

TOHAR MEDIA

TEKNOLOGI BETON

Fauzan Hamdi . Franky Edwin Paskalis Lopian . Miswar Tumpu . Mansyur
Irianto . Didik Suryamiharja S.Mabui . Adri Raidyarto
Ardi Azis Sila . Masdiana . Parea Rusan Rangan . Hamkah

TEKNOLOGI BETON

Penulis

Fauzan Hamdi, Franky Edwin Lapian, Miswar Tumpu,
Mansyur, Irianto, Didik Suryamiharja S Mabui, Adri Raidyarto,
Ardi Azis Sila, Masdiana, Parea Rusan Rangan, Hamkah

Editor

Irianto
Miswar Tumpu
Mansyur
Mahyuddin

Penerbit

TOHAR MEDIA

TEKNOLOGI BANGUNAN

ISBN : 978-623-5603-29-2

Penulis :

Fauzan Hamdi, Franky Edwin Lopian, Miswar Tumpu, Mansyur, Irianto, Didik Suryamiharja S Mabui, Adri Raidyarto, Ardi Azis Sila, Masdiana, Parea Rusan Rangan, Hamkah

Editor :

Irianto, Miswar Tumpu, Mansyur, Mahyuddin

Desain Sampul dan Tata Letak

Ai Siti Khairunisa

Penerbit

CV. Tohar Media

Anggota IKAPI No. 022/SSL/2019

Redaksi :

JL. Rappocini Raya Lr 11 No 13 Makassar

JL. Hamzah dg. Tompo. Perumahan Nayla Regency Blok D No.25 Gowa

Telp. 0852-9999-3635/0852-4353-7215

Email : toharmedia@yahoo.com

Website : <https://toharmedia.co.id>

Cetakan Pertama Maret 2022

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik termasuk memfotocopy, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (Tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak **Rp. 5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah)**
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat 1, dipidana paling lama 5 (lima tahun) dan/atau denda paling banyak **Rp. 500.000.000,00 (Lima Ratus Juta Rupiah)**

KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah atas rahmat serta karunia-Nya, sehingga tim penulis mampu menyelesaikan penulisan buku dengan judul “Teknologi Beton”. Tak lupa, lantunan shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW karena berkat beliau lah kita mampu keluar dari jalan yang gelap menuju jalan yang terang serta semoga kelak kita sama-sama mendapatkan syafa’atnya.

Dalam kehidupan sehari-hari, beton banyak digunakan dan sudah tentu bukan hal yang baru lagi. Beton yang digunakan untuk struktural dalam konstruksi teknik sipil, dapat dibedakan menjadi beberapa bagian, dalam teknik sipil struktur beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat ataupun pelat cangkang, dalam teknik sipil hydro digunakan untuk bangunan air seperti bendung, bendungan, saluran, ataupun pada perencanaan drainase perkotaan. Beton juga digunakan dalam teknik sipil transportasi untuk pekerjaan rigid pavement (lapis keras permukaan yang kaku), saluran samping, gorong-gorong, dan lainnya. Jadi beton hampir digunakan dalam semua aspek di dalam ilmu teknik sipil. Artinya semua struktur dalam teknik sipil akan menggunakan beton, minimal dalam pekerjaan pondasi. Selama ribuan tahun, manusia telah mengeksplorasi (*versatility*) kemudahan untuk digunakan dari bahan yang dapat dibentuk atau produk yang dengan mudah dituangkan dalam keadaan plastis dan kemudian mengeras serta menjadi kuat dan tahan lama menggunakan berbagai macam teknologi. Berbagai macam teknologi beton tersebut dituangkan dalam buku ini.

Tim penulis ucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi pada penyusunan hingga penerbitan buku ini. Kami mengharap kritik dan saran pembaca demi penyempurnaan buku ini serta buku-buku lain yang akan kami susun untuk mencerdaskan generasi muda bangsa Indonesia.

Makassar, November 2021

Tim Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Depan _i

Halaman Penerbit _ii

Kata Pengantar _iii

Daftar Isi _iv

Bab 1. Beton Normal _1

1.1. Pendahuluan _1

1.2. Mutu Beton _2

1.3. Bahan-bahan Beton Normal _5

1.4. Metode Perencanaan Beton Normal _9

1.5. Kegunaan Beton Normal _23

1.6. Penutup _24

Bab 2. Beton Mutu Tinggi _27

2.1. Pendahuluan _27

2.2. Teori Self Compacting Concrete (SCC) _29

2.3. Slump Flow _31

2.4. Viskositas _32

2.5. Segregasi Material _32

2.6. Penutup _34

Bab 3. Beton Ringan _35

3.1. Pendahuluan _35

3.2. Prediksi Kekuatan Beton Ringan _37

3.3. Sifat Beton Ringan _39

3.4. Bahan Penyusun Beton Ringan _40

3.5. Busa _41

3.6. Proporsi dan Persiapan Beton Busa _42

3.7. Penutup _43

Bab 4. Beton Massa _45

4.1. Pendahuluan _45

4.2. Teori Dasar Beton Massa _50

4.3. Penutup _53

Bab 5. Beton Geopolimer _55

5.1. Pendahuluan _55

5.2. Beton Geopolimer _56

5.3. Pembuatan Beton Geopolimer _61

5.4. Penutup _63

Bab 6. Beton Serat (Fiber) _65

6.1. Pendahuluan _65

6.2. Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC) _66

6.3. Penutup _74

Bab 7. Beton Ramah Lingkungan _75

7.1. Pendahuluan _75

7.2. Bahan Penyusun Beton Ramah Lingkungan _76

7.3. Penelitian Terdahulu Yang Berkaitan
Dengan Beton Ramah Lingkungan _82

7.4. Penutup _83

Bab 8. Beton Daur Ulang _85

8.1. Pendahuluan _85

8.2. Beton Rongga Dengan Limbah Beton Sebagai
Agregat _89

8.3. Limbah Beton Sebagai Recycle Anggrete
Concrete (RAC) _91

8.4. Penelitian Terdahulu Tentang Beton
Daur Ulang _91

8.5. Penutup _94

Bab 9. Beton Tanpa Pasir _95

9.1. Pendahuluan _95

9.2. Beton Non Pasir _101

9.3. Kelebihan dan Kekurangan Beton Non Pasir _104

9.4. Penutup _106

Bab 10. Beton Siklop _107

10.1. Pendahuluan _107

10.2. Penerapan Beton Siklop Pada Pondasi
Sumuran _108

10.3. Agregat Beton Siklop _109

10.4. Karakteristik dan Metode Pelaksanaan Beton
Siklop _110

10.5. Penutup _112

Bab 11. Beton Air Laut _115

11.1. Pendahuluan _115

11.2. Penelitian Tentang Beton Air Laut _116

11.3. Air Laut untuk Bahan Pencampuran _117

11.4. Air Laut Untuk Bahan Pencampuran _118

11.5. Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton _119

11.6. Prositas Terhadap Beton Air Laut _121

11.7 Penutup _122

Daftar Pustaka _123

TEKNOLOGI BETON

Bab 1

Beton Normal

1.1 Pendahuluan

Beton adalah bahan komposit yang terbuat dari beberapa material yang menggunakan bahan utama yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air dan material tambahan jika dibutuhkan dengan komposisi tertentu. Beton adalah material komposit, oleh karena itu kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya. (Kardiono Tjokrodimuljo, 2007). Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur. Bisa dikatakan semua bangunan struktur dibangun menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, contohnya struktur gedung, struktur bangunan air, struktur bangunan transportasi dan banyak lagi bangunan struktur lainnya. Salah satu kelebihan beton yaitu mampu menahan beban tekan, perubahan cuaca, suhu yang tinggi, dapat dibentuk dan mudah dirawat.

Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI) mutu beton dibagi tiga kelas yaitu kelas satu, kelas dua dan kelas tiga. Mutu beton merupakan kuat tekan beton dalam bentuk angka dengan cara uji kuat tekan beton dalam satuan mega pascal (MPa). Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002 beton yaitu adukan

antara agregat kasar, agregat halus, semen hidraulik atau semen portland lainnya dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk benda padat. Komposisi material beton didapatkan dari hasil analisis *mix design*, dicampur merata hingga homogen setelah itu dituang ke dalam pencetak. Hasil adukan beton tersebut jika didiamkan akan menjadi keras akibat reaksi kimia antara semen dengan air atau dapat dikatakan bahwa adukan beton akan bertambah keras seiring dengan waktu (umur beton).

Kualitas mutu beton bergantung pada bahan dasar penyusun beton, bahan tambah, pelaksanaan pada saat dibuat dan alat-alat yang dipakai saat pembuatan adukan beton. Kualitas mutu beton bisa dikatakan baik kalau bahan yang digunakan baik, cara mengaduk yang baik (*homogen*), proses pelaksanaan yang dilakukan baik, alat-alat yang dipakai juga baik dan tingkat porositasnya kecil. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002 disebut beton normal jika beton memiliki $2200 \text{ kg/m}^3 \leq \text{berat volume} \leq 2500 \text{ kg/m}^3$ dengan bahan utamanya yaitu agregat alami dan atau agregat pabrikan (*stone crusher*).

1.2. Mutu Beton

Struktur bangunan gedung yang menggunakan bahan yang terbuat dari beton harus direncanakan sesuai kuat tekan beton yang direncanakan dan menggunakan standar yang berlaku serta tidak boleh kurang dari mutu beton ($f'c$) 17,5 Mpa. Beton yang digunakan pada bangunan struktural harus dibuat perencanaan beton secara baik agar mampu menerima beban pada struktur bangunan struktur tersebut. Perencanaan beton harus mengacu pada SNI 03-2847-2002 mengenai perhitungan perencanaan struktur bangunan beton. Kelebihan beton yaitu sangat baik dalam menahan tegangan tekan, sehingga

umumnya para perencana struktur bangunan memanfaatkan kelebihan tersebut menjadi dasar perhitungan bangunan struktur. Mutu beton bergantung pada kuat tarik belah maupun kuat tekan beton (Antoni & Nugraha P, 2007).

Standar nasional Indonesia nomor 03-1974-1990 mengenai cara uji mutu beton (kuat tekan beton), menyatakan bahwa mutu beton yaitu nilai beban tekan dibagi satuan luas yang mana nilai beban tekan diambil ketika sampel beton hancur dengan menggunakan alat kuat tekan. Mutu beton rencana ($f'c$) yaitu mutu beton yang ditetapkan oleh seorang perencana bangunan struktur dengan menggunakan sampel beton silinder yang ukuran diameternya 150 mm dan tingginya 300 mm menggunakan satuan Mega Pascal (Mpa). Kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

$f'c$ = Mutu beton (MPa)

P = Gaya maksimum dari alat uji tekan (N)

A = Luas bagian sampel yang dibebani (mm²)

Tabel perbandingan mutu beton berdasarkan PBI 1971 yaitu:

Tabel 1.1. Tabel Perbandingan Mutu Beton Berdasarkan Bentuk Sampel

Sampel	Nilai Konversi Mutu Beton
Kubus 15cm x 15cm x 15cm	1,00
Kubus 20cm x 20cm x 20cm	0,95
Silinder 15cm x 30cm	0,83

Jika kita ingin mendapatkan mutu beton sesuai dengan rencana, maka diperlukan perencanaan campuran beton dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 mengenai metode perencanaan adukan beton normal. Selain itu, usahakan ketika beton diaduk benar-benar homogen sehingga tidak terjadi segregasi (kelecakan). Kekuatan beton sangat ditentukan oleh komposisi bahan beton dan kepadatan campuran beton. Semakin sedikit rongga dalam campuran beton, maka semakin tinggi kuat tekan beton yang didapatkan. Syarat-syarat penting pembuatan beton:

1. Beton segar harus mudah pelaksanaannya di lapangan dengan kata lain mudah pengerjaannya atau mudah dituang.
2. Adukan beton harus mampu menahan beban struktur bangunan rencana.
3. Beton direncanakan dan dianalisis seekonomis mungkin.

Berdasarkan PBI 1971 N.I.-2, kuat tekan karakteristik beton (mutu beton) dari sampel berbentuk kubus 15cm x 15cm x 15cm diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu:

1. Kelas I dengan kode B0, mutu beton ini digunakan untuk bangunan non struktur dengan mutu dibawah K-125;
2. Kelas II dengan kode B1, mutu beton ini digunakan untuk bangunan struktur secara umum yang terdiri dari K-125, K-175 dan K-225 ("*beton mutu normal*");
3. Kelas III dengan kode B2, mutu beton ini digunakan untuk bangunan struktur yang memiliki mutu beton di atas K-225 ($\sigma'_{bk} = 225 \text{ kg/cm}^2$).

Tabel 1.2. Kelas dan Mutu Beton (PBI 1971 N.I.-2)

Kelas	Mutu	σ'_{bk} (kg/cm ²)	σ'_{bm} dengan sd = 46 (kg/cm ²)	Pemakaian	Pengawasan	
					Mutu Agregat	Kekuatan Tekan
I	B ₀	-	-	Non struktur	Ringan	-
II	B ₁	-	-	Struktur	Sedang	-
	K-125	125	200	struktur	Ketat	Kontinyu
	K-175	175	250	struktur	Ketat	Kontinyu
	K-225	225	300	struktur	Ketat	Kontinyu
III	Di atas K-225	Di atas 225	Diatas 300	struktur	Ketat	Kontinyu

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-6468-2000, ACI-318 dan ACI-363R-92, kuat tekan beton (mutu beton) dari sampel berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15cm dan tinggi 30cm dikelompokkan menjadi:

1. Mutu beton rendah (*low strength concrete*) nilai $f'c < 20$ MPa;
2. Mutu beton normal (*medium strength concrete*) nilainya $21 \text{ MPa} \leq f'c \leq 41 \text{ MPa}$;
3. Mutu beton tinggi (*high strength concrete*) nilai $f'c > 41$ MPa.

Pada bab ini kita membahas mutu beton sedang atau normal.

1.3 Bahan-Bahan Beton Normal

Beton terbuat dari bahan yang dicampur berupa material alam yang berbentuk agregat halus yaitu pasir alam atau batu pecah atau bahan semacamnya dan agregat kasar berupa batu alam atau batu pecah dan semacamnya, ditambahkan bahan perekat yaitu semen dan air sebagai bahan katalis untuk keperluan

reaksi kimia. Agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan utama campuran beton (Mulyati SD., 2011).

Berikut penjelasan mengenai bahan material beton normal:

1. Semen

Arti semen yaitu bahan pengikat *hidrolis* berbentuk *klinker* (bahan ini terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat *hidrolis*) yang dihaluskan dengan ditambah *gips* (Anggoro Y, 2008). Bahan baku semen terdiri dari pasir silika, tanah liat, batu kapur, bijih besi, magnesia, sulfur, soda potash. Fungsi semen yaitu sebagai bahan pengikat butiran agregat halus dan agregat kasar menjadi suatu massa padat dan mampu mengisi rongga antar butiran agregat halus dan agregat kasar. Menurut Standar Nasional Indonesia S-04-1989-F, semen merupakan bahan bangunan bukan logam, ada 5 tipe semen yang sering digunakan di Indonesia, yaitu:

1. Semen Tipe I: digunakan pada konstruksi umum, tidak perlu syarat khusus.
2. Semen Tipe II: digunakan pada konstruksi tahan terhadap sulfat dan hidrasi sedang.
3. Semen Tipe III: digunakan pada konstruksi yang memiliki kuat tekan awal tinggi.
4. Semen Tipe IV: digunakan pada konstruksi yang memiliki hidrasi rendah.
5. Semen Type V: digunakan pada konstruksi yang tahan sulfat.

Ada juga jenis semen yang biasa digunakan oleh masyarakat yaitu:

1. *Portland Pozzolan Cement (PPC)*: berguna untuk rumah, bangunan struktur, bendung, saluran irigasi, bangunan pantai dan bangunan di area rawa/gambut, bangunan yang memiliki tingkat hidrasi sedang dan bagian bangunan lainnya seperti pasangan batu, plester dinding, tegel dan pasta semen.
2. *Portland Composite Cement (PCC)*: banyak digunakan pada bangunan umum dan semua jenis mutu beton dapat digunakan seperti perumahan, bangunan gedung bertingkat, jembatan, jalan beton dan bahan bangunan seperti pasangan batu, plester dinding, tegel dan pasta semen.

2. Agregat

Fungsi agregat adalah sebagai bahan pengisi adukan beton atau mortar. Komposisi agregat pada adukan beton +/- 70 % dari komposisi beton ataupun mortar. Sehingga agregat memiliki sifat yang sangat mempengaruhi mutu beton. (Riyadi M. & Amalia, 2005).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia T-15-1991-03, material agregat merupakan bahan granular seperti kerak tungku besi, kerikil dan pasir, yang digunakan bersamaan dengan media pengikat yaitu semen dan air dalam pembentukan beton. Berdasarkan ukuran, agregat dibedakan menjadi dua bagian yaitu:

1. Agregat Kasar

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002 pengertian agregat kasar yaitu material utama pembentuk beton yang memiliki ukuran lebih besar dari 5mm hingga 40mm, atau ukuran butiran yang tertahan pada ayakan 4,75mm. Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton berupa kerikil yang didapatkan dari *disintegrasi* alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari mesin pemecah (*stone crusher*) atau dipecahkan secara manual

2. Agregat Halus

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia T-15-1991-03, agregat halus merupakan hasil *disintegrasi* alami dari batuan alami atau pasir yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). Pasir sebagai bahan pengisi beton yang diaduk dengan semen dan air hingga membentuk adukan yang padat. Besar butiran pasir yaitu antara 0,15mm sampai dengan 5mm.

