

TESIS

**PERILAKU MEKANIK BETON BERBAHAN LIMBAH PLASTIK PET
SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI**

**MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE MADE UP OF PET PLASTIC
WASTE AS A CONTRUCTION MATERIAL**

NURUL AISYAH AZIS



**PRODI S2 TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR
2020**

HALAMAN SAMPUL

**PERILAKU MEKANIK BETON BERBAHAN LIMBAH PLASTIK PET
SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI**

**MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE MADE FROM PET PLASTIC
WASTE AS A CONTRUCTION MATERIAL**

sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Magister

disusun dan diajukan oleh

**NURUL AISYAH AZIS
D012181024**



Kepada

**PRODI S2 TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

TESIS

**PERILAKU MEKANIK BETON BERBAHAN LIMBAH PLASTIK
PET SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI**

Disusun dan diajukan oleh :

NURUL AISYAH AZIS

Nomor Pokok D012181024

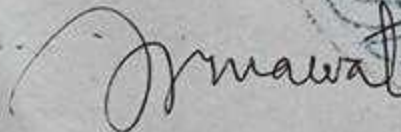
telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 30 November 2020

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat



Dr.Eng.Hj.Rita Irmawaty,ST.,MT.

Ketua



Ir. H.Achmad Bakri Muhiddin. M.Sc.Ph.DA

Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr.Eng.Hj.Rita Irmawaty,ST.,MT

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof.Dr.Ir.H.Muhammad Arsyad Thaha,MT

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nurul Aisyah Azis

Stambuk : D012181024

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa teisi yang saya tulis ini benar- benar merupakan hasil karya saya sendiri bukan merupakan pengambilalihan tulisan atua pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan hasil teisis ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, November 2020

Yang menyatakan



Nurul Aisyah Asis

PRAKATA

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan menyusun serta menyelesaikan tesis ini. Berbagai kendala dan permasalahan yang penulis hadapi selama mengikuti program pendidikan ini terutama selama penelitian dan penyusunan tesis ini. Namun, berkat bantuan baik moril maupun materil dari berbagai pihak, akhirnya semua kendala dan permasalahan dapat dilewati satu persatu. Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini tidak akan selesai tanpa adanya berbagai bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr.Eng. Ir.Hj. Rita Irmawaty, ST, MT. selaku ketua program studi sekolah S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin sekaligus penasehat utama dan Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc, Ph.DA sebagai penasehat anggota yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengoreksi, memberi bantuan literature, memberikan saran dan masukan, serta diskusi-diskusi yang telah dilakukan.
2. Kepala Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah mengizinkan melakukan penelitian dan para asisten-asisten yang telah memberikan bantuan selama penelitian.
3. Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi(PPNN) ITB yang telah membantu dalam pengujian Scaning Electrone Microscope.
4. Rekan-rekan mahasiswa S2 Teknik Sipil khususnya rekan-rekan teman seperjuangan angkatan 2018 Munadrah,ST.
5. Adik-adik mahasiswa S1 yang sangat banyak membantu dalam proses penelitian ini yang banyak saya repotkan selama penelitian.
6. Mohon maaf semua pihak yang telah membantu yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis sampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta Ibunda Hj.Ramlah dan Ayahanda Hj.Abdul Azis yang telah membesarkan dan mendidik serta senantiasa berdoa setiap saat dengan penuh keikhlasan hati bagi kesehatan dan keberhasilan studi penulis, juga kepada saudara saya Nurul Sakinah Amalia yang telah banyak mensupport dan membantu saya terima kasih bantuan, doa dan dukungannya, atas ketulusan, keikhlasan, pengertian, kesabaran dan pengorbanan yang luar biasa. Penyusunan tesis ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki, untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mohon masukkan dan kritik yang membangun demi kesempurnaan tesis ini. Semoga segala bantuan baik moril maupun materil yang diberikan menjadi amalan yang baik dan mendapat ganjaran yang terbaik dari Allah SWT. Amiin.

Gowa, 10 Juli 2020

Nurul Aisyah Azis

ABSTRAK

NURUL AISYAH AZIS. *Perilaku Mekanik Beton Berbahan Limbah Plastik PET Sebagai Material Konstruksi* (dibimbing oleh Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT dan Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph. D)

