

DISERTASI

**STUDI KARAKTERISTIK DAN KEKUATAN LEKATAN
BETON-TULANGAN BERBAHAN PLASTIK
POLYPROPYLENE (PP) SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT
HALUS**

**Study of the Bond Characteristics of Steel Bar in Concrete
Containing Polypropylene (PP) Plastic Particles as Fine Aggregate**

MUHAMMAD SOFYAN

D013211016



**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

DISERTASI

**STUDI KARAKTERISTIK DAN KEKUATAN LEKATAN
BETON-TULANGAN BERBAHAN PLASTIK
POLYPROPYLENE (PP) SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT
HALUS**

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun oleh

ttd

MUHAMMAD SOFYAN

D013211016

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Muhammad Sofyan

Nomor Mahasiswa : D013211016

Program Studi : Ilmu Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul “Studi Karakteristik dan Kekuatan Lekatan Beton-tulangan Berbahan Plastik Polypropylene (PP) sebagai Substitusi Agregat Halus” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng., Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge., ST., M.Eng dan Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 01 November 2024

Yang menyatakan

ttd



Muhammad Sofyan

Kata Pengantar

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas rahmat serta karunia Allah SWT, sehingga dapat menyelesaikan Disertasi Program S3 Ilmu Teknik Sipil Universitas Hasanuddin dengan judul “**Studi Karakteristik dan Kekuatan Lekatan Beton-Tulangan Berbahan Plastik Polypropylene (PP) Sebagai Substitusi Agregat Halus**”. Pada kesempatan ini kami ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberikan kontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung sampai selesainya Disertasi ini. Ucapan terima kasih secara khusus kami persembahkan kepada **Prof. Dr. Ing.Ir. Herman Parung, M. Eng** selaku Promotor, **Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge., ST., M.Eng** selaku Co-Promotor I dan **Dr. Eng.Ir. A. Arwin Amiruddin., ST., MT.** selaku Co-Promotor II. Kedua Orang Tua Saya tercinta **Dr. Junaidin Zakaria., SE., MSi & Dra. Murniati Arsyad**, Istri dan anak-anak saya tercinta **Ade Okvianti Irlan, Maritsa Shanika dan Rania Faizah**, Bapak dan Ibu Mertua **Ir. Irlan Laeba, MS & Djaenur Septiningsih, SE** yang senantiasa setia mendoakan dan mensupport dengan tulus segala proses penyelesaian studi ini. Adik saya **Dedi Kurniawan** yang all out membantu saya di laboratorium, Adik-adik dan adik ipar, rekan-rekan **S3 angkatan 2021**, Institusi saya **Institut Teknologi PLN** serta pihak-pihak yang telah membantu dan mensukseskan pelaksanaan kegiatan Penyusunan Disertasi Ini. Semoga Disertasi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan kehidupan manusia.

Gowa, 01 November 2024

Salam hormat



Muhammad Sofyan

Abstrak

MUHAMMAD SOFYAN. Studi Karakteristik dan Kekuatan Lekatan Beton-Tulangan Berbahan Plastik Polypropylene (PP) Sebagai Substitusi Agregat Halus (dibimbing oleh Herman Parung, Muh. Wihardi Tjaronge dan A. Arwin Amiruddin).

Beton memiliki bobot yang relatif tinggi. Pada struktur bangunan densitas material sangat berpengaruh pada berat sendiri struktur. Limbah plastik yang menumpuk menjadi isu global yang serius belakangan ini. Limbah plastik telah menjadi polutan yang menimbulkan banyak masalah baru terutama pada keseimbangan ekosistem lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan korelasi nilai kuat tekan, persentase buriran plastik PP semen terhadap kuat lekatan beton-tulangan yang memanfaatkan butiran plastik polypropylene (PP) daur ulang sebagai agregat halus pada beton secara parsial dengan persentase mulai dari 0%, 10%, 20 %, dan 30 %, serta rasio air-semen 0.45 dan 0.55. Selain kuat tekan dan kuat lekatan, uji lentur dan identifikasi mikrostruktur dilakukan dengan pengujian Foto SEM-EDS. Hasil yang diperoleh menunjukkan densitas dari pellet plastik PP yang lebih rendah dari pasir mengakibatkan berat satuan sampel terlihat semakin menurun hingga mencapai 2007.6 kg/m^3 . Baik pada umur 7 hari dan 28 hari kekuatan tekan dan lentur semakin menurun. Namun sampel dengan persentase plastik PP 10% dan 20% memenuhi syarat untuk dimanfaatkan pada komponen struktural. Penurunan tegangan lekat rata-rata untuk setiap penambahan konten butiran plastik PP 10% adalah masing-masing sebesar 13.4% dan 11.56%. Semakin kecil Nilai FAS mayoritas moda kegagalan yang terjadi adalah Splitting. Pengujian SEM_EDS mengindikasikan Rasio Oksida Si/Ca yang tinggi pada sampel cenderung memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. permukaan butiran PP tampak lebih gelap dibandingkan permukaan gel C-S-H. Terlihat goresan pada permukaan PP (Scratched Surface) dengan panjang berkisar antara 20 hingga 70 mikron.

Kata kunci : Beton, Plastik Polypropylene (PP), Properti Mekanis, Properti Fisis, SEM-EDS

Abstract

MUHAMMAD SOFYAN. Study of the Bond Characteristics of Steel Bar in Concrete Containing Polypropylene (PP) Plastic Particles as Fine Aggregate (supervised by Herman Parung, Muh. Wihardi Tjaronge and A. Arwin Amiruddin).

Concrete exhibits a comparatively high density. The weight of a structure is significantly affected by the density of the materials used in its construction. The proliferation of plastic garbage has emerged as a significant worldwide concern in recent times. Plastic garbage has emerged as a contaminant that gives rise to several environmental issues, including disrupting the equilibrium of the ecosystem. The objective of this study is to establish a relationship between the compressive strength values and the bond strength between concrete and reinforcement. This will be achieved by incorporating recycled polypropylene (PP) plastic granules as fine aggregate in the concrete mixture, with varying percentages of 0%, 10%, 20%, and 30%. The water-cement ratios used will be 0.45 and 0.55. In addition to measuring compressive strength and bond strength, flexural tests were conducted and microstructure identification was performed using SEM-EDS photo testing. The findings indicated that the density of PP plastic pellets was inferior to that of sand, leading to a reduction in the sample's unit weight until it reached 2007.6 kg/m³. The compressive and flexural strength dropped at both the 7-day and 28-day marks. However, samples with PP plastic percentages of 10% and 20% meet the requirements for use in structural components. The average decrease in bond stress for each extra 10% PP plastic granule content is 13.4% and 11.56% correspondingly. A lower FAS number indicates a higher occurrence of Splitting as the primary failure mechanism. SEM-EDS analysis reveals that an elevated Si/Ca ratio in the specimen correlates with increased compressive strength. The PP granules have a darker surface compared to the surface of the C-S-H gel. The PP (Scratched Surface) has obvious scratches of between 20 and 70 microns in length.

Keywords : Concrete, Polypropylene (PP) Plastic, Mechanical Properties, Physical Properties, SEM-EDS

STUDI KARAKTERISTIK DAN KEKUATAN LEKATAN BETON-TULANGAN BERBAHAN PLASTIK POLYPROPYLENE (PP) SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT HALUS

MUHAMMAD SOFYAN
D013211016

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Ilmu Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 01 November 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,



Prof. Dr.-Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng
NIP. 196207291987031001

Co-Promotor



Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST.M.Eng.
NIP. 196805292002121002

Co-Promotor



Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT
NIP. 197912262005011001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT.
IPM., ASEAN.Eng
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S3 Ilmu Teknik Sipil



Prof. Dr.Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST, MT
NIP. 197206192000122001

Daftar Isi

HALAMAN SAMPUL	i
DISERTASI	ii
Pernyataan Keaslian Disertasi dan Pelimpahan Hak Cipta.....	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	v
Lembar Pengesahan	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar notasi	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	8
I.3. Tujuan Penelitian	9
I.3. Batasan Masalah	10
I.4. Manfaat Penelitian	10
I.5. Ruang lingkup	11
I.6. Sistematika Penulisan	11
BAB II.....	13
KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN	13
II.1. Kerangka Konseptual.....	13
.....	13
1. Beton Menurut SNI 2847 2019	14
2. Semen.....	14
3. Agregat.....	18
4. Air	21
5. Bahan Tambah	22
6. Pengujian Properti Fisis dan Mekanis Beton	23
7. Kekuatan Lekatan Beton Bertulang	26

