

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton diartikan sebagai campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat (SK SNI T-15-1991-03). Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang umum digunakan untuk pembangunan.

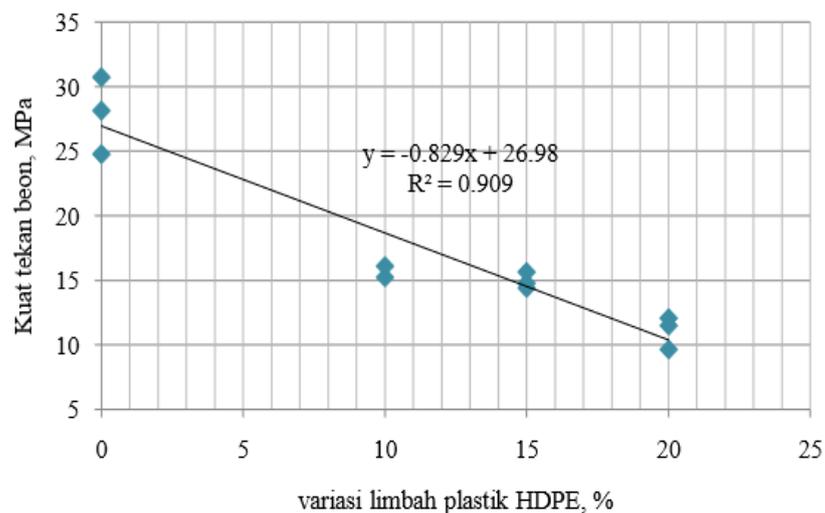
Beberapa penelitian terdahulu mengenai beton berbahan campuran plastik dan juga beton dengan pengujian suhu pembakaran diantaranya sebagai berikut ini.

1. Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013).
2. Kajian Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Campuran Agregat Beton (Suwarno dan Sudarmono, 2015).
3. *Effect of Mix Parameters on the Strength Performance of Waste Plastics Incorporated Concrete Mixes* (Malkapur dkk., 2014).
4. *Study of Waste Plastic Mix Concrete with Plasticizer* (Rai dkk., 2012).
5. Pembuatan Beton Ringan dari Agregat Buatan Berbahan Plastik (Rommel, 2013).
6. *Partial replacement of E-plastic Waste as Coarse-aggregate in Concrete* (Ashwini, 2016).
7. *Employment the plastic waste to produce the light weight concrete* (Hameed dan Ahmed, 2019).
8. *Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers* (Bhogayata dan Arora, 2017).
9. *Impact resistance and energy absorption capacity of concrete containing plastic waste* (Saxena dkk., 2018).
10. *Evaluation of Fire-Damaged Concrete: An Experimental Analysis based on Destructive and Nondestructive Methods* (Park dkk., 2017).
11. Struktur Beton Pasca Kebakaran Terhadap Kuat Tekan dan Karakteristik Beton (Atmaja dkk., 2017).

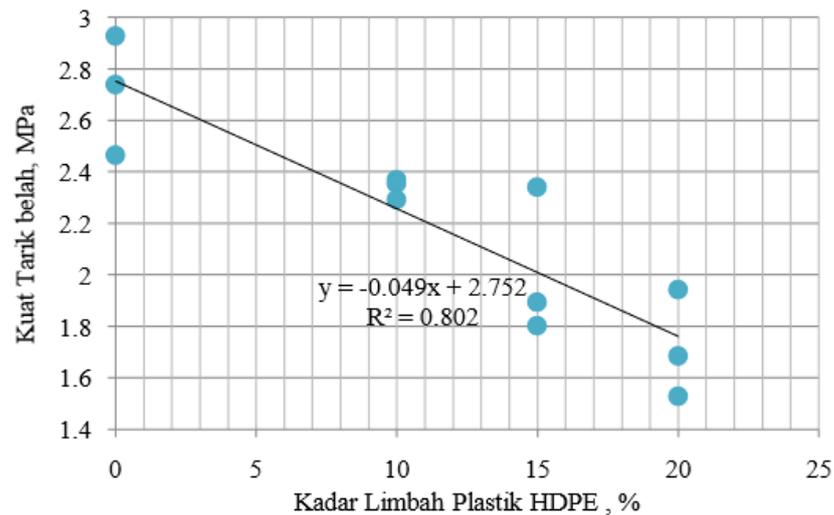
12. *Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures* (Amancio dkk., 2018).

2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Beton Berbahan Campuran Limbah Plastik

Soebandono dkk., (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE” melakukan pengujian kuat tekan dan tarik belah beton dengan variasi campuran plastik HDPE yang berbeda-beda. Gambar 2.1 menyajikan hasil uji tekan beton dengan variasi campuran agregat kasar limbah plastik HDPE 0% (normal), 10%, 15%, dan 20% berturut-turut sebesar : 27,88 MPa; 15,67 MPa; 14,96 MPa; dan 11,08 MPa. Sedangkan Gambar 2.2 menyajikan hasil uji tarik beton dengan variasi campuran yang sama dengan hasil berturut-turut sebesar : 2,71 MPa; 2,34 MPa; 2,01 MPa; dan 1,72 MPa.



Gambar 2. 1 Hubungan antara nilai kuat tekan beton dengan variasi limbah plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013).



Gambar 2. 2 Hubungan antara nilai kuat tarik beton dengan variasi limbah plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013).

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan limbah plastik pada campuran beton akan mengurangi kekuatan tekan dan tarik belah beton tersebut.

Suwarno dan Sudarmono (2015) dalam penelitiannya yang berjudul “Kajian Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Campuran Agregat Beton” melakukan pengujian menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti agregat halus untuk mengetahui kuat tekan dan tarik beton berbentuk silinder dengan variasi campuran plastik PET dari 0% – 5%. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran 5% plastik dapat meningkatkan kuat tarik beton sebesar 50% dibandingkan beton yang tidak memakai campuran plastik, sedangkan untuk campuran yang sama kuat tekan beton menurun sebesar 47%, disisi lain berat sendiri beton lebih ringan. Sedangkan pengaruh penambahan plastik pada kuat tarik beton menunjukkan peningkatan yang lebih baik. Hasil dari pengujian tersebut bisa dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Kuat Tekan Campuran (Suwarno dan Sudarmono, 2015).