3. Air

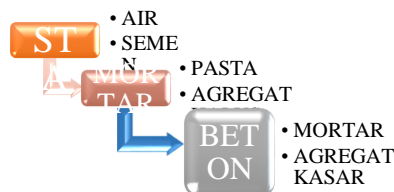
Fungsi air pada campuran beton adalah digunakan untuk reaksi kimia dalam pengikatan campuran beton sehingga terjadi proses pengerasan beton dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat dalam adukan beton sehingga mudah dipadatkan pada saat dituang pada media yang akan dicor. Kebutuhan air sebesar 25 % dari berat semen. Perawatan beton juga menggunakan air dengan cara membasahi beton yang sudah dituang dalam cetakan (dicor). (Kardiono Tjokrodinuljo, 2007). Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh air, air yang berlebih akan menyebabkan

penurunan kekuatan beton dan bisa mengakibatkan terjadi *bleeding* yaitu air semen naik ke permukaan beton segar baru saja selesai dituang. Jika terjadi *Bleeding* maka dapat menyebabkan terjadi berkurangnya lekatan beton antara lapis permukaan dengan beton lapisan di bawahnya. Syarat minimum air yaitu minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang memiliki sifat antara lain yaitu bersifat tawar, tidak berbau, bila dihembus udara airnya tidak keruh dan lainnya. Bukan berarti bahwa air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Air yang disyaratkan untuk beton sebagai berikut (Tjokrodimulyo, 2007):

1. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
2. Kandungan garam (diantaranya yaitu zat organik, asam, dan lainnya yang sejenis) tidak lebih dari 15 gram/liter.
3. Kandungan kloridanya (Cl) tidak lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Kandungan sulfatnya tidak lebih dari 1 gram/liter.

1.4 Metode Perencanaan Beton Normal

Proses pembentukan beton bisa digambarkan sebagaimana Gambar 1.1. dibawah ini.



Gambar 1.1. Proses Pembentukan Beton (Fauzan Hamdi, 2021)

Sebelum perancangan campuran beton dibuat sesuai mutu beton yang direncanakan, maka tahapan yang harus dilakukan adalah menguji material yang akan digunakan untuk campuran beton di laboratorium bahan sesuai kualitas beton rencana. Pengujian material beton di laboratorium terdiri dari semen, agregat halus dan kasar, air dan bahan tambah jika diperlukan. Dari hasil uji laboratorium ini digunakan sebagai dasar untuk perencanaan beton (*mix design*). Dalam mengambil sampel material, dilakukan dengan memenuhi syarat dan ketentuan yang sudah berlaku dan dapat mewakili kondisi sebenarnya. Material yang memiliki tingkat homogenitas yang tinggi, sampel yang diambil menjadi lebih sedikit. Standar ASTM D.3665 yaitu "*practice for random sampling of construction material*".

1. Semen

Sampel semen diambil secara acak (*random*) untuk dilakukan uji laboratorium. Semen zak yang sudah lama disimpan di gudang sebaiknya sampelnya diambil untuk diuji, begitu pula pada semen curah.

2. Agregat

Pengambilan sampel agregat juga dilakukan secara acak. Variasi dalam pengambilan sampel material yang tinggi maka pengambilan sampel bergantung pada tempat asal agregat. Kita dapat merujuk pada ASTM D-75 yaitu "*Standard Practice for Sampling Aggregates*", dapat dijadikan sebagai acuan tentang pengambilan sampel agregat. Cara pengambilan sampel material bisa dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pengambilan langsung di tambang

Agregat yang akan digunakan pada adukan beton yang langsung diambil dari tambang, sampel material yang diambil harus terwakili. Sampel agregat dapat diambil dari lokasi terdekat dari lokasi yang akan digunakan untuk penggunaan beton. Khusus untuk agregat halus, pengambilan sampel lapisan yang dalam sebaiknya menggunakan bor atau pipa runcing. Contoh sampel material yang diambil, dilakukan dengan cara arah vertikal agar tingkat homogenitasnya lebih tinggi.

2. Pengambilan timbunan

Material yang diambil dari timbunan, sampel yang akan diuji seharusnya diambil pada interval tertentu yang bisa mewakili. Bagian terdalam, dilakukan pengambilan dengan menggunakan pipa atau digali langsung menggunakan sekop atau alat berat excavator.

3. Pengambilan sampel dari conveyor

Hal ini dilakukan secara penuh dengan arah melintang dan dalam waktu yang singkat dan mengutamakan homogenitas agregat.

4. Pengambilan dari gerbong kereta

Sampel yang diambil di setiap gerbong, pada bagian pinggir dan tengah gerbong dan mengutamakan homogenitas sampel agregat yang diambil. Sampel agregat yang diambil sesuai kebutuhan. Jika terlalu banyak dapat dikurangi secara manual (*quarter method*) atau menggunakan mesin (*Splitter Machine*). Standar yang

dapat diadopsi adalah ASTM C.702 “*Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size*”.

5. *Metode A Splitter Machine* atau Mesin Pembagi

Alat ini sebagai pembagi sampel yang digunakan di laboratorium jika volumenya kecil. Sampel material dibagi menjadi dua dengan volume yang sama banyak, dimana satu bagian keluar atau berhenti dan satu lagi terbagi dua sama banyak, hingga kita mendapatkan sampel yang diinginkan.

6. *Metode B* atau *Metode Quartering*

Menaruh material di tempat datar lalu dicampur secara merata. Sampel yang tercampur dibagi menjadi empat bagian yang sama banyak. Sampel terlebih dahulu dibuat bentuk kerucut kemudian diberi beban secara merata sampai membentuk lingkaran. Sampel yang berbentuk lingkaran ini dibagi menjadi empat bagian yang sama besarnya. Diambil contoh yang berlawanan arah sebagai sampel. Apabila terlalu banyak, maka dilakukan ulang sampai kita dapat sampel yang diinginkan.

3. Air

Aspek homogenitas dalam pengambilan sampel harus terpenuhi. Dilakukan secara reguler dan biasanya pengujian khusus untuk air jarang dilakukan karena secara visual kita dapat menentukan layak tidaknya air tersebut.

Perancangan beton (*mix design beton*) dapat menggunakan beberapa metode dengan menggunakan spesifikasi bahan yang ditetapkan dari hasil uji laboratorium. Standar yang sering digunakan yaitu standar baku yang dikeluarkan oleh

pemerintah Indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI). Standar desain beton di Indonesia menggunakan Standar Nasional Indonesia T-15-1990-03. Tata cara perencanaan beton menurut SNI 03-2834-2000 diantaranya yaitu persyaratan umum dan persyaratan teknis perencanaan komposisi adukan beton yang digunakan sebagai salah satu landasan bagi para perencana dan pelaksana dalam menganalisis komposisi adukan beton dengan tidak menggunakan bahan tambah untuk menghasilkan mutu beton sesuai dengan rencana.

Langkah-langkah perencanaan campuran beton berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 03-2834-2000 sebagai berikut:

1. Tentukan tekan beton yang disyaratkan (target mutu beton yang diinginkan) $f'c$ pada umur beton tertentu (biasanya ditentukan umur beton 28 hari);
2. Menghitung standar deviasi (Sr);
3. Menghitung nilai tambah (M) dengan rumus, $M = 1.64 \times Sr$;
4. Menghitung mutu beton rata-rata ($f'cr$) dengan menggunakan rumus, $f'cr = f'c + M$;
5. Menentukan type semen yang akan dipakai;
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan;
7. Menetapkan faktor air semen (fas) dengan cara mengetahui nilai kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari (dapat mengacu pada poin 4 diatas) sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai dan memploting grafik fas yang terdapat pada SNI 03-2834-2000 bisa menggunakan grafik fas

untuk sampel yang berbentuk silinder maupun kubus berdasarkan rencana sampel yang akan dibuat;

8. Tetapkan slump yang direncanakan;
9. Hitung jumlah kadar air bebas (W) dengan cara mengetahui ukuran agregat maksimum, nilai slump sebagaimana yang telah ditentukan pada poin 8, kadar air agregat kasar (W_k) dan kadar air agregat halus (W_h). Rumus kadar air bebas (W) yaitu:

$$W = 0,33 W_k + 0,67 W_h$$

10. Hitung jumlah kadar semen (S) dengan menggunakan rumus

$$S = \frac{W}{f_{as}}$$

11. Nilai persentase agregat halus (h) dan agregat kasar (k) didapatkan dari hasil laboratorium analisa saringan yaitu uji saringan agregat kasar dan agregat halus;
12. Nilai berat jenis kering permukaan agregat halus (γ_h) dan berat jenis kering permukaan agregat kasar (γ_k) yang didapatkan dari hasil uji laboratorium analisa berat jenis agregat halus dan agregat kasar;
13. Hitung berat jenis gabungan ($\gamma_{gabungan}$) dengan menggunakan rumus
$$\gamma_{gabungan} = (h \times \gamma_h) + (k \times \gamma_k);$$
14. Menetapkan berat volume beton segar (W_{beton}) berdasarkan grafik 16 yang terdapat di SNI 03-2834-2000 dengan menilik nilai kadar air bebas (W) yang terdapat pada poin 9 dan berat jenis gabungan ($\gamma_{gabungan}$);

15. Besar nilai kadar agregat gabungan adalah $W_{beton} - S - W$;
16. Menghitung jumlah kadar agregat halus (C) adalah persentase agregat halus (h) yang terdapat pada poin 11 dikalikan dengan jumlah kadar agregat gabungan yang terdapat pada poin 15;
17. Hitung jumlah kadar agregat kasar (D) yang besarnya adalah hasil kali persentase agregat kasar (k) yang terdapat pada poin 11 dengan jumlah kadar agregat gabungan yang terdapat pada poin 15;

Prosedur perencanaan beton di atas, mulai dari poin 1 sampai poin 17 menghasilkan jumlah kadar material masing-masing bahan campuran beton sebanyak 1 m^3 . Proporsi campuran beton segar dari prosedur perencanaan tersebut diatas dihitung berdasarkan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan.

Sehingga perlu dilakukan koreksi nilai proporsi bahan campuran beton sehingga mendapatkan komposisi bahan campuran beton yang sebenarnya dan digunakan sebagai adukan beton yang akan diuji (*Job Mix Design*). Nilai koreksi komposisi adukan beton harus terkoreksi terhadap kadar air yang terdapat pada agregat dan koreksinya menggunakan persamaan berikut ini:

- 1) Jumlah kadar air (W) terkoreksi = $B - (C_k - C_a) \times C / 100 - (D_k - D_a) \times D / 100$;
- 2) Jumlah kadar agregat halus terkoreksi = $C + (C_k - C_a) \times C / 100$;
- 3) Jumlah kadar agregat kasar terkoreksi = $D + (D_k - D_a) \times D / 100$;

Keterangan:

B = Jumlah air

C = Jumlah agregat halus

D = Jumlah agregat kasar

Ca = Absorpsi air pada agregat halus (%)

Da = Absorpsi agregat kasar (%)

Ck = Kandungan air dalam agregat halus (%)

Dk = Kandungan air dalam agregat kasar (%)

Dari hasil hitungan persamaan diatas, maka komposisi adukan beton mengurangi atau menambahkan hasil-hasil perhitungan ini, akan kita peroleh susunan bahan campuran beton yaitu yang seharusnya kita takar untuk tiap 1 m³ beton dengan ketelitian 5 kg. Setelah hasil perancangan beton ini didapat, selanjutnya melakukan uji adukan beton di laboratorium. Adukan beton yang akan diuji ini meliputi uji beton segar dan uji beton keras.

Menguji beton segar dimaksudkan untuk mengetahui kemudahan pada saat pengerjaannya (sifat *workability*). Indikator kemudahan dalam pengerjaan ini bergantung dari nilai *slump* beton. Hal-hal lain yang diuji pada beton segar adalah mengetahui apakah terjadi *bleeding* dan atau *segregation*. Menguji kekerasan beton dengan tujuan utama yaitu mengetahui mutu beton karakteristik. Hal ini dilakukan dengan cara membuat benda uji berbentuk silinder atau kubus dan dirawat hingga umur 28 hari, kemudian dilakukan uji kuat tekan beton. Jika pada pengujian ini tidak memenuhi syarat maka harus melakukan perancangan ulang adukan beton hingga didapatkan komposisi yang disyaratkan dalam aspek teknik yang diinginkan. Setelah tahapan pembuatan campuran di laboratorium dilakukan maka proses selanjutnya adalah

membawa hasil komposisi *mix design* tersebut sebagai *Job Mix Formula* (JMF) ke tempat pengolahan beton yang dapat berupa pengolahan menggunakan mesin *mixing* biasa (molen) atau ke tempat pengolahan beton yang besar (*concrete plant*). Selama masa pengolahan beton ini berjalan maka proses pengawasan kualitas juga harus tetap dilakukan. Komposisi beton pada dasarnya dapat didefinisikan dengan faktor air semen (fas), jenis semen dan agregat, juga kandungan semen dan agregat. Seperti halnya susut, semakin besar faktor air semen dan kandungan semen maka rangkai semakin besar. Semakin banyak agregat yang digunakan maka terjadi susut semakin sedikit. Berikut ini faktor penyebab terjadinya rangkai dan susut pada beton:

1. Karakteristik material beton diantaranya yaitu kualitas semen, homogenitas adukan dan kandungan mineral agregat;
2. Perbandingan air terhadap semen atau faktor air semen;
3. Pengaruh suhu pada saat proses pengerasan (*temperature*);
4. Nilai kelembaban nisbi pada saat material digunakan (*humidity*);
5. Pembebanan pada saat umur beton belum mencapai 100%;
6. Tes *Slump*;
7. Waktu pembebanan;
8. Tegangan yang terjadi pada beton;
9. Besar rasio dipermukaan komponen struktur.

Hubungan antara faktor air semen dan kekuatan beton dapat ditulis dalam rumus Duff Abrams, (1919) sebagai berikut:

$$f'c = \frac{A}{B^{1,5X}}$$

Dengan:

$f'c$ = Kuat tekan beton pada umur tertentu

X = Perbandingan berat antara air dan semen

A, B = *Konstanta*

Uji karakteristik material penyusun beton di laboratorium mengacu pada standar SNI. Berikut Standar yang digunakan dalam pengujian material untuk bahan campuran beton:

1. Semen

Bahan semen yang digunakan pada beton, mengacu pada Standar Nasional Indonesia nomor 15-0302-2004 semen portland pozolan, standar tersebut berdasarkan revisi Standar Nasional Indonesia nomor 15-0302-1999. Standar tersebut dilakukan revisi karena ada beberapa perubahan dari standar sebelumnya yang diacu, perubahan tersebut menghindari kesalahan pemakaian oleh konsumen dan menetapkan standar yang sesuai kebutuhan produsen. Standar ini mengacu pada ASTM terbaru, yaitu ASTM C 595-03, *Standard specification for blended hydraulic cement* dan standar semen lainnya.

Tipe dan penggunaan semen yaitu:

1. Tipe IP-U yaitu semen *portland pozolan* yang digunakan untuk semua pembuatan adukan beton;
2. Tipe IP-K adalah semen *portland pozolan* yang digunakan untuk semua pembuatan adukan beton, tahan *sulfat* sedang dan tahan panas hidrasi sedang;

3. Tipe P-U yaitu semen *portland pozolan* yang digunakan untuk pembuatan adukan beton yang tidak mensyaratkan kekuatan diawal tinggi;
4. Tipe P-K yaitu semen *portland pozolan* yang digunakan untuk pembuatan beton yang tidak mensyaratkan poin 1 sampai dengan poin 3 diatas.

Bahan kimia dan fisika yang disyaratkan untuk semen portland pozolan tipe IP-U dan IP-K yaitu:

Tabel 1.3. Syarat Kimia Type IP-U dan IP-K (SNI 15-0302-2004)

No	Pengujian Zat Kimia	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	MgO	Persen	Maksimum 6	Maksimum 6
2	SO ₃	Persen	Maksimum 4	Maksimum 4
3	Hilang Pijar	Persen	Maksimum 5	Maksimum 5

Tabel 1.4. Syarat-Syarat Sifat Fisika untuk Type IP-U dan IP-K (Berdasarkan Standar SNI Nomor 15-0302-2004)

No	Pengujian	Satuan	Persyaratan	
			IP - U	IP - K
1	Uji kehalusan butiran menggunakan alat <i>blaine</i>	m ² / kg	Minimum 280	Minimum 280
2	Waktu ikat menggunakan alat jarum vicat: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ikatan awal ➤ Ikatan akhir 	menit jam	Minimum 45 Maksimum 7	Minimum 45 Maksimum 7

3	Kekekalan menggunakan alat <i>utoclave</i> : ➤ Terjadi muai ➤ Terjadi susut	% %	Maksimum 0,8 Maksimum 0,2	Maksimum 0,8 Maksimum 0,2
4	Kuat tekan beton: ➤ Umur 3 hari ➤ Umur 7 hari ➤ Umur 28 hari	Kg / cm ² Kg / cm ² Kg / cm ²	Minimum 125 Minimum 200 Minimum 250	Minimum 110 Minimum 165 Minimum 205
5	Tingkat panas hidrasi beton: ➤ Umur 7 hari ➤ Umur 28 hari	Kal / g Kal / g	- -	Maksimum 70 Maksimum 80
6	Kandungan udara pada mortar	% volume	Maksimum 12	Maksimum 12

Tabel 1.5. Kimia yang Diperyaratkan Jenis P - U dan P - K (SNI 15-0302-2004)

No	Jenis Uji	Sat	Persyaratan	
			IP - U	IP - K
1	MgO	Persen	Maksimum 6	Maksimum 6
2	SO ₃	Persen	Maksimum 4	Maksimum 4

3	Hilang Pijar	Persen	Maksimum 5	Maksimum 5
---	--------------	--------	------------	------------

Tabel 1.6. Syarat Fisika (Jenis P-U dan P-K)

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	Uji kehalusan butiran menggunakan alat <i>blaine</i>	m ² / kg	Minimum 280	Minimum 280
2	Waktu ikat menggunakan alat jarum vikat: ➤ Ikatan awal ➤ Ikatan akhir	menit jam	Minimum 45 Maksimum 7	Minimum 45 Maksimum 7
3	Kekekalan menggunakan alat <i>autoclave</i> : ➤ Terjadi muai ➤ Terjadi susut	% %	Maksimum 0,8 Maksimum 0,2	Maksimum 0,8 Maksimum 0,2
4	Kuat tekan beton: ➤ Umur 3 hari ➤ Umur 7 hari ➤ Umur 28 hari	Kg / cm ² Kg / cm ² Kg / cm ²	- Minimum 115 Minimum 215	- Minimum 90 Minimum 175
5	Tingkat panas hidrasi beton: ➤ Umur 7 hari ➤ Umur 28 hari	Kal / g Kal / g	- -	Maksimum 60 Maksimum 70

6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	Maksimum 12	Maksimum 22
---	------------------------------	----------	-------------	-------------

2. Agregat Halus dan Agregat Kasar

Pengujian karakteristik material agregat standar SNI dibagi menjadi dua yaitu uji karakteristik material agregat halus dan agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 1.7. dan Tabel 1.8. dibawah ini.