8. Plastik Polypropylene (PP)	32
9. Identifikasi Mikrostruktur SEM.....	34
II.2. Hipotesis Penelitian	37
BAB III	38
Properti Fisis dan Mekanis Beton berbahan plastik Polypropylene (PP)	38
III.1 Abstrak	38
III.2 Pendahuluan	38
III.3 Metodologi Penelitian	40
III.4 Hasil Dan Pembahasan	44
III.5 Kesimpulan.....	51
III.6. Daftar Pustaka	53
BAB IV	56
Perilaku Lekatan Tulangan-Beton berbahan Plastik Polypropylene (PP).....	56
IV.1. Abstrak	56
IV.2. Latar Belakang	56
IV.3. Material dan Metode	58
IV.4 Hasil dan Pembahasan.....	61
IV.5. Kesimpulan	71
IV.6 Daftar Pustaka	72
BAB V.....	74
Identifikasi Mikrostruktur SEM-EDS Beton berbahan Plastik Polypropylene (PP)	74
V.1 Abstrak	74
V.2 Latar Belakang.....	74
V.3 Material dan Metode.....	76
V.4 Hasil dan Pembahasan	77
V.5 Kesimpulan.....	85
V.6 Daftar Pustaka	86
BAB VI	87
Pembahasan Umum.....	87
BAB VII.....	94
Kesimpulan dan Saran.....	94

VII.1. Kesimpulan	94
VII.2. Saran-Saran dan Rekomendasi	95
Daftar Pustaka	97
Lampiran-Lampiran	106
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	107

Daftar Tabel

Tabel 1. Syarat Fisika Semen Portland	16
Tabel 2. Mineral utama dalam klinker semen Portland	17
Tabel 3. Sifat-sifat fisik Polypropylene	32
Tabel 4. Proporsi Campuran	42
Tabel 5. Data-data Propertis Sampel Pull Out	61
Tabel 6. Kekuatan lekatan dan moda kegagalan Sampel	61
Tabel 7. Propertis Sampel	76
Tabel 8. Senyawa Oksida SPP0-0.45	77
Tabel 9. Senyawa Oksida SPP20-0.55	79
Tabel 10. Senyawa Oksida SPP30-0.45	81
Tabel 11. Rasio Massa Si/Ca dan Kekuatan Tekan	83
Tabel 12. Rekapitulasi Kuat tekan dan kuat lekatan tulangan-beton hasil eksperimen dan prediksi dari code terdahulu.	92

Daftar Gambar

Gambar 1. a) Limbah plastik ; b) <i>Melting Machine</i>	2
Gambar 2. a) Mesin pencacah ; b) Packing dan pengangkutan	3
Gambar 3. Cetakan Uji Slump/ Kerucut Abram (SNI 1972-2008).....	26
Gambar 4. (a) Dimensi Spesimen Kubus (b) Set up pengujian Pull-Out (RILEM RC6)	29
Gambar 5. Skema tegangan lekat vs slip untuk tes <i>pull-out</i> (Maziar fakoor et al, 2021).....	31
Gambar 6. Biji Plastik <i>Polypropylene</i>	33
Gambar 7. Contoh plastik Jenis PP	34
Gambar 8. Prinsip kerja SEM (Schweitzer, 2014).....	35
Gambar 9. Set Up Pengujian Kuat Tekan	43
Gambar 10. Set Pengujian Lentur	43
Gambar 11. Nilai Slump Sampel	44
Gambar 12. Berat Satuan Sampel	45
Gambar 13. Kekuatan Tekan Sampel Umur 7 hari	46
Gambar 14. Kekuatan Tekan sampel umur 28 hari.....	48
Gambar 15. Pola Kerusakan Sampel Hasil uji Tekan	49
Gambar 16. Kuat Lentur Sampel 28 Hari	50
Gambar 17. Pola Kerusakan Sampel Hasil Uji Tekan	51
Gambar 18. Set Pengujian (a) dan Dimensi Sampel (b)	60
Gambar 19. Bond Strength Vs persentase butiran PP.....	62
Gambar 20. Grafik Bond Stress Vs Slip pada FAS 0.45	64
Gambar 21. Grafik Bond Stress Vs Slip pada FAS 0.55	65
Gambar 22. Skematik Bond Stress Vs Slip (Maziar fakor et al, 2021)	67
Gambar 23. Pola Kegagalan Sampel Uji Pull-Out untuk sampel dengan FAS 0.45	69
Gambar 24. Pola Kegagalan Sampel Uji Pull-Out untuk sampel dengan FAS 0.55	70
Gambar 25. a) Foto SEM SPP0-0.45 pembesaran 300X, b) Foto SEM SPP0-0.45 pembesaran 500X, c) Foto SEM SPP0-0.45 pembesaran 1000X, d) Foto SEM SPP0-0.45 pembesaran 3000X.....	78
Gambar 26. a) Foto SEM SPP20-0.55 pembesaran 300X, b) Foto SEM SPP20-0.55 pembesaran 500X, c) Foto SEM SPP20-0.55 pembesaran 1000X, d) Foto SEM SPP20-0.55 pembesaran 3000X.....	80
Gambar 27. a) Foto SEM SPP30-0.45 pembesaran 100X, b) Foto SEM SPP30-0.45 pembesaran 300X, c) Foto SEM SPP30-0.45 pembesaran 500X, d) Foto SEM SPP30-0.45 pembesaran 1000X.....	82
Gambar 28. Rasio Massa Si/Ca Vs Kekuatan Tekan.....	84

Gambar 29. Model bond-slip CEB-FIP	88
Gambar 30. Model bond stress-slip yang diajukan	89
Gambar 31. Perbandingan hasil eksperimen dengan Model yang diajukan untuk sampel dengan FAS 0.45	90
Gambar 32. Perbandingan hasil eksperimen dengan Model yang diajukan untuk sampel dengan FAS 0.55	91
Gambar 33. Hubungan kuat tekan dan kuat lekatan tulangan-beton	92

Daftar notasi

Notasi/Singkatan	Arti dan keterangan
f'_c	Kuat Tekan Beton (N/mm^2)
P	Beban Maksimum (N)
A	Luas Penampang yang Menerima Beban (mm^2)
f_{ct}	Kuat Tarik Belah Beton (N/mm^2)
L	Panjang Benda Uji Silinder (mm)
D	Diameter benda uji silinder (mm)
f_r	Kuat Lentur Beton (N/mm^2)
b	Lebar Spesimen (mm)
d	Tinggi Spesimen (mm)
a	Jarak Rata-Rata dari Garis Keruntuhan dan Titik Perletakan terdekat diukur pada Bagian Tarik Spesimen (mm)
E_c	Modulus Elastisitas Beton (MPa)
S1	Tegangan pada regangan $S1 = 0.000050$ (MPa)
S2	40 % tegangan max (MPa)
ϵ_2	Regangan longitudinal pada saat tegangan S2

W_c	Berat satuan beton (kg/m^3)
I	Jumlah air persatuan luas (g/mm)
S	<i>Sorptivity</i> ($\text{mm/mm}^{0.5}$)
$t^{0.5}$	Akar waktu hisap (menit)
V_p	Beban <i>Pull-out</i>
d_s	diameter Baja tulangan
t_y	Tegangan lekat
F	Beban tarik
c_b	Jarak serat paling atas terhadap sumbu netral penampang beton bertulang
$t_{b,max}$	Tegangan lekat puncak