Dalam konstruksi teknik sipil, penggunaan cacahan plastik pada beton meningkat secara drastis sebagai pengganti sebagian agregat, karena memberikan keuntungan dari sisi lingkungan dan bernilai ekonomis dimana penggunaan limbah semakin meningkat dalam beton. Penggunaan limbah plastik sebagai pengganti agregat adalah solusi bagi masalah lingkungan. Sampah plastik dapat meningkatkan kinerja beton seperti ketahanan terhadap abrasi, beban impact, daktilitas, penyerapan goncangan, dan konduktivitas termal. Namun, penambahan limbah plastik akan mempengaruhi perilaku mekanik beton. Kelemahan ini bisa diatasi dengan menambahkan serat baja dalam bentuk Dramix 3D 80/60. Peningkatan jumlah plastik PET dalam beton, menyebabkan workability beton menurun, sehingga perlu ditambahkan superplasticizer untuk meningkatkan workability beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku mekanik beton menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat. Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan variasi kadar plastik PET 0%, 10%, 15%, dan 20% dari volume agregat kasar. Plastik PET direndam dalam larutan NaOH 4% selama 15 menit sebelum digunakan. Penggantian agregat kasar dengan plastik PET sampai 20%, menurunkan berat volume beton sebesar 13%. Pengujian mekanis pada beton diperoleh bahwa semakin besar penambahan kandungan plastik PET, semakin besar penurunan kekuatan tekan, kekuatan lentur, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas beton. Hasil SEM memperlihatkan bahwa partikel PET tidak tercabut dari matriks beton dan mampu mentransfer beban, sehingga penambahan partikel PET mampu meningkatkan daktilitas beton.

Kata Kunci : *Perilaku Mekanik, Plastik PET, SEM*

ABSTRACT

NURUL AISYAH AZIS. *Mechanical Properties of Concrete Composed of PET Plastic Waste as Construction Material* (Supervisor: Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT dan Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph. D)

In civil engineering construction, the use of shredded plastic in concrete has increased drastically as a substitute for coarse aggregate, because it provides environmental benefits and is of economic value where the use of waste is increasing in concrete. The use of plastic waste as a substitute for aggregates is a solution to environmental problems. Plastic waste can improve concrete performance such as resistance to abrasion, impact loads, ductility, shock absorption, and thermal conductivity. However, the addition of plastic waste will affect the mechanical properties of concrete. This weakness can be overcome by adding steel fibers in the form of Dramix 3D 80/60. Increasing the amount of PET plastic in the concrete causes the workability of the concrete to decrease, so it is necessary to add a superplasticizer to increase the workability of the concrete. The objective of this study was to analyze the mechanical properties of concrete using PET plastic waste as a partial substitute for aggregate. The method used is experimental research with variations in PET plastic content of 0%, 10%, 15%, and 20% of the volume of coarse aggregate. PET plastic was immersed in 4% NaOH solution for 15 minutes before use. Replacement of coarse aggregate with PET plastic by up to 20%, reduces the volume weight of concrete by 13%. Mechanical testing on concrete shows that the greater the addition of PET plastic content, the greater the decrease in compressive strength, flexural strength, tensile strength, and modulus of elasticity of the concrete. SEM results show that PET particles are not uprooted from the concrete matrix and are able to transfer loads, so the addition of PET particles can increase the ductility of the concrete.

Keywords: Mechanical Properties, PET Plastic, SEM

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah.....	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Penelitian Terdahulu.....	7
B. Beton	7
C. Bahan Penyusun Beton	8
C.1.Semen	8
C.2.Agregat	9

C.2.1 Agregat Kasar	10
C.2.2 Agregat Halus	10
C.3. Air	11
C.4. Jenis Limbah Plastik	12
C.4.1 PET (Polyethylene Terephthalate)	13
C.4.2 HDPE (High-Density Polyethylene)	13
C.4.3 PVC (Polyvinyl Chloride)	14
C.4.4 LDPE (Low-Density Polyethylene)	14
C.4.5 PET (Polyethylene Terephthalate)	15
C.4.6 PS (Polystyrene)	15
C.4.7 Bahan Plastik Lain (BPA, Polycarbonate, dan LEXAN)	16
C.5. Dramix Steel Fiber	17
C.6. Superlasticizer	17
C.7. Natrium Hidroksida (NaOH)	20
C.8. Sifat Mekanik Beton	20
C.8.1 Kuat Tekan	21
C.8.2 Kuat Tarik Belah	21
C.8.3 Kuat Lentur	21
C.8.4 Modulus Elastisitas	22
C.8.5 Pengujian Metode Scanning Electron Microscopy (SEM)	22

BAB III	METODE PENELITIAN	23
	A. Tempat dan Waktu Penelitian	24
	B. Alat dan Bahan Penelitian	24
	C. Benda Uji.....	24
	D. Prosedur Penelitian.....	25
	D.1. Pengujian Karakteristik Agregat.....	25
	D.2 Rancang Campuran Beton (Concrete Mix Design)	26
	D.3 Pembuatan Benda Uji	26
	D.4 Pengujian Benda Uji	27
	D.4.1 Kuat Tekan.....	27
	D.4.2 Kuat Tarik Belah.....	28
	D.4.3 Kuat Lentur.....	29
	D.4.4 Modulus Elastisitas.....	31
	D.4.5 Metode Scanning Electron Microscopy (SEM)	
	32
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
	A. Hasil Pengujian Agregat.....	33
	B. Komposisi Bahan Campuran Beton.....	33
	C. Sifat Mekanik Beton	36
	C.1 Analisis Bobot Isi Beton	36
	C.2 Analisis Kuat Tekan Beton.....	37
	C.3 Analisis Kuat Tarik Belah	38

