berkala dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.

c. Beton kelas III

Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan dengan struktural yang lebih tinggi dari K225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap yang dilayani oleh tenaga-

tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara menerus dan berkala.

Dalam suatu perencanaan pembuatan beton, diusahakan membuat campuran yang ekonomis, namun tetap dilakukan pengawasan untuk mencapai kekuatan yang disyaratkan dan kemudahan di dalam pelaksanaan serta keawetannya. Beton bermutu baik yaitu beton yang sesuai dengan perencanaan dan material yang sangat awet serta bebas pemeliharaan untuk beberapa tahun dan beton dapat di cetak sesuai dengan bentuk yang dikehendaki (Zuraidah dan Jatmiko 2007)

Menurut Mulyono (2004) penggunaan beton dalam kontruksi terdapat beberapa kelebihanannya yaitu :

- 1) Dapat dengan mudah di bentuk sesuai kebutuhan kontruksi.
- 2) Beton mampu memikul beban yang berat.
- 3) Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
- 4) Biaya perawatan beton tidak terlalu tinggi.
- 5) Umur pemakaian lama.

Kekurangannya :

- 1) Bentuk beton yang sulit untuk di ubah-ubah.
- 2) Pengerjaan pembuatan beton membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- 3) Beton memiliki bobot yang berat.
- 4) Daya pantul suara yang besar.

### **2.2.2 Beton Mutu Tinggi**

Menurut Putra dan Karolina (2017) beton Mutu Tinggi adalah beton yang memiliki karakteristik sebagai komponen material yang sangat padat dengan kuat tekannya berkisar 55,5 MPa hingga 200 MPa. Beton ini juga dimungkinkan untuk menciptakan struktur lebih ramping, ringan, sehingga dapat menghemat energi dan bahan alam. Kepadatan beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*) yang tinggi juga memberikan keuntungan bahwasanya *High Strength Concrete* ini mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap serangan zat cair ataupun gas yang berbahaya,

Beton dengan kekuatan yang tinggi sangat di pengaruhi oleh material penyusun pada beton tersebut. Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi kuat tekan pada beton mutu tinggi dalam pendesainannya. Penyiapan bahan yang memenuhi syarat adalah merupakan salah satu faktor yang

dapat mempengaruhi dalam pembuatan beton yang bermutu tinggi. Faktor yang memengaruhi mutu suatu beton adalah faktor semen, faktor air semen, faktor agregat, penggunaan mikrosilika dan penggunaan bahan *admixture*.

Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain:

- a. Kualitas semen.
- b. Komposisi campuran penyusun.
- c. Kualitas agregat.
- d. Daya ikat antara pasta semen sebagai perekat dengan agregat.
- e. Pencampuran yang cukup pasta semen dengan agregat.
- f. Gradasi agregat kepadatan campuran pada beton
- g. Perawatan pada beton dan kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak di ekspos.

### 2.2.3 Bahan Penyusun Beton

- a. Semen *portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan proses penggilingan klinker sebagai bahan utama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gypsum sebagai bahan tambah (PUBI, 1982). Semen hidrolis memiliki sifat *adhesive* maupun kohesif sehingga mampu saling merekatkan butir-butir agregat menjadi padat agar terjadi suatu massa yang rapat serta dapat mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Sifat-sifat penting dari semen adalah mengenai kehalusan butir, waktu pengikatan awal, panas hidrasi, dan berat jenis semen (Istianto, 2010).

Pembuatan semen *Portland*, klinker sebagai bahan utama hasil pembakaran kiln berbentuk butiran-butiran biasanya berdiameter 3 – 25 mm. dalam proses penggilingan klinker menjadi semen, senyawa organik juga ditambahkan sebagai media untuk menghindari aglomerasi. *Gypsum* ditambahkan terutama sebagai pengatur waktu pengikatan semen.

Menurut Tjokrodimuljo (1995) semen *portland* berdasarkan karakteristiknya dikelompokkan menjadi 5 jenis yaitu:

- 1) Jenis I, yaitu Semen *Portland* untuk penggunaan umum tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti diisyaratkan pada jenis yang lain.
- 2) Jenis II, yaitu Semen *Portland* dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis III, yaitu Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan.
- 4) Jenis IV, yaitu Semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi rendah.
- 5) Jenis V, yaitu Semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan ketahanan terhadap sulfat.

b. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun beton yang sangat penting dan paling murah. Air dipergunakan pada pembuatan beton agar terjadi proses kimiawi dengan semen sehingga menyebabkan terjadinya pengikatan antara pasta semen dengan agregat penyusun beton, fungsi lain air adalah pelumas antara butiran-butiran agregat agar dengan mudah dapat dikerjakan dan dipadatkan. Air yang di pakai disyaratkan memenuhi kekuatan beton lebih dari 90% dari beton yang memakai air suling. Sedangkan untuk perawatan air di pakai saat beton mengeras yaitu *curing* (perawatan) (Isianto, 2010).