No	% Campuran Plastik	Berat (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	% Penurunan
1	0	4,50	61	7,524	0,000
2	1	4,40	59	7,277	3,279
3	1,5	4,50	58	7,154	4,918
4	2	4,45	53	6,537	13,115

Tabel 2.1 Kuat Tekan Campuran (Suwarno dan Sudarmono, 2015) (lanjutan).

5	2,5	4,45	48	5,921	21,311
6	3	4,50	40	4,934	34,426
7	4	4,40	39	4,810	36,066
8	5	4,35	35	4,317	42,623

Tabel 2. 2 Kuat Tarik Campuran (Suwarno dan Sudarmono, 2015).

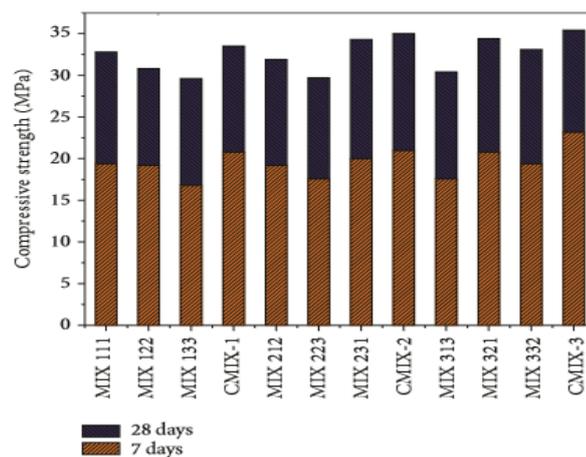
No	% Campuran Plastik	Berat (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tarik (MPa)	% Peningkatan
1	0	4,50	34,2	1,055	0,000
2	1	4,50	35,4	1,092	3,509
3	1,5	4,45	36,3	1,119	6,140
4	2	4,40	39,8	1,227	16,374
5	2,5	4,45	40,3	1,243	17,836
6	3	4,40	41,5	1,280	21,345
7	4	4,50	48	1,480	40,351
8	5	4,20	53	1,634	54,971

Kesimpulan dari penelitian ini ialah dengan menambahkan campuran plastik pada beton akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan tekan dari beton tersebut, sedangkan untuk kuat tarik dari beton tersebut mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya campuran plastik sampai batas optimalnya.

Malkapur dkk., (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “*Effect of Mix Parameters on the Strength Performance of Waste Plastics Incorporated Concrete Mixes*” mendapatkan hasil uji kuat tekan pada kubus berukuran 100 mm yang dikonversi setara ukuran 150 mm dengan mengalikan faktor 0,9. Kekuatan dari beton cenderung menurun dengan peningkatan persentase plastik 10%, 20%, dan 30% dengan penurunan hasil uji masing-masing yang didapat sebesar 2,3%, 7,8%, dan 13,6%. Meskipun kekuatan beton menurun, dapat diamati bahwa semua *mixes* telah mencapai kekuatan tekan bervariasi antara 30 MPa – 35 MPa. Detail dan hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Gambar 2.3 berikut ini.

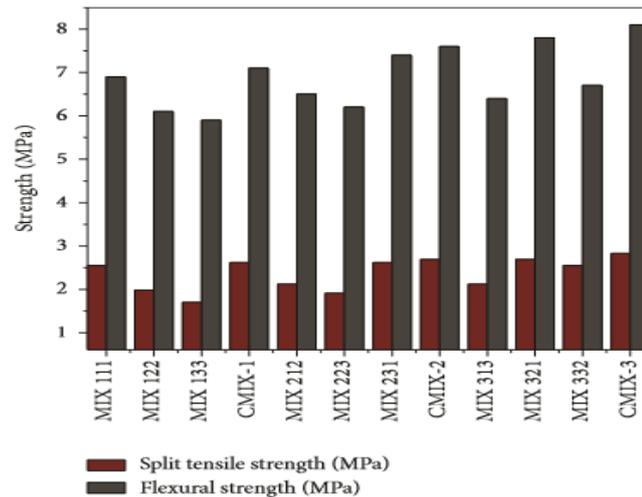
Tabel 2. 3 Details of concrete mixes (Malkapur dkk., 2014).

Mix code	Binder content B Kg/m ³	Cement Kg/m ³	Fly ash Kg/m ³	River sand Kg/m ³	W/B	Water Kg/m ³	Polymer replacement R%	Coarse Agg Kg/m ³	
								CGC	WP
Mix 111	600	390	210	774.7	0.32	192	10	707.8	28
Mix 122	600	390	210	758.9	0.34	204	20	616.4	54.8
Mix 133	600	390	210	743.1	0.36	216	30	528.1	80.5
Cmix -1	600	390	210	743.1	0.36	216	0	754.5	0
Mix 212	630	409.5	220.5	747.1	0.32	201.6	20	607.3	54
Mix 223	630	409.5	220.5	731.1	0.34	214.2	30	519.6	79.2
Mix 231	630	409.5	220.5	714.6	0.36	226.8	10	652.9	25.8
Cmix -2	630	405.9	220.5	714.6	0.36	226.8	0	725.4	0
Mix 313	660	429	231	720.7	0.32	211.2	30	512.1	78.1
Mix 321	660	429	231	703.3	0.34	224.4	10	642.6	25.4
Mix 332	660	429	231	686	0.36	237.6	20	557.1	49.6
Cmix -3	660	429	231	686	0.36	237.6	0	696.4	0



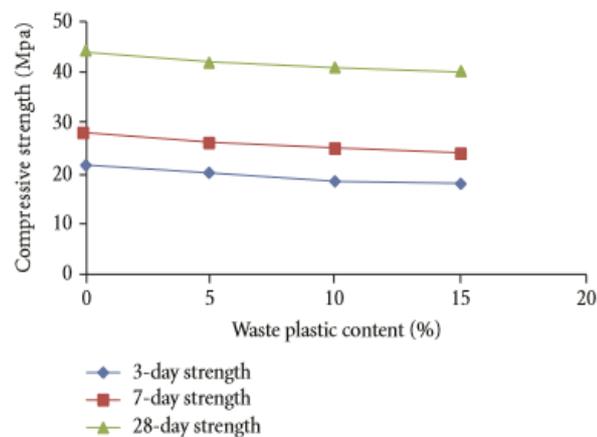
Gambar 2. 3 Variation of compressive strengths of different mixes (Malkapur dkk., 2014).