C.4 Analisis Kuat Lentur	40
C.5 Analisis Modulus Elastisitas.....	41
C.6 Pengamatan SEM Beton	55
C.7 Distribusi Plastik Dalam Beton.....	55
C.8 Pengamatan SEM Beton	55
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton.....	9
Tabel 2. Gradasi Agregat Halus.....	10
Tabel 3. Jumlah benda uji.....	25
Tabel 4. Jenis pengujian dan standar	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kode Identifikasi Resin	12
Gambar 2. Contoh plastik jenis PET	13
Gambar 3. Contoh plastik jenis HDPE	14
Gambar 4. Contoh jenis plastik V/PVC	14
Gambar 5. Contoh plastik jenis LDPE	15
Gambar 6. Contoh plastik jenis PP	15
Gambar 7. Contoh plastik jenis PS	16
Gambar 8. Contoh plastik jenis OTHER	16
Gambar 9.a Perbandingan ujung Dramix tiap jenis	17
Gambar 9.b Jenis-jenis Dramix steel fiber	17
Gambar 10. Skema Penelitian	23
Gambar 11. Universal Testing Machine.....	25
Gambar 12. Pengujian Kuat Tekan	28
Gambar 13. Pengujian Tarik Belah.....	29
Gambar 14. Pengujian Kuat Lentur	30
Gambar 15. Modulus Elastisitas	32

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton adalah bahan konstruksi yang paling banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan, diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air, agregat dan bahan tambah untuk memperbaiki kinerjanya. Penggunaan limbah dan bahan daur ulang dalam campuran beton menjadi trend perkembangan beton saat ini, selain membantu mengurangi pencemaran lingkungan, dengan memanfaatkan dan mengolah limbah padat yang dihasilkan oleh limbah industri dan sampah kota, juga mengurangi penggunaan material alam yang jumlahnya semakin terbatas.

Plastik adalah salah satu inovasi paling signifikan dari bahan diabad ke-20. Bukan suatu yang mengherankan jika plastik banyak digunakan. Plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya, seperti plastik memiliki densitas yang rendah, bersifat isolasi terhadap listrik, mempunyai kekuatan mekanik yang bervariasi, ketahanan suhu terbatas, serta ketahanan bahan kimia yang bervariasi. Selain itu, plastik juga ringan, mudah dalam perancangan dan biaya produksinya. Namun dibalik segala kelebihannya, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Sifat plastik yang *non-biodegradable* (sulit diuraikan) menyebabkan plastik membutuhkan waktu 100 – 500 tahun agar dapat terurai secara sempurna. Penggunaan plastik yang terus mengalami peningkatan dari waktu ke waktu, menyebabkan jumlah limbah plastik ikut terus meningkat. Di Indonesia diperkirakan akan menghasilkan 9 juta ton sampah plastik di tahun 2019 (Erric Permana, 2019).

Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan cara mendaur ulang limbah plastik. Namun cara ini tidaklah terlalu efektif. Hanya sekitar 4% yang dapat didaur ulang, sisanya menggunung di tempat penampungan sampah. Sehingga diperlukannya penanggulangan limbah plastik yang lebih efisien. Salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan limbah plastik menjadi agregat buatan dalam campuran beton.

Karena penggunaan plastik yang tidak aman juga tidak baik untuk kesehatan, plastik dibagi berdasarkan kode-kode yang memberikan informasi tentang jenis bahan, cara pembuatan, dan dampak pemanfaatannya bagi pemakai. Terdapat tujuh kode yang membedakan jenis plastik yaitu, PETE atau PET (*Polyethylene Terephthalate*) Kode 1, HDPE (*High Density Polyethylene*) Kode 2, PVC (*Polyvinyl Chloride*) Kode 3, LDPE (*Low Density Polyethylene*) Kode 4, PP (*Polypropylene*) Kode 5, PS (*Polistirena*) Kode 6, *Other* Kode 7 (Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018).