Air yang dibutuhkan untuk terjadinya proses penggabungan air dengan semen (hidrasi) yaitu sekitar 20% dari berat semen. Penggunaan air dibatasi karna penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan berkuangnya mutu beton. Untuk menjadikan beton dalam kondisi basah diperlukan beton di tutup kain goni basah atau di rendam selama waktu atau priode tertentu sehingga penguapan (hidrasi) berlebihan dapat di cegah. Apabila terjadi penguapan yang berlebih akan menimbulkan kurangnya kekuatan beton. Penguapan yang terjadi menimbulkan penyusutan sehingga beton retak.

Air yang digunakan untuk penbuata beton harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan menurut (SNI 03 – 2847, 2002) yaitu:



- 1) Air yang dipergunakan untuk pencampuran beton harus bersih, bebas baha-bahan merusak seperti oli, asam, alkali, garam, bahan organic, atau bahan merusak lainnya.
- 2) Air pencampuran untuk beton yang terkandung logam didalamnya atau beton beton prategang tidak boleh mengandung ion klorida.
- 3) Air bersih atau air yang dapat diminum.

c. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami (kerikil atau pasir) yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat yang umumnya digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Komposisi agregat berkisar antara 60% hingga 70% dari volume persentase total beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Peranan agregat adalah sebagai bahan pengisi utama dalam campuran beton, maka sifat dari beton sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat. Maka pemilihan agregat harus bergradasi sedemikian ukuran sehingga masa beton dapat berfungsi bagus, padat, dan rapat. Beberapa aspek pemilihan agregat menurut (Zuraidah, 2007) yaitu :

- 1) Ukuran maksimum agregat untuk beton yang di pakai adalah  $\frac{3}{4}$  “ (19,10 mm). Namun sering juga di pakai ukuran maksimum  $1\frac{1}{2}$  “ (38,10 mm),  $\frac{3}{8}$  “ (9,50 mm) hingga ukuran 6 “.
- 2) Kekuatan suatu beton normal akan dipengaruhi oleh kekuatan agregatnya sendiri. Pengujian kekuatan agregat dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pengetes.
- 3) Tekstur permukaan agregat, tekstur agregat tergantung pada kekuatan dan ukuran molekul. Agregat yang memiliki tekstur permukaan kasar dapat meningkatkan rekatan antara agregat dengan agregat lainnya dan semen.

Berdasarkan ukuran agregat untuk pencampuran pada beton maka agregat dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu agregat halus dan agregat kasar, syarat-syarat sebagai berikut.

1) Agregat Halus (*Fine Aggregate*)

Agregat halus adalah agregat butir-butiran halus yang lolos pada saringan no. 4 atau ukuran 4,8 mm dan tertahan pada saringan no. 100 atau ukuran 150  $\mu\text{m}$  (ASTM C 33).

Tabel 2.13 Batas Gradasi Agregat Halus (ASTM C33)

<b>Ukuran Saringan</b>	<b>Persentase Lolos dari berat (%)</b>
3/8 in. (9,5 mm)	100
No.4 (4,75 mm)	85 sampai 100
No.8 (2,36 mm)	80 sampai 100
No.16 (1,18 mm)	50 sampai 85
No.30 (600 $\mu\text{m}$ )	25 sampai 60
No.50 (300 $\mu\text{m}$ )	5 sampai 30
No.100 (150 $\mu\text{m}$ )	0 sampai 10

Menurut (SK SNI S-04-1989-F) persyaratan agregat halus yaitu :