Tabel 1.7. Standar Uji Karakteristik Material Agregat Halus

No	Karakteristik Agregat	Spesifikasi SNI	Interval
1	Kadar lumpur	SNI 03-4141-1996	Maks 5%
2	Kadar organik	SNI 03-2816-1992	< NO. 3
3	Kadar air (Wp)	SNI 03-1971-1990	0,5% - 5%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	SNI 03-4804-1998	1,4 - 1,9 kg/liter
	b. Kondisi padat	SNI 03-4804-1998	1,4 - 1,9 kg/liter
5	Penyerapan (Rp)	SNI 03-1970-1990	0,2% - 2%
6	Berat jenis spesifik SSD	SNI 03-1970-1990	1,6 - 3,3
7	Modulus kehalusan	SNI 03-1968-1990	1,50 - 3,80

Tabel 1.8. Standar Uji Karakteristik Material Agregat Kasar

No	Karakteristik Agregat	Spesifikasi SNI	Interval
1	Keausan	SNI 03-2417-1991	Maks 50%
2	Kadar lumpur	SNI 03-4141-1996	Maks 1%

3	Kadar air (Wk)	SNI 03-1971-1990	0,5% - 2%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	SNI 03-4804-1998	1,6 - 1,9 kg/liter
	b. Kondisi padat	SNI 03-4804-1998	1,6 - 1,9 kg/liter
5	Penyerapan (Rk)	SNI 03-1969-1990	Maks 4%
6	Berat jenis spesifik SSD	SNI 03-1969-1990	1,6 - 3,3
7	Modulus kehalusan	SNI 03-1968-1990	6,0 - 7,1

Pada bab ini, perancangan campuran beton menggunakan Metode Standar Nasional Indonesia yaitu SNI-03-2834-2002 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

1.5 Kegunaan Beton Normal

Di Indonesia, beton banyak dipakai sebagai material atau komponen utama dalam pembangunan infrastruktur. Beton dalam keadaan mengeras, bagaikan batu karang dengan kekuatan tinggi dan dalam keadaan segar, beton dapat dibuat bermacam bentuk sehingga dapat digunakan untuk membentuk struktur bangunan apa saja baik bangunan seni arsitektur, bangunan gedung yang unik dan bisa juga untuk tujuan dekoratif. Hasil akhir dari beton juga memberikan kesan tampak yang bagus jika penanganan dan proses finishing dilakukan dengan cara khusus, contohnya agregatnya diekspos karena agregat mempunyai bentuk yang bertekstur seni tinggi dan sangat bagus tampaknya jika diletakkan di bagian luar. Kelebihan beton selain tahan terhadap api, beton juga tahan terhadap korosi. Berikut ini beberapa kelebihan beton:

- a. Dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi;
- b. Memikul beban yang berat;
- c. Tahan terhadap temperatur tinggi;
- d. Pemeliharaan beton sangat kecil biayanya;
- e. Material yang masih segar mudah dipompakan untuk dituang;
- f. Tahan aus sehingga perawatannya mudah;
- g. Material segar juga mudah disemprotkan atau diisikan ke beton lama yang retak untuk memenuhi keperluan perbaikan;
- h. Mampu menahan gaya tekan dengan optimal.

Beton normal umumnya digunakan untuk keperluan proyek dengan beban yang relatif kecil dan sedang misalnya rumah tinggal, ruko, gedung kantor, gedung sekolah, jalan rigid, jembatan dan banyak lagi kegunaan beton yang dapat digunakan untuk struktur bangunan-bangunan lainnya.

1.6 Penutup

Beton Normal adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat yang mempunyai berat volume antara 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 . Beton normal umumnya digunakan untuk keperluan proyek dengan beban yang relatif kecil dan sedang misalnya rumah tinggal, ruko, gedung kantor, gedung sekolah, jalan rigid, jembatan dan banyak lagi kegunaan beton untuk struktur bangunan-bangunan lainnya.

Faktor yang berpengaruh pada mutu beton bergantung pada kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, proses pengerjaan (pencampuran,

pengangkutan, pemadatan, dan perawatan) dan umur beton (Tjokrodimulyo, 2007).

Bab 2

Beton Mutu Tinggi

2.1. Pendahuluan

Salah satu cara mendapatkan struktur beton yang mempunyai ketahanan yang baik yaitu dengan SCC (*Self Compacting Concrete*) Okamura&Ouchy (2003). SCC ialah konsep inovatif teknologi beton yang efisien serta efektif, dengan kecairan (*fluidity*) yang besar sehingga sanggup mengalir serta mengisi ruang- ruang di dalam cetakan dengan sedikit/tanpa proses pemadatan. Sehingga bisa mengurangi waktu proses pemadatan dan SCC mudah dinaikan serta dibawa dengan gampang lewat pompa ke tingkat yang lebih tinggi pada pengecoran bangunan berlantai banyak dan pada struktur yang menggunakan tulangan.

Riset ketahanan SCC sudah banyak dicoba antara lain, Al-Tamimi & Sonebi (2003) sudah meneliti ketahanan SCC terhadap kontaminasi asam sulfat serta klorida, di mana ketahanan SCC lebih baik dibanding dengan *conventional concrete*. Persson, B.(2001, 2003) melakukan penelitian terhadap modulus elastisitas, rangkak (*creep*) serta susut (*shrinkage*) beton SCC tidak berbeda secara signifikan dengan beton non scc dan setelah keduanya pada umur 900 hari baik di laut serta air tawar tidak terdapat perbandingan massa serta kehancuran akibat

sulfat. Dinakar dkk.,(2008) juga meneliti terkait nilai permeabilitas SCC yang ternyata menyusut dengan meningkatnya kekuatan serta kuantitas dan volume besar fly ash menunjukkan permeabilitas ion klorida secara signifikan lebih rendah daripada beton non scc.

Jika dibandingkan dengan beton segar dengan nilai *water/binder ratio* (w/b) yang digunakan sebesar 0,251. Pengujian beton segar yang digunakan menggunakan slump flow, T50cm slump flow, V- funnel ,VfunnelT5min, serta L- box. Hasil pengujian beton segar sesuai ketentuan SCC EFNARC. Pengujian beton segar pada riset ini terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah, kuat lentur, permeabilitas serta durabilitas dari SCC pada umur beton 28, 56, 90, serta 180 hari. Hasil kuat tekan, kuat tarik belah, serta kuat lentur SCC mengalami kenaikan dengan meningkatnya umur beton. Sedangkan nilai permeabilitasnya rendah. Sharma, dkk (2016) juga mempelajari tentang kuat tekan *self compacting concrete* dengan penambahan serat baja serta tanpa serat baja. Penggunaan bahan tambah superplasticizer Glenium B233 serta filler ultrafine calcium carbonate dengan serat baja merk Dramix. Alterasi serat baja yang digunakan sebesar 0%, 0, 5%, 1%, 1, 5% dari berat semen. Hasil pengujian kokoh tekan beton bertambah dengan peningkatan kandungan serat hingga kandungan serat 1%, setelah itu menyusut. Kenaikan maksimum kuat tekan beton sebesar 66% pada 28 hari serta 50% pada usia 60 hari. Akumulasi serat baja menaikkan rasio serapan tenaga sebesar 1,5 -2,6 kali serta tingkatkan rasio daktilitas beton.

Akumulasi serat baja pada beton hendak menaikkan daktalitas serta kemampuan menerima beban yang besar (*high loadzbearing capacity*). Akumulasi ini dimaksudkan memperbaiki kemampuan beton dalam memikul beban paling utama pada bagian yang tertarik, sehingga serat baja diharapkan dapat jadi opsi untuk menggantikan fungsi tulangan longitudinal yang biasanya dipakai. Pembangunan konstruksi beton yang memiliki ketahanan memerlukan pemadatan yang baik, di mana pemadatan tersebut diaplikasikan oleh tenaga-tenaga kerja terampil.

2.2. Teori *Self Compacting Concrete* (SCC)

SCC ialah beton fresh plastis yang gampang mengalir karena berat sendirinya mengisi ke seluruh cetakan yang menyebabkan beton tersebut mempunyai sifat-sifat untuk memadat sendiri, tanpa adanya bantuan misalnya alat penggetar untuk pemadatan. SCC yang baik senantiasa homogen, kohesif, tidak segregasi, tidak terjalin blocking, serta tidak bleeding. Tjaronge dkk., (2006), SCC merupakan sesuatu beton yang mempunyai kecairan (*fluidity*) yang besar sehingga sanggup mengalir serta mengisi ruang- ruang di dalam cetakan tanpa proses pemadatan ataupun cuma sedikit sekali membutuhkan getaran untuk memadatkannya. Sehingga dapat mengurangi waktu proses pemadatan. Dengan tingkatan kecairan yang besar, hingga SCC dapat dinaikan serta dibawa dengan gampang lewat pompa ke tingkatan yang lebih tinggi pada pengecoran bangunan berlantai banyak. Salah satu bahan kimia yang pengaruhi keahlian SCC buat mengalir merupakan superplastisizer.

Menurut Okamura and Ouchi (2003), satu solusi untuk memperoleh sesuatu struktur beton tahan lama yang terikat pada kemampuan konstruksi yaitu kemampuan sendiri beton

untuk memadat, yang bisa mengalir ke dalam masing-masing sudut suatu cetakan, sebab berat sendiri serta tanpa membutuhkan alat penggetar, dengan komposisi kombinasi agregat agresif 50% dari volume beton, agregat halus 40% dari volume mortar serta aspek air semen antara 0,25-0,40.

Kelebihan SCC antara lain sangat encer, memiliki slump besar dalam jangka waktu lama (*slump keeping admixture*), tidak membutuhkan pemadatan manual, lebih homogen serta normal, kuat tekan beton dapat membuat kualitas besar/sangat besar, lebih kedap, porositas lebih kecil serta susut lebih rendah, lebih awet, permukaan beton lebih baik serta halus, polusi suara rendah serta tenaga kerja lebih sedikit. Proporsi material SCC bersumber pada *The European Federation of Specialist Constructions Chemicals and Concrete Systems* (EFNARC) semacam pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Proporsi Jumlah Material Penyusun SCC (EFNARC, 2005)

Material	Batas dalam berat (kg/m³)
Powder	380 – 600
Air	150 - 200
Agregat kasar	750 - 1000
Agregat halus	48 – 55% dari berat agregat

Pada dasarnya SCC terdiri dari komponen- komponen yang sama dengan beton wajar, walaupun ada perbedaan-perbedaan pada komposisi beton. Pada pembuatan SCC sangat dibutuhkan bahan tambah kimia untuk memenuhi sebagian kriteria beton agar plastis serta gampang dikontrol kekecekkannya, reduksi air sangat besar, serta beton yang normal.

Bersumber pada spesifikasi SCC dari EFNARC, *workability* ataupun kelecakan kombinasi beton segar bisa dikatakan sama dengan SCC apabila memenuhi kriteria berikut:

- a. *Filling ability*, merupakan kemampuan beton SCC untuk mengalir serta mengisi keseluruhan bagian cetakan karena berat sendirinya.
- b. *Passing ability*, merupakan kemampuan beton SCC untuk mengalir lewat celah-celah antar besi tulangan ataupun bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa terdapatnya segregasi ataupun blocking.
- c. *Segregation resistance*, merupakan kemampuan beton SCC untuk melindungi agar komposisi tetap homogen sepanjang waktu perjalanan hingga pada saat pengecoran.

2.3. Slump Flow

Slump flow bisa diartikan sebagai diameter rata-rata penyebaran beton segar menggunakan kerucut slump biasa. SCC merupakan sesuatu beton yang mempunyai sifat cairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga sanggup mengalir serta mengisi ruang-ruang di dalam cetakan tanpa proses pemadatan ataupun cuma sedikit sekali membutuhkan pemadatan. Salah satu bahan kimia yang pengaruhi kemampuan SCC agar mengalir yaitu Superplasticizer. Kelas SCC bersumber pada nilai slump flow bisa dilihat pada Tabel 2.2.

Tjaronge, Meter. W., Irmawaty, R., Chandra, E., Limpo, A. (2006), sudah melaksanakan riset slump flow serta kuat lentur *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan menggunakan superplatisizer yang bermacam-macam. Riset memakai semen Portland tipe 1(OPC) dengan superplasticizer berbasis polycarboxylate. Isi 0, 4% superplatisizer menciptakan diameter slump 555 milimeter,

buat 0, 6% diperoleh diameter slump 655 milimeter serta 0, 8% dari berat semen diperoleh diameter 735 milimeter. Hasil riset menampilkan akumulasi Superplasticizer bisa tingkatkan slump flow, di mana tiap akumulasi 0, 2% superplatisizer hendak memperbesar slump flow dekat 100 milimeter.

2.4. Viskositas

Viskositas bisa dinilai pada saat T500 sepanjang uji slump-flow ataupun dinilai bersumber pada waktu alir corong-V. Nilai waktu yang diperoleh tidak mengukur viskositas SCC namun berkaitan dengan kecepatan aliran. Beton dengan viskositas besar bisa terus merambat melewati perpanjangan waktu. Kelas SCC bersumber pada Viskositas bisa dilihat pada Tabel 2.2. Berikut ini merupakan tipikal kelas viskositas bagi *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, 2005:

- a. VS1/VF1 mempunyai kemampuan mengisi yang baik apalagi dengan tulangan padat serta biasanya mempunyai permukaan akhir terbaik. Tetapi, kombinasi beton ini lebih agar menghindari bleeding serta segregasi.
- b. VS2/VF2 tidak mempunyai batasan kelas atas tepi dengan meningkatnya waktu aliran, lebih membolehkan menampilkan dampak thixotropic, yang bisa jadi menghalangi tekanan bekisting ataupun tingkatkan ketahanan terhadap segregasi. Dampak negatif bisa jadi dirasakan mengenai permukaan akhir yang berlubang.

2.5. Segregasi Material

Ketahanan segregasi merupakan dasar untuk keseragaman serta kualitas SCC. SCC bisa hadapi segregasi sepanjang penempatan serta setelah penempatan namun saat sebelum pengerasan. Segregasi yang terjadi setelah penempatan dapat merugikan

elemen besar serta di slab tipis bisa menimbulkan cacat permukaan semacam retak ataupun permukaan yang lemah. Ketahanan segregasi jadi parameter berarti pada kelas slump flow yang lebih besar serta/ataupun kelas viskositas rendah ataupun bila keadaan penempatan mendesak terbentuknya segregasi. Kelas SCC bersumber pada segregasi Resistensi bisa dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelas Slump Flow, Viskositas, Segregasi (EFNARC, 2005)

Kelas Slump Flow	Slump Flow (mm)		
SF 1	550 - 650		
SF 2	660 - 750		
SF 3	760 - 850		
Kelas Viskositas	T500, s	V-tunnel, s	
	VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
	VS2/VF2	> 2	9 - 25
Kelas Regregasi Resistensi	Segregasi Resistensi (%)		
SR 1	≤ 20		
SR 2	≤ 15		

Ahmadi, Meter. A., Alidoust, O., Sadrijenad, I., and Nayeri, Meter. (2007) telah melakukan penelitian terkait beton SCC dengan memakai kombinasi 460 Kg semen, 770 Kg kerikil, 1000 Kg pasir, w/c 0,35 serta Superplasticizer Visco 1%, didapatkan kokoh tekan 57 MPa. Dimana pemakaian beton SCC ini meningkatkan kuat tekan sebesar 31-41% serta kuat lentur sebesar 12-20%. Sedangkan modulus elastisitasnya menurun 9-17% dari beton wajar.

Persson, B. (2001, 2003) sifat mekanik modulus elastisitas, rangkakan (*creep*) serta susut (*shrinkage*) dan ketahanan terhadap sulfat pada beton normal serta SCC. Dari hasil penelitiannya, modulus elastisitas, rangkakan (*creep*) serta susut (*shrinkage*) beton SCC tidak berbeda secara signifikan dengan beton normal. Tetapi serangan sulfat pada umur 28 serta 90 hari menimbulkan SCC kehilangan massa yang lebih besar, namun setelah umur 900 hari dengan perawatan yang baik dilaut serta air tawar tidak terdapat perbandingan massa serta kehancuran beton wajar serta SCC akibat sulfat.

2.6. Penutup

Ciri reologi serta mekanik SCC dipengaruhi oleh kuantitas superplastisizer. Mariani, Sampebulu, V. serta Ahmad, A. Gram (2009) sudah meneliti pengaruh akumulasi admixture terhadap ciri SCC, akumulasi *admixture superplasticiser* berpengaruh pada *workability* serta kuat tekan beton. Tjaronge, Meter. W., Rita Irmawaty dkk., (2006) akumulasi *superplasticizer* mempengaruhi slump flow serta tidak mempengaruhi tegangan lentur.

Okamura, H. serta Ouchi, (2003), SCC awal kali dikembangkan di Jepang pada pertengahan tahun 1980-an serta mulai digunakan pada konstruksi beton pada awal tahun 1990-an yang digunakan sebagai satu solusi pada struktur beton tahan lama yang terikat pada kemampuan pekerjaan konstruksi. SCC dapat memadat sendiri, bisa mengalir ke dalam sudut sesuatu cetakan, sebab berat sendiri serta tanpa perlengkapan penggetar, dengan komposisi kombinasi agregat agresif 50% dari volume beton, agregat halus 40% dari volume mortar dan aspek air semen antara 0,25-0,40.