Sebagian besar dari limbah plastik yang ada merupakan limbah plastik dari jenis plastik PET. Botol jenis PET ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Pemakaian yang berulang mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker) dalam jangka panjang. *Polyethylene terephthalate* yang sering disebut PET dibuat dari glikol (EG) dan terephthalic acid (TPA) atau dimethyl ester atau asam terephthalat (DMT). PET merupakan keluarga polyester seperti halnya PC. Polymer PET dapat diberi penguat fiber glass, atau filler mineral. PET film bersifat jernih, kuat, liat, dimensinya stabil, tahan nyala api, tidak beracun, permeabilitas terhadap gas, aroma maupun air rendah. PET *engineer* resin mempunyai kombinasi sifat-sifat: kekuatan (*strength*) tinggi, kaku (*stiffness*), dimensi stabil, tahan bahan kimia dan panas, serta

mempunyai sifat elektrikal yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. Penggunaan PET sangat luas antara lain: botol-botol untuk air mineral, soft drink, kemasan sirup, saus, selai, minyak makan. Volume beton mengandung 65-80% agregat dan memainkan peran penting dalam sifat beton seperti kemampuan kerja, kekuatan, stabilitas dimensi dan daya tahan, sehingga penggunaan limbah plastik dalam beton sebagai pengganti agregat dapat mengurangi jumlah limbah secara signifikan.

Dalam konstruksi teknik sipil, penggunaan cacahan plastik pada beton meningkat secara drastis sebagai pengganti sebagian agregat. Karena memberikan keuntungan dari sisi lingkungan dan bernilai ekonomis dimana penggunaan limbah semakin meningkat dalam beton. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggantian sebagian agregat dengan limbah plastik dapat memperbaiki kinerja beton seperti ketahanan terhadap abrasi dan beban impact, daktilitas, *shock absorption*, dan konduktivitas termal. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik ke dalam campuran beton menyebabkan penurunan sifat mekanik seperti kekuatan tekan, kekuatan tarik dan kekuatan lentur. Penelitian lain menunjukkan bahwa penambahan serat baja dalam beton normal meningkatkan sifat mekanik secara signifikan.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini menggunakan limbah botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai agregat kasar buatan. Untuk meningkatkan kekuatan beton limbah plastik, maka ditambahkan serat baja terhadap berat semen. Dan penambahan superplasticizer untuk memperbaiki workability pada beton. Dalam J.Thorneycroft, dkk (2017) dilakukan *treatment* pada plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan perendaman dalam larutan NaOH (*Natrium Hidroksida*) 4% selama 15 menit sebelum digunakan untuk membersihkan

dari kotoran yang dapat merusak beton.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka penulis merasa perlu melakukan penelitian pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti agregat pada beton dengan judul **“PERILAKU MEKANIK BETON BERBAHAN LIMBAH PLASTIK PET SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI”**.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku mekanik pada beton yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat.
2. Bagaimana distribusi dan lekatan antara cacahan plastik serta serat baja dalam beton yang menggunakan plastik PET sebagai agregat kasar.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis perilaku mekanik pada beton yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar.
2. Mengevaluasi distribusi dan lekatan antara cacahan plastik serta serat baja dalam beton yang menggunakan plastik PET sebagai agregat.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat referensi untuk potensi penggunaan limbah plastik yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan limbah cacahan plastik jenis PET ukuran 2-3 cm.
2. Serat baja yang digunakan adalah dramix 3D 80/60.
3. Variabel yang digunakan dalam penelitian berupa variasi persentase volume plastik PET terhadap volume agregat kasar yaitu, 0%, 10%, 15%, dan 20%.
4. Berat serat baja untuk semua variasi konstan dengan nilai 0,5% terhadap berat semen.
5. Penelitian ini menggunakan superplasticizer sebagai bahan tambah.
6. Pengujian dilakukan pada umur 7,14 dan 28 hari curing air.
7. Plastik PET direndam dalam larutan NaOH 4% selama 15 menit sebelum digunakan.
8. Lekatan antara cacahan plastik dan serat baja dalam beton dievaluasi dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangkaisi. Dalam tesis ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, bahasan dan batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan

menganalisa tentang permasalahan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta pengolahan hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tesis ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Job T dan Ananth R.,(2007) penambahan serat baja dalam beton normal meningkatkan sifat mekanik (kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah) secara signifikan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jaivignesh B dan Sofi A. (2017) Penambahan limbah plastik ke dalam campuran beton menyebabkan penurunan sifat mekanik seperti kekuatan tekan, kekuatan tarik dan kekuatan lentur.

Penelitian Irmawaty, R, dkk (2020) bahwa semakin besar penambahan kadar plastik PET, maka semakin besar penurunan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas pada beton.

B. Beton

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk.

Pada dasarnya, beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*),

mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan. Beberapa bahan bersifat semen seperti abu terbang, pozzolan alam/tras, tepung terak tanur tinggi dan serbuk silika dapat digunakan bersama-sama dengan semen hidrolis untuk menekan harga atau untuk memberikan sifat-sifat tertentu seperti misalnya untuk mengurangi panas hidrasi awal, menambah perkembangan kekuatan akhir, atau menambah daya tahan terhadap reaksi alkali-agregat atau serangan sulfat, menambah kerapatan, dan ketahanan terhadap masuknya larutan-larutan perusak (SNI 7656:2012).