BAB I

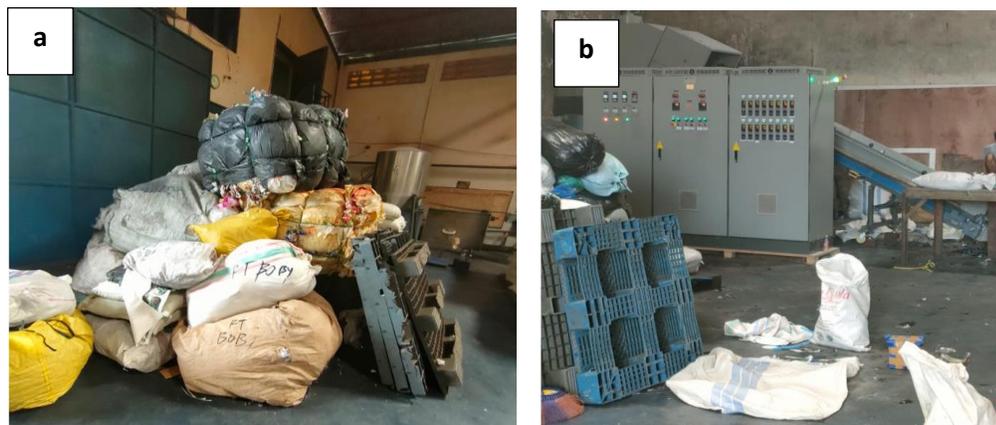
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Beton merupakan material yang umum digunakan dalam berbagai bangunan infrastruktur. Perkembangan teknologi beton terus berlanjut mengikuti perkembangan dan tuntutan zaman. Tingginya volume pemanfaatan material beton dalam infrastruktur mendorong para insinyur dan ilmuwan menghasilkan produk material beton inovatif dengan karakteristik khusus yang dibutuhkan pada setiap bangunan infrastruktur. Beton dengan properti fisik dan mekanis yang terkarakterisasi secara terukur akan mengurangi biaya pemeliharaan sehingga mencapai kriteria material yang ekonomis. Material beton memiliki kekuatan tekan tinggi yang merupakan karakteristik khasnya. Disamping kekuatan tekannya yang tinggi, beton bersifat getas dan lemah terhadap lenturan. Beton memiliki bobot yang relatif tinggi dengan densitas sekitar 2400 kg/m^3 . Pada struktur bangunan, densitas material sangat berpengaruh pada berat sendiri struktur. Densitas material struktur yang rendah dapat mengurangi beban mati yang ditransfer ke struktur bawah dan elemen-elemen utama struktur seperti balok, kolom maupun pelat lantai.

Limbah plastik yang menumpuk menjadi isu global yang serius belakangan ini. Peningkatan Jumlah penduduk dunia yang signifikan turut berkontribusi terhadap penumpukan limbah plastik. Limbah plastik telah menjadi polutan yang menimbulkan

banyak masalah baru terutama pada keseimbangan ekosistem lingkungan. Sifat dari plastik yang sulit terurai memberikan dampak yang buruk terhadap lingkungan sekitar. Tercatat Ada Sekitar 275 juta metrik ton (MT) limbah plastik yang dihasilkan di 192 negara pesisir pada tahun 2010, dimana 4,8 hingga 12,7 juta MT memasuki lautan (Across, 2015). Limbah plastik memberi dampak negatif terhadap lingkungan. Plastik yang bertransformasi ke dalam bentuk mikro dan nano plastik dapat mengkontaminasi rantai makanan manusia sehingga menimbulkan ancaman serius pada kesehatan manusia (Bouwmeester et al., 2015; Chang et al., 2020; Paul dkk., 2020), (Silva dkk., 2021), (Mehnaz Shams et al., 2021). Organisme yang terkontaminasi mikroplastik tidak dapat dikesampingkan (Silva et al., 2005; C. J. M. Silva et al., 2021). Toksisitas plastik dapat memicu gangguan metabolisme, stres oksidatif, dan reaksi inflamasi pada manusia maupun organisme lain (Chang dkk., 2020; C. Silva dkk., 2021).



Gambar 1. a) Limbah plastik ; b) *Melting Machine*



Gambar 2. a) Mesin pencacah ; b) Packing dan pengangkutan

Pada negara-negara berkembang kualitas sistem pengelolaan limbah plastik masih jauh dibawah harapan. Perlu ada pembenahan yang optimal dari berbagai stakeholder dan kesadaran yang tinggi dari manusia tentang bagaimana mengelola limbah plastik tersebut. Beberapa literatur menunjukkan bahwa Indonesia termasuk negara terbesar kedua terhadap pencemaran plastik di lingkungan laut setelah China (Tibbetts, 2015 ; Jambeck et al, 2015). Hal ini menjadi perhatian khusus terutama dalam menangani limbah plastik dalam skala nasional. Pada dasarnya limbah plastik dapat di daur ulang menjadi butiran yang bisa dimanfaatkan untuk berbagai industri kecil dan menengah. Pengolahan limbah plastik jenis polypropilene (PP) menjadi butiran tidak membutuhkan proses yang terlalu rumit, Limbah/sampah plastik dapat dikumpulkan untuk diolah kembali. Tumpukan sampah plastik (gambar 1a dapat dibersihkan terlebih dahulu lalu dimasukkan ke *Melting Machine* dengan temperature tertentu hingga meleleh dan menyatu satu sama lainnya. Sebelum dicetak dengan mesin pencacah (gambar 2a), limbah plastik yang telah dilelehkan didinginkan terlebih

dahulu. Ketika selesai dicetak dengan mesin pencacah hingga menjadi butiran/pellet, pellet plastik dapat dipacking (Gambar 2b) untuk dijual dengan berbagai utilitasnya.

Pasir merupakan salah satu material utama penyusun beton. Aktivitas penambangan pasir semakin tak terkendali diikuti dengan tingginya permintaan terhadap material beton. Penambangan pasir dari alam Sebagian besar dilakukan secara liar. Pasir digunakan oleh berbagai jenis proyek seperti: reklamasi, Gedung pembangunan pulau buatan dan stabilisasi garis pantai. Proyek-proyek ini memiliki ekonomi dan manfaat sosial namun dampak terhadap lingkungan lokasi penambangan perlu dipertimbangkan. Masalah lingkungan dapat berkembang ketika eksploitasi pasir, kerikil dan lainnya bahan melebihi tingkat ketersediaan di alam. Morfologi dari area penambangan pasir telah menunjukkan perubahan siklus ekosistem (M.Aqeel et al, 2011). Langkah selanjutnya apakah ada tindakan untuk memperbaiki situasi ini, yang biasa disebut sebagai tindakan mitigasi (Pielou, 1966).

Berbagai metode telah diterapkan dalam mengelola limbah plastik menjadi bahan yang berguna sehingga dapat mengurangi jumlah tumpukan limbah plastik di permukaan bumi. Penggunaan plastik sebagai bahan pengganti agregat halus memberikan keuntungan dalam aspek lingkungan terutama dalam mengurangi ketergantungan pada pasir sehingga secara langsung menurunkan tingkat eksploitasi pada alam secara berlebihan. Selain itu, limbah plastik yang mencemari ekosistem baik di darat dan di laut dapat ditekan ke level yang lebih rendah. Dalam bidang material beton, Beberapa Peneliti telah melaksanakan kajian terhadap limbah plastik pada campuran beton. Penggunaan limbah plastik pada beton secara bertahap mulai

dikembangkan. Dalam Sebuah Studi yang dilakukan oleh Silva et al, 2005 limbah plastik PET pada beton dapat berfungsi sebagai monofilamen yang dapat meningkatkan kuat mekanis beton. Selain itu, Hadithi et al, 2016 melakukan studi pada limbah plastik polyethylene yang diolah menjadi serat agar dapat menjadi campuran beton SCC (*Self Compacting Concrete*). Hasil pengujian pada studi tersebut menunjukkan bahwa serat plastik memiliki efek buruk pada sifat beton segar SCC dan menunjukkan beberapa sifat mekanis yang baik saat beton mengeras. Belmokaddem et al, 2020 Mengevaluasi dan membandingkan dampak penggantian agregat halus dan kasar dengan tiga sampah plastik. Yaitu plastik jenis polypropylene PP, high-density polyethylene HDPE, dan polyvinylchloride berbasis PVC. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa sampah plastik berpengaruh positif dengan menurunkan densitas. Selain itu, beton dengan 75% agregat PE menyajikan modulus elastisitas dinamis terendah. Memasukkan 75% agregat PVC ke dalam beton menyebabkan konduktivitas termal menurun hingga 0,61 W/mk. Penggunaan limbah plastik dengan densitas rendah seperti plastik jenis polypropilene dalam beton memungkinkan pengembangan material komposit dengan beberapa karakteristik yang menarik, terutama untuk memperoleh bobot beton yang lebih ringan. Namun masih memiliki kelemahan pada properti mekanis yaitu kekuatan tekan dan lentur. Studi yang dilaksanakan oleh Faraj et al, 2020 menunjukkan bahwa penggunaan plastik *polypropylene (PP)* daur ulang pada beton SCC dapat menurunkan kekuatan tekan. Namun masih dapat diperbaiki dengan bahan tambah seperti *silica fume* yang berfungsi sebagai substitusi semen. Pada Kajian oleh Lewis et al, 2024 kekuatan mekanik, daya tahan, dan struktur mikro beton