- a) Pasir adalah butir-butirannya kasar, kuat, tajam, dan tidak berpori.
  - b) Materian yang bersifat kuat tidak terpengaruh oleh cuaca (matahari atau hujan).
  - c) Pasir jika di uji dengan larutan garam naturium sulfat maksimal hancur tidak lebih dari 12%.
  - d) Pasir jika di uji dengan garam magnesium sulfat maksimal hancur tidak lebih dari 18%.
  - e) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, yang di maksud lumpur adalah butiran halus yang lolos saringan 0,06 mm.
  - f) Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
  - g) Agregat halus memiliki gradasi yang bagus sesuai standar gradasi sehingga tidak memiliki rongga, modulus halus butir antara 1,5 – 3,8.
  - h) Butiran agregat pipih atau panjang tidak lebih dari 18%.
- 2) Agregat Kasar (*Coarse Aggregate*)
- Agregat kasar adalah butiran-butiran kasar lebih besar dari pasir dan menjadi bahan pengisi pencampuran beton terdiri dari kerikil sebagai hasil di integrasi alamiah dari batuan atau hasil industri batu pecah (*split*) dan ukuran butirannya antara 5 mm sampai 4 mm (SNI-03-2847, 2002).

- a) Agregat kasar kerikil berasal dari hasil pembentukan alami, terbentuk biasanya dari faktor geologi, sedimen, metamorf menjadi bagian-bagian kecil.
- b) Agregat kasar batu pecah (*split*) yaitu kerikil yang di dapat dari pemecah batu, agregat *split* cenderung kasar dan tajam.  
Persyaratan agregat kasar menurut (SNI-03-2847, 2002):
  - a) Agregat kasar tajam dan keras dengan indek kekerasan tidak kurang dari 2,2.
  - b) Tidak hancur oleh cuaca (matahari atau hujan)
  - c) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, jika lebih harus di cuci.
  - d) Modulus halus butir agregat kasar yaitu 5 sampai 8 dan variasi gradasi sesuai dengan standar.
  - e) Agregat kasar tidak reaktif terhadap alkali, khusus untuk tingkat keawetan yang tinggi.

### 3. Limbah Baja (*Steel Slag*)

*Steel Slag* merupakan hasil pemisahan dan pendinginan akibat dari proses peleburan besi dalam tungku pembakaran besi yang dipanaskan (*Blast Furnace*) pada suhu tinggi dengan kandungan utama kalsium silikat dan aluminium silikat. *Slag* merupakan hasil residu atau hasil endapan peleburan besi yang berbentuk padat dan bongkahan tidak teratur.

Penelitian ini akan memanfaatkan *Steel Slag* yang berasal dari PT. Krakatau Steel (Persero). PT Krakatau Steel (Persero) sendiri telah melakukan pengujian kandungan berbahaya atau beracun terhadap *Steel Slag* guna mengevaluasi produk dan *treatment* limbah sebelum di olah kembali atau di buang. Berdasarkan hasil dari pengujian TCPL dan kimiawi PT. Krakatau Steel (persero) pada Tabel 2.14 kandungan logam masih di ambang batas aman Lingkungan Hidup Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 sehingga limbah *slag* ini aman bila mana di kelola atau di ambil pemanfaatannya sesuai dengan kegunaan dalam penelitian ini.

Tabel 2.14 Kandungan Kimia PT. Karakatau Steel (Persero)

No.	Kandungan	Komposisi (%)
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,875
2	SiO <sub>2</sub>	12,75
3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,65
4	MgO	28,29
5	MnO	1,51
6	CaO	29,245
7	FeO	22,945
8	TiO <sub>2</sub>	1,41
9	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16

Sumber: PT Krakatau Steel (Persero)

*Slag* sebagai bahan material pilihan secara umum harus memenuhi kriteria berdasarkan (SNI-8379, 2017), sebagai berikut:

- a) *Slag* harus berasal dari peleburan besi atau baja yang berasal dari industri produk *slag*nya tersertifikasi SNI, dan Kementrian yang berwenang di bidang Lingkungan Hidup.
- b) Pengujian *slag* harus sesuai dengan SNI 6889, 2014.
- c) *Slag* sebagai agregat kasar atau halus harus bersifat bersih, keras, tidak plastis, dan tidak mengandung bahan pencampuran lain yang dapat menurunkan kualitas campuran.

#### 4. Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan yang berupa menyerupai bubuk atau cair, yang kemudian ditambahkan kedalam pencampuran beton selama proses pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya (SNI 03-2487, 2002). Menurut (Theodor dalam Elmawati, 1996) di dalam keinginan untuk mendapatkan beton dengan spesifikasi khusus maka diperlukan bahan tambah (*admixture*) untuk pencampuran beton. Bahan tambah digunakan dengan tujuan untuk mempermudah pengerjaan beton (meningkatkan nilai *slump*), memperbaiki *workability* beton, mengendalikan factor air semen (FAS), menaikkan kuat awal beton, lama pengerasan atau kebutuhan lain tanpa mengurangi kekuatan rencana beton tersebut.