Kualitas beton yang dihasilkan dari campuran bahan-bahan dasar penyusun beton meliputi kekuatan dan keawetan. Sifat-sifat sangat ditentukan oleh sifat penyusunnya, cara pengadukan, cara pengerjaan selama penuangan adukan beton ke dalam cetakan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan. Beton mempunyai karakteristik yang spesifikasinya terdiri dari beberapa bahan penyusun.

C. Bahan Penyusun Beton

C.1. Semen

Semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesive maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Ada dua macam semen, yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen non-hidraulis adalah semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air. Semen hidraulis adalah semen yang akan mengeras bisa bereaksi dengan air, tahan terhadap air (*water resistance*) dan stabil di dalam air setelah mengeras.

Salah satu semen hidraulis yang biasa dipakai dalam konstruksi beton adalah semen Portland. Menurut Standar Industri Indonesia (SII 0031-1981) semen

Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Semen yang beredar dipasaran dalam kemasan zak 40 kg dan 50 kg saat ini adalah semen tipe PPC (Portland Pozolan Cement) dan PCC (*Portland Composite Cement*).

C.2. Agregat

Menurut SNI 2847:2013, agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnance slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

Agregat merupakan bahan penyusun beton yang menempati 70- 75% dari total volume beton sehingga kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, berperan sebagai bahan pengisi saja, kini disadari adanya kontribusi positif agregat pada sifat beton, seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umum (*durability*) diakui. Bahkan beberapa sifat fisik beton secara langsung tergantung pada sifat agregat seperti kepadatan, panas jenis, dan modulus elastisitas. Pengaruh agregat pada beton disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton

Sifat Agregat	Pengaruh Pada	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton Cair	Keleccakan pengikatan dan pengerasan
Sifat kimia, mineral	Beton Keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>durability</i>)

Agregat berdasarkan ukuran butirnya dibedakan menjadi dua yaitu : agregat kasar dan agregat halus.

C.2.1. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat kasar merupakan adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek merusak lainnya. Agregat kasar harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen.

C.2.2. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000, definisi agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat halus memiliki zona-zona berdasarkan ukuran lolos saringannya. Menurut SK-SNI-T-15-1990-03, gradasi pasir dibagi menjadi empat kelompok yaitu pasir kasar, pasir agak kasar, pasir agak halus, dan pasir halus seperti tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran Yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	33 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 - 15

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah IV : Pasir Halus

Gradasi agregat halus memiliki pengaruh terhadap *workability*. Hal ini disebabkan karena mortar memiliki fungsi sebagai pelumas. Persyaratan pasir agar

dapat digunakan sebagai bahan bangunan adalah sebagai berikut :

1. Pasir beton harus bersih. Bila diuji dengan memakai larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang kelihatan dibandingkan tinggi seluruhnya, endapannya tidak kurang dari 70%.
2. Kandungan bagian yang lewat ayakan 0,063 mm (lumpur) tidak lebih besar dari 5% berat.
3. Angka modulus halus butir terletak antara 2,2 - 3,2 bila diuji memakai rangkaian ayakan dengan mata ayakan berukuran berturut-turut 0.16 mm, 0.315 mm, 0.63 mm, 1.25 mm, 2.5 mm, dan 10 mm dengan fraksi yang lewat ayakan 0.3 mm minimal 15% berat.
4. Pasir tidak boleh mengandung zat-zat organik yang dapat mengurangi mutu beton. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
5. Kekekalan terhadap larutan $MgSO_4$, fraksi yang hancur tidak lebih dari 10% berat.
6. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.

C.3 Air

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI 1982), antara lain:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.

4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m. dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m. sebagai SO₃.
5. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi.

C.4 Jenis Limbah Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromelekul yang dibentuk dengan Proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa Molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar makromelekul atau polimer).

Dalam Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018, Berdasarkan Kode Identifikasi Resin (*Resin Identification Code*), Plastik diklasifikasikan menjadi 7 jenis tingkatan (*grade*), yaitu mulai dari kode simbol **angka 1 hingga angka 7**. Setiap kode simbol angka tingkatan tersebut dikelilingi oleh tiga anak panah yang berbentuk segitiga, dibawah segitiga tersebut terdapat singkatan nama jenis plastik (Gambar 1). Kode-kode simbol tersebut biasanya dapat kita temukan di bagian bawah produk plastik. Gambar 2 memperlihatkan konsumsi plastik dunia pada tahun 2016 dan hasil cacahan botol plastik.