berbahan plastik acrylonitrile butadiene styrene (ABS) dari limbah peralatan listrik dan elektronik telah dievaluasi. Campuran tersebut diawetkan dengan prakarbonasi dan pengawetan air untuk meningkatkan kinerja beton usia dini. Meskipun peningkatan penggantian agregat limbah ABS mengurangi kekuatan tekan dan daya tahan, campuran dengan substitusi agregat limbah ABS $\leq 75\%$ mencapai kekuatan tekan minimum dan kinerja daya tahan yang memuaskan. Selanjutnya sebuah penelitian oleh Robert, 2024 menganalisis perilaku mekanis beton menggunakan serat botol susu bekas plastik, menemukan bahwa teknik modifikasi permukaan seperti silika fume meningkatkan kekuatan komposit. Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan kembali wadah plastik bekas menjadi beton dapat berkontribusi pada bahan konstruksi yang berkelanjutan. Studi lainnya oleh Babatunde et al, 2024 mengeksplorasi penggunaan limbah plastik Linear low-density polyethylene (LLDPE) daur ulang sebagai bahan pengikat dan pengganti penuh semen pada blok komposit. Blok komposit diproduksi pada berbagai rasio campuran dan dianalisis kekuatan tekan, kekuatan lentur, kekuatan tarik, insulasi termal, dan ketahanan abrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa blok komposit plastik limbah LLDPE mempunyai kuat tekan lebih rendah, kuat lentur lebih tinggi, dan isolasi termal lebih baik dibandingkan dengan blok komposit berbahan dasar semen.

Berdasarkan kode ACI 408, 2012 salah satu persyaratan untuk desain struktur beton bertulang yang optimal adalah transfer beban yang efisien dan andal dari tulangan ke beton yang menyelimutinya. Secara umum, dapat dikatakan bahwa kinerja lekatan beton-tulangan dapat terdegradasi jika ketiga mekanisme ini terjadi: (i) karena

dengan hilangnya lekatan antara permukaan tulangan-sifat adhesi kimiawi beton, sehingga terjadi slip; (ii) karena hancurnya beton yang berdekatan dan berada diantara pengunci tulangan, kegagalan *pull-out* terjadi; (iii) karena rusuk tulangan yang miring, gaya yang bekerja pada batang menciptakan tegangan normal radial yang beraksi terhadap sumbu batang, dan dengan demikian, mode kegagalan belah penutup beton terjadi. M. Gesoglu dkk, 2015 melakukan uji *pull-out* untuk mempelajari lekatan antara tulangan dan beton yang mengandung limbah plastik hingga 30% dari berat agregat dan mengungkapkan temuan dalam bentuk grafik slip-beban. Diamati bahwa saat konten limbah meningkat, kekuatan ikatan menurun. Kekuatan lekatan yang lemah antara tulangan-beton terkait dengan keruntuhan tarik beton dan performa kuat tekan spesimen kubus (terutama beton di sekitar tulangan) yang menyebabkan kegagalan *pull-out* dan belah.

Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa beton dengan penggunaan plastik sebagai agregat cukup potensial untuk difungsikan sebagai komponen struktural maupun non-struktural. Namun masih perlu dikembangkan lebih lanjut bagaimana performa beton menggunakan plastik daur ulang sebagai agregat jika diterapkan pada komponen struktur seperti beton bertulang. Karakteristik plastik dengan densitas yang rendah tentunya dapat mengurangi berat sendiri struktur. Sehingga beban yang ditransfer ke komponen struktural lainnya menjadi lebih kecil. Sampah plastik daur ulang yang digunakan dalam formulasi campuran beton adalah solusi yang menjanjikan untuk mengurangi dampak limbah plastik terhadap lingkungan. Material yang diperoleh dari limbah memberikan keuntungan dari sisi ekonomis maupun aspek

lingkungan. Studi yang telah dilakukan menunjukkan limbah plastik dari jenis *Polypropylene (PP)* dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton yang dapat memberi karakteristik beton dengan bobot yang lebih ringan dari beton normal akan tetapi belum mencapai kriteria kekuatan yang optimal. Disamping itu, studi karakterisasi yang konkrit mengenai batasan kekuatan pada beton yang menggunakan biji plastik sebagai agregat halus terutama pada variasi faktor air semen (FAS) masih perlu diteliti lebih lanjut untuk mengklasifikasikan kriteria struktural dan non strukturalnya. Performa kuat lekatan tulangan dan beton yang menggunakan butiran plastik PP menjadi parameter penting untuk diinvestigasi sesuai dengan persyaratan ACI 408 agar dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada beton bertulang. Berdasarkan latar-belakang tersebut maka akan dilaksanakan penelitian yang berjudul **“Studi Karakteristik dan Kekuatan Lekatan Beton-Tulangan Berbahan Plastik Polypropylene (PP) Sebagai Substitusi Agregat Halus”**.

I.2. Rumusan Masalah

Beton dipilih sebagai material konstruksi karena kekuatan tekan yang sangat baik. Penggunaan biji plastik polypropylene sebagai agregat dapat memberikan sifat khusus pada beton. Jika agregat tersebut diaplikasikan pada beton tentunya dapat memberikan opsi material yang memiliki bobot yang ringan namun masih dapat berfungsi secara struktural. Penelitian ini berusaha mendorong pemakaian teknologi agregat ringan butiran plastik PP pada beton dengan tujuan untuk memperoleh karakterisasi secara mekanis dan fisis agar dapat diketahui secara jelas ukuran mutu

dari beton tersebut. Di lain pihak, penggunaan material yang diperoleh dari hasil pengolahan limbah plastik dapat membantu mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan akibat penumpukan limbah plastik di muka bumi.

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana Mengidentifikasi *Failure Mode* Beton beragregat halus butiran plastik *PP* mulai dari 0, 10%, 20%, 30% dari volume agregat halus , dimana variasi FAS (0.45, 0.55) berdasarkan uji *Pull-out* dan Uji Foto SEM-EDS?
2. Bagaimana Memodelkan perilaku bond-slip beton dengan agregat halus butiran plastik *PP* mulai dari 0, 10%, 20%, 30% dari volume agregat halus dimana variasi FAS (0.45, 0.55) Serta Mengevaluasi Karakteristik Fisiknya (Slump dan Density) ?
3. Bagaimana menganalisa Kuat lekatan beton-tulangan terhadap kuat tekan beton dengan agregat halus butiran plastik *PP* mulai dari 0, 10%, 20%, 30% dari volume agregat halus berdasarkan variasi FAS (0.45, 0.55) ?

I.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi *Failure Mode* Beton beragregat halus butiran plastik *PP* mulai dari 0, 10%, 20%, 30% dari volume agregat halus , dimana variasi FAS (0.45, 0.55) berdasarkan uji *Pull-out* serta melakukan pengamatan melalui Uji Foto SEM-EDS.

2. Memodelkan perilaku bond-slip beton dengan agregat halus butiran plastik PP mulai dari 0, 10%, 20%, 30% dari volume agregat halus dimana variasi FAS (0.45, 0.55) Serta Mengevaluasi Karakteristik Fisisnya
3. Menganalisa Kuat lekatan beton-tulangan terhadap kuat tekan beton dengan agregat halus butiran plastik PP mulai dari 0, 10%, 20%, 30% dari volume agregat halus berdasarkan variasi FAS (0.45, 0.55).

I.3. Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini meliputi :

1. Tidak menggunakan jenis pellet plastik lain hanya menggunakan pellet plastik polypropylene.
2. Properti mekanis yang diuji hanya mencakup kuat tekan, lentur dan pull out.
3. Tidak meninjau perilaku hubungan tegangan-regangan.
4. Identifikasi mikrostruktur hanya mencakup foto SEM-EDS.
5. Plasticizer yang digunakan hanya dari produk SIKA

I.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan suatu inovasi pada teknologi beton secara berkelanjutan yang memanfaatkan material ringan butiran plastik daur ulang jenis *polypropylene* (PP).

2. Mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis material lokal dan material limbah buangan serta pembangunan yang eco-friendly (berwawasan lingkungan).
3. Menghasilkan inovasi pada teknologi Beton yang lebih ringan serta dapat dimanfaatkan untuk keperluan struktural dan non struktural.
4. Memperoleh gambaran teknis ukuran mutu dari beton yang menggunakan dan butiran plastik PP.