Bab 3

Beton Ringan

3.1. Pendahuluan

Tidak seperti beton normal, beton ringan tidak dapat dilakukan pemadatan atau getaran apa pun yang akan mempengaruhi kerapatan desainnya. Oleh karena itu, karakteristik yang penting dari beton busa adalah sifat mudah mengalir dan komparabilitas. Nilai konsistensi lebih rendah (campuran terlalu kaku menyebabkan gelembung pecah) atau lebih tinggi (pasta menjadi terlalu tipis untuk menahan gelembung yang mengakibatkan pemisahan) sehingga menyebabkan peningkatan kepadatan. Dengan demikian, "stabilitas beton busa," didefinisikan sebagai keadaan campuran di mana rasio kepadatan lebih dekat dengan satu, tergantung pada konsistensi campuran dasar, dan dapat dinyatakan dalam hal rasio air-padatan, yang bervariasi dengan tipe filler. Ketika busa ditambahkan ke campuran dasar, "konsistensi beton busa" berkurang, tergantung pada volume busa yang ditambahkan dan untuk kepadatan yang diberikan pada jenis filler. Superplasticizers kadang-kadang digunakan untuk mempertahankan kemampuan kerja yang cocok meskipun dapat mengurangi stabilitas busa (Saucier et al. 1990; Van Dijk 1991). Karena kompleksitas pencampuran kimia modern,

mustahil untuk menggeneralisasi interaksinya dengan busa (Du dan Folliard 2005).

Sifat dari beton busa segar, yaitu; stabilitas dan konsistensi, dipengaruhi oleh volume busa dan rasio air-padatan bersama dengan bahan padat lainnya dalam campuran. Oleh karena itu, penelitian tentang sifat-sifat beton busa pada keadaan basah atau plastik dari pengaruh komposisi, seperti rasio pengisi-semen, tingkat penggantian abu terbang, rasio air-padatan, dan volume busa dilakukan. Ini akan membantu dalam menentukan konsistensi campuran dasar, dan karenanya, kebutuhan air untuk membuat beton busa stabil dengan konsistensi yang baik, mengetahui proporsi bahan-bahan lainnya.

Beton busa adalah bahan konstruksi yang ringan, dengan kepadatan 400-1850 kg/m³. Bahan konstruksi yang ringan ini memberikan banyak keuntungan, seperti biaya rendah, kapasitas isolasi termal dan suara yang tinggi, dan ketahanan api yang tinggi, untuk industri konstruksi di atas beton konvensional. Beton busa secara khusus digunakan sebagai beton ekonomis dalam konstruksi struktural, partisi, tanggul jalan, dan kelas pengisian. Struktur dari beton busa diproduksi melalui pengenalan gelembung kecil dalam tiga cara, termasuk: penggunaan bahan pembuat pori kaca, mineral agregat ringan dan agregat butir plastik berbasis polimer dalam beton. Pengenalan gelembung dalam struktur matriks semen dapat menghasilkan perpaduan dan keruntuhan struktur mikro beton. Oleh karena itu, sifat yang diinginkan dari busa beton dapat menjadi tidak terjangkau. Busa sintetis dan berbasis protein adalah agen busa yang paling umum. Beberapa penelitian menyelidiki sifat-sifat beton busa yang dibuat dengan sintetis atau agen busa berbasis protein. Studi yang ada

mengungkapkan bahwa, dibandingkan dengan busa sintetis, penggunaan busa berbasis protein dalam beton menghasilkan gelembung sel yang lebih tertutup dan struktur mikro yang lebih kuat, yang mengarah ke jaringan air-void yang lebih stabil dalam beton. Nambiar dan Ramamurthy mengungkapkan bahwa beton busa dengan distribusi ukuran udara-lebih sempit menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi.

3.2. Prediksi Kekuatan Beton Ringan

Ada beberapa hubungan prediksi kekuatan yang dikembangkan untuk pasta semen, mortar dan beton. Rongga dalam beton normal terutama tergantung pada rongga air awal. Ketika dipadatkan dengan baik, hukum Abram memberikan korelasi yang baik antara kekuatan dan rasio air-semen. Namun, rongga udara terperangkap yang disebabkan oleh kurangnya pemadatan, dan rongga udara terperangkap juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap total volume rongga dalam beton. Dalam kasus seperti itu, volume rongga udara, yang diformulasikan oleh Feret adalah alternatif yang lebih baik. Hubungan antara kekuatan dan volume total rongga bukanlah sifat unik dari beton tetapi juga ditemukan pada banyak bahan rapuh lainnya.

Beberapa persamaan telah disarankan untuk menyatakan hubungan kekuatan dan volume yang dilakukan oleh Balshin, Haselmann, Schiller, dan Ryshkewitch. Karena kekuatan beton pada setiap rasio air-semen tergantung pada tingkat hidrasi semen dan sifat kimia dan fisiknya bersama dengan kandungan udara beton, kekuatan yang berhubungan dengan konsentrasi dari produk padat hidrasi dalam ruang yang tersedia untuk produk-produk ini melalui konsep rasio ruang-gel. Untuk busa dan beton aerasi yang mengandung rongga udara dalam jumlah

besar, beberapa peneliti mengembangkan untuk kekuatan dengan memperluas beberapa hubungan di atas dan sifat-sifat yang lebih bervariasi. Berbagai model untuk prediksi kekuatan beton aerasi dan busa didasarkan pada model kekuatan atau model Balshin. Model kekuatan memiliki keunggulan bahwa perilaku material terkait dengan komposisinya. Juga lebih tepat untuk menghubungkan kekuatan dengan konsentrasi produk padat hidrasi semen di ruang yang tersedia untuk produk-produk ini. Nielsen meneliti pernyataan kekuatan-porositas Balshin, Hasselman dan Ryshkewitch sehubungan dengan pengembangan kekuatan dalam pasta semen yang dikeraskan dan menyimpulkan bahwa

- (i) Tidak valid pada porositas tinggi dan
- (ii) Untuk spesifik pori, pernyataan Balshin cocok secara kuantitatif dengan kekuatan. Persamaan Balshin memberikan kecocokan yang baik untuk plot kekuatan tekan terhadap total porositas untuk
- (iii) Berdasarkan slate beton ringan aerasi, dan
- (iv) Pada semua umur beton busa yang terbuat dari pasta semen yang mengandung persentase tinggi abu. Semua model kekuatan yang berkaitan dengan beton busa adalah untuk pasta semen yang tidak dapat langsung diperluas ke beton busa dengan pengisi seperti pasir/abu terbang.

Berdasarkan pengamatan diatas, dalam beberapa penelitian, pernyataan kekuatan model balshin dianggap sebagai dasar untuk mengembangkan model beton busa. Termasuk hubungan kuat tekan dari beton busa dengan perawatan dengan kelembaban terbuat dari campuran semen-pasir dan semen-pasir-abu terbang berdasarkan kuat-porositas dan model rasio

gel/space power. Untuk itu, persamaan teoritis diturunkan untuk porositas dan perbandingan ruang-gel yang menghubungkannya dengan kepadatan, proporsi bahan dalam campuran dan karakteristik bahan.

3.3. Sifat Beton Ringan

Beton busa adalah pasta semen ataupun mortar, diklasifikasikan sebagai beton ringan, di mana rongga udara terperangkap dalam mortar oleh busa. Beton busa memiliki daya alir tinggi, bobot rendah, konsumsi agregat minimal, kekuatan rendah terkontrol, dan sifat insulasi termal yang sangat baik. Dengan kontrol yang tepat dalam variasi busa, variasi kepadatan ($1600-400 \text{ kg/m}^3$) beton berbuisa untuk aplikasi struktural dan partisi. Meskipun bahan tersebut dipatenkan pertama kali pada tahun 1923, aplikasi konstruksinya sebagai bahan ringan non dan semi-struktural meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Tinjauan komprehensif dipresentasikan oleh Valore pada tahun 1954 dan terperinci oleh Rudnai dan Short dan Kinniburgh pada tahun 1963, mendeskripsikan komposisi, sifat dan penggunaan beton seluler, terlepas dari metode pembentukan struktur sel. Baru-baru ini, Jones dan McCarthy telah meninjau sejarah penggunaan beton busa, bahan penyusun yang digunakan, sifat-sifatnya, dan aplikasi konstruksi termasuk beberapa proyek yang dilakukan di seluruh dunia. Sifat-sifat seperti ketahanan api, konduktivitas termal dan sifat akustik juga termasuk dalam pembahasan tersebut, sedangkan data tentang sifat keadaan segar, daya tahan dan sistem rongga udara dari beton busa agak terbatas. Produksi campuran beton busa yang stabil tergantung pada banyak faktor yaitu, pemilihan busa, metode persiapan busa dan penambahan untuk distribusi rongga udara yang seragam, bagian bahan dan strategi desain campuran, produksi beton busa, dan kinerja sehubungan dengan keadaan segar dan keras lebih penting.

3.4. Bahan Penyusun Beton Ringan

Selain semen portland biasa, alumina tinggi dan kalsium sulfoaluminate telah digunakan untuk mengurangi waktu pengerjaan dan untuk meningkatkan kekuatan awal beton busa. Fly ash dan terak tanah-granulasi blast-furnace telah digunakan dalam variasi masing-masing 30-70% dan 10-50% sebagai pengganti semen untuk mengurangi biaya, meningkatkan konsistensi dari campuran dan untuk mengurangi panas hidrasi sambil berkontribusi terhadap kekuatan jangka panjang. Silica fume hingga 10% dari massa semen telah ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan semen. Agregat halus alternatif, yaitu abu terbang, kapur, kapur dan beton yang dihancurkan, abu dasar insinerator, kaca daur ulang, pasir pengecoran dan serat tambang, Polistirena dan abu sisa pembakaran halus digunakan baik untuk mengurangi kepadatan beton busa dan/atau menggunakan limbah/bahan daur ulang. Beton dengan kepadatan antara 800 dan 1200 kg/m³ telah diproduksi menggunakan agregat kasar yang ringan dalam matriks semen berbuis. Kebutuhan air untuk campuran tergantung pada komposisi dan penggunaan campuran dan diatur oleh konsistensi dan stabilitas campuran. Pada kadar air yang lebih rendah, campuran terlalu kaku menyebabkan gelembung pecah sementara kadar air yang tinggi membuat campuran terlalu tipis untuk menahan gelembung yang mengarah ke pemisahan gelembung dari campuran dan terjadi pemisahan. Rasio air-semen yang digunakan berkisar 0,4-1,25. Meskipun super plasticizer juga kadang-kadang digunakan, penggunaannya dalam beton berbuis dapat menjadi alasan yang mungkin untuk ketidakstabilan dalam busa dan karenanya kompatibilitas pencampuran dengan beton busa sangat penting.

Serat polipropilen yang dicacah dengan panjang 12 mm dalam kisaran dosis 1-3 kg/m³ telah meningkatkan perilaku geser beton busa yang setara dengan beton normal. Juga penggunaan serat untuk mengurangi kerapuhan, sekaligus mengurangi berat dan biaya. Kombinasi optimal dari kekuatan, daktilitas, kepadatan, kemampuan kerja dan juga biaya dapat diperoleh dengan memilih jenis serat yang sesuai, kadar udara dan rasio w/c dari mortar dasar.

3.5. Busa

Deskripsi busa berbasis bahan alami dan sintetis yang umum digunakan telah dinyatakan oleh Valore, Taylor, Perez dan Cortez, Laukaitis et al., Park et al. Sebagian besar penelitian sebelumnya telah menggunakan busa eksklusif, yaitu, Neopar, Mearlcrete, Elastize, dan teknologi busa. Beton busa diproduksi baik dengan metode pra-berbusa atau metode berbusa campuran. Metode pra-busa terdiri dari memproduksi campuran basa dan busa berair pratata yang stabil secara terpisah dan kemudian mencampur busa secara menyeluruh ke dalam campuran basa. Dalam campuran busa, material aktif pada permukaan dicampur bersamaan dengan bahan campuran basa dan selama proses pencampuran, busa diproduksi menghasilkan struktur dalam beton. Busa harus kuat dan stabil sehingga tahan terhadap tekanan mortar sampai semen mengalami set awalnya dan kerangka beton yang kuat dibangun.

Busa yang terbentuk sebelumnya dapat berupa busa basah atau kering. Busa basah diproduksi dengan menyempatkan larutan berbusa di atas jaring halus, memiliki ukuran gelembung 2-5 mm dan relatif kurang stabil. Busa kering diproduksi dengan memaksa larutan material busa melalui serangkaian pembatasan

kepadatan tinggi dan memaksa udara terkompresi secara bersamaan ke dalam ruang pencampuran. Busa kering sangat stabil dan memiliki ukuran lebih kecil dari 1 mm, yang membuatnya lebih mudah untuk dicampur dengan bahan dasar untuk memproduksi beton yang mampu menghasilkan busa.

3.6. Proporsi dan Persiapan Beton Busa

Seringkali proses percobaan diadopsi untuk mencapai beton busa dengan karakteristik yang diinginkan. Untuk proporsi dan kepadatan campuran tertentu, metode proporsi rasional berdasarkan perhitungan volume padat yang diusulkan oleh McCormick. Desain ACI 523-1975 menghubungkan kerapatan plastik dan kekuatan tekan, dengan menggunakan kadar semen dan rasio air-semen dapat menjadi pilihan untuk kekuatan dan kerapatan tertentu. Sedangkan ASTM C 796-97 menyediakan metode perhitungan volume busa yang dibutuhkan untuk membuat pasta semen dari rasio air-semen yang diketahui dan kepadatan yang diinginkan. Kearsley dan Mostert telah merekomendasikan seperangkat persamaan (kepadatan dan volume beton busa), yang ditulis dalam istilah komposisi campuran, untuk menghitung volume busa dan kandungan semen. Untuk kekuatan tekan 28 hari, rasio filler-semen dan berat jenis segar, persamaan desain campuran khas Nambiar dan Ramamurthy menentukan campuran konstituen yaitu, persentase volume busa, kadar air bersih, kadar semen, dan persentase penggantian abu terbang.

Pra-terbentuk busa dipilih untuk teknik pembentukan-campuran karena keuntungan berikut:

- (i) Persyaratan material busa lebih rendah dan

- (ii) Hubungan erat antara jumlah material busa yang digunakan dan kandungan udara dari campuran. Jenis mixer yang paling umum (drum miring atau pengaduk panci yang digunakan untuk beton atau mortar) cocok untuk beton busa. Jenis mixer dan batching dan urutan pencampuran beton busa tergantung pada metode busa pra-terbentuk atau metode campuran-berbusa.

3.7. Penutup

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang terbuat dari beberapa material dengan bahan utamanya adalah campuran antara agregat, bahan perekat, dan air pada proporsi tertentu. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya di bidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton busa. Beton busa adalah campuran mortar yang ditambahkan dengan cairan busa (*foam agent*). Gelembung-gelembung busa menciptakan ruang berongga dalam struktur beton busa sehingga mengurangi kebutuhan pasir dan semen. Beton busa memiliki berat volume yang lebih ringan dibanding dengan beton normal sehingga beton busa diklasifikasikan sebagai beton ringan. Akan tetapi beton busa memiliki kuat tekan yang relatif rendah. Untuk itu diperlukan material penyusun beton busa yang bisa meningkatkan kuat tekannya, serta diharapkan memiliki keunggulan lain, seperti lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Bab 4

Beton Massa

4.1. Pendahuluan

Konstruksi yang besar seperti bendungan, bendung serta pile cap jembatan terbuat dengan beton dalam jumlah yang besar ataupun beton massa (*mass concrete*). Pertumbuhan pembangunan infrastruktur khususnya bendungan di Indonesia di masa ini lumayan besar dengan adanya program 65 bendungan. Beton massa ialah beton pada struktur masif seperti bendungan dengan volume yang sangat besar dicoba pada saat temperatur panas. Sepanjang proses pengerasan, panas yang disebabkan oleh respon kimia antara semen dengan air (proses ion tetap dikelilingi dengan molekul), ditambah dengan temperatur area yang besar. Perihal tersebut menimbulkan terbentuknya perbandingan panas (*thermal gradient*) antara susunan inti dengan susunan luar. Perbandingan panas tersebut menyebabkan konstruksi di dalam badan konstruksi masif yang bila melebihi kuat tarik beton akan memunculkan retak akibat regangan tarik. Penyebaran temperatur panas ion tetap dikelilingi dengan molekul di bagian tengah dari susunan yang di cor akan tersebar, sebaliknya pada susunan luar sebab terpapar dengan area.

Di Indonesia, banyak pembangkit listrik yang memakai batu bara sebagai bahan pembangkit tenaga listrik. Abu terbang ialah hasil sampingan yang berasal dari pembakaran batu bara agar menciptakan listrik. Saat ini, sebagian besar abu terbang dibuang ke tempat pembuangan berbentuk danau yang menimbulkan kerusakan lingkungan. Penurunan mutu lingkungan akibat adanya teras menerus abu terbang sebagai hasil sampingan pembakaran batubara merupakan kekuatan pendorong untuk melihat penggunaannya sebagai bahan konstruksi sehubungan dengan usaha untuk meminimalisir jumlah abu terbang yang dibuang serta kurangi pemakaian tanah tempat pembuangan abu terbang.

Sebagian produsen semen di Indonesia sudah mengadopsi semen kombinasi (*blended cement*) yang telah dikembangkan terlebih dulu di sebagian negeri di Eropa, Amerika, Jepang dan lain-lain, di mana abu terbang ialah salah satu material pozzolan yang bisa dicampur bersama klinker semen untuk memproduksi semen kombinasi. Semen ialah bahan pengikat yang penting bagi pembuatan beton dan merupakan bahan konstruksi yang sangat banyak digunakan di seluruh dunia dengan pemakaian pada tahun 2009, dengan 2,8 Gtons (WBCSD- *World Business Council for Sustainable*). Untuk membuat semen portland tipe 1, 2, 3, 4 serta 5, bahan-bahan semacam batu kapur serta tanah liat butuh ditambang, dicampur dengan proporsi tertentu, dihaluskan serta dipanaskan pada temperatur besar dalam tanur putar. Proses ini memerlukan tenaga serta sumber energi yang intensif serta menciptakan emisi CO yang lumayan besar sebab penguraian kalsium karbonat (kapur) jadi kalsium oksida serta pembakaran bahan bakar fosil sepanjang pemanasan kombinasi. Per 1 ton emisi bruto CO₂ semen global rata-rata diperkirakan

hampir 900 kilogram, terhitung 5-8% dari total emisi CO₂ manusia (Habert et al., 2010).