Pengujian ini juga menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan lentur beton dengan campuran plastik HDPE lebih rendah dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan agregat *split* biasa. Penurunan kekuatan lentur berbeda dengan kekuatan tariknya. Kekuatan tarik beton lebih rendah disebabkan oleh longgarnya ikatan limbah plastik, agregat kasar, dan pasta semen. Lemahnya zona transisi limbah plastik dalam agregat kasar juga mungkin menjadi alasan kekuatan beton menurun. Hasil dari pengujian kuat tarik dan lentur beton dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.

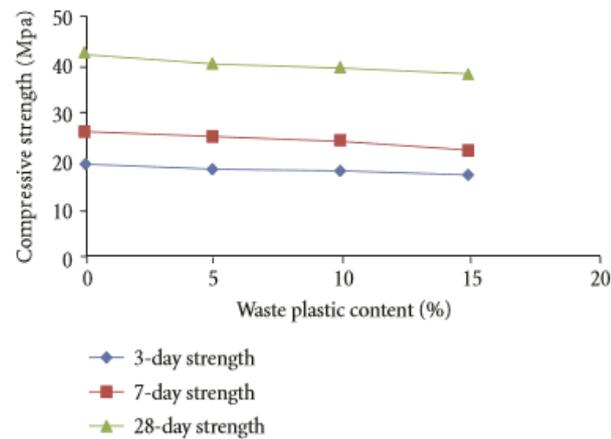


Gambar 2. 4 *Split tensile and flexural strengths* (Malkapur dkk., 2014).

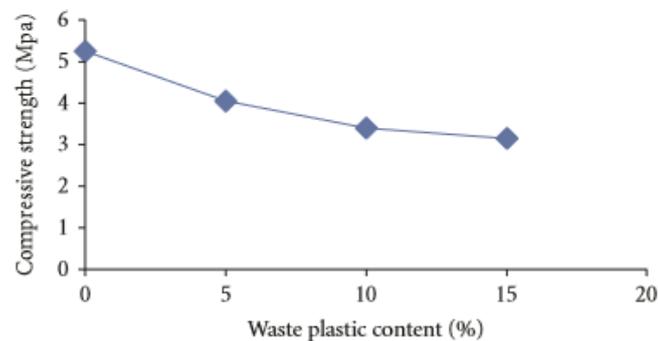
Rai dkk., (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “*Study of Waste Plastic Mix Concrete with Plasticizer*” menggunakan limbah plastik sebagai pengganti agregat halus dengan variasi sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari limbah plastik dengan atau tanpa *superplasticizer* terhadap kuat tekan dan lentur beton, dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa beton yang menggunakan *superplasticizer* memiliki kuat tekan yang lebih baik sebanyak 5%, untuk kuat lentur beton mengalami penurunan seiring bertambahnya limbah plastik. Hasil dari pengujian bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 5 *Compressive strength of concrete with varying % of plastic waste with superplasticizer* (Rai dkk., 2012).



Gambar 2. 6 *Compressive strength of concrete with varying % of plastic waste without superplasticizer* (Rai dkk., 2012).



Gambar 2. 7 *Flexural strength of concrete mix with varying % of waste plastic* (Rai dkk., 2012).

Rommel (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “Pembuatan Beton Ringan dari Agregat Buatan Berbahan Plastik” membuat agregat melalui proses *Choppe*, pemanasan, dan *molding* dari limbah plastik HDPE menjadi bagian dari ukuran agregat dari 20 mm. Kemudian menguji karakteristik agregat, campuran desain dan menyediakan beton dengan perlakuan panas pada setiap suhu 30°C, 45°C, 60°C, 75°C, 90°C, dan 100°C. Dari hasil pengujian ini diperoleh nilai berat jenis agregat plastik sebesar 1,15; bulk density 1378 Kg/m³; dan abrasi agregat sebesar 29,64%, hal ini menjelaskan bahwa agregat dapat digunakan sebagai beton ringan. Beton ringan dibuat dengan rasio desain campuran semen: pasir: agregat plastik 1: 2: 1,5 dan fas 0,35 diperoleh kuat tekan maksimum 13,16 MPa sehingga beton dalam kategori penggunaan struktur ringan seperti panel dinding , kusen

beton, *cladding*. Penggunaan yang tepat beton ringan untuk struktur yang dilindungi karena suhu tinggi dapat mengurangi kekuatan beton

Manjunath (2016) dalam penelitiannya yang berjudul ” *Partial replacement of E-plastic Waste as Coarse-aggregate in Concrete*” melakukan studi eksperimen dengan memanfaatkan limbah plastik elektronik sebagai agregat halus dan kasar pada beton dengan persentase campuran sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Dari hasil pengujian yang dilakukan kekuatan tekan, tarik, dan *flexural* beton menunjukkan kekuatan yang baik. Dalam studi ini, kekuatan optimum beton didapatkan pada variasi campuran e-plastik sebanyak 10%. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 4 *Compressive Strength test results at varying % of E plastic waste after curing of 7, 14 and 28 Days of curing* (Manjunath, 2016).

Mix Specification	Convventional Mix (S1)	S2	S3	S4
<i>Proportion of E-plastic Waste</i>	0%	10%	20%	30%
<i>7 days</i>	36	33.18	19.9	16.39
<i>14 days</i>	44.81	41.25	17.95	19.03
<i>28 days</i>	47.18	44.07	24.69	22.15

Tabel 2. 5 *Split tensile strength results at varying % of E plastic waste after curing of 7, 14 and 28 Days of curing* (Manjunath, 2016).