I.5. Ruang lingkup

Ruang lingkup penelitian akan membahas pellet/butiran plastik PP yang dimanfaatkan sebagai agregat halus pada beton normal dengan menggunakan plasticizer. Penelitian ini berfokus pada karakteristik dasar beton terutama pada karakteristik mekanis seperti kuat tekan, lentur dan pull out. Identifikasi mikrostruktur akan dilakukan untuk melihat secara visual bagaimana interaksi pellet plastik terhadap pasta semen dan agregat.

I.6. Sistematika Penulisan

BAB I. Pendahuluan

BAB II. Kerangka Konseptual dan Hipotesis Penelitian

BAB III. Properti Fisis dan Mekanis Beton berbahan plastik Polypropylene (PP)

BAB IV. Perilaku Lekatan Tulangan-Beton berbahan Plastik Polypropylene (PP)

BAB V. Identifikasi Mikrostruktur SEM-EDS Beton berbahan Plastik Polypropylene (PP)

BAB VI. Pembahasan Umum

BAB VII. Kesimpulan dan Saran

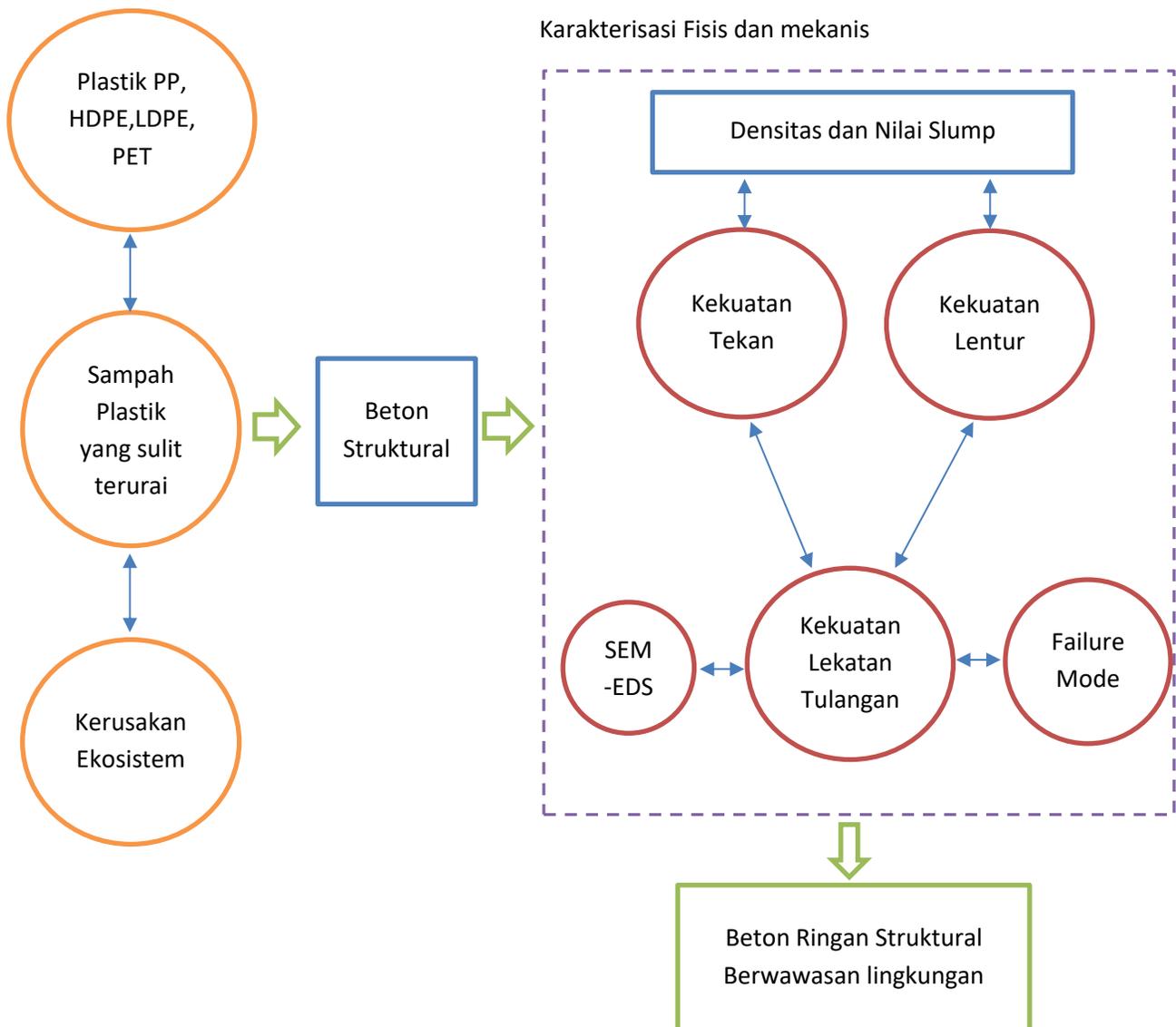
Daftar Pustaka

Lampiran

BAB II

KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

II.1. Kerangka Konseptual



1. Beton Menurut SNI 2847 2019

Beton adalah Campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 2847, 2019). Jenis-jenis beton tersebut adalah sebagai berikut:

- Beton ringan semuanya (*Concrete, all-lightweight*) yaitu beton ringan yang mengandung hanya agregat kasar dan halus ringan yang memenuhi (ASTM C330M).
- Beton ringan (*Concrete, lightweight*) beton yang mengandung agregat ringan dan berat volume setimbang (*equilibrium density*), sebagaimana ditetapkan oleh (ASTM C567/C567M-19, 2019), antara 1140 dan 1840 kg/m³.
- Beton normal (*Concrete, normalweight*) yaitu beton yang mengandung hanya agregat yang memenuhi (ASTM C330 M)
- Beton pasir ringan (*Concrete, sand-lightweight*) yaitu beton ringan yang mengandung hanya agregat halus berat normal yang memenuhi ASTM C330M dan hanya agregat ringan yang memenuhi (ASTM C330M).

2. Semen

Semen portland adalah salah satu material penyusun utama beton. Berdasarkan (SNI 2049, 2015), semen Portland dibagi menjadi 5 (lima jenis) berdasarkan jenis dan penggunaannya, antara lain sebagai berikut ini.

- a. Jenis I yaitu semen portland untuk keperluan umum, tidak diperlukan persyaratan khusus untuk jenis lainnya.
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan

ketahanan terhadap sulfat.

- c. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan, ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Semen Portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit. (SNI 15-7064-2004).

Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya. PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan dibandingkan dengan Semen Portland Tipe I, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/plester yang lebih rapat dan lebih halus.

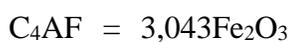
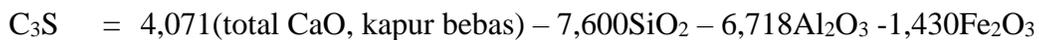
Syarat kimia untuk semen portland komposit yaitu SO_3 maksimum 4% dengan syarat fisika diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Syarat Fisika Semen Portland

No.	U r a i a n	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	min. 280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave:		
	- pemuaian	%	maks. 0,80
	- penyusutan	%	maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vicat:		
	- pengikatan awal	menit	min. 45
	- pengikatan akhir	menit	maks. 375
4.	Kuat tekan:		
	- umur 3 hari	kg/cm ²	min. 125
	- umur 7 hari	kg/cm ²	min. 200
	- umur 28 hari	kg/cm ²	min. 250
5.	Pengikatan semu:		
	- penetrasi akhir	%	min. 50
6.	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks.12

Sumber : SNI Semen Portland Komposit (SNI 15-7064-2004)

Klinker semen Portland mengandung empat senyawa kimia utama, yang disebut sebagai mineral klinker. Komposisi kimia yang potensial dari semen Portland dapat dianalisa dengan menggunakan komposisi Bogue, seperti yang diperlihatkan di bawah.



Kedua mineral kalsium silikat, C_3S dan C_2S (dalam bentuk β - C_2S) merupakan unsur utama dalam pengembangan kekuatan dan memiliki pengaruh yang besar terhadap ketahanan dan sifat struktural jangka panjang dari semen Portland. Namun, reaksi antara CaO (kapur dari batu kapur) dan SiO_2 (silika dari pasir) sangat sulit dicapai, bahkan pada suhu pembakaran yang tinggi. Untuk itu perlu ditambahkan sejumlah alumina (Al_2O_3) sebesar 5% dan oksida besi (Fe_2O_3) sebesar 3% untuk membentuk fluks cair yang membantu kapur dan silika dapat larut, dan kemudian bereaksi untuk menghasilkan C_3S dan C_2S .