Dalam dekade terakhir di Indonesia, bersumber pada pertimbangan konservasi alam bahwa pengurangan limbah semacam abu terbang, penyusutan emisi CO₂ serta faktor-faktor lain yang terkait dengan pembangunan infrastruktur berkelanjutan, terdapat kecenderungan yang kuat ke arah pengembangan akumulasi alternatif untuk pembuatan semen kombinasi ramah lingkungan seperti semen portland komposit (*Portland Composite Cement*). Pada awal mulanya semen Portland komposit dibuat berdasarkan pedoman tahun 2005 (SNI 2005) yang selanjutnya diperbaharui pada SNI 2012.

Berbagai upaya sudah dicoba untuk mengurangi jejak karbon industri semen, misalnya:

- i) Tingkatkan efisiensi tenaga;
- ii) Mengubah bahan bakar fosil dengan sumber tenaga alternatif semacam residu hewan, lumpur limbah serta minyak limbah;
- iii) Substitusi semen portland tradisional dengan bahan semen alternatif, semacam *slag furnace* serta abu pembakaran batubara.

Substitusi semen tradisional dengan abu terbang secara progresif lagi diteliti sebab meningkatnya pemakaian batubara untuk menghasilkan energi berkepanjangan serta sebagian besar abu terbang yang dihasilkan (Berra et al., 2015; Rajamma et al., 2015; Siddique, 2012). Tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca akibat mengkonsumsi tenaga serta bahan baku yang lebih rendah, akumulasi abu terbang ke semen bisa menciptakan dampak menguntungkan oleh residu pembakaran batubara

berbentuk abu terbang serta *bottom ash*. Pemakaian abu terbang sebagai kombinasi mineral dalam beton diatur dalam standar Eropa EN 450- 1 (2005).

Di Indonesia, semenjak tahun 2005, beberapa pabrik semen sudah mengembangkan semen kombinas (*blended semen*) antara lain semen portland komposit yang memakai abu terbang sebagai material pozzolan dalam campurannya. Volume beton dalam jumlah besar mempunyai kemampuan untuk menghadapi perbedaan temperatur selama *curing* yang menimbulkan retak. Permasalahan *crack* akibat panas (*thermal cracking*) awalnya di ketahui terjadi di Dekameter di mana temperatur bertambah secara signifikan dari panas ion tetap dikelilingi dengan molekul dan selanjutnya retak dari susut (*shrinkage*) terjadi sepanjang pendinginan, serta retak termal pada usia dini secara terus-menerus menjadi perhatian para insinyur serta peneliti. Ion tetap dikelilingi dengan molekul beton selama proses eksothermik yang memproduksi panas dalam jumlah besar sepanjang curing, khususnya terjadi pada sebagian hari ataupun minggu awal setelah pengecoran.

Panas tersebut menimbulkan perbandingan temperatur di dalam beton, dari temperatur besar di tengah massa beton ke temperatur rendah di dekat permukaan beton di mana panas dengan gampang tersebar ke temperatur permukaan. Bila perbandingan temperatur yang sangat besar, menciptakan tegangan termal melampaui tegangan tarik beton akan memunculkan retakan, khususnya pada usia dini di mana beton lagi meningkatkan kekuatannya. Telah menjadi pengetahuan umum jika ion tetap dikelilingi dengan molekul beton selama respon eksotermik serta memunculkan pembuatan panas yang signifikan pada beton massa (*mass concrete*). Beton jadi

konduktor yang kurang baik yang bisa menahan panas dalam waktu yang lama setelah pengecoran. Bergantung pada dimensi strukturnya, proses ion tetap dikelilingi dengan molekul bisa memakan waktu sampai sebagian tahun pada struktur massif semacam bendungan untuk mencapai distribusi temperatur yang normal dalam kesetimbangan dengan keadaan lingkungan sekitarnya.

Sebagian tata cara untuk mengendalikan temperatur beton massa supaya tidak besar antara lain:

- (1) Mengendalikan kandungan material semen, di mana opsi tipe serta jumlah bahan semen bisa mengurangi kemampuan menghasilkan panas dari beton;
- (2) *Precooling*, tempat pendinginan bahan mencapai temperatur beton yang lebih rendah seperti yang ditempatkan dalam struktur;
- (3) *Postcooling*, tempat menghasilkan panas beton dengan gulungan pendingin tertanam menghalangi temperatur yang naik dalam struktur; serta
- (4) Manajemen konstruksi, di mana upaya untuk melindungi struktur dari kelebihan perbandingan temperatur serta prosedur konstruksi (ACI 207. 1R- 96).

Di Indonesia, banyak struktur beton dibentuk menjadi bendungan. Disebabkan semen portland komposit yang sangat banyak tersebar serta gampang diperoleh di pasaran lokal hingga banyak pembangunan bendungan ataupun struktur beton massif yang lain memakai semen portland komposit sebagai bahan pengikat utama. Semen portland komposit merupakan salah satu tipe semen kombinasi yang memiliki material pozzolan berbentuk abu terbang yang baru

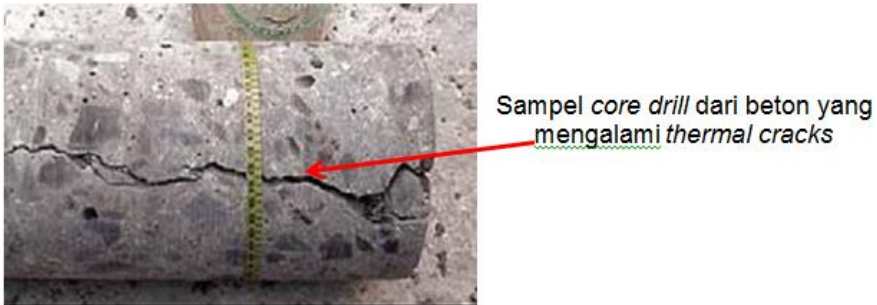
dikembangkan pada tahun 2005, sehingga pengetahuan tentang pelaksanaan semen portland komposit sebagai bahan pengikat pada konstruksi beton massa masih sangat sedikit. Oleh sebab itu sangat penting buat menyusun sesuatu riset yang menginvestigasi pemakaian semen portland komposit pada beton massa serta melaksanakan karakterisasi beton dalam keadaan segar ataupun saat sudah membeku. Sekarang ini semen portland komposit sudah banyak digunakan pada pembangunan beton massa. Namun demikian, masih sangat kurang metode yang menganalisis pemakaian semen portland komposit pada beton massa di Indonesia.

4.2. Teori Dasar Beton Massa (*Mass Concrete*)

Beton massa merupakan volume beton dengan ukuran yang sedemikian besar sehingga memerlukan tindakan-tindakan tertentu untuk menanggulangi bertambahnya panas yang berlebih yang bisa merangsang munculnya keretakan (ACI Committee 207, 1996). Suatu elemen struktur dikatakan beton massa apabila mempunyai ukuran/ketebalan minimum antara 1-1,5 meter, ataupun rasio volume terhadap luas permukaan 1, 2 ataupun lebih, di mana tidak diperuntukkan untuk memperoleh kuat tekan yang sangat besar.

Pembeda beton massa dengan beton biasa ialah sikap termiknya (*thermal behavior*), sebab dengan struktur yang besar serta tebal panas ion tetap dikelilingi dengan molekul tidak gampang keluar, sehingga temperatur di dalam beton jadi sangat besar. Perihal ini disebabkan ion tetap dikelilingi dengan molekul semen berupa proses yang sangat eksotermik, yang menimbulkan tingginya temperatur di bagian inti dari beton massa. Suatu hal yang wajib dicermati pada beton massa yaitu munculnya perbandingan temperatur maksimum yang besar

(*thermal shock*) yang bisa menimbulkan terbentuknya kontraksi serta menimbulkan retak pada suhu 40°C/jam (ACI. 224. 1. R93. 7) serta terdapatnya perbandingan temperatur beton inti serta beton dibawahnya tidak lebih dari 20°C (ACI, Harian. Vol. 94 Nomor. 2, 1997). Hal tersebut diakibatkan karena terjadinya pergantian temperatur yang sangat cepat pada bagian permukaan beton massa, yang menimbulkan perbandingan temperatur yang besar dengan bagian inti beton hingga perihal ini berpotensi hendak munculnya keretakan (*thermal cracking*) seperti pada yang diperlihatkan pada Gambar 1.



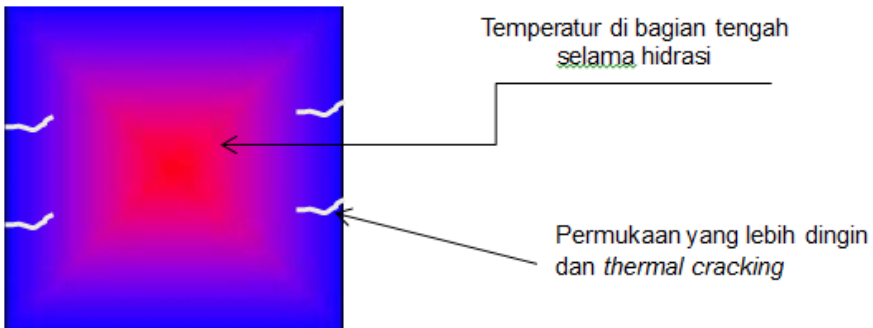
Gambar 4.1. Contoh Beton Massa yang Mengalami Retak *Thermal*

Mekanisme munculnya *thermal cracking*, diawali dari proses ion tetap dikelilingi dengan molekul semen yang menciptakan meningkatnya temperatur di bagian tengah/inti beton massa. Bila bagian luar/permukaan beton massa mengalami pendinginan lebih cepat dari bagian tengah/inti, selanjutnya akan terjadi *thermal expansion/contraction*, serta perbandingan temperatur merangsang terjadinya *thermal (tensile stress)* dibagian permukaan beton massa. Gambar 4.2 memperlihatkan perbandingan temperatur pada beton massa. Gambar 4.3 memperlihatkan perbandingan temperatur beton massa.

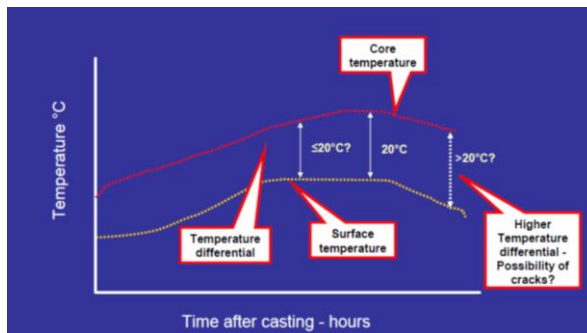
Kenaikan temperatur pada beton massa dipengaruhi oleh sebagian aspek antara lain:

1. Semen: Komposisi kimia, kehalusan serta jumlahnya
2. Agregat: Tipe, jumlah serta CTE (*Coefficient Thermal Expansion*)
3. Ukuran serta tebal struktur
4. Tata cara penerapan pengecoran serta *ambient temperature*

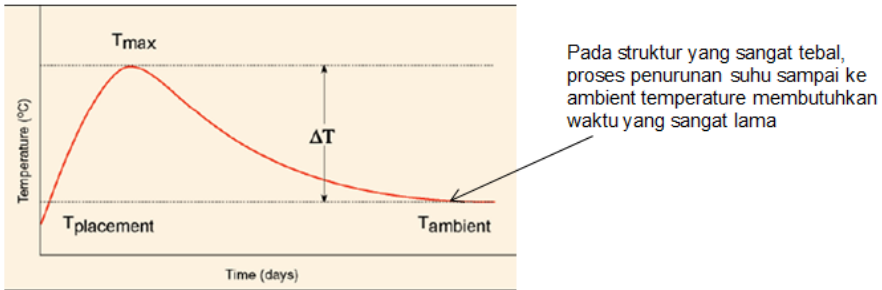
Biasanya kenaikan temperatur pada beton massa (*mass concrete*) bisa terjadi pada hari ke 1 hingga dengan hari ke 3 setelah pengecoran dilakukan. Gambar 4.4 memperlihatkan grafik temperatur pada beton massa.



Gambar 4.2. Perbedaan Suhu pada Beton Massa



Gambar 4.3. Perbedaan Temperatur Beton Massa



Gambar 4.4. Grafik Temperatur pada Beton Massa

4.3. Penutup

Telah menjadi pengetahuan umum jika ion tetap dikelilingi dengan molekul beton berarti respon eksotermik serta memunculkan pembuatan panas yang signifikan pada beton massa (mass concrete). Beton jadi konduktor yang kurang baik yang bisa menahan panas dalam jangka waktu yang lama setelah pengecoran. Bergantung pada dimensi strukturnya, proses ion tetap dikelilingi dengan molekul bisa memakan waktu sampai sebagian tahun pada struktur massif semacam bendungan.

Beton Geopolimer

5.1. Pendahuluan

Seiring dengan kebijakan pemerintah tentang pelaksanaan percepatan pembangunan untuk mengejar ketertinggalan dan meningkatkan daya saing nasional, maka pembangunan infrastruktur pada saat ini terus mengalami perkembangan. Sebagian besar infrastruktur yang dibangun menggunakan beton sebagai bahan pembentuknya. Beton merupakan salah satu material struktural yang umum digunakan dalam suatu struktur bangunan. Di dalam beton, terdapat bahan pengikat utama yang mampu membentuk kekuatan yaitu semen portland. Melalui reaksi hidrasi, semen portland dapat menjadi pengikat agregat kasar dan halus pada beton (Neville dan Brooks, 2010; Subakti et al, 2012). Semen yang merupakan material utama dari beton, menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) dalam pembuatannya yang dapat mencemari lingkungan. Serta stok semen yang semakin menipis tiap tahunnya. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan dan persediaan semen yang semakin terbatas ini dengan menggunakan beton geopolimer.

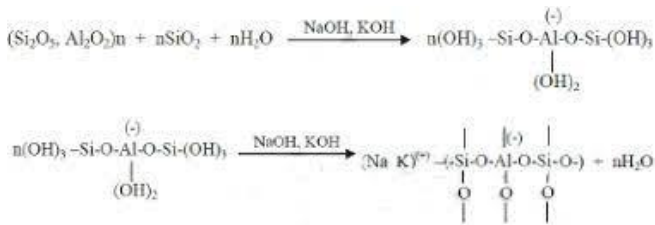
Beton geopolimer adalah beton yang menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen. Sehingga karakteristik

beton geopolimer (*setting time* & kuat tekan) sangat dipengaruhi oleh karakteristik fly ash (fisik, nilai pH, & kandungan kimia). Karena fly ash berasal dari pembakaran batu bara, maka perbedaan pada karakteristik fly ash ini disebabkan oleh asal batu bara, teknik pembakaran batu bara, kandungan mineral batu bara, metode pengumpulan batu bara, lama waktu penyimpanan batu bara di stock pile, dan periode pengambilan sampel batu bara (Ekaputri, Priadana, Susanto & Junaedi, 2013). Hal lain yang turut mempengaruhi karakteristik *fly ash* adalah larutan alkali yang digunakan sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari alumina (Al) dan silika (Si) yang terkandung dalam *fly ash*. Senyawa alkali yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3).

5.2 Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan beton geosintetik yang tidak menggunakan semen sebagai bahan dasar, tetapi menggunakan bahan pozzolan berupa fly ash yang banyak mengandung unsur alumina (Al) dan silika (Si) di mana unsur ini sangat memegang peranan penting dalam mempengaruhi karakteristik beton geopolimer. Geopolimer sendiri adalah material baru tahan api dan panas, pelapis, dan perekat aplikasi obat, keramik suhu tinggi, pengikat baru untuk komposit serat tahan api, beracun dan radioaktif enkapsulasi limbah, dan semen baru untuk beton. Dalam pembuatan geopolimer dibutuhkan larutan alkali yang berfungsi sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari silika (Si) dan alumina (Al) yang terkandung dalam fly ash. Larutan alkali yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat.

Dalam proses geopolimer, terjadi reaksi kimia antara alumina-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_3) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat yang diperoleh dari industri kimia atau bubuk silika halus sebagai produk sampingan dari proses *ferro-silicon metallurgy*. Proses polikondensasi oleh alkali menjadi poli (sialate-siloxo) adalah sepertipada gambar berikut:



Gambar 5.1. Reaksi Kimia Proses Polikondensasi oleh Alkali Menjadi Poli (Sialate-zSiloxo)

Menurut (Garcia-Loreido dkk, 2007) persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa pada reaksi kimia pembentukan senyawa geopolimer juga menghasilkan air yang dikeluarkan selama proses *curing*". (Palomo dkk, 1999) mempelajari pengaruh suhu, waktu, dan rasio larutan alkali pada abu terbang pada kekuatan awal geopolimer. Dilaporkan bahwa faktor suhu dan waktu perawatan mempengaruhi kuat tekan material geopolimer. Penggunaan larutan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) sebagai larutan alkali menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi.

5.2.1. Bahan Pengikat Geopolimer Metode Pencampuran Kering dan Basah

Metode pencampuran basah merupakan metode yang umum digunakan dalam proses pembuatan beton geopolimer. Maksudnya ialah, bahan kimia alkali aktivator yang digunakan disajikan sendiri dalam bentuk larutan. Padatan NaOH (Natrium Hidroksida) dilarutkan sesuai konsentrasi molar yang diinginkan dan Na_2SiO_3 (Natrium Silikat) berwujud larutan atau biasa disebut *water glass*. Larutan tersebut kemudian dicampur dengan bahan pozzolan yang disiapkan dalam wadah tersendiri sebelumnya (Abdullah et al, 2013). Metode pencampuran kering merupakan metode di mana bahan kimia alkali aktivator digiling bersamaan dengan bahan pozzolan dengan komposisi tertentu, sehingga menghasilkan suatu butiran halus mirip semen (semen geopolimer). Semen geopolimer ini cukup ditambahkan air saja dalam aplikasi penggunaannya (Tri Eddy, 2016).