Mix Specification	Convventional Mix (S1)	S2	S3	S4
<i>Proportion of E-plastic Waste</i>	0%	10%	20%	30%
<i>7 days</i>	4.3	4.3	3.15	2.4
<i>14 days</i>	4.66	4.4	5	3.1
<i>28 days</i>	4.9	4.8	5.4	3.8

Tabel 2. 6 *Flexural strength results at varying % of E plastic waste after curing of 7, 14 and 28 Days of curing* (Manjunath, 2016).

Mix Specification	Convventional Mix (S1)	S2	S3	S4
<i>Proportion of E-plastic Waste</i>	0%	10%	20%	30%
<i>7 days</i>	1.5	1.2	1	0.75
<i>14 days</i>	3	2.9	2	1.25
<i>28 days</i>	4.35	4.4	4.3	2.5

Hameed dan Ahmed (2019) dalam penelitiannya yang berjudul “*Employment the plastic waste to produce the light weight concrete*” melakukan eksperimen menggunakan agregat serpihan PET daur ulang. Lima buah beton diproduksi dengan campuran PET yang berbeda (1%, 3%, 5%, 7%, dan 10%) oleh berat semen *Portland*. Efek *Recycled Plastic Aggregate* (RPA) variasi pada kekuatan tekan, kekuatan lentur, kekuatan tarik belah dan kepadatan beton. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan PET pada 1% menyebabkan naiknya kekuatan tekan 58% dibandingkan dengan beton (tanpa limbah PET). hasil kekuatan lentur menunjukkan bahwa penggunaan PET pada 1% dan 3% meningkatkan kekuatan lentur beton masing-masing sebesar 23,11% dan 25%. Rasio 1% PET memberikan nilai optimum kekuatan tarik belah dengan rasio kenaikan 130%. nilai kepadatan jelas menurun dengan meningkatkan persentase konten PET, penurunan rasio kepadatan mendekati 14% terutama pada 10% dari PET. Hasil kuat tekan dari penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 7 *Compressive strength of concrete for 28 days* (Hameed dan Ahmed,2019).

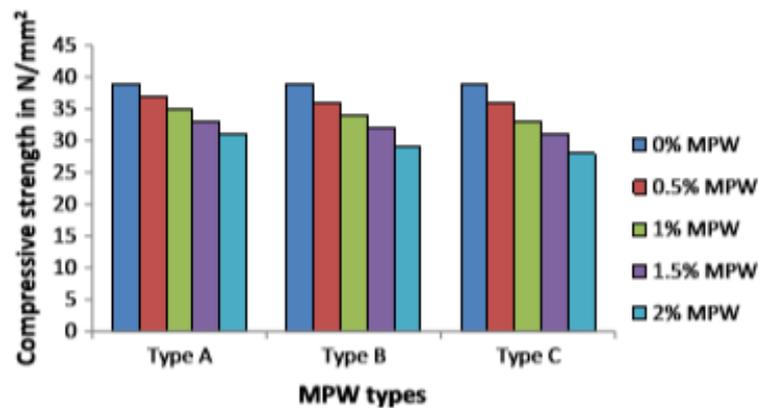
<i>Symbol</i>	<i>Sample Type</i>	<i>Compressive strength (MPa)</i>
A	<i>Mortar without gravel</i>	20.612
B	<i>Concrete (w/c = 0.35)</i>	16.060
C	<i>Concrete (w/c = 0.50)</i>	15.172
D	<i>Concrete (w/c = 0.40)</i>	15.404
L	PET 1%	20.720
K	PET 3%	17.124
E	PET 5%	17.908
I	PET 7%	17.576
G	PET 10%	16.640

Bhogayata dan Arora (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers*” menguji kelayakan serat *Metalized Plastic Waste* (MPW) sebagai konstituen penguat untuk beton dinilai dengan mengevaluasi *slump*, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton. Film MPW diparut menjadi 5 mm, 10 mm, dan 20 mm serat panjang dan dicampur dalam beton dari 0% sampai 2% dari volume campuran. Hasil tes menunjukkan peningkatan kuat tarik belah dan daktilitas beton karena penambahan serat MPW. Beton campuran menunjukkan deformasi besar pada

beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional. Namun *workability*, kekuatan tekan, dan lentur menunjukkan pengurangan pada campuran 1% serat MPW. Detail campuran dan hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

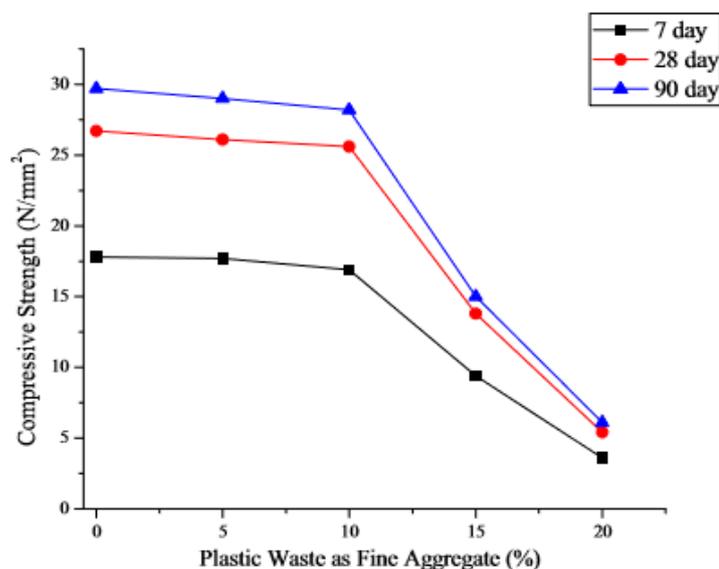
Tabel 2. 8 *Batch details of concrete mixes* (Bhogayata dan Arora,2017).