Gambar 1. Kode Identifikasi Resin

C.4.1. PET (*Polyethylene Terephthalate*) atau Kode 1

PET atau PETE merupakan salah satu plastik yang sering digunakan sebagai wadah makanan. Plastik PET dapat kita temukan pada hampir semua botol air mineral dan beberapa pembungkus. Plastik ini dirancang untuk satu kali penggunaan saja. Jadi, jika digunakan berulang dapat meningkatkan resiko ikut terkonsumsinya bahan plastik dan bakteri yang berkembang pada bahan itu. Hal ini disebabkan jenis plastik PET ini sulit untuk dibersihkan dari bakteri dan bahan plastik PET dapat bersifat racun. Plastik ini sebaiknya didaur ulang dan tidak digunakan kembali (Sri Fadilah, Zerowaste.id,2018).



Gambar 2. Contoh plastik jenis PET

C.4.2. HDPE (*High-Density Polyethylene*) atau Kode 2

Plastik HDPE merupakan jenis plastik yang biasanya digunakan untuk membuat botol susu, botol deterjen, botol shampo, botol pelembab, botol minyak, mainan, dan beberapa tas plastik. HDPE merupakan plastik yang paling umum didaur ulang dan dianggap plastik paling aman. Proses daur ulang plastik ini cukup sederhana dan tidak membutuhkan biaya banyak. Plastik HDPE ini sangat keras dan tidak mudah rusak karena pengaruh sinar matahari, panas yang tinggi, atau suhu yang dingin. Karena itu, HDPE digunakan untuk membuat meja piknik, tempat sampah, dan produk lain yang membutuhkan ketahanan terhadap cuaca (Sri

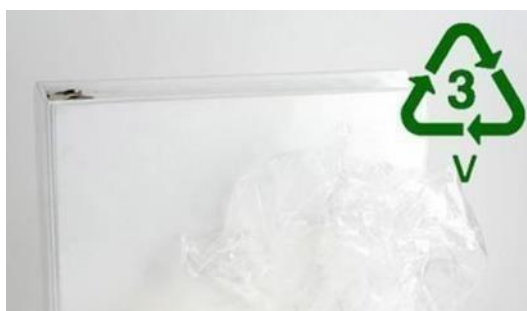
Fadilah, Zerowaste.id, 2018).



Gambar 3. Contoh plastik jenis HDPE

C.4.3. PVC (*Polyvinyl Chloride*) atau Kode 3

Plastik PVC memiliki sifat lembut dan fleksibel. Plastik jenis ini biasa digunakan untuk membuat plastik pembungkus makanan, botol minyak sayur, dan mainan anak-anak seperti pelampung renang. Selain itu juga digunakan untuk membuat pipa plastik, dan komponen kabel komputer. PVC dikhawatirkan sebagai “plastik beracun” karena mengandung berbagai racun yang dapat mencemari makanan. Plastik ini juga sukar didaur ulang. Produk PVC sebaiknya tidak digunakan kembali sebagai pembungkus makanan (Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018).



Gambar 4. Contoh jenis plastik V/PVC

C.4.4. LDPE (*Low-Density Polyethylene*) atau Kode 4

LDPE biasa ditemukan pada pembungkus baju, kantong pada layanan cuci kering, pembungkus buah-buahan agar tetap segar, dan pada botol pelumas. LDPE

dianggap memiliki tingkat racun yang rendah dibandingkan dengan plastik yang lain. LDPE tidak umum untuk didaur ulang, jika didaur ulang plastik LDPE biasanya digunakan sebagai bahan pembuat ubin lantai (Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018).



Gambar 5. Contoh plastik jenis LDPE

C.4.5. PP (*Polypropylene*) atau Kode 5

Plastik PP bersifat kuat, ringan, dan tahan terhadap panas. Plastik PP mampu menjaga bahan yang ada di dalamnya dari kelembaban, minyak dan senyawa kimia lain. PP biasanya digunakan sebagai pembungkus pada produk sereal sehingga tetap kering dan segar. PP juga digunakan sebagai ember, kotak margarin dan yogurt, sedotan, tali, isolasi, dan kaleng plastik cat. Plastik dari PP dianggap aman jika digunakan kembali dan dapat didaur ulang (Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018).



Gambar 6. Contoh plastik jenis PP

C.4.6. PS (*Polystyrene*) atau Kode 6

Polystyrene atau styrofoam merupakan plastik yang murah, ringan, dan mudah dibentuk. Plastik ini banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan. Biasanya

plastik PS digunakan sebagai botol minuman ringan, karton telur, kotak makanan, dan pembungkus bahan yang akan dikirim dalam jarak jauh. Plastik PS ini mudah rusak dan rapuh, sehingga mudah terpotong-potong menjadi kecil dan mudah mencemari lingkungan. Senyawa styrene pada plastik polystyrene mungkin bisa lepas dari plastik tersebut dan jika dikonsumsi dapat memicu kanker dan gangguan sistem reproduksi. (Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018).