5.2.2 Material Penyusun Beton Geopolimer

a. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash atau abu terbang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara yang pada umumnya dihasilkan oleh pabrik dan PLTU. *Fly ash* berbentuk bubuk yang halus. *Fly ash* merupakan material dengan sifat pozzolanik yang baik. Kandungan fly ash sebagian besar terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah sedikit (Nugraha & Antoni, 2007). Ada beberapa zat senyawa kimia yang berada pada abu terbang yaitu: Silika Dioksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), karbon dalam bentuk batu bara, Besi Oksida (Fe_2O_3), Sulfur

Trioksida (SO_3), dan lain – lain. Menurut SNI 06-6867- 2002, persyaratan mutu pada abu terbang seperti tampak Tabel berikut

Tabel 5.1. Persyaratan Mutu *Fly Ash*

No.	Senyawa	Kadarz, %
1.	Jumlah oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	>30
2.	SO_3 maksimum	5
3.	Hilang pijar maksimum	6
4.	Kadar air maksimum	3
5.	Total alkali dihitung sebagai Na_2O	1,5

(Sumber: SNI 06-6867-2002)



Gambar 5.2 Fly Ash (lawtjunnji.com)

b. Sekam Padi

Abu sekam padi adalah produk sampingan pertanian yang dihasilkan dengan membakar sekam padi. Abu sekam padi ini bisa digunakan sebagai pupuk untuk tanaman dan juga sebagai bahan campuran beton, karena abu sekam padi ini mengandung silika yang tinggi. Abu sekam padi memiliki kandungan silika yang tinggi karena tanaman padi menyerap silika dari tanah dan menyimpannya dalam biji-bijian dan sekam yang menutupi biji-bijian (Mohseni dkk, 2019). Sekam padi yang dibakar pada temperatur 600-900°C akan menghasilkan abu sekam berkisar 16-25% yang mengandung silika kadar tinggi sekitar 87-97%. Karena kandungan silika yang tinggi, abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan dasar industri seperti silica gell, gelas, keramik, semen, industri farmasi, kosmetik dan detergen. Abu sekam padi yang dibakar dengan suhu berkisar 400-500°C akan menjadi silica amorphous sedangkan abu sekam padi yang dibakar dengan suhu lebih dari 1000°C akan menghasilkan silika kristalin (Musbar, 2010).

c. Alkali Aktivator

Alkaline Aktivator ialah aktivator yang akan mengikat oksida silika pada *flyzash* dan akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Alkalin Aktivator secara umum digunakan adalah kombinasi antara larutan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan Natrium hidroksida (NaOH).

d. Agregat

Agregat akan menempati sebanyak 75% dari volume mortar atau beton. Agregat dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat alami dan agregat buatan (pecahan).

5.3. Pembuatan Beton Geopolimer

Perhitungan *mix design* campuran beton geopolimer dapat menggunakan metode yang sama dengan beton konvensional yaitu menggunakan SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Hal tersebut menunjukkan bahwa beton geopolimer ini didesign dengan kuat tekan rencana yang sama dengan beton konvensional menurut standar yang ada. Karena definisi beton geopolimer adalah penggantian semen dengan prekursor, maka dalam perhitungan *mix design*nya jumlah prekursor yang dibutuhkan dalam beton geopolimer akan sama dengan jumlah semen yang digunakan pada campuran beton normal. Dalam pembuatan desain campuran bahan pengikat geopolimer berbasis *fly ash* dan abu sekam padi dengan metode pencampuran kering, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan. Jika dalam bahan pengikat geopolimer metode pencampuran basah perbandingan yang digunakan ialah *fly ash* terhadap larutan aktivator, maka di metode pencampuran kering tentu membutuhkan perbandingan berat material dalam wujud padat, yaitu perbandingan *fly ash* dan padatan aktivator. Oleh karena itu diperlukan konversi dari metode pencampuran basah ke metode pencampuran kering.

a. Analisa Bahan

Pengujian bahan merupakan tahap awal pengujian sebelum membuat campuran beton. Di mana dalam tahap pengujian ini terdiri dari beberapa pengujian yaitu: berat jenis agregat (kasar dan halus), bobot isi agregat (kasar dan halus), kadar air dan kadar lumpur agregat (kasar dan halus), analisa saringan agregat (kasar dan halus), uji konsistensi semen, berat jenis semen, waktu ikat semen, dan berat jenis *fly ash*.

b. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Slump Beton

Pada tahap ini dilakukan pencampuran semua agregat yang telah dilakukan pengujian sebelumnya, dengan variasi komposisi campuran fly ash sebagai pengganti semen dan campuran larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) dengan perbandingan yang berbeda-beda. Setiap variasi komposisi membuat 3 buah benda uji, setiap satu variasi benda uji dibuat 3 waktu pengujian yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah adukan beton telah memenuhi slump rencana yaitu 60-180 mm dan pengaruh faktor air semen terhadap adukan beton.

Pembuatan beton geopolimer dilakukan dengan perbandingan bahan dasar *fly ash* dan abu sekam padi yang berbeda. Kedua bahan dasar tersebut disintesis dengan menggunakan larutan alkali aktifator ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$). Proses yang dilakukan dalam mensintesis sampel yaitu pertama menyiapkan bahan dasar *fly ash* dan abu sekam padi sesuai perbandingan yang telah ditetapkan, kedua bahan tersebut dicampurkan hingga homogen. Kedua, menyiapkan larutan alkali yang terdiri atas ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$). Perbandingan larutan alkali dan bahan dasar yang digunakan yaitu 1:2,5. Ketiga, larutan alkali dituangkan kedalam bahan dasar sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga membentuk pasta geopolimer yang homogen. Keempat, pasta beton geopolimer dituangkan kedalam cetakan dan dibiarkan selama satu hari satu malam pada suhu kamar untuk menghindari keretakan yang diakibatkan oleh syok termal pada sampel. Kelima, sampel tersebut dicuring pada suhu 70°C selama 4 jam untuk menyelesaikan proses polikondensasi. Sampel yang telah dicuring tersebut dibiarkan pada cetakan selama 2 hari.

Pada usia 28 hari dilakukan berbagai pengujian seperti Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui keadaan morfologi dan senyawa yang terkandung pada sampel, serta karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat fase yang terbentuk pada sampel. Pengujian nilai kekuatan tekan (*Compressive strength*) sampel pada usia 28 hari. Usia 28 hari merupakan usia maksimum yang digunakan pada pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 15-03022004. Geopolimer dicampur pada suhu rendah (<100°C) dan mengeras dengan cepat selama proses polimerisasi dengan kekuatan tekan (*compressive strength*) lebih baik dari kekuatan tekan semen portland. Geopolimer yang dihasilkan bersifat keras dan tahan terhadap cuaca, serangan bahan kimia dan suhu tinggi. Geopolimer tahan terhadap api hingga 1000°C -1200°C.

Pengujian kuat tekan merupakan merupakan salah satu pengujian untuk menganalisis sifat mekanik sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sampel beton geopolimer menahan beban yang diberikan kepada sampel tersebut hingga mengalami kerusakan. Pengujian kuat tekan bisa dilakukan setiap 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Setiap kali pengujian dilakukan 3 buah benda uji sebagai perbandingan, hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *fly ash* dan larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) terhadap kuat tekan beton.

5.4 Penutup

Material utama dari pembuatan beton adalah semen, namun semen ini merupakan salah satu material yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dimana pabrik yang memproduksi

semen menghasilkan gas karbondioksida (CO₂) yang dapat mencemari lingkungan dan meningkatkan pemanasan global. Untuk itu telah dilakukan berbagai inovasi dalam upaya menggantikan semen sebagai bahan dasar pembentuk beton yang ramah lingkungan, yaitu dengan menggunakan *fly ash*, abu sekam padi, atau kapur sebagai bahan dasar pengganti semen dalam pembuatan beton geopolimer. Beton geopolimer merupakan beton yang dibuat dari limbah pabrik batu bara atau *fly ash* yang dicampur dengan larutan alkali (NaOH & Na₂SiO₃) yang dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengurangi dampak negatif tersebut. Dalam penggunaannya, beton geopolimer memiliki beberapa kelebihan, yaitu: tahan terhadap serangan asam sulfat, tahan terhadap reaksi silika-alkali, tahan terhadap api, mempunyai rangkai dan susut yang kecil, dan dapat mengurangi polusi udara. Diharapkan dengan adanya inovasi-inovasi seperti ini akan membuat terobosan terbaru yang akan membantu mengurangi pencemaran dan memanfaatkan limbah disekitar yang tidak bernilai menjadi sangat bermanfaat.

Beton Serat (Fiber)

6.1. Pendahuluan

Sesuatu diperkirakan dapat dipakai jika nilai kuat tarik beton wajar cuma berkisar antara 9-15% dari kuat tekannya. Beton sangat lemah dalam menerima kuat tarik, sehingga terjadi retak yang kian lama terus menjadi besar. Untuk meningkatkan kekuatan tarik beton butuh penggunaan bahan tambah. Salah satu bahan tambah untuk meningkatkan kualitas beton yaitu serat. Beton serat (*fiber reinforced concrete*) ialah modifikasi beton konvensional dengan menambahkan serat pada adukannya. Bahan-bahan serat yang bisa digunakan buat revisi kinerja beton pada beton serat antara lain baja, plastik, cermin, karbon, dan serat dari bahan natural semacam ijuk, rami, ataupun serat dari tanaman lain (American Concrete Institute, 1982).

Dari banyak tipe penguat serat, serat sintesis, yang dibuat dari polimer, sudah banyak digunakan dalam aplikasi beton (Suji et al. 2007; Buratti dkk. 2011; Oh et al. 2007, 2005; Soutsos dkk. 2012; Bernard 2004; MacKay dan Trottier 2004; Alhozaimy et al. 1996). Serat sintesis digunakan untuk menguatkan beton secara nyata sudah memperoleh popularitas baik dari segi ekonomi dengan alibi serta bermacam guna yang bisa tingkatkan ciri mekanik.

Sifat mekanik dari beton serat sintetis bermacam-macam dalam kaitannya dengan kekuatan, modulus elastisitas, jenis, panjang, serta kandungan serat (Bentur dan Mindess 1990; Buratti *et al*, 2011). Dalam sebagian aplikasi, serat baja serta sintetis dicampur bersama agar diperoleh beton yang diperkuat serat (FRC, *Fiber Reinforced Concrete*) dengan kinerja yang lebih baik (Banthia serta Sappakittipakorn, 2007; Tabatabaeian dkk., 2017). Tidak hanya itu, serat makroskopis banyak dibuat dengan tujuan mengubah serat baja secara struktural pada aplikasi beton (Zheng serta Feldman 1995; Altoubat *et al.*, 2009), namun pengetahuan tentang sikap mekanis dari beton yang diperkuat serat-serat dikala ini masih terbatas.

Alani serta Beckett (2013) menyatakan bahwa lebih banyak data serta diperlukan pengetahuan tentang mekanis serta sifat kimia serta ciri serat yang diperkuat pada beton. Rao (2010) beton segar menghasilkan lebih rendah dari ketentuan SCC pada EFNARC, namun seluruh kombinasi beton mempunyai penyebaran (flowability) yang baik serta ciri beton SCC. Kekuatan serta daktilitas dari beton SCC dengan serat bertambah pada volume fraksi 1% buat aspek rasio 15, 25, serta 35. Volume fraksi (V) serta aspek rasio (A) maksimal pada 1% serta 25. Hasil pengujian menampilkan pengaruh abu terbang tidak sangat nampak pada usia beton dini namun pada usia beton setelah 56 hari, pengaruh abu terbang nampak paling utama pada kekuatan beton.

6.2. Steel Fibre Reinforced Concrete (SFRC)

Salah satu bahan tambah beton yakni serat (*fibre*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Sebab ditambah serat, hingga menjadi sesuatu bahan komposit ialah beton dan serat. Beton serat ialah kombinasi beton ditambah serat. Bahan serat bisa berbentuk serat asbestos,

serat plastik (*poly-propylene*), serat cermin (*glass*), serat kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan semacam: rami, sabut kelapa, bambu, ijuk (Trimulyono, 2004). Pemakaian serat pada adukan beton pada intinya memberikan pengaruh yang baik yaitu dapat memperbaiki karakteristik beton antara lain bisa meningkatkan daktilitas serta kuat lentur beton. Retak-retak yang menyebabkan keruntuhan pada struktur beton umumnya diawali dari retak rambut (*micro crack*). Bersumber pada riset yang sempat dicoba diperoleh kalau akumulasi serat kedalam adukan dapat menurunkan kelacakan (*workability*) secara kilat sejalan dengan penambahan konsentrasi serat serta aspek rasio serat. Sehingga memperoleh hasil yang maksimal terdapat 2 perihal yang wajib dicermati (Suhendro, 1990) ialah:

1. Fiber aspect ratio, ialah rasio antara panjang serat (l) serta diameter serat (d).
2. Fiber volume fraction (V_f), ialah persentase volume serat yang ditambahkan pada tiap satuan volume beton.

Riset yang dicoba Sudarmoko (1991) merumuskan kalau penambahan serat (fiber) pada beton semestinya menaikkan kekakuan serta mengurangi lendutan (defleksi) yang terjadi. Akumulasi serat juga bisa meningkatkan keliatan beton, sehingga struktur hendak bebas dari keruntuhan yang seketika akibat pembebanan yang berlebih.

Steel fiber reinforced concrete (SFRC) ataupun beton serat baja merupakan beton yang terbuat dari kombinasi semen hidrolis, agregat halus, agregat agresif, serta serat baja yang disebar menyeluruh secara acak (random). Serat baja bisa berbentuk serat baja karbon (steel) ataupun serat baja anti karat (stainless steel).

Proses pencampuran serat baja ke dalam kombinasi beton sangat penting. Proses tersebut dicoba sepanjang proses *batching* serta *mixing*. Ada sebagian metode pencampuran serat baja ke dalam beton, ialah:

1. Meningkatkan serat baja ke dalam mixer sehabis seluruh material bahan penyusun beton, termasuk air, sudah dicampurkan.
2. Meningkatkan serat baja saat sebelum agregat dituangkan ke dalam mixer.
3. Meningkatkan serat baja bertepatan dengan agregat ke dalam mixer.

Sifat fisik beton serat: Beton dengan serat menjadi lebih kaku sehingga memperkecil nilai slump dan membuat waktu ikat dini (*initial setting*) lebih kilat. Sifat mekanis beton serat: Akumulasi serat hingga batasan optimum biasanya tingkatan kuat tarik serta kuat lentur, namun menurunkan kekuatan tekan. Tipe serat tertentu tingkatan kinerja beton semacam serat baja serta serat tembaga.

Pemakaian beton serat: Beton serat digunakan pada konstruksi yang memiliki permukaan luas di mana temperatur, oksidasi serta penguapan memiliki pengaruh besar terhadap besarnya susut muai, semacam landasan pacu di bandar hawa, plat atap, jalur plaza tol, putaran serta perhentian bis, dan lain- lain.

Keuntungan teknis memakai serat baja:

1. Menaikkan kemampuan menerima beban (*load bearing capacity*) sebab tegangan yang terdistribusi kembali (*redistribution of stresses*) oleh steel fiber.

2. Penulangan pada seluruh bagian membagikan kontrol terhadap retak (crack control) yang sangat baik.
3. Ketahanan yang maksimal terhadap beban kejut serta beban dinamis.
4. Kenaikan ketahanan yang ekstrem terhadap kelelahan (*fatigue*).

Keuntungan instan memakai serat baja:

1. 15-30% waktu pengerjaan yang lebih cepat sebab tidak membutuhkan pemasangan wiremesh ataupun rebar.
2. Lebih tahan lama (*durable*).
3. Penghematan biaya 5-30%.

Perbandingan antara serat baja dengan penulangan konvensional:

Wiremesh

1. Penulangan hanya pada tingkat tertentu saja, bergantung pada posisi penempatan wiremesh ataupun rebar.
2. Kekuatan tarik (*tensile strength*) 415-550 MPa.