Tabel 2. Mineral utama dalam klinker semen Portland

Rumus Kimia	Nama Mineral	Singkatan	Jumlah (%)	Batas (% berat)
$3CaOSiO_2$ atau, Ca_3SiO_5	Alite	C_3S	57	45-65
$2CaOSiO_2$ atau, Ca_2SiO_4	Belite	C_2S	16	10-30
$3CaOAl_2O_3$ atau, $Ca_3Al_2O_6$	Aluminate	C_3A	9	5-12
$4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$ atau, $Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	Ferrite	C_4AF	10	6-12

(Sumber : M. Wihardi Tjaronge, 2012)

Tabel 3 menyajikan mineral utama dari semen portland. C_3S (*alite*) dan C_2S (*belite*) adalah senyawa yang memiliki sifat perekat. C_3A adalah senyawa yang paling reaktif. C_4AF dan lainnya (dari oksida alumina dan besi) berfungsi sebagai katalisator (*fluxing agents*) yang menurunkan temperatur pembakaran dalam klin untuk pembentukan kalsium silikat.

Ada korelasi yang baik antara kecepatan hidrasi dan panas hidrasi. Hidrasi C_3S lebih cepat dari C_2S sehingga kontribusi kekuatan pada umur awal lebih ditentukan oleh hidrasi C_3S . Hidrasi C_2S lebih memberikan andil atas perkembangan beton setelah umur 28 hari. C_3A mempunyai reaksi hidrasi yang sangat cepat dan panas hidrasi yang sangat tinggi sehingga dapat menyebabkan pengikatan awal pada kondisi beton segar. Hal ini dapat menurunkan kelecakan maupun menyebabkan terjadinya *flash set*. Untuk mengatasi hal ini, maka ditambahkan gypsum dalam jumlah yang cukup.

3. Agregat

Agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Pada beton konvensional, agregat menempati 70 – 75% dari total volume beton. Sedangkan pada beton SCC agregat kasar dibatasi jumlahnya sekitar kurang lebih 50 % dari total volume beton supaya bisa mengalir dan memadat sendiri tanpa alat pemadat.

a. Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (ASTM C33). Syarat-syarat agregat kasar antara lain:

- 1) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai bila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20 % dari berat agregat

keseluruhan. Butir-butir agregat kasar ini harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.

- 2) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (ditentukan terhadap berat kering). Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui saringan No. 200 (saringan ASTM) atau saringan 0,063 mm. Bila kadar lumpur melebihi 1 % maka agregat kasar harus dicuci sebelum digunakan.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat reaktif alkali yang dapat memecahkan beton jika zat tersebut beraksi dengan Na_2O dan K_2O dalam semen Portland.
- 4) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir beraneka ragam besarnya dan bergradasi baik. Apabila diayak dengan susunan ayakan ISO, harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - Sisa diatas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat
 - Sisa diatas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90% - 98 % berat
 - Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan berurutan, maksimum 60% dan minimum 10%.
- 5) Kekerasan butiran agregat kasar dapat diperiksa dengan menggunakan mesin Los Angeles dimana tidak lolos 50% saringan No. 12 (ASTM) atau dengan pengujian bejana Rudellof dengan beban uji seberat 20 ton dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- Tidak terjadi pembekuan sampai fraksi 9,5 – 1,9 mm lebih dari 24% terhadap berat
- Tidak terjadi pembekuan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22% terhadap berat
- Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari pada 1/5 (seperlima) jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 (sepertiga) dari tebal pelat atau 3/4 (tiga perempat) dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

b. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm. (ASTM C33). Selanjutnya agregat halus harus memenuhi satu, beberapa atau semua syarat-syarat sebagai berikut :

- 1) Butiran-butirannya tajam dan tidak dapat dihancurkan dengan tangan.
- 2) Tidak mudah dihancurkan oleh pengaruh cuaca
- 3) Kandungan lumpur maksimum 5% terhadap berat kering, jika kandungan lumpurnya lebih besar dari 5% maka pasir harus dicuci.
- 4) Agregat halus tidak boleh terlalu banyak mengandung bahan organik, hal ini dapat diketahui dengan percobaan Abrame Harder (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga digunakan asal kekuatan tekan adukan pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang

dari 95% dari kekuatan adukan dari pasir yang sama tetapi dicuci dengan larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.

- 5) Agregat halus harus memenuhi gradasi :
 - Sisa diatas ayakan 4 mm, minimal 2 % dari berat kering
 - Sisa diatas ayakan 1 mm, minimal 10 % dari berat kering
 - Sisa diatas ayakan 0,25 mm, minimal 80 - 95 % dari berat kering
- 6) Agregat halus tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali.
- 7) Apabila dicuci dengan larutan Natrium Sulfat, bagian yang hancur harus lebih kecil dari 10 %.

4. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton serta dalam perawatan beton. Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

- 1) Sifat workability adukan beton.
- 2) Besar kecilnya nilai susut beton
- 3) Kelangsungan reaksi dengan semen portland, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu.
- 4) Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut

ini :

- 1) Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
- 2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
- 3) Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
- 4) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr

5. Bahan Tambah

a. Superplasticizer

Penggunaan *superplasticizer* untuk menaikkan *workability* campuran beton dan mempengaruhi *slump*, *bleeding*, *air content* dan kekuatan beton. Jenis *Superplasticizer* berdasarkan bahan dasarnya antara lain : *Nephtaline*, *Melamine*, *Polycarboxylate*.

Secara umum penggunaan superplasticizer dari jenis *Neptaline* akan menghasilkan penurunan kandungan udara dan menaikkan bleeding dan kekuatan, hal tersebut dapat tercapai jika air dalam campuran beton dikurangi. Sedangkan jenis melamine sangat sedikit pengaruhnya terhadap kandungan udara, kekuatan beton, dan menghasilkan pengurangan bleeding.

Superplasticizer yang diproduksi terdapat berbagai macam antara lain: *viscocrete* yang menggunakan bahan dasar polycarboxylates. *Superplasticizer* ini merupakan teknologi baru dari beton aditif menghasilkan beton yang sangat

cair, beton tanpa pemadatan (*self compacted*) , mutu sangat tinggi dengan pengurangan air hingga 30%.

b. Retarder

Penggunaan bahan kimia *retarder* adalah untuk memperlambat waktu pengikatan (*setting time*) sehingga campuran akan tetap mudah untuk dikerjakan (*workable*) untuk waktu yang lama.

6. Pengujian Properti Fisis dan Mekanis Beton

Sifat-sifat utama beton yang berhubungan dengan kepentingan praktisnya adalah mengenai kekuatan, karakteristik, tegangan-regangan, penyusutan dan deformasi, respon terhadap suhu, daya serap air, dan ketahanannya. Diantara sifat-sifat beton yang paling mendapat perhatian adalah kekuatan beton, karena hal tersebut yang merupakan gambaran umum mengenai kualitas beton.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor-faktor intrinsik lainnya seperti kekuatan agregat, kekuatan pasta semen, kekuatan ikatan/lekatan antara semen dengan agregat.

a. Kuat Tekan

Kuat Tekan merupakan suatu parameter yang menunjukkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh gaya tekan tertentu. Dapat ditulis dengan persamaan (SNI 1974-2011) :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

f_c = Kuat Tekan Beton (N/mm²)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang yang Menerima Beban (mm²)

Kuat tekan menjadi parameter untuk menentukan mutu dan kualitas beton yang ditentukan oleh agregat, perbandingan semen, dan perbandingan jumlah air. Pembuatan beton akan berhasil jika dalam pencapaian kuat tekan beton telah sesuai dengan yang telah direncanakan dalam mix design.

b. Kuat Lentur

Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada salah satu sisi di daerah sumbu netral dan tekan pada sisi penampang lainnya). Fungsi dari komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada penampang.