Gambar 7. Contoh plastik jenis PS

C.4.7. Bahan Plastik Lain (*BPA, Polycarbonate, dan LEXAN*) atau Kode 7

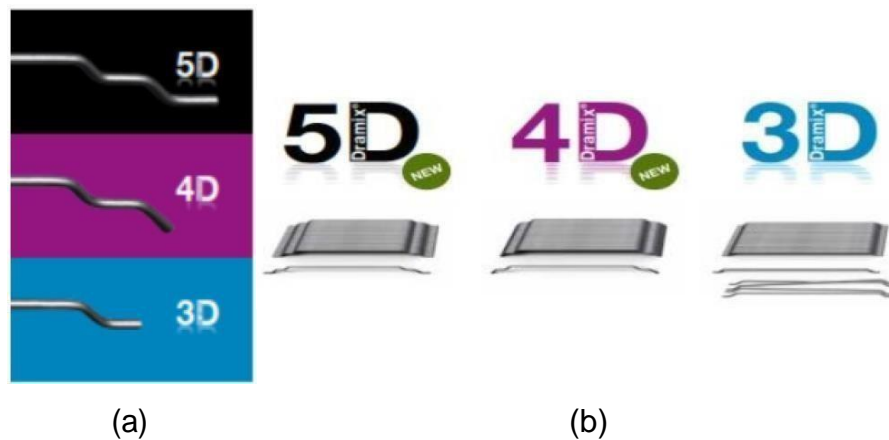
Kategori plastik dengan kode 7 ini merupakan jenis plastic lainnya selain dari no.1 sampai 6 seperti botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mpbil, alat-alat rumah tangga, computer, alat-alat elektronik, sikat gigi dan mainan lego (Sri Fadilah, Zerowaste.id, 2018).



Gambar 8. Contoh plastik jenis *OTHER*

C.5. Dramix Steel Fiber

Dramix® steel fiber adalah fiber baja yang diproduksi melalui proses penarikan dingin (*cold drawn*) dengan lekukan di ujung yang akan memberikan pengikatan yang optimal. Beton yang memiliki penulangan dengan steel fiber akan memberikan kelenturan (*ductility*) dan kemampuan menerima beban yang tinggi (*high load bearing capacity*). Selain itu juga akan memberikan aplikasi yang cepat dan mudah serta memberikan solusi yang jauh lebih efektif dan ekonomis. Tersedia dalam beberapa tipe: 3D (kuat tarik 1225 -1345 MPa), 4D (kuat tarik 1500 MPa) dan 5D (kuat tarik 2300 MPa). 3D 80/60BG (*aspect ratio* 80, panjang 60 mm & diameter 0.75 mm); 3D 65/35BG (*aspect ratio* 65, panjang 35 mm & diameter 0.55 mm); 4D 65/60BG (*aspect ratio* 65, panjang 60 mm & diameter 0.90 mm) dan 5D 65/60BG (*aspect ratio* 65, panjang 60 mm & diameter 0.90 mm), (Concrete Reinforcement & Tools Design, Prisai, 2017). Detail Dramix steel fibre berdasarkan tipenya ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. (a) Perbandingan ujung Dramix tiap jenis;
(b) Jenis-jenis Dramix steel fiber.

C.6 Superlasticizer

Superplastisizer merupakan jenis bahan tambahan baru yang disebut sebagai “bahan tambahan kimia pengurang air”. *Superplastisizer* terdiri dari tiga jenis, yaitu

:

1. Kondensasi *sulfonatmelaminformaldehid* dengan kandungan klorida sebesar 0,005 %.
2. *Sulfonatnafthalinformaldehid* dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
3. Modifikasi *lignosulfonat* tanpa kandungan klorida.

Pada dasarnya *superplasticizer* digunakan untuk menghasilkan beton “ mengalir “ tanpa terjadinya pemisahan yang tidak diinginkan, dan umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar. Pada alternative lain, bahan ini digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton, karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan workabilitas yang sama.

Karena sifat “mengalir” yang diberikan oleh *superplasticizer* pada beton, maka bahan ini berguna untuk pencetakan beton di tempat-tempat yang sulit seperti tempat yang terdapat penulangan yang padat. *Superplasticizer* tidak akan menjadikan “encer” semua campuran beton dengan sempurna, oleh karenanya campuran harus direncanakan untuk disesuaikan. Pengaruh yang penting adalah jumlah dari butiran-butiran halus (semen dan pasir yang ukuran partikelnya kurang dari 300 μm). (Nawy, 2010).

Secara sederhana, Superplasticizer berfungsi membuat adukan lebih encer dengan air yang sedikit. Superplasticizer didalam klasifikasi Astm masuk dalam kategori admixture tipe F. Mengacu pada klasifikasi ASTM C494-82, dikenal 7 jenis admixture sebagai berikut :

1. Tipe A: *Water Reducer (WR)* atau *plasticizer*, Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan

adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.