Berdasarkan ketentuan bahan tambah (*admixture*) (ASTM C 494) terdapat 7 jenis tambah tambah yang dapat digunakan yaitu:

- a) Tipe A, *Water Reducing Admixture*. Adalah bahan tambah yang bersifat mengurangi jumlah air dalam pencampuran beton untuk menghasilkan beton dengan konsisten tertentu.
- b) Tipe B, *Retarding Admixture*. Adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton.
- c) Tipe C, *Accelerating Admixture*. Adalah bahan tambah berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan menaikkan kekuatan awal beton.
- d) Tipe D, *Water Reducing And Retarding Admixture*. Adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi proporsi penggunaan air dalam pencampuran guna menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan beton.
- e) Tipe E, *Water Reducing And Accelerating Admixture*. Adalah bahan tambah berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air dalam pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu namun mempercepat pengikatan beton.
- f) Tipe F, *Water Reducing And High Range Admixture*. Adalah bahan tambah yang berfungsi mengurangi jumlah proporsi penggunaan air 12% atau lebih dan mempercepat pengerasan serta waktu ikat lebih singkat.
- g) Tipe G, *Water Reducing, High Range and Retarding Admixture*. Adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air 12% atau lebih di dalam pencampuran, sekaligus memperlambat pengerasan.

Bahan tambah pada penelitian ini menggunakan jenis bahan tambah tipe D yaitu *Plastocrete RT06 Plus (Water Reducing And Retarding Admixture)*, dan tipe F *Sikament NN (Water Reducing And High Range Admixture)*. Berdasarkan data teknis PT. Sika Indonesia terdapat karakteristik masing-masing produk yaitu :

- a) *Plastocrete RT06 Plus*

Berdasarkan data teknis (PT. Sika Indonesia, 2007) *Plastocrete RT06* adalah campuran beton yang dapat mereduksi penggunaan air pada pencampuran beton serta mengontrol waktu pengerasan, bahan tambah ini masuk kepada ASTM C 494-92 Tipe D. Fungsi dari sifat bahan tambah ini untuk menghindari sendi kaku, penempatan yang sulit, penuangan dengan

skala besar, mengurangi penyusutan beton yang akan berakibat retakan. Tingkat kesempurnaan campuran dipengaruhi oleh tingkat dosis, kualitas semen, kualitas agregat dan suhu. Dosis penggunaan bahan tambah ini yaitu antara 0,2 % sampai 0,6 % dari berat semen pencampuran.

Tabel 2.15 Data Teknis (PT. Sika Indonesia, 2007)

Tipe	Sebuah campuran agen organik khusus
Warna	Coklat gelap
Berat Jenis	1,12 ± 0,01 kg/lt
Umur Produk	12 Bulan dari tanggal produksi
Penyimpanan	Tempat kering, dingin, teduh
Kemasan	200 liter/drum

b) *Sikament-NN*

Berdasarkan data teknis (PT. Sika Indonesia, 2005) *Sikament-NN* adalah *superplasticizer* yang bersifat mengurangi penggunaan air dengan jumlah yang besar namun dapat mempercepat pengerasan pada pencampuran beton. *Sikament-NN* dapat digunakan dengan dosis 0,3% hingga 2,30% dari berat semen sesuai pada kuat tekan beton dan kelecakan yang diinginkan. *Superplasticizer* sangat efektif digunakan untuk beton mengalir serta menghasilkan kekuatan awal dan akhir yang tinggi sesuai dengan kriteria ASTM C 494 Tipe F. Beberapa produksi yang membutuhkan kekuatan awal dan akhir yang tinggi seperti:

- i. Beton Pra-cetak
- ii. Beton Pra-tekan
- iii. Jembatan atau struktur penyangga lainnya
- iv. Area dimana bekisting atau cetakan harus dibebani

Keuntungan penggunaan Sikament NN diantaranya:

- i. Mempermudah pengecoran pada struktur yang ramping (*workability*)
- ii. Mengurangi getaran selama pengecoran (*retardation*)
- iii. Mengurangi resiko pemisahan (*segregation*)
- iv. Dapat mengurangi penggunaan air hingga 25%
- v. Kekuatan tinggi selama 12 jam

Tabel 2.16 Data Produk (PT. Sika Indonesi, 2005)