<i>MPW type</i>	<i>Batch</i>	<i>MPW fraction (%)</i>	<i>MPW weight (Kg/m³)</i>	<i>Size</i>	<i>Thicness (mm)</i>
Type-A	B1	0	-	-	-
	B2	0.5	4.5	1 mm*5 mm	0.08
	B3	1	9.2		
	B4	1.5	14		
	B5	2	18.5	-	-
	B6	0	-	-	-
Type-B	B7	0.5	4.5	1 mm* 10 mm	0.08
	B8	1	9.2		
	B9	1.5	14		
	B10	2	18.5		
Type-C	B11	0	-	-	-
	B12	0.5	4.5	1 mm *20 mm (W*L)	0.08
	B13	1	9.2		
	B14	1.5	14		
	B15	2	18.5	-	-

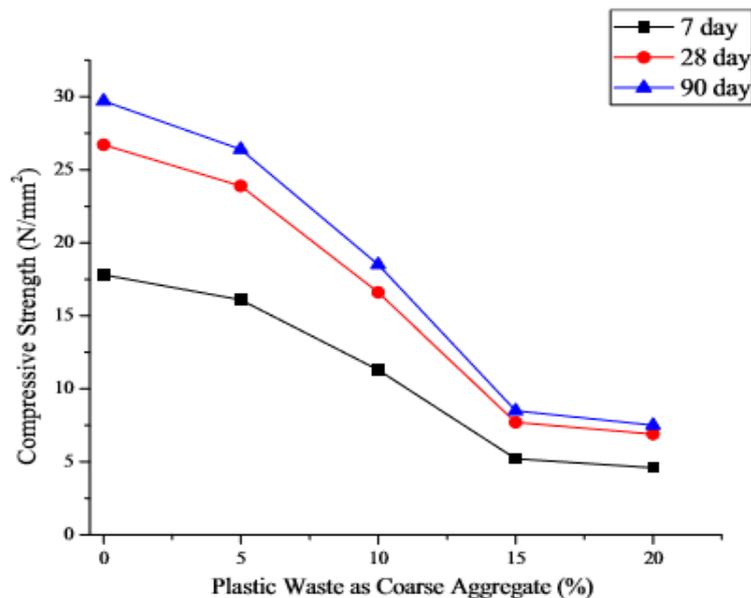


Gambar 2. 8 *Variation of compressive strength with varying MPW fiber types* (Bhogayata dan Arora,2017).

Saxena dkk., (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “*Impact resistance and energy absorption capacity of concrete containing plastic waste*” melakukan eksperimen dengan menggunakan limbah PET sebagai agregat (halus dan kasar) pada beton dengan variasi persentase 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat beton. Parameter seperti kekuatan tekan, dampak resistensi, dan kapasitas penyerapan energi beton yang mengandung limbah PET juga ditinjau. Selain itu, kekuatan tekan Residual beton yang mengandung limbah PET ditinjau dengan paparan suhu tinggi 300°C dan 600°C. Analisis hasil tes menunjukkan kekuatan tekan yang lebih rendah dari beton yang mengandung limbah plastik agregat PET. Namun, hasil menunjukkan resistensi yang lebih baik terhadap pemuatan dampak dalam kasus beton plastik bila dibandingkan dengan beton normal. Kekuatan tekan beton tanpa limbah plastik usia 7 hari ialah 17,8 MPa, menurun 3,6 MPa dengan penggantian 20% agregat halus, sedangkan pada penggantian 20% agregat kasar sebesar 4,6 MPa. Kuat tekan beton umur 28 hari tanpa limbah beton 26,7 MPa, menurun 5,4 MPa pada penggantian 20% agregat halus dan 6,9 MPa pada agregat kasar. Ikatan kohesif yang lemah antara agregat limbah plastik dan pasta mortir mengurangi kuat tekan beton limbah plastik, hal ini dapat kita simpulkan dari data sebelumnya yang menunjukkan bahwa semakin bertambahnya campuran plastik maka kekuatan beton semakin menurun. Hasil dari pengujian kuat tekan ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 9 *Compressive strength of concrete containing plastic waste as fine aggregate replacement* (Saxena dkk., 2018).



Gambar 2. 10 *Compressive strength of concrete containing plastic waste as coarse aggregate replacement* (Saxena dkk., 2018).

Pesic dkk., (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “*Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres*” menyelidiki potensi rekayasa manfaat dari serat plastik HDPE pada beton struktural. Sifat mekanik dan kemudahan servis beton dipelajari melalui pengujian tujuh seri spesimen: satu terbuat dari beton normal dan untuk masing-masing dari dua diameter serat $\varnothing 1 = 25$ mm dan $\varnothing 2 = 40$ mm, tiga seri dengan 0,40%, 0,75%, dan 1,25% volume pecahan serat. Sementara kekuatan tekan dan modulus yang elastis dari beton tidak terpengaruh, kekuatan tarik dan modulus lentur yang sedikit meningkat, antara 3% dan 14% serat HDPE. Serat terutama berkontribusi dengan memberikan pasca-*cracking* daktilitas lentur dan meningkatkan kemudahan servis beton seperti mengurangi penyusutan retak plastik, pengeringan penyusutan dan permeabilitas air. Daya tahan serat HDPE dinilai melalui pencitraan mikroskop elektron *scanning* (SEM) yang menunjukkan tidak adanya gejala penurunan bahan kimia pada beton. Semua temuan menunjukkan bahwa serat HDPE daur ulang dapat berperan dalam menciptakan nilai baru dalam industri konstruksi sementara juga positif berkontribusi terhadap kinerja lingkungan.

Saikia dan Brito (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “*Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate*” mengevaluasi efek dari ukuran dan bentuk didaur ulang agregat *polyethylene terephthalate* (PET) pada sifat segar dan mengeras, termasuk ketahanan abrasi dari beton 5%, 10%, dan 15% dalam volume agregat alami dalam campuran beton digantikan oleh volume yang sama dari tiga bentuk agregat dan ukuran PET yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa kemerosotan beton segar sedikit meningkat dengan penggabungan agregat PET berbentuk butiran. Agregat plastik secara besar mengurangi kemerosotan beton segar dan semakin berkurang jika bentuk dan ukuran dari jenis peningkatan agregat PET ini. Kekuatan tekan, kekuatan membelah tarik, modulus elastisitas, dan kekuatan lentur beton memburuk karena penggabungan agregat PET dan kerusakan properti ini mengintensifkan dengan meningkatnya isi agregat. Perbedaan ukuran, bentuk, dan tekstur agregat PET mengubah rasio air menjadi semen serta kemerosotan campuran beton segar, yang pada akhirnya mengubah perilaku mekanis. Serpihan agregat PET menjembatani dua potongan beton yang terpisah dan karena itu mencegah beton dari pecah setelah kegagalan. Ketahanan abrasi dari campuran beton yang mengandung berbagai jenis agregat PET lebih baik daripada beton normal. Ketahanan abrasi beton dengan penggabungan berbagai jenis dan isi dari agregat PET dapat berhubungan dengan kekuatan tekan.