2. Tipe B: *Retarder*, Bahan kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini diperlukan apabila dibutuhkan waktu yang cukup lama antara pencampuran/pengadukan beton dengan penuangan adukan. Atau dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh.
3. Tipe C: *Accelerator*, Bahan kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan pengerasan segera.
4. Tipe D: *Water Reducer Retarder (WRR)*, Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
5. Tipe E: *Water Reducer Accelerator*, Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan.
6. Tipe F: *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*, Bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12 % atau bahkan lebih.
7. Tipe G: *High Range Water Reducer (HRWR)*, Bahan kimia tambahan berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan kimia tambahan biasanya dimasukkan dalam campuran beton dalam jumlah yang relatif kecil dibandingkan dengan bahan-bahan utama, maka tingkatan kontrolnya harus lebih besar daripada pekerjaan beton biasa. Hal ini untuk menjamin agar tidak terjadi kelebihan dosis, karena dosis yang berlebihan akan mengakibatkan penurunan kinerja beton bahkan lebih ekstrem lagi bisa menimbulkan kerusakan pada beton.

C.7. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) merupakan salah satu senyawa ion yang bersifat basa kuat, kaustik dan memiliki sifat korosif dan higroskopik (suka menyerap air). Dalam kehidupan kita sehari-hari, senyawa ini biasa kita sebut dengan nama "soda api" atau "kaustik soda", (C.P. Dillon, 2001). Tingkat kelarutan senyawa natrium hidroksida di dalam air cukup tinggi. Pada suhu 0°C, kelarutan natrium hidroksida berada pada kisaran 418 g/L. Pada suhu 20 C, kelarutan natrium hidroksida berada pada kisaran 1150 g/L. Jika dilihat dari data diatas, kita dapat menyimpulkan bahwa senyawa ini memiliki tingkat kelarutan yang sangat tinggi. Natrium Hidroksida memiliki wujud padat pada suhu kamar, bentuknya bisa seperti kristal atau bubuk tergantung pada tujuan atau kegunaan analisisnya. Senyawa ini berwarna putih metalik dan tidak berbau. Tingkat kelarutannya di dalam air juga cukup tinggi seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Ketika senyawa ini dilarutkan ke dalam air, maka suhu air akan naik dan suhu disekitarnya akan terasa panas, hal ini terjadi karena pelarutan senyawa ini bersifat eksotermik sehingga sejumlah kalor akan dilepaskan.

C.8. Sifat Mekanik Beton

Kekuatan beton adalah parameter umum yang dipertimbangkan dalam desain struktural, tetapi untuk beberapa desain struktural kekuatan tarik juga menjadi pertimbangan; contohnya pada jalan raya, landasan pacu di bandar udara, kekuatan geser, dan ketahanan terhadap retak. Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik erat kaitannya, rasio nilai kekuatan tekan dan tarik pada beton bergantung pada mutu kekuatan beton, dapat dikatakan, jika kuat tekan (f'_c) meningkat, maka kuat tarik (f'_t) juga meningkat tetapi pada tingkat lebih rendah. Umur juga merupakan faktor dalam hubungan f_c dan f_t , ketika melampaui 1 bulan, kekuatan tarik meningkat

lebih lambat dibanding kekuatan tekan .

Beton baik dalam menahan tegangan tekan daripada jenis tegangan lainnya, dan umumnya sifat ini yang umumnya dimanfaatkan dalam perencanaan struktur beton. Kekuatan tekan beton dianggap sifat yang paling penting dalam banyak kasus.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton berupa material masing-masing, cara pembuatan, cara perawatan dan kondisi tes. Berdasarkan material penyusunnya kekuatan beton dipengaruhi antara lain oleh faktor air semen, porositas dan faktor intrinsik lainnya .

C.8.1 Kuat Tekan

Kuat tekan adalah karakteristik mekanik utama dari beton yang dapat diketahui melalui penelitian uji tekan di laboratorium, dengan membebani setiap benda uji silinder secara longitudinal sampai pada kekuatan maksimumnya. Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan pada saat beton berumur 7, 14, dan 28 hari.

C.8.2. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah adalah salah satu parameter penting kekuatan beton. Nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan di laboratorium dengan membebani setiap benda uji silinder secara lateral sampai pada kekuatan maksimumnya. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.

C.8.3. Kuat Lentur

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.

C.8.4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan pada silinder beton dengan perubahan bentuk per satuan panjang. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.

C.8.5. Pengujian Metode Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Elctrone Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk memperlihatkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektrone ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalogi.

SEM merupakan mikroskop electron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektrone digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan yang lainnya CRT Cathode Ray Tube) memberikan tampilan gambar. SEM menggunakan prinsip scanning, maksudnya berkas electron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerak berkas elektrone dari satu titik ke titik yang ada pada suatu daerah objek merupakan gerakan membaca. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, *electron column* dan *display console*.