Tipe	<i>Poly-naphthalene kondensat</i>
Bentuk	Cairan coklat
Kemasan	200 lt/drum dan 1000 lt/truck tangki
Penyimpanan	Simpan di area kering 5 <sup>o</sup> - 35 <sup>o</sup> , hindari sinar matahari
Umur	12 Bulan dari tanggal produksi
Berat Jenis	±1,29 kg/lt
Nilai Ph	±8
Kandungan	<i>Klorida nil (EN 934-2)</i>

## 2.2.4 Pengujian Bahan

### a. Agregat

#### 1) Pengujian gradasi agregat halus (pasir)

Kajian tata cara pembuatan rencana beton normal, menetapkan distribusi untuk ukuran butiran agregat halus terdapat empat zona yaitu : zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus), dan zona IV (halus). Pada Tabel 2.17 menunjukkan distribusi persentase dan ukuran ayakan tiap zona berdasarkan (SNI 03-2834, 2000).

Tabel 2.17 Batas Zona Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2834, 2002)

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
3/8 in. (9,5 mm)	100	100	100	100
No.4 (4,75 mm)	90-100	90-100	90-100	95-100
No.8 (2,36 mm)	60-95	75-100	85-100	95-100
No.16 (1,18 mm)	30-70	55-90	75-100	90-100
No.30 (600 µm)	15-34	35-59	60-79	80-100
No.50 (300 µm)	5-20	8-30	12-40	15-50
No.100 (150 µm)	0-10	0-10	0-10	0-15

#### 2) Pengujian Modulus Halus Butir (MHB)

Pengujian modulus halus butir (MHB) bertujuan untuk mengukur kehalusan dan kekasaran butiran-butiran agregat. Semakin tinggi nilai kekasaran butiran agregat maka semakin tinggi nilai Modulus Halus Butir (MHB). Kekasaran butiran agregat berpengaruh pada kelecakan dari pembuatan pencampuran beton. Nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus sekitar 1,5 – 3,8, untuk nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar sekitar 5 – 8. Untuk agregat campuran nilai modulus halus

butir (MHB) 5,0 – 6,0 berdasarkan (SNI 03-2834, 2000). Hubungan ketiga nilai modulus tersebut dinyatakan dalam bentuk :

$$MHB = \left( \frac{\text{persen jum komulatif tertahan}}{100} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Pengujian gradasi agregat halus dan modulus halus butiran berdasarkan (SNI 03-2834, 2000).

- a) Keringkan benda uji agregat halus dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  hingga beratnya tetap.
- b) Ambil agregat halus yang telah dikeringkan sebanyak 1000 gram.
- c) Susun saringan mulai dari 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm dan pan.
- d) Masukkan benda uji ke dalam saringa secara perlahan kemudian letakan pada mesin *Electrick sieve shaker machin*, atur guncangan mesin selama 15 menit.
- e) Timbang benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan untuk mencari MHB menggunakan persamaan 2.1.

3) Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus (pasir)  
 Berdasarkan SNI 03-1970 (2008) adalah perbandingan antara berat dari volume agregat terhadap berat air dengan volume yang sama dengan keadaan yang sama. Nilai-nilainya tanpa dimensi, maka:

$$\frac{A}{(B+A-C)} : \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\left( \frac{S-A}{A} \right) \times 100 : \dots\dots\dots (2.3)$$

- A = Berat benda uji kering dioven (gram)
- B = Berat piknometer berisi air (gram)
- C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas bacaan (gram)
- S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Tahapan-tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yaitu:

- a) Siapkan benda uji agregat halus (pasir) terlebih dahulu sebanyak lebih dari 500 gram.



- b) Benda uji dimasukan kedalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 24$  jam supaya beratnya tetap.
- c) Rendam benda uji selama 24 jam, kemudian buang air rendaman secara hati-hati, supaya agregat halus berupa pasir tidak terbang dan keringkan benda uji hingga keadaan jenuh kering permukaan.
- d) Masukan benda uji jenuh kering permukaan sebanyak 500 gram ke dalam piknometer. Kemudian masukan air murni kedalam piknometer hingga leher piknometer. Putar-putar atau guncang secara hati-hati, bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara dalam benda uji.
- e) Isi kembali air hingga penuh pada piknometer, kemudian timbang dengan timbangan ketelitian 0,1 gram berat air, benda uji beserta piknometernya ( C ).
- f) Keluarkan benda uji dari piknometer secara hati-hati supaya tidak terbawa air, dan keringkan benda uji pada oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam agar beratnya tetap ( A ).
- g) Isi piknometer berisi air penuh dan timbang beratnya ( B ).
- h) Hitunglah berat jenis agregat halus dalam berbagai kondisi dengan persamaan 2.2 dan 2.3.