2.1.2. Penelitian Terdahulu tentang Pengaruh Suhu Terhadap Beton

Park dkk., (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Evaluation of Fire-Damaged Concrete: An Experimental Analysis based on Destructive and Nondestructive Methods*” melakukan analisis eksperimental dari sifat material sisa beton yang rusak karna pengaruh suhu, khususnya, kekuatan tekan, tarik, dan modulus elastisitas beton. Pada pengujian ini peneliti menggunakan 116 sampel benda uji dengan 4 variasi campuran beton pada suhu puncak 200°C, 400°C, dan 600°C. Proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.9 dibawah ini.

Tabel 2. 9 *Mix proportions of concrete samples* (Park dkk., 2017).

<i>Mix</i>	<i>Water (Kg/m³)</i>	<i>Cement (Kg/m³)</i>	<i>w/cm ratio</i>	<i>Fine agg (Kg/m³)</i>	<i>Coarse agg (Kg/m³)</i>	<i>Fine to coarse agg ratio</i>
C1	160	320	0.5	744	1100	0.68
C2	171	285	0.6	744	1100	0.68
C3	160	320	0.5	922	922	1
C4	171	285	0.6	922	922	1

Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa dengan semakin tingginya suhu yang diberikan terhadap beton mengakibatkan kekuatan beton semakin berkurang. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 *The average results of destructive and non-destructive tests* (Park dkk., 2017).

<i>Mix</i>	<i>Temp</i>	<i>Compressive strength (MPa)</i>	<i>Splitting tensile strength (MPa)</i>	<i>Seeant elastic modulus</i>	<i>HNP</i>	<i>Nonlinearity parameter (D)</i>
C1	Initial (20°C)	52.11	4.33	33.25	1.82 (10 ⁻⁶)	0.046
	200°C	37.17	3.96	22.89	5.98 (10 ⁻⁶)	0.225
	400°C	30.37	2.59	8.17	1.12 (10 ⁻⁵)	4.645
	600°C	23.96	1.00	2.91	2.84 (10 ⁻⁵)	21.25
C2	Initial (20°C)	39.03	3.56	28.61	9.02 (10 ⁻⁷)	0.022
	200°C	27.08	3.34	18.74	4.73 (10 ⁻⁶)	0.240
	400°C	25.67	2.15	6.65	1.54 (10 ⁻⁵)	3.093
	600°C	18.29	0.84	2.15	2.97 (10 ⁻⁵)	20.54
C3	Initial (20°C)	46.71	4.11	30.82	7.68 (10 ⁻⁷)	0.030
	200°C	34.78	3.62	18.88	4.30 (10 ⁻⁶)	0.224
	400°C	27.68	2.46	7.19	1.15 (10 ⁻⁵)	2.330
	600°C	21.81	1.07	3.00	2.04 (10 ⁻⁵)	14.26
C4	Initial (20°C)	38.70	3.78	27.32	6.82 (10 ⁻⁷)	0.021
	200°C	28.42	2.93	16.33	3.19 (10 ⁻⁶)	0.153
	400°C	24.35	2.10	5.96	9.03 (10 ⁻⁶)	1.513
	600°C	17.95	0.70	1.98	2.1 (10 ⁻⁵)	16.70

Atmaja dkk., (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “Struktur Beton Pasca Kebakaran Terhadap Kuat Tekan dan Karakteristik Beton” melakukan eksperimen kuantitatif tentang struktur beton pasca kebakaran dengan membuat benda uji berbentuk kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan mutu beton K-200, K-250, K-300, dan K-350 yang dibakar dengan durasi pembakaran selama 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Beton pasca kebakaran menunjukkan kuat tekan dari setiap mutu beton dan durasi pembakaran yang berbeda mengalami perubahan kuat tekan. Beton yang mengalami peningkatan kuat tekan pasca kebakaran adalah: Mutu beton K-200 durasi pembakaran 6 jam suhu 365 °C sebesar 29,62 MPa. Mutu

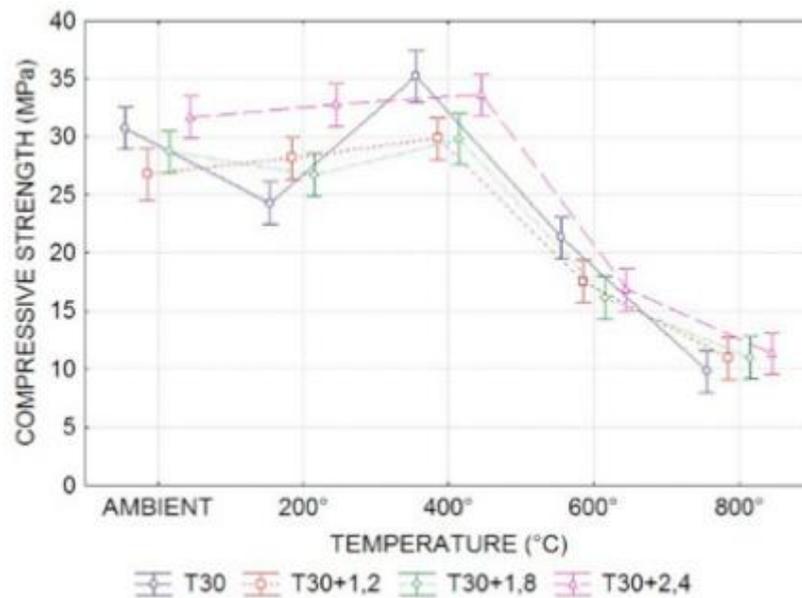
beton K-300 durasi pembakaran 4 jam suhu 573 °C sebesar 21,40 MPa. Mutu Beton K-350 durasi pembakaran 4 jam suhu 493°C sebesar 22,88 MPa. Beton yang mengalami penurunan kuat tekan pasca kebakaran adalah Mutu beton K-200 pembakaran selama 2 jam suhu 302 °C, 4 jam jam suhu 315 °C dan 8 jam suhu 396 °C. Mutu beton K-250 tidak ada yang mengalami peningkatan kuat tekan. Mutu beton K-300 pembakaran selama 2 jam suhu 332 °C, 6 jam suhu 755 °C dan 8 jam 870 °C. Mutu beton K-350 mengalami pembakaran selama 2 jam suhu 399 °C, 6 jam dengan suhu 570 °C, 8 jam dan suhu 727 °C. Hasil kuat tekan dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2. 11 Rekapitulasi Kuat Tekan Beton Normal dan Pasca Kebakaran (Atmaja dkk., 2017).