Kuat lentur beton (modulus of rupture) dapat dihitung dengan persamaan 2 jika keruntuhan terjadi di bagian tengah bentang. (ASTM-C 78-02).

$$fr = \frac{PL}{bd^2} \quad (2)$$

Persamaan 3 digunakan jika keruntuhan terjadi pada bagian tarik diluar tengah bentang.

$$fr = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (3)$$

Dimana :

f_r = Kuat Lentur Beton (N/mm^2)

P = Beban maksimum (N)

L = Panjang Bentang (mm)

b = Lebar Spesimen (mm)

d = Tinggi Spesimen (mm)

a = Jarak Rata-Rata dari Garis Keruntuhan dan Titik Perletakan terdekat diukur pada Bagian Tarik Spesimen (mm).

c. Keleccakan (*Slump test*)

Keleccakan yaitu sifat kekentalan beton segar pada beton dan penting karena berpengaruh dengan workability beton. Menurut Metode (SNI 1972, 2008), Metode ini dirancang untuk memberi pengguna langkah kerja untuk menentukan slump beton semen hidrolis plastis.

Alat uji harus berupa sebuah cetakan yang terbuat dari bahan logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen. Ketebalan logam tersebut tidak boleh lebih kecil dari 1,5 mm dan bila dibentuk dengan proses pemutaran(spining), maka tidak boleh ada titik dalam cetakan yang ketebalannya lebih kecil dari 1,15 mm. Cetakan harus berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm, tinggi 305 mm. Permukaan dasar dan permukaan atas kerucut harus terbuka dan sejajar satu dengan yang lain serta tegak lurus terhadap sumbu kerucut. Batas toleransi untuk masing-masing diameter dan tinggi kerucut

pengeringan pada beton. Selain itu saling bergeseknya permukaan baja dan beton disekitarnya, yang disebabkan oleh perpindahan mikro tulangan tarik, menyebabkan peningkatan tahanan terhadap gelincir. Efek total ini disebut sebagai lekatan (bond). Tegangan lekat terutama merupakan saling geser (shear interlock) antara elemen tulangan dan beton sekiranya yang disebabkan oleh berbagai faktor. Efek ini dapat dinyatakan sebagai tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan sehingga mengubah tegangan tarik tulangan diseluruh panjangnya.

Tulangan ulir dapat meningkatkan kekuatan lekatan yang disebabkan oleh terjadinya keterpautan (interlocking) antara tonjolan (rib) dengan beton di sekelilingnya (Park dan Paulay, 1975:396). Kekuatan lekatan bergantung pada faktor-faktor utama sebagai berikut (Nawy, 1998:398) :

- Adhesi antara elemen beton dan tulangan baja.
- Efek gripping (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton disekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton disekitarnya.
- Tahanan gesekan (friksi) terhadap gelincir dan saling mengunci pada saat tulangan mengalami tegangan tarik.
- Kualitas beton yaitu kekuatan tarik dan tekannya.

- Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan yaitu dengan panjang penyaluran (development length), panjang lewatan (splicing), bengkokan tulangan (hooks) dan persilangan tulangan.
- Diameter, bentuk dan jarak tulangan karena semuanya mempengaruhi pertumbuhan retak.

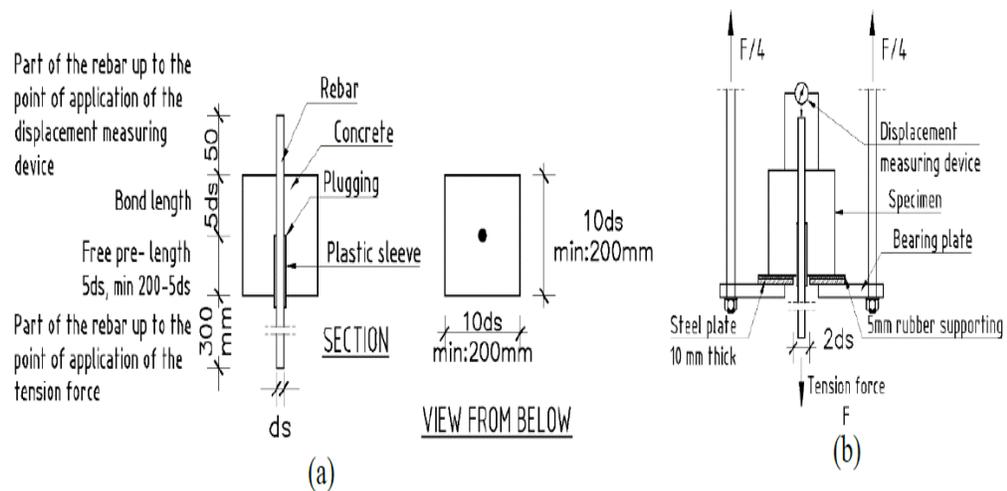
b. Pengujian *Pull-Out RILEM RC6 (1983)*

Uji *pull-out* adalah salah satu teknik yang paling umum untuk evaluasi kekuatan lekatan dalam berbagai kondisi, misalnya jika memiliki pola deformasi tulangan yang berbeda, penutup beton yang berbeda, dan kondisi pengekangan yang berbeda. Asesmen lekatan antara tulangan dan beton dengan uji *pull-out* dapat dilakukan sesuai dengan standar dan referensi yang berbeda. Dalam uji *pull-out*, tulangan tertanam di dalam prisma atau silinder beton. Selama pengujian, tulangan ditarik keluar dengan menerapkan gaya tarik dalam laju pembebanan statis dan dengan pengaturan pengujian terbatas (reaksi diterapkan langsung ke spesimen itu sendiri). Nilai gaya yang diterapkan dan perpindahan relatif yang sesuai antara tulangan dan beton (yaitu slip ikatan) diukur dan dicatat secara terus menerus. Referensi atau standar menyarankan set-up yang berbeda, dimensi spesimen beton, panjang lekatan, lokasi tulangan dan tingkat pembebanan untuk uji tarik.

Menurut *RILEM part RC6, 1983* satu batang tertanam di tengah prisma beton persegi dengan panjang sisi $10d_s$ (tidak kurang dari 200 mm dalam hal apa pun) dan panjang lekatan $5d_s$, dimana d_s adalah diameter batang dalam mm. Pada Gambar 6a, geometri, dan spesifikasi alat uji ditampilkan. Selongsong plastik digunakan untuk

membuat zona *de-bonded* di bagian depan tulangan. Panjang zona *de-bonded* sedemikian rupa sehingga panjang ikatan tulangan dalam beton adalah $5d_s$. Selain itu pelat penyangga karet 5 mm (Gbr. 6b) digunakan untuk mengurangi efek gesekan antara pelat baja penyangga dan prisma beton. Beban pull-out (V_p) dihitung dengan persamaan 4.

$$V_p = 0.5d_s^2 \quad (4)$$



Gambar 4. (a) Dimensi Spesimen Kubus (b) Set up pengujian Pull-Out (RILEM RC6)

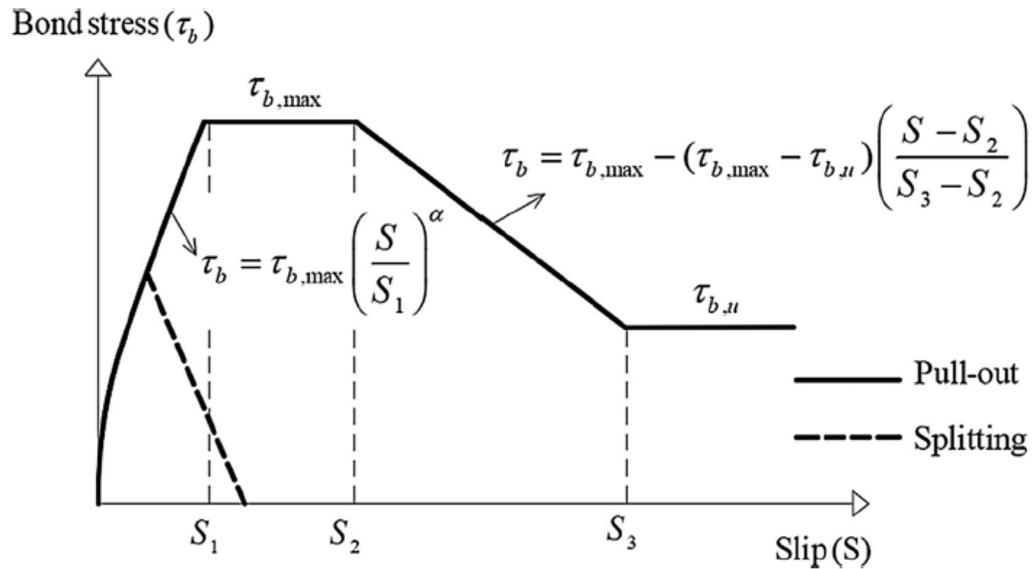
RILEM RC6 mengusulkan Persamaan 5 untuk menghitung tegangan lekat rata-rata sepanjang tulangan tertanam (t_b) dengan menganggap (F) sebagai beban gaya tarik dalam uji *pull-out*. Persamaan ini menghasilkan tegangan lekat rata-rata di sepanjang tulangan tertanam dimana distribusi dari parameter ini berada di sepanjang tulangan tertanam yang pada dasarnya tidak seragam.