4) Pengujian kadar air pada agregat halus (pasir)

Berdasarkan SNI 03-1971 (1990) kadar air adalah perbandingan berat air yang terdapat pada rongga-rongga agregat dengan agregat dalam kondisi kering yang dinyatakan dalam persen.

$$\left( \frac{s-A}{A} \right) \times 100 \quad : \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

A = Berat awal benda uji (gram)

S = Berat benda uji pada kondisi kering oven (gram)

Pengujian kadar air menggunakan tahapan-tahapan yaitu:

- a) Timbang cawan atau wadah (W1).
- b) Masukan agregat halus ke dalam cawan, kemudian timbang berat total kedua benda tersebut, catat totalnya (W2).
- c) Hitung berat agregat halus ( $S = W2 - W1$ )

- d) Keringkan pada oven dalam suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  cawan dan agregat halus didalamnya hingga 24 jam atau beratnya tetap.
  - e) Keluarkan sampel dari oven, kemudian timbang beratnya (W4).
  - f) Hitung berat agregat halus kering oven ( $A = W4 - W1$ ).
  - g) Hitung kadar air pada agregat halus dengan menggunakan persamaan 2.4.
- 5) Pengujian kadar lumpur agregat halus (pasir)

Pengujian kadar lumpur agregat halus berdasarkan (SNI 03-2461, 1991). Tujuannya adalah untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung pada agregat halus (pasir).

$$\left( \frac{B1-B2}{B1} \right) \times 100 \quad : \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

B1 = Pasir jenuh kering muka (gram)

B2 = Pasir setelah dioven (gram)

Tahapan pengujian lumpur:

- a) Ambil pasir yang telah di kering oven sebanyak 500 gram (B1).
- b) Pasir di cuci bersih hingga air cucian tampak bening, kemudian keluarkan air secara hati-hati agar sampel agregat halus tidak terbang atau terbawa air.
- c) Masukkan kembali sampel ke dalam oven bersuhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama kurang lebih 24 jam agar air yg terkandung didalamnya hilang atau kering.
- d) Sampel agregat halus yang telah kering kemudian di timbang kembali (B2).

Hitunglah kadar lumpur agregat halung dengan persamaan 2.5.

- 6) Pengujian berat satuan agregat halus (pasir)

Berdasarkan SNI 03-4804 (1998) pengujian ini bertujuan untuk mengetahui volume campuran beton yang dinyatakan  $\text{kg}/\text{m}^2$ , berat satuan agregat halus (pasir) di hitung dengan persamaan:

$$\left( \frac{W3}{V} \right) \quad : \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

$W3$  = Berat benda uji (kg)

$V$  = Volume mould ( $m^3$ )

Tahapan pengujian berat satuan:

- a) Siapkan cetakan silinder dan agregat halus jenuh kering permukaan.
  - b) Timbang berat cetakan silinder ( $Z1$ ).
  - c) Masukkan agregat halus sebanyak  $1/3$  dari volume silinder, kemudian tumbuk dengan batang penusuk sebanyak 25 kali.
  - d) Masukkan benda uji sebanyak  $2/3$  dari volume silinder kemudian tumbuk kembali, dan masukan hingga penuh lakukan penumbukan yang sama.
  - e) Timbang silinder beserta isinya ( $Z2$ ).
  - f) Hitung berat benda uji dengan ( $W3 = Z2 - Z1$ ).
  - g) Hitung volume silinder dengan dimensi 75 mm dan tinggi 150 mm ( $V$ ).
- 7) Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (*Split* dan *Slag*)

Berdasarkan SNI 03-1969 (2008) berat jenis agregat kasar dan berapa persentase berat air yang dapat di serap agregat kasar.

$$\frac{A}{B-C} \quad : \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\left(\frac{B-A}{A}\right) \times 100 \quad : \dots\dots\dots(2.8)$$

A = Berat benda uji kering dioven (gram)

B = Berat benda uji pada kondisi jenuh kering di udara (gram)

C = Berat benda uji di timbang dalam air (gram)

Tahapan-tahapan pengujian berat jenis dan kadar air agregat kasar:

- a) Persiapkan benda uji, kemudian cuci dan bersihkan agregat kasar dari kotoran yang melekat.
- b) Keringkan agregat kasar pada suhu oven ( $110 \pm 5$ ) $^{\circ}C$  hingga beratnya tetap.
- c) Keluarkan benda uji dari dalam oven kemudian diamkan pada suhu kamar selama  $\pm 3$  jam. Timbang benda uji dan catat beratnya dalam kondisi kering (A).