Jenis Beton	Durasi Kebakaran	Suhu (Celcius)	Kuat Tekan Rata-rata Beton Normal (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan Pasca Kebakaran (MPa)
K-200	2 Jam	302	26.66	21.85
	4 jam	315		26.66
	6 Jam	365		29.62
	8 Jam	396		19.25
K-250	2 Jam	336	22.59	15.10
	4 jam	375		16.29
	6 Jam	456		12.59
	8 Jam	653		11.25
K-300	2 Jam	332	21.11	20.37
	4 jam	573		21.40
	6 Jam	755		20.96
	8 Jam	870		20.59
K-350	2 Jam	399	22.59	20.29
	4 jam	493		22.88
	6 Jam	570		12.22
	8 Jam	727		15.92

Amancio dkk., (2018) dalam penelitiannya yang berjudul "*Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures*" melakukan analisis kekuatan beton campuran plastik *fiber* yang diberi suhu tinggi. Pada pengujian ini menggunakan spesimen beton 30 MPa dengan penambahan 3 isi serat (1,20 kg/m³, 1,80 kg/m³, 2,40 kg/m³), dengan pemberian suhu 200 °C, 400 °C, 600 °C, dan 800 °C selama 30 menit. Parameter yang dianalisis yaitu kuat tekan beton, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dan faktor pengurangan berat massa.

Analisis varian *fiber* menunjukkan secara signifikan pengaruh terhadap kuat tekan beton, namun tidak terjadi pada pengurangan massa beton. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 11 *Influence of temperature on the compressive strength* (Amancio dkk., 2018).

2.1.3. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Beberapa perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang sebagai berikut.

Tabel 2. 12 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang.

No	Penelitian	Jenis Penelitian	Perbedaan komposisi material	
			Terdahulu	Sekarang
1	Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE (Soebandono dkk., 2013)	Pengujian Lab	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase 0%, 10%, 15%, dan 20%	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%

Tabel 2. 12 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang (lanjutan).

2	Kajian Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Campuran Agregat Beton (Suwarno dan Sudarmono, 2015)	Pengujian Lab	Plastik PET sebagai pengganti agregat halus dengan persentase 0% – 5%	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%
3	<i>Effect of Mix Parameters on the Strength Performance of Waste Plastics Incorporated Concrete Mixes</i> (Malkapur dkk., 2014)	Pengujian Lab	Beton campuran plastik menggunakan bahan campuran tambahan <i>fly ash</i>	Beton campuran plastik normal tanpa ada bahan tambahan lainnya
4	<i>Study of Waste Plastic Mix Concrete with Plasticizer</i> (Rai dkk., 2012)	Pengujian Lab	Beton campuran plastik menggunakan bahan campuran tambahan <i>Plasticizer</i>	Beton campuran plastik normal tanpa ada bahan tambahan lainnya
5	Pembuatan Beton Ringan dari Agregat Buatan Berbahan Plastik (Rommel, 2013)	Pengujian Lab	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan pemberian suhu 30°C, 45°C, 60°C, 75°C, 90°C, dan 100 °C	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan pemberian suhu optimum 120 °C
6	<i>Partial replacement of E-plastic Waste as Coarse-aggregate in Concrete</i> (Ashwini, 2016)	Pengujian Lab	E-Plastik sebagai pengganti agregat kasar	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar
7	<i>Employment the plastic waste to produce the light weight concrete</i> (Hameed dan Ahmed, 2019)	Pengujian Lab	Plastik PET sebagai pengganti agregat halus dan kasar	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar

Tabel 2.12 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang (Lanjutan).

8	<i>Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers</i> (Bhogayata dan Arora, 2017)	Pengujian Lab	Pengujian menggunakan serat dari limbah plastik metalik	Pengujian menggunakan agregat kasar dari limbah plastik HDPE
9	<i>Impact resistance and energy absorption capacity of concrete containing plastic waste</i> (Saxena dkk., 2018)	Pengujian Lab	Plastik PET sebagai pengganti agregat halus dan kasar dengan paparan suhu 300 °C dan 600 °C	Plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan pemberian suhu optimum 120 °C
10	<i>Evaluation of Fire-Damaged Concrete: An Experimental Analysis based on Destructive and Nondestructive Methods</i> (Park dkk., 2017)	Pengujian Lab	Beton normal dengan paparan suhu 200 °C , 400 °C , dan 600 °C	Beton campuran plastik HDPE dengan paparan suhu optimum plastik (120 °C)
11	Struktur Beton Pasca Kebakaran Terhadap Kuat Tekan dan Karakteristik Beton (Atmaja dkk., 2017)	Pengujian Lab	Beton normal K-200, K-250, K-300, dan K-350 dengan paparan suhu selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam	Beton campuran plastik HDPE Fc 25 MPa dengan paparan suhu optimum plastik (120 °C) selama 2 jam
12	<i>Behavior of concrete reinforced with polypropylene fiber exposed to high temperatures</i> (Amancio dkk., 2018)	Pengujian Lab	Beton campuran plastik <i>fiber</i> dengan paparan suhu 200 °C , 400 °C , 600 °C , dan 800 °C selama 30 menit	Beton campuran plastik HDPE Fc 25 MPa dengan paparan suhu optimum plastik (120 °C) selama 2 jam

2.2. Dasar Teori

Beton sering digunakan sebagai konstruksi bangunan seperti kolom, balok, fondasi, dan plat. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002), beton dibedakan beberapa jenis yaitu beton normal, beton bertulang, beton pracetak, beton pratekan, dan beton ringan. Penelitian ini membahas tentang campuran beton normal $f_c' = 25$ MPa dengan tambahan limbah plastik dengan pengujian kuat tekan beton. Beton tersebut dicampur dengan limbah plastik dengan 5 variasi campuran yaitu sekitar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dengan beberapa sampel. Beberapa dasar teori dari penelitian ini akan dibahas dalam subbab berikut ini.