Serat baja

1. Penulangan di semua bagian.
2. Kekuatan tarik (*tensile strength*) 1225 MPa (3D), 1500 MPa (4D) & 2300 MPa (5D).

Tabel 6.1. *Mix Design* dan Komposisi Beton Serat Baja

<i>Mixture designation</i>	<i>W/C ratio (by weight)</i>	<i>Cement (lb/yd³)*</i>	<i>Fibers (lb/yd³)*</i>	<i>High- rangewater- reducer (wt %)**</i>	<i>Air- entraining agent (wt %)**</i>
F1	0.36	611	55	1.0	0.20
F2,F2R	0.32	564	65	0.8	0.50
F3,F3R	0.32	658	65	0.8	0.20
F4,F4R	0.40	564	65	0.8	0.10
F5,F5R	0.40	658	65	0.8	0.13
F6,F6R	0.32	564	65	1.2	0.20
F7,F7R	0.32	658	65	1.2	0.13
F8,F8R	0.40	564	65	1.2	0.10
F9,F9R	0.40	658	65	1.2	0.10
F10	0.36	611	75	0.6	0.20
F11	0.28	611	75	1.0	0.40
F12	0.36	517	75	1.0	0.20
F13	0.36	705	75	1.0	0.10
F14	0.44	611	75	1.0	0.10
F15	0.36	611	75	1.4	0.20
F16,F16R	0.32	564	85	0.8	0.30
F17,F17R	0.32	658	85	0.8	0.20
F18,F18R	0.40	564	85	0.8	0.13
F19,F19R	0.40	658	85	0.8	0.16
F20,F20R	0.32	564	85	1.2	0.40
F21,F21R	0.32	658	85	1.2	0.20
F22,F22R	0.40	564	85	1.2	0.13
F23,F23R	0.40	658	85	1.2	0.13

F24	0.36	611	95	1.0	0.20
F25	0.36	611	75	1.0	0.30
F26	0.36	611	75	1.0	0.25
F27	0.36	611	75	1.0	0.40
F28	0.36	611	75	1.0	0.25
F29	0.36	611	75	1.0	0.30
F30	0.36	611	75	1.0	0.13
F31	0.36	611	75	1.0	0.20
F32,F32R	0.40	611	75	1.0	0.15
F33,F33R	0.30	799	75	1.2	0.20
F34	0.40	611	75	1.0	0.15
F35	0.30	799	75	1.2	0.20
F36	0.40	611	75	1.0	0.15
F37	0.30	799	75	1.2	0.20
F38	0.40	611	75	1.0	0.15
F39	0.40	611	75	1.0	0.15
F40	0.40	611	75	1.0	0.15
F41	0.43	690	100	1.3	***
F42	0.50	690	100	***	***
F43	0.43	690	100	0.86	0.101
F44	0.43	690	100	1.09	0.185
F45	0.43	690	100	1.0	0.254
F46, F46R	0.30	799	75	1.2	0.20
F47, F47R	0.40	611	75	1.0	0.15
F48	0.40	611	75	1.0	0.15
F49	0.30	799	75	1.2	0.10
F50	0.30	799	75	1.2	0.20

Note : Replicate mixture proportions (designated by R) are the same as those of the original

1 lb/yd³ = 0.59 kg/m³ **Percent by weight of cement *Data discarded*

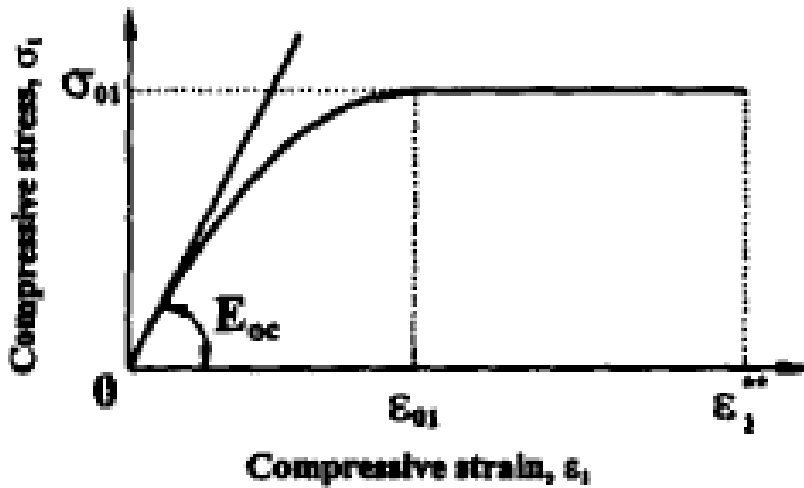
(Sumber : P. N. Balaguru dan Surendra P. Shah, Fiber-Reinforced Cement Composites, 1992, McGraw-Hill.Inc : Singapore.)



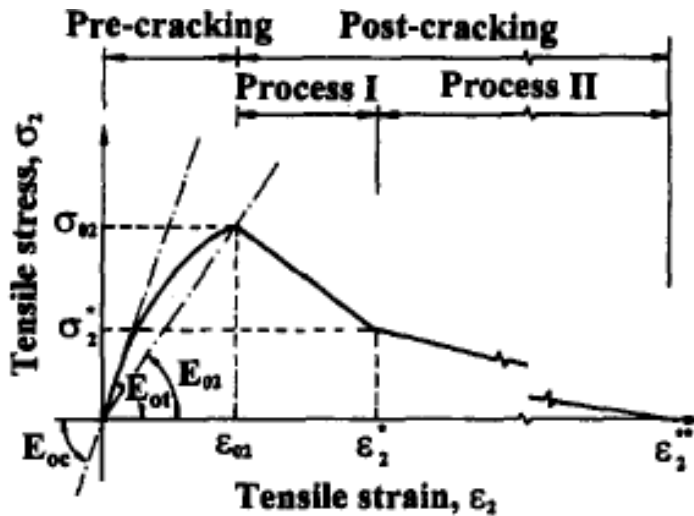
Gambar 6.1. Campuran Beton dengan Serat Baja

Menurut ACI (American Concrete Institute) 544 (1982), beton berserat didefinisikan sebagai beton yang dibuat dari semen hidrolis, agregat halus, agregat agresif serta beberapa serat yang tersebar secara acak, yang mana masih dimungkinkan ditambahkan bahan-bahan additif. Merujuk pada SNI 2847-2013, beton serat merupakan beton yang memiliki serat baja yang berorientasi acak tersebar. Biasanya, akumulasi serat baja pada kombinasi beton dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton yang sangat rendah berdampak beton mudah retak, yang

pada kesimpulannya menurunkan keawetan beton. Dengan adanya serat, maka beton jadi lebih tahan retak. Butuh dicermati kalau pemberian serat tidak banyak menaikkan kuat tekan beton, tetapi hanya menaikkan daktilitas. (Tjokrodimulyo, 2003). Oleh sebab itu serat baja mempunyai dampak kecil pada kekuatan tekan yang kompresif model buat beton biasa semacam yang direkomendasikan dalam BS8110: 1985: Pt. 1(" Struktural" 1985) diadopsi buat beton FRC. Gambar 6.2. serta 6.3. menampilkan ikatan tegangan- regangan tekan serta tarik pada FRC.



Gambar 6.2. Hubungan Tegangan dan Regangan Tekan pada FRC



Gambar 6.3. Hubungan Tegangan dan Regangan Tarik pada FRC

6.3. Penutup

Pemberian serat kedalam beton akan meningkatkan kinerja beton dalam hal kuat tarik, kuat geser, kuat lentur, kemampuan mereduksi retak, kemampuan menahan susut, kemampuan menahan dampak dan ketahanan terhadap api (Dining Y, 2003; Asad, 2006). Serat baja memiliki beberapa kelebihan dari pada jenis serat lainnya, yaitu serat baja memiliki modulus yang tinggi, tidak mengalami perubahan bentuk terhadap alkali dalam semen, dan adanya *bond strength* yaitu penganker mekanis antara beton dengan serat.

Beton Ramah Lingkungan

7.1. Pendahuluan

Beton sudah lama digunakan baik pada bangunan struktural ataupun pada bangunan non struktural. Beton ialah salah satu material yang sangat banyak digunakan diseluruh dunia serta kebutuhan terhadap beton terus bertambah. Saat ini banyak pembangkit listrik yang memakai bahan bakar batubara. Hasil sampingan dari pembakaran batu bara berbentuk abu terbang yang tergolong material polusi (*pollutant*).

Di Indonesia, untuk meminimalisir limbah beberapa pabrik semen menggabungkan abu terbang serta limbah yang memiliki pozzolan dengan klinker semen portland untuk menghasilkan semen portland komposit (SNI 15-7064-2004) dengan tujuan mengurangi konsumsi tenaga serta pemakaian sumber alam tidak terbaharukan (Antiohos et al., 2005). Semen portland komposit bisa dikategorikan CEM II bagi standar Eropa EN 197-1: 2000, di Indonesia baru dibuat pada tahun 2005, tetapi di Eropa pangsa pasar semen jenis CEM II sudah lebih 50%, lebih besar dari Semen Portland Tipe 1 yang cuma 35% (Tjaronge, 2012).

Semen ialah material yang digunakan sebagai bahan pengikat bersama dengan agregat lain penyusun beton. Semen secara luas sudah banyak digunakan sebagai material sebagai pengikat agregat agresif pada beton serta mortar. Pembuatan semen menghabiskan sumber energi alam. Salah satu upaya untuk mengurangi pemakaian semen yaitu pengembangan material geopolymer. Beberapa riset menyimpulkan bahwa bahan pengikat geopolymer bisa membentuk beton, dimana beton yang terbuat dengan geopolymer berbahan abu terbang mempunyai ciri menyamai beton yang berbahan semen.

7.2. Bahan Penyusun Beton Ramah Lingkungan

Salah satu tipe material guna menciptakan geopolymer merupakan abu terbang. Abu terbang merupakan salah satu hasil produk sisa pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pemakaian geopolymer abu terbang selaku pengikat material ikut pula dikembangkan dalam membagikan produk yang ramah lingkungan, mengingat pabrik semen tidak hanya menciptakan semen tapi juga emisi karbon dioksida yang besar ke atmosfer. Abu terbang banyak kandungan silika serta alumina. Isi silika serta alumina dalam abu terbang bisa bereaksi dengan cairan alkalin guna menghasilkan bahan pengikat (binder). Natrium silikat (Na_2SiO_3) serta Natrium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai alkalin aktivator (Hardjito dkk., 2004). Natrium silikat berperan meningkatkan respon polimerisasi, sebaliknya natrium hidroksida berperan mereaksikan unsur-unsur yang terdapat dalam abu terbang sehingga bisa menciptakan jalinan polimer yang kokoh. Selain aktivator natrium silikat (natrium silikat) serta natrium hidroksida (natrium hidroksida), kekuatan dari geopolymer abu terbang pula dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi serta rasio

dari alkalin aktivator yang digunakan. Alternatif lain yang bisa digunakan sebagai bahan geopolymer tidak hanya abu terbang, yang berasal dari produk sampingan maupun limbah dari sesuatu produk ialah antara *lain silica fume, slag, rice- husk ash*, dan lain- lain. Bahan- bahan ini sudah dicoba digunakan dari sebagian riset yang telah dicoba baik pada beton tipe material geopolymer dan tipe material agregat beton juga ikut dikembangkan.

Sebagian besar struktur permukaan di daerah Papua serta Kalimantan ialah tanah Laterit. Kala kering, tanah laterit kering tetapi kala memiliki air dalam jumlah besar tanah laterit jadi lembur. Tanah mempunyai spesifikasi yang berbeda dari tiap jenisnya, sehingga membutuhkan penindakan yang berbeda baik secara mekanis serta kimia. Perlakuan ini tidak dapat dipisahkan sebab berhubungan erat satu dengan yang yang lain. Bila penanganannya tidak dicoba dengan pas maka akan terjadi kerusakan-kerusakan struktur bangunan sipil yang ditimbulkan oleh respon tanah baik secara mekanis ataupun kimia.

Geopolymer merupakan wujud anorganik alumina-silika yang disentesa lewat material banyak memiliki silika serta alumina yang berasal dari alam ataupun dari material hasil sampingan industri. Bahan pengikat geopolymer merupakan sistem anorganik 2 komponen yang terdiri atas; komponen solid yang mempunyai SiO_2 serta Al_2O_3 dalam jumlah yang dapat bersenyawa semacam abu terbang, pozzolan, slag serta lain- lain. Cairan alkalin selaku komponen activator mempunyai alkali hidroksida, silika, alumina, karbon serta sulfat ataupun campuran keduanya. Pada komponen solid serta komponen aktivator dicampur, hingga terjadi proses pengerasan yang diakibatkan oleh terbentuknya aluminosilicate network yang

bermacam-macam antara amorphous serta crystalline. Riset menampilkan alkali aktivator berbentuk sodium thiosulfat (Na_2SiO_3) ataupun sodium silicate dengan sodium hydroxide (NaOH) memberikan kekuatan yang baik pada abu terbang geopolymer.

Sekarang ini pemanfaatan material-material buangan terus dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan beton. Salah satu yang bisa dimanfaatkan yaitu abu jerami padi. Berbagai riset sudah dicoba yang memakai abu jerami sebagai salah satu bahan pembuatan beton geopolymer.

Matakhah F. et al., 2016 menekuni beton geopolymer dengan komposisi pengikat yang bekerja dengan baik dalam pekerjaan eksperimental terdiri dari abu jerami panas: abu terbang batubara: metakaolin: gips di 0,50: 0,25: 0,25: 0,05 rasio berat. Beton berbasis abu jerami dan semen portland sebagai kontrol jadi target penyelidikan eksperimental yang komprehensif. Cara kerja, waktu pengerjaan, kuat tekan, kekuatan tekan residual setelah direndam dalam air mendidih, kekuatan lentur, kepadatan, penyerapan kelembaban, isi rongga, energi serap kapiler, serta ketahanan asam serta api dari bahan beton dievaluasi. Hasil percobaan menampilkan kalau material beton geopolimer berbasis abu non kayu dengan perumusan binder yang pas bisa berpengaruh pada sifat mekanis yang di idamkan, kesetaraan kelembaban, energi tahan, serta tahan api apabila dibanding dengan beton semen portland normal.

Detphan & Chindaprasirt, 2009, fly ash (FA) serta abu sekam padi (RHA) digunakan sebagai bahan pembuatan geopolymer. Temperatur pembakaran sekam padi, kehalusan RHA serta rasio FA ke RHA divariasikan. Kepadatan serta kekuatan mortar geopolimer dengan rasio massa RHA/FA ialah 0/100, 20/80,

40/60, serta 60/40. Geopolymer diaktifkan dengan natrium hidroksida (NaOH), natrium silikat, serta panas. Terungkap bahwa temperatur pembakaran maksimal RHA untuk membuat geopolymer FA- RHA yaitu 690°C. FA yang diterima serta RHA dengan 1%- 5% tertahan pada ayakan nomor. 325 merupakan bahan yang sesuai untuk membuat geopolymer serta diperoleh kekuatan tekan antara 12,5- 56,0 MPa yang bergantung pada rasio FA/ RHA, kehalusan RHA, serta rasio natrium silikat dengan NaOH. Mortar geopolymer FA- RHA yang relatif besar diperoleh dengan memakai rasio massa natrium silikat/NaOH ialah 4,0, dengan waktu saat sebelum ilustrasi dipanaskan dalam oven sepanjang 1 jam dan berikutnya di oven pada suhu 60°C selama 48 jam.

Rosello J. et al., 2017 membuat limbah biomassa dari jerami padi dan mengalami banyak permasalahan manajemen, misalnya proses pembakaran di lapangan yang menimbulkan polusi udara yang parah serta dekomposisi organik alami yang menciptakan emisi metana. Konversi limbah ini jadi abu bisa di pakai kembali sebagai bahan baku pembuatan geopolymer. Untuk pertama kalinya abu dari bagian tumbuhan padi yang berbeda (*Oryza sativa*) dikarakterisasi dari sudut pandang komposisi kimia: abu daun padi (RLA), abu selubung daun padi (RlsA) serta abu batang padi (RsA). Riset mikroskopis onashes mengatakan heterogenitas dalam distribusi unsur-unsur kimia dalam struktur seluler yang tersisa (spodogram). Konsentrasi paling tinggi SiO₂ ditemui dalam phytolith berupa dumbbell (%SiO₂ 78%). Dalam komposisi kimia global abu, SiO₂ merupakan oksida utama. Temperatur kalsinasi ≥ 550°C seluruhnya menghilangkan zat organik dari jerami serta abu hangalami sintierisasi signifikan dengan kalsinasi pada 6500°C sebab terdapatnya kalium klorida.

Abu dari sedotan (abu sedotan, RSA) dikarakterisasi (lewat difraksi sinar-X, *Fourier transform infrared spectroscopy* serta *thermogravimetry*) serta diuji dari sudut pandang reaktivitas (respon terhadap kalsium hidroksida) untuk memperhitungkan kemungkinan pemakaian kembali sebagai bahan baku pembuatan geopolymer. Hasil dari pasta yang terbuat dengan mengombinasikan RSA serta kalsium hidroksida menampilkan kalau reaktivitas pozzolan dari abu itu berarti (fiksasi kapur terhidrasi 82% sepanjang 7 hari serta 87% sepanjang 28 hari di RSA: pasta kapur terhidrasi) serta penyemenan gel CSH terbentuk setelah 7 dan 28 hari temperatur ruang. Pengembangan kekuatan tekan mortar semen Portland dengan penggantian 10% serta 25% oleh RSA menciptakan 107% serta 98% dari kekuatan mortar kontrol sehabis 28 hari perawatan. Uji Frattini mengkonfirmasi pozzolanicity dari semen kombinasi RSA. Hasil reaktivitas ini sangat menjanjikan dalam kemampuan pemakaian kembali abu selaku bahan baku pembuatan geopolymer.

Kim Y. Y. et al., 2014 melaksanakan penyelidikan eksperimental yang dicoba untuk meningkatkan beton geopolymer bersumber pada limbah teraktivasi alkali abu sekam (RHA) oleh natrium hidroksida dengan natrium silikat. Dampak pada tata cara curing serta konsentrasi NaOH, kuat tekan dan proporsi kombinasi yang maksimal dari mortar geopolymer diselidiki. Dimungkinkan untuk target kuat tekan 31 N/mm² dan 45 N/mm², masing-masing mortar geopolymer teraktivasi alkali 10 meter setelah 7 dan 28 hari pengecoran dan di oven selama 24 jam pada 60°C. Kenaikan lama pengovenan serta konsentrasi aktivator alkali bisa meningkatkan kekuatan tekan. Riset ketahanan dicoba dalam media asam serta sulfat seperti H₂SO₄, HCl, Na₂SO₄, serta MgSO₄. Tidak hanya itu, mikroskop optik

fluorescent serta difraksi sinar- X (XRD) riset sudah menampilkan peningkatan respon polimerisasi guna meningkatkan kekuatan serta karenanya RHA mempunyai kemampuan besar sebagai pengganti beton semen Portland biasa.

Al- Akhras N. Meter. et al., 2007 mempelajari dampak abu jerami gandum (WSA) pada kinerja beton dalam menjawab siklus termal, yang dievaluasi dengan mengukur kekuatan tekan serta resistivitas listrik serta oleh inspeksi visual retakan pada spesimen beton. 3 tingkatan penggantian WSA 5, 10 serta 15% pada berat pasir digunakan. Siklus termal beton WSA diinduksi banyak retakan yang tersebar di permukaan spesimen. Beton WSA lebih tahan terhadap dampak bersepeda termal dibanding dengan beton polos serta kinerja beton WSA dalam menjawab siklus termal bertambah dengan meningkatnya kandungan WSA. WSA memiliki beton agregat tuff menampilkan lebih banyak resistensi terhadap siklus termal.

Dalam pengikat geopolymer berbasis abu terbang, abu jerami, tanah laterit serta larutan alkali bereaksi dengan abu terbang membentuk bahan pengikat alumina- silika, tanpa semen. Pengikat geopolymer setelah itu mengikat agregat untuk membentuk mortar ataupun beton. Sebagian riset-riset yang memakai geopolymer abu terbang sebagai bahan pengikat material menggantikan semen, nampak senantiasa membutuhkan temperatur panas oven untuk bisa meningkatkan kekuatan beton. Oleh sebab itu, panas oven sangat diperlukan untuk membuat beton geopolymer berbahan abu jerami, tanah laterit serta abu terbang, perihal ini sangat diharapkan untuk bisa membagikan panas yang diperlukan pada tiap pemakaian

geopolymer abu terbang dalam meningkatkan kekuatan beton hingga mencapai kekuatan beton wajar.