- d) Rendam benda uji menggunakan air yang bersuhu ruangan dan diamkan selama 24 jam.
  - e) Benda uji yang di rendam kemudian dikeringkan dengan menggunakan lap agar kondisinya jenuh kering muka. Timbang dan catat berat benda uji dalam kondisi jenuh kering muka (B).
  - f) Benda uji dimasukan kedalam keranjang atau wadah kemudian timbang beratnya didalam air (C).
  - g) Hitung berat jenis agregat kasar menggunakan persamaan 2.7.
  - h) Hitung penyerapan air pada agregat kasar menggunakan persamaan 2.8.
- 8) Pengujian kadar air pada agregat kasar (*Split* dan *Slag*)  
 Berdasarkan SNI 03-1971 (1990) tujuan pengujian kadar air pada agregat kasar adalah untuk mengetahui nilai persentase kadar air yang terdapat pada agregat kasar.

$$\left( \frac{s-A}{A} \right) \times 100 \quad : \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

A = Berat awal benda uji (gram)

S = Berat benda uji pada kondisi kering oven (gram)

Pengujian kadar air melalui langkah-langkah berikut:

- a) Timbang cawan atau wadah (W1)
- b) Masukan agregat kasar ke dalam cawan, kemudian timbang berat total kedua benda tersebut, catat totalnya (W2).
- c) Hitung berat agregat kasar ( $S = W2 - W1$ )
- d) Keringkan pada oven dalam suhu ( $110 \pm 5$ ) $^{\circ}$ C cawan dan agregat kasar didalammnya hingga 24 jam atau beratnya tetap.
- e) Keluarkan sampel dari oven, kemudian timbang beratnya (W4).
- f) Hitung berat agregat kasar kering oven ( $A = W4 - W1$ ).
- g) Hitung kadar air pada agregat kasar dengan menggunakan persamaan 2.9.

9) Pengujian berat satuan agregat kasar (*Split dan Slag*)

Berdasarkan SNI 03-4804 (1998) pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat satuan/isi dari agregat kasar pada bejana, yang dinyatakan dalam  $\text{kg/m}^2$ , dengan perhitungan:

$$\left( \frac{W3}{V} \right) \quad : \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan :

W3 = Berat benda uji (kg)

V = Volume mould ( $\text{m}^3$ )

Langkah-langkah pengujian berat satuan sebagai berikut:

- a) Timbang cawan atau wadah (W1).
- b) Siapkan cetakan silinder dan agregat kasar jenuh kering permukaan.
- c) Timbang berat cetakan silinder (Z1).
- d) Masukkan agregat kasar sebanyak 1/3 dari volume silinder, kemudian tumbuk dengan batang penusuk sebanyak 25 kali.
- e) Masukkan benda uji sebanyak 2/3 dari volume silinder kemudian tumbuk kembali, dan masukan hingga penuh lakukan penumbukan yang sama.
- f) Timbang silinder beserta isinya (Z2).
- g) Hitung berat benda uji dengan ( $W3 = Z2 - Z1$ ).
- h) Hitung volume silinder dengan dimensi 75 mm dan tinggi 150 mm (V).
- i) Hitung berat sis atau berat satuan agregat kasar menggunakan persamaa 2.10.

10) Pengujian kadar lumpur agregat kasar (*Split dan Slag*)

Pengujian kadar lumpur agregat kasar bertujuan untuk mengetahui perentase kandungan lumpur pada agregat kasar berdasarkan (SNI 04, 1989F).

$$\left( \frac{B1-B2}{B1} \right) \times 100 \quad : \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

B1 = Pasir jenuh kering muka (gram)

B2 = Pasir setelah dioven (gram)

Pemeriksaan kadar lumpur melalui langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Ambil agregat kasar yang telah di kering oven sebanyak 5000 gram (B1).
- b) Pasir di cuci bersih hingga air cucian tampak bening, kemudian keluarkan air secara hati-hati agar sampel agregat kasar tidak terbangun atau terbawa air.
- c) Masukkan kembali sampel ke dalam oven bersuhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  selama kurang lebih 24 jam agar air yg terkandung didalamnya hilang atau kering.
- d) Sampel agregat kasar yang telah kering kemudian di timbang kembali (B2).
- e) Hitunglah kadar lumpur agregat kasar dengan persamaan 2.11.