Menurut Mulyono (2004), beton merupakan komponen struktur yang bahan penyusunnya terdiri dari semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (*admixture* dan *additive*). Naway mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

Menurut Adianto (2006), Beton merupakan material komposit yang tersusun dari agregat dan terbungkus oleh matrik semen yang mengisi partikel-partikel sehingga membentuk satu kesatuan. Beton terdiri dari campuran/komposisi semen, air, agregat halus (pasir), agregat kasar (*kerikil/split*), dan bahan tambahan.

Menurut Miller (2009), Beton polimer atau campuran plastik merupakan modifikasi beton konvensional dengan menambahkan plastik pada adukannya, penggunaan limbah plastik sebagai pengganti bahan baku beton dapat dijadikan sebagai alternatif campuran beton tanpa efek yang merugikan.

2.2.1. Komposisi Beton

Pada umumnya komposisi beton terdiri dari beberapa komponen yaitu sebagai berikut:

1. Semen

Semen adalah bahan pengikat agar bahan padat yang dicampurnya terikat satu dengan yang lain menjadi satu kesatuan yang kuat. Semen dibedakan menjadi dua jenis yaitu semen hidrolis dan non hidrolis. Semen hidrolis mempunyai kemampuan mengikat dan mengeras cepat dalam air, contoh semen hidrolis yaitu semen *possolan*, semen terak, semen alam, dan semen *portland*. Sedangkan Semen non hidrolis tidak mempunyai kemampuan mengikat dan mengeras cepat dalam air

tetapi membutuhkan udara untuk dapat mengeras, contoh semen non hidrolis yaitu OPC (*Ordinary Portland Cement*), PPC (*Portland Pozzolan Cement*), PCC (*Portland Cement Composit*).

Menurut BSN (2002), OPC (*Ordinary Portland Cement*) dibagi menjadi 5 jenis yaitu sebagai berikut ini :

- 1) Jenis I yaitu semen *portland* untuk konstruksi umum yang penggunaannya tidak memerlukan syarat khusus seperti yang lain.
- 2) Jenis II yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis III yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- 4) Jenis IV yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Jenis V yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2. Agregat

Agregat adalah salah satu campuran beton yang terdiri dari butiran mineral alami yang bahan pembuatnya terdiri dari 70% dari volume beton dan sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan beton. Agregat dibagi menjadi 2 yaitu agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat Kasar

Agregat Kasar merupakan agregat yang lolos saringan lebih dari 4,75 mm, agregat kasar yang disebut kerikil, batu pecah ataupun *split*. Ada syarat-syarat yang ditentukan agar agregat kasar lebih baik yaitu :

- 1) Kadar lumpur agregat kasar tidak lebih dari 1%
- 2) Nilai keausan agregat kasar tidak lebih 40%
- 3) Berat jenis agregat kasar sekitar 2,5-2,7

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat yang lolos saringan kurang dari 4,75 mm, agregat halus yang disebut dengan pasir. Ada syarat-syarat yang ditentukan agar agregat halus lebih baik yaitu :

- 1) Kadar lumpur agregat halus tidak lebih dari 5%
- 2) Agregat halus memiliki modulus halus butir 1,5-3,8.

3. Air

Air merupakan salah satu bagian dari campuran beton yang sangat penting dalam menentukan mutu beton. Tujuan dari penggunaan air dalam campuran beton yaitu agar terjadi reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran menjadi keras. Campuran air yang digunakan sekitar 25%-30% dari berat semen. Ada syarat-syarat yang ditentukan agar lebih baik yaitu :

- a. Air yang digunkana harus bersih
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda lain
- c. Tidak mengandung garam yang dapat melarutkan

2.2.2. Limbah Plastik

Limbah plastik yaitu limbah dari botol atau benda bekas yang terbuat dari bahan polimer. Limbah ini dipanaskan sehingga membentuk gumpalan-gumpalan yang akan dicacah seperti ukuran agregat kasar/ kerikil. Jenis plastik yang dipakai adalah jenis HDPE karena memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Bahan plastik memiliki kemampuan mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan/minuman yang dikemasnya.

2.2.3. Slump dan Faktor Air Semen (FAS)

Pada pengerjaan campuran beton yang sering diperhatikan adalah kekecekan beton segar. Uji *slump* dipakai untuk memperoleh kekecekan beton segar. Menurut Tjokrodimuljo (2007), Faktor yang mempengaruhi kekecekan pada beton segar sebagai berikut :

1. Jumlah pasta dalam campuran adukan beton
2. Gradasi butiran

3. Jumlah air dipakai dalam adukan beton
4. Besar butiran maksimum agregat

Maka *slump* sangat berpengaruh pada faktor air dan semen pada beton. Apabila nilai FAS semakin tinggi maka semakin tinggi pula nilai *slump* dan kuat tekan beton semakin kecil.

2.2.4. Kuat Tekan Beton

Kualitas dari beton dapat dilihat dari hasil kuat tekan dari beton tersebut, yaitu kemampuan beton menerima beban persatuan luas dihancurkan dengan gaya tekan oleh mesin dan menghasilkan kuat tekan dalam bentuk MPa (*Mega Pascal*). Menurut SNI 03-1974-1990 (BSN,1990), kuat tekan menghasilkan tegangan maksimum dengan satuan kg/cm^2 atau Mpa (*Mega Pascal*) yang didapatkan dari Persamaan 2.1. Nilai kuat tekan beton umumnya lebih tinggi dari kuat tariknya, oleh karena itu mutu beton ditinjau dari mutu kuat tekannya (Tjokrodinuljo, 2007).

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (kg)

A = luas bidang yang ditekan (cm^2)