$$\tau_b = \frac{F}{5\pi d_s^2} \quad (5)$$

Tegangan lekatan puncak yang diperoleh dalam uji *pull-out* disebut sebagai kekuatan ikatan ($t_{b, \max}$). Menurut standar ACI 408, faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan lekatan dapat dibagi menjadi tiga kelompok: parameter struktural (misalnya selimut beton dan panjang penanaman), parameter beton (misalnya kekuatan tekan dan tarik, flowability, tipe agregat), dan parameter batang (misalnya kekuatan, kekuatan ultimit, modulus elastisitas, persentase korosi). Menurut ACI 408, tegangan lekat puncak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6. Dimana $\tau_{b, \max}$ adalah kuat lekatan, MPa, c_{\min} is the selimut beton minimum, mm, c_{\max} is the selimut beton maksimum, mm, d_b adalah diameter tulangan nominal, mm, l_d Panjang lekatan, mm, A_b adalah luas penampang tulangan, mm², and f'_c kuat tekan beton, MPa. Selain itu CEB-FIP Model Code merekomendasikan model yang universal dalam mendefinisikan perilaku lekatan-slip seperti pada persamaan 7.

$$\tau_{b, \max} = [1.43l_d(c_{\min} + 0.5d_b) + 57.4A_b]x \left(0.1 \frac{c_{\max}}{c_{\min}} + 0.90\right) (f'_c)^{0.25} (\pi d_b l_d)^{-1} \quad (6)$$

$$\tau = 2.5\sqrt{f'_c} \quad (7)$$



Gambar 5. Skema tegangan lekat vs slip untuk tes *pull-out* (Maziar fakoor et al, 2021)

Maziar fakoor et al, 2021 merekomendasikan grafik hubungan tegangan lekat-vs slip (gambar 7). Berdasarkan grafik tegangan lekat vs slip yang diperoleh dari pengujian *pull-out* dan mode kegagalan yang diamati, grafik sampel dengan kegagalan *pull-out* dapat dianggap terdiri dari empat bagian, dalam grafik sampel dengan kegagalan belah, nilai S_1 dan S_2 sama; dengan demikian, dapat dikatakan bahwa grafik ini tidak memiliki bagian kedua dengan kemiringan nol. Perbedaan antara grafik dari sampel yang gagal dalam mode *pull-out* dan belah dapat berfungsi sebagai kriteria yang tepat untuk mengenali mode kegagalan masing-masing sampel yang diuji berdasarkan perilaku *bond-slip*.

8. Plastik Polypropylene (PP)

Plastik dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus. Plastik yang digunakan merupakan plastik jenis *polypropylene* (PP) dalam bentuk pellet/biji. *Polypropylene* (PP) adalah sebuah material termoplastik yang sering digunakan industri plastik. Sifat umum plastik *polypropylene* (PP) ini meliputi: kekerasan, berat jenis, tahan panas, tahan cuaca, dan tahan retak. Polipropilena hasil polimerisasi propilena berbentuk serbuk, butiran atau pellet yang jernih (translucent) untuk jenis homopolimer dan random kopolimer atau opak (opaque) untuk jenis impact kopolimer (SNI 0594:2011). Tabel 4 menyajikan sifat fisik plastik polypropylene

Tabel 3. Sifat-sifat fisik Polypropylene

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	SNI-2461-2002
1	Berat Jenis	1.05	1-18
2	Penyerapan air	2.36%	Maks 20%
3	Berat isi maksimum:		
	-Gembur kering (kg/cm)	596	Maks 1120
	-padat kering (kg/cm)	662	Maks 1040
4	Nilai Presentase Volume Padat (%)	9.98%	9-14%
5	Ketahanan Aus	1.67%	Maka 10%
6	Kandungan Lumpur	0	<1

Sumber : (Pamudji, 2019)



Gambar 6. Biji Plastik *Polypropylene*

Plastik PP (gambar 8) 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. Contoh jenis plastik PP yang ditemui dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 7. Contoh plastik Jenis PP

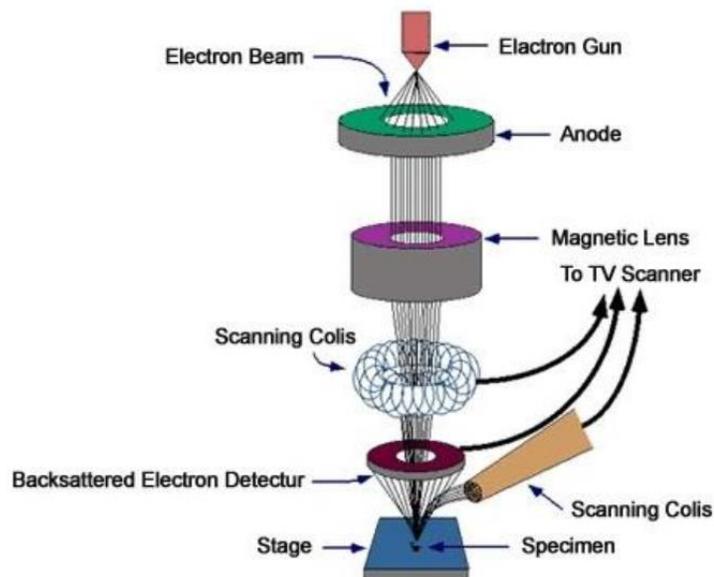
9. Identifikasi Mikrostruktur SEM

Scanning electron microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari sampel yang dianalisis. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada optical microscope (OM). Hal ini disebabkan panjang gelombang de Broglie yang memiliki elektron lebih pendek daripada gelombang OM. Karena semakin kecil panjang gelombang yang digunakan maka semakin tinggi resolusi mikroskop. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada OM. Resolusi yang mampu dihasilkan OM hanya 200 nm, sedangkan resolusi yang dapat dihasilkan SEM mencapai 0.1 – 0.2 nm.

Prinsip kerja dari SEM adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua

berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh sampel yang akan dianalisis.

Pengamatan sampel dilakukan dengan menembakkan berkas elektron yang berintensitas tertinggi ke permukaan sampel, kemudian *scan* keseluruhan permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan, dapat dibatasi lokasi yang akan diamati dengan melakukan *zoom-in* atau *zoom-out*. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat diketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat di dalam komputer. Prinsip kerja dari SEM ditunjukkan pada Gambar. 2.14.



Gambar 8. Prinsip kerja SEM (Schweitzer, 2014)

Prinsip kerja yang ditunjukkan pada Gambar 8 adalah sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai

(*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X, sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal backscattered electron. Perbedaan gambar dari sinyal elektron sekunder dengan backscattered adalah sebagai berikut: elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan backscattered elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom – atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah.

Untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan sampel, sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan *energy dispersive x-ray* (EDX). EDX dihasilkan dari sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDX juga bisa membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda – beda dari masing – masing elemen di permukaan sampel. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing – masing elemen.

SEM-EDX dapat memberikan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi dari sampel yang dianalisis. Topografi adalah kemampuan untuk menganalisa permukaan dan tekture. Morfologi adalah kemampuan untuk menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel. Komposisi adalah kemampuan menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

II.2. Hipotesis Penelitian

Utilisasi limbah plastik sebagai agregat adalah ide yang telah banyak dikembangkan saat ini untuk memproduksi beton hijau yang berkelanjutan sekaligus mencegah kerusakan ekosistem akibat kontaminasi limbah plastik. Selain itu, mendaur ulang dan membuang limbah polimer akan memiliki sisi ekonomis yang menguntungkan, melindungi lingkungan dari polutan plastik.

Penelitian ini berfokus pada karakteristik fisis, mekanis beton yang memaksimalkan plastik polypropylene (PP) sebagai agregat halus dalam hal kinerja, densitas, kuat tekan, kuat lentur, kekuatan lekatan terhadap tulangan dan karakteristik mikrostruktur.

Dalam studi yang akan dilakukan Beton dengan Agregat Plastik PP daur ulang berwawasan lingkungan dapat menghasilkan bobot beton yang lebih ringan, serapan air rendah dan dimanfaatkan sebagai komponen struktural pada nilai FAS tertentu.