### 2.2.5 Pengujian *Slump* dan *Setting Time*

Pengertian pengujian *Slump* adalah salah satu cara mengukur kelecakan (*workability*) pada beton segar, yang di pakai untuk mengukur kemudahan dalam pengerjaanya Dumyati (dalam Tjokrodinuljo, 2007). Menurut SNI 03-2834 (2000) *slump* adalah suatu ukuran kekentalan pada adukan beton segar yang dinyatakan dalam mm kemudian di tentukan oleh alat kerucut bernama abram.

Kelecakan pada beton yaitu sifat plastis dan kekentalan pada beton segar sehingga mudah untuk dikerjakan. Secara umum semakin encer pencampuran beton makan semakin tinggi nilai *slump*nya, namun hal itu belum tentu baik pada mutu beton. Bahan pencampuran beton merupakan air, semen *porland*, dan agregat dengan perbandingan yang telah ditentukan. Maka dari itu nilai pengujian slump di tentukan juga oleh bahan pengisi beton segar tersebut.

Waktu ikat (*Setting Time*) yaitu bertujuan untuk mengetahui seberapa lama rentang waktu saat beton dalam keadaan plastis menuju keadaan kaku (mengeras). Pada saat pasta semen mulai mengikat sehingga setelah waktu tersebut dilalui, pasta semen tidak boleh digunakan lagi atau dirubah kembali keadaanya atau kedudukannya.

### 2.2.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974 (1990) kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas penampang, yang menyebabkan benda uji beton hancur dengan gaya

tekan tertentu yang diberikan oleh mesin tekan. Metode ini dilakukan acuan pengujian untuk menentukan kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk silinder yang di buat dan dihasilkan (*curing*) di lapangan maupun di laboratorium.

Perhitungan kuat tekan diketahui sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan } (f'c) = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} : \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan :

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Menurut SNI 03-2493 (1991) tentang Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium, diameter benda uji silinder tidak boleh kurang dari 5 cm. Untuk benda uji berbentuk silinder, disyaratkan panjang silinder sama dengan 2 kali diameter silinder. Oleh karena beton merupakan bahan komposit dari berbagai bahan penyusun yang kekuatannya tidak sama, ada kecenderungan semakin besar benda uji, kekuatannya semakin mendekati kekuatan bahan penyusun yang terendah. Dengan demikian, semakin besar benda uji, semakin kecil kekuatan tekannya. Tabel 2.18 memberikan gambaran tentang perbandingan kuat tekan dari berbagai ukuran silinder beton.

Tabel 2.18 Perbandingan Kuat Tekan Berbagai Ukuran Silinder Beton

Ukuran Silinder		
Diameter (mm)	Panjang (mm)	Kuat Tekan (%)
50	100	109
75	150	106
150	300	100
200	400	96

Konversi hasil uji tekan menjadi ukuran silinder standar dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm menggunakan persamaan dibawah.

$$f'c = \frac{f'c 1}{\text{Kuat Tekan } (\%)} \text{ (N/mm}^2\text{)} : \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

$f'c 1$  = Kuat tekan sebelum di konversi (N/mm<sup>2</sup>) = MPa

### 2.2.7 Modulus Elastisitas

Menurut SNI 03-2847 (2002) modulus elastisitas beton adalah rasio (perbandingan) tegangan normal ratik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Nilai perbandingan ini berlaku untuk tegangan dibawah batas proposional material. Pengujian modulus elastisitas beton ini menggunakan mesin uji tekan dengan di pasang alat ukur (*dial gauge*) arah *longitudinal* yang artinya arah gelombang getaran memiliki arah tegak lurus dengan arah rambatnya.

Menurut Mustika dkk. (2016) modulus elastisitas beton merupakan garis singgung (dari gari yang di tarik) dari kondisi teganga nol ke garis kondisi tegangan  $0,4 f'c$  pada kurfa tegangan-regangan beton. Modulus elastisitas ini dipengaruhi oleh bahan pengisi beton, kelembaban benda uji, faktor air seme (FAS), umur beton serta temperaturnya.

Berdasarkan (SNI 03-2847, 2002) hubungan antara nilai modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton adalah :

$$4700 \sqrt{f'c} \text{ 28 hari} \quad : \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan :

$f'c$  28 hari = kuat tekan beton setelah berumur 28 hari (MPa)