7.3. Penelitian Terdahulu yang Berkaitan dengan Beton Ramah Lingkungan

Aliabdo et al. (2016) mempelajari pengaruh kandungan abu terbang, akumulasi jumlah semen portland, waktu rehat (rest time) larutan alkali, waktu perawatan serta temperatur perawatan terhadap beton geopolymer berbasis abu terbang. Material yang digunakan ialah abu terbang kelas F dengan berat tipe 2,2 serta 95% lolos saringan 45 μm , Semen portland jenis I, pasir dengan modulus kehalusan 2,43, batu kapur merah muda yang sirna optimal dimensi yang digunakan 9,5 milimeter selaku agregat alam, larutan NaOH 16 M (konstan) serta memakai Naphtalene sebagai bahan tambah kimia untuk akselerator serta memperbaiki kinerja beton segar. Temperatur curing 28°C, 50°C, 70°C serta 90°C. Waktu curing yang digunakan yaitu 24, 48 serta 72 jam. Hasil riset bahwa akumulasi semen memperbaiki karakteristik geopolymer berbasis abu terbang kecuali workability. Peningkatan kandungan abu terbang meningkatkan kinerja beton geopolymer. Karakteristik beton geopolymer secara signifikan dipengaruhi oleh waktu serta temperatur perawatan.

Workability beton dipengaruhi oleh kandungan abu terbang di mana kenaikan kandungan abu terbang meningkatkan workability beton pada perbandingan larutan alkali/abu terbang yang sama (0,35). Akumulasi jumlah semen portland menurunkan nilai slump, namun menambah kuat tekan beton geopolymer setelah 7 dan 28 hari dengan temperatur serta waktu perawatan masing-masing 50°C selama 48 jam. Dari hasil ini diperoleh peningkatan kuat tekan geopolymer beton setelah 28 hari yaitu 17%, 39%, serta 60% dengan akumulasi semen 5%, 10%, serta 15%. Kuat tekan beton geopolymer

dipengaruhi oleh kandungan abu terbang, di mana akumulasi abu terbang menambah kuat tekan beton geopolymer. 350 kilogram/m³ abu terbang (tanpa akumulasi semen) menambah kuat tekan 18 MPa pada hari ke-7 serta 22 MPa pada usia 28 hari. Abu terbang (tanpa akumulasi semen) menciptakan kuat tekan 26 MPa pada hari ke-7 serta 27 MPa pada hari ke 28. Dengan 450 kilogram/m³ abu terbang (tanpa akumulasi semen) menghasilkan kuat tekan 34 MPa pada hari ke- 7 serta 39 MPa pada hari ke- 28.

Kandungan abu terbang juga mempengaruhi kuat tarik beton geopolymer di mana peningkatan kandungan abu terbang juga menambah kuat tarik beton geopolymer. Setelah 28 hari kuat tarik beton geopolymer bertambah sebanyak 12,3% serta 25% untuk beton geopolymer dengan kandungan FA 400 kilogram/m³ serta 450 kilogram/m³ dibanding dengan 350 kilogram/m³ kandungan FA.

7.4. Penutup

Para pakar memperkirakan bahwa jumlah emisi gas CO₂ yang dihasilkan oleh pembuatan semen mencapai angka 3500 juta ton pada tahun 2015. Material dasar pembuat pasta geopolimer merupakan pozolan, baik dari alam ataupun pozolan buatan. Material yang bersifat pozolan memiliki silika serta alumina bisa digunakan sebagai binder (pengikat). Antara lain merupakan fly ash, metakaolin, abu sekam ataupun material vulkanik (Davidovits, 2008). Beberapa riset menggunakan abu terbang serta abu jerami sebagai bahan substitusi semen portland. KOH sebagai aktivator dalam kombinasi mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang (fly ash) serta abu jerami, diharapkan bisa meningkatkan mutu geopolimer, serta ramah lingkungan.

Beton Daur Ulang

8.1. Pendahuluan

Saat ini trend pembuatan beton mengarah pada pemanfaatan material ramah lingkungan atau *eco material*. Salah satu yang bisa dimanfaatkan untuk campuran beton yaitu limbah beton itu sendiri, selain dapat membantu mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan juga akan mengurangi penggunaan material alam yang semakin hari jumlahnya semakin terbatas. Penggunaan kembali limbah beton telah diukur dan dilakukan penelitian secara multilateral. Penggunaan paling umum dari limbah beton yang dihancurkan adalah sumber agregat biasa yang digunakan di subbase perkerasan jalan (Viantono dan Aris, 1997). Rasio penggunaan kembali limbah beton telah dimanfaatkan dan saat ini sekitar 60% di Jepang. Namun, rasio ini tidak cukup tinggi untuk digunakan sebagai pengganti agregat kasar. Tujuan penggunaan limbah beton sebagai agregat dapat mendukung industri yang kompatibel secara ekologis. Pengembangan lebih lanjut tentang teknologi ini untuk mengurangi dampak lingkungan yg dapat terjadi.

Emisi CO₂ dari bahan bakar dan kalsinasi normal diproduksi dan dihasilkan oleh semen portland yaitu sebesar 2% dalam

satuan karbon (Sakai et al. 1995), yang merupakan salah satu nilai tertinggi nilai emisi CO₂ di industri. Karbonasi yang terjadi pada beton merupakan masalah yang harus dinetralisasi, karena dapat menyebabkan keretakan akibat susut yang terjadi pada beton. Selain itu, karbonasi yang terjadi dapat mengurangi alkalinitas pada beton sehingga menghasilkan pengurangan berat beton yang disebabkan oleh korosi.

Berbagai penelitian telah dilakukan berkaitan dengan kinerja beton *porous* dan beton-beton konvensional yang menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar. Ren Xin dan Lianyang Zhang, 2016 menyelidiki pemanfaatan limbah daur ulang beton, baik agregat kasar maupun halus yang diperoleh dari penghancuran limbah beton tersebut, untuk menghasilkan beton baru melalui geopolimerisasi. Berdasarkan studi sebelumnya dan mempertimbangkan kemampuan kerja beton geopolimer baru atau disebut *GeoPolymer Concrete* (GPC), 25% limbah beton halus atau disebut *Waste Concrete Fine* (WCF), dan 75% *fly ash* (FA) kelas-F digunakan sebagai sumber semen geopolimer bahan, larutan NaOH/Na₂ SiO₃ sebagai aktivator alkali, dan agregat (agregat kasar dan halus) dari penghancuran limbah beton sebagai agregat. Penelitian mempelajari secara sistematis pengaruh berbagai faktor pada waktu umur awal dan kekuatan tekan atau disebut *Unconfined Compressive Strength* (UCS) GPC yang dibatasi pada umur 7 hari. Berdasarkan studi ini, disimpulkan bahwa limbah beton dapat sepenuhnya didaur ulang dan digunakan untuk produksi beton geopolimer baru dengan nilai UCS yang diperlukan.

Akhtar, M. F., et al., 2018 mencoba penggunaan beton sisa bongkar sebagai agregat kasar alami pada beton. Percobaan dilakukan untuk melihat sifat karakteristik fisik dan mekanik

RCA dan dibandingkan dengan properti agregat kuarsit dan granit yang dihancurkan yang digunakan secara lokal. RCA dibuat dari balok beton yang dikumpulkan dari lokasi pembongkaran yang berusia 25-30 tahun bangunan. Sifat RCA diselidiki dan dibandingkan dengan sifat konvensional beton yang dibuat dengan menggunakan kuarsit dan granit. Spesimen kubus dengan ukuran 100 mm digunakan untuk pengujian kekuatan tekan beton untuk semua campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan RCA sebanding dengan kuat tekan beton dengan RCA agregat.

(Gull, Ishtiyag, 2011) menyatakan bahwa kesesuaian hasil pembongkaran konstruksi yang dapat digunakan sebagai agregat kasar untuk memproduksi beton. Tiga variasi bahan beton yang digunakan yaitu beton segar atau disebut *Fresh Concrete Materials* (FCM), beton bekas atau disebut *Waste Concrete Materials* (WCM), dan beton bekas yang menggunakan admixtures atau disebut *Waste Concrete Strengthened With Admixture* (SWCM). Berbagai campuran untuk penelitian dengan memvariasikan proporsi semen, pasir dan kerikil. Semua campuran dirancang untuk kekuatan (fck) M20. Beton diuji kuat tekannya di laboratorium setelah umur 3, 7, dan 28 hari. Spesimen yang digunakan untuk pengujian termasuk balok, silinder, dan balok lentur. Pengaruh campuran pada kekuatan beton bekas. Kuat tekan FCM, WCM, dan SWCM dibandingkan dan hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak banyak perbedaan kekuatan FCM dan SWCM setelah 28 hari. Untuk beton dengan menggunakan limbah daur ulang limbah sebagai bahan agregat dalam produksi beton baru.

Liu, Zhen, et al., 2016 menyelesaikan permasalahan yang diakibatkan oleh konstruksi dan limbah pembongkaran serta

menipisnya agregat alam, di studi ini, baik agregat kasar daur ulang dan agregat halus daur ulang digunakan untuk menghasilkan beton hijau baru berbasis abu terbang-geopolimer. Studi mekanik menunjukkan bahwa penurunan laju kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio spesimen beton agregat daur ulang geopolimer atau disebut *Geopolymer Recycle Aggregate Concrete* (GRAC) meningkat dengan rasio air/semen (w/c). Modulus elastisitas jauh lebih rentan terhadap peningkatan rasio w/c terhadap nilai kuat tekan. Perubahan signifikan pada sampel GRAC dapat diberikan dengan properti yang buruk yang diberikan kepada geopolimer dengan peningkatan rasio w/c . Saat minimum rasio diterapkan, geopolimer berbasis fly ash memberikan sifat mekanik yang lebih baik pada spesimen beton yang biasa berbasis semen portland. Dengan bantuan pemindaian mikroskop elektron dan nanoindentation, tidak ada zona berpindah antar muka yang berkembang dengan baik antara pasta semen lama dan pasta geopolimer/semen baru.

Pemanfaatan beton berpori sebagai perkerasan dapat menjadi alternatif bahan perkerasan yang dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan. Beton berpori juga dapat mengurangi genangan akibat limpasan air permukaan sehingga air hujan dapat disalurkan kembali kedalam tanah dan tidak terbuang sia-sia. Dengan demikian cadangan air tanah dapat meningkat dan juga membantu mencegah resiko terjadinya banjir. Selain itu lahan-lahan yang biasanya digunakan untuk pembuatan saluran menjadi berkurang dengan adanya beton berpori ini sehingga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lain.

8.2. Beton Rongga dengan Limbah Beton sebagai Agregat

Ilmu tentang beton adalah salah satu teknologi konstruksi yang berkembang mengikuti perubahan zaman. Penggunaan material beton dalam jumlah yang massif dalam suatu konstruksi di berbagai daerah juga memiliki dampak rusaknya alam dan lingkungan sekitar. Begitupun dengan limbah hasil pembongkaran baik itu konstruksi gedung, limbah hasil pengujian maupun konstruksi jalan yang tidak dimanfaatkan dan hanya menjadi timbunan sampah konstruksi. Hal ini seiring dengan meningkatnya aktifitas kegiatan konstruksi.

Di Indonesia khususnya, banyak sekali limbah konstruksi yang tidak dimanfaatkan kembali dan hanya dibuang begitu saja atau menjadi bahan timbunan. Sehingga jumlah limbah tersebut sangat banyak dan potensi untuk digunakan sebagai bahan daur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Saat ini diperlukan suatu inovasi teknologi pemanfaatan limbah buangan beton untuk mengurangi eksploitasi alam secara berlebihan. Upaya ini antara lain dengan penggunaan limbah-limbah tadi sebagai bahan campuran beton yang ramah lingkungan. Upaya ini tentu saja akan menguntungkan karena bahan tersebut adalah limbah yang tidak dimanfaatkan lagi. Selain itu juga memperpanjang usia penggunaan bahan limbah itu sendiri. Eni Febriani (2013), dengan menggunakan 100% limbah beton yang dibandingkan dengan beton agregat baru didapatkan rata-rata kuat tekan pada 28 hari menggunakan sampel kubus 15×15 cm adalah $257,12 \text{ kg/cm}^2$ untuk beton normal dan $191,14 \text{ kg/cm}^2$ untuk beton limbah. Dengan menggunakan agregat halus daur ulang 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% terhadap berat total agregat halus alami. Kuat tekan beton dengan murni agregat alami sebesar $85,51 \text{ MPa}$. Penggantian agregat halus alami dengan agregat

halus daur ulang pada porsi penggantian 20% nilai kuat tekan sebesar 67,58 MPa, porsi 40% nilai kuat tekan sebesar 62,06 MPa, porsi 60% nilai kuat tekan sebesar 60,68 MPa, porsi 80% nilai kuat tekan sebesar 57,92 MPa dan porsi 100% nilai kuat tekan sebesar 53,79 MPa (Hamid dkk (2014).

Cahyadi W. D. (2012), abu sekam padi (RHA) dapat juga digunakan untuk substitusi perekat semen dan penggunaan limbah adukan beton (CSW) sebagai agregat halus untuk mengurangi jumlah pasir pada beton. Menggunakan CSW 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dengan penggunaan RHA tetap yaitu 8% dari total pemakaian semen. Pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas nilai optimum terjadi pada campuran CSW 30%, sedangkan prosentase susut terbesar terjadi pada beton dengan campuran CSW 70%.

Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk membangun suatu teknologi daur ulang yang memanfaatkan kembali limbah beton sebagai bahan pembuatan beton baru yang berkaitan dengan perlindungan lingkungan dan berbasis material limbah. Untuk mencapai tujuan ini, kebijakan yang beragam telah diusulkan oleh akademisi dan industri (Padmini et al. 2002; Limbachiya et al. 2000). dalam penelitian mereka menggunakan limbah daur ulang agregat dari C & D yang bersumber dari dua area yang berbeda. Campuran itu divariasikan dengan penggantian agregat kasar dan halus alami dengan penggabungan abu terbang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian kerikil alami kasar dan halus dengan pemanfaatan limbah daur ulang pada persentase 25 dan 50% memiliki sedikit pengaruh pada kekuatan tekan batu bata dan balok, tetapi tingkat penggantian yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya pengurangan kekuatan tekan.

8.3. Limbah Beton sebagai *Recycle Aggregate Concrete* (RAC)

Salah satu limbah konstruksi yang dapat didaur ulang contohnya adalah limbah beton hasil bongkaran dan dapat digunakan sebagai *Recycled Aggregate Concrete* (RAC). RAC yang merupakan limbah beton dapat didaur ulang kembali menjadi bahan pembuat beton. Agregat daur ulang ini memiliki beberapa kualitas dari sifat fisik, kimia dan lain-lain. Akibat adanya variabilitas inilah yang mengakibatkan perbedaan sifat-sifat beton yang dihasilkan dan cenderung untuk menurunkan mutu beton itu sendiri.



Gambar 8.1. Limbah Beton. (*Sumber: Ardi Azis Sila, 2021*)

8.4. Penelitian Terdahulu tentang Beton Daur Ulang

Beton berpori dikategorikan sebagai jenis beton khusus di mana air yang mengendap akan melewatinya, mengurangi limpasan dan karenanya mengisi ulang air tanah. United Kingdom (UK) telah dipercaya sebagai pengguna pertama beton ini (Lin, Wuguang, et al., 2016). Sejak saat itu, telah digunakan di berbagai Negara bagian seperti Amerika Serikat, Eropa dan Jepang (Chen, Jiaqi, et al., 2019). Beton berpori dibuat dengan menghilangkan agregat halus yang digunakan dalam beton

pada umumnya atau menggunakan jumlah agregat halus yang tidak signifikan untuk kekuatan yang lebih baik. Dengan demikian, beton ini pada dasarnya adalah beton dengan tingkatan celah pori yang besar, dengan rasio semen dan air yang rendah (Chen, Jiaqi, et al., 2019).

Sifat-sifatnya berbeda secara substansial dibandingkan dengan beton konvensional (Tamai, Hiroki, 2015). Sifat-sifat seperti permeabilitas air, drainase air muka tanah dan retensi air telah terjadi dieksploitasi secara melimpah (Chen, Jiaqi, et al., 2019).

Beton berpori memiliki manfaat lingkungan seperti manajemen air badai, isi ulang air tanah dan pengurangan polusi air dan tanah (Bubeník, Jan, dan Jiří Zach, 2019). Oleh karena itu, ditemukan aplikasi beton berpori di area seperti jalan masuk, tempat parkir, trotoar, jalan, dan volume lalu lintas yang rendah (Xu, Gelong, et al., 2018). Dua sifat karakteristik penting dari beton berpori adalah kekuatan dan permeabilitas. Secara umum, beton berpori memiliki persentase volume rongga mulai dari 15 hingga 25% (Chen, Jiaqi, et al., 2019; Tamai, Hiroki, 2015) dengan kekuatan tekan antara 5–25 MPa (Elizondo-Martínez, Eduardo Javier, et al., 2019) dan permeabilitas air turun di kisaran 80-720 liter per menit per meter persegi (Yao, Ailing, et al., 2018). Karakteristik ini bergantung pada tiga parameter yaitu porositas beton, perbandingan air dan semen dengan ukuran dan volume agregat (Xu, Gelong, et al., 2018; Xie, Chao, et al., 2020). Tapi, kekuatan secara alami berkurang dengan peningkatan permeabilitas dan rongga.

Beton berpori sebagai salah satu kelompok beton memiliki komposisi yang sama dengan beton konvensional yang terdiri dari semen, air, dan agregat, dengan pengecualian bahwa agregat halus biasanya dikurangi atau bahkan dihilangkan

seluruhnya, dan distribusi ukuran agregat kasar dijaga. Ini tidak hanya memberikan sifat mengeras, tetapi juga menghasilkan campuran yang membutuhkan pertimbangan berbeda dalam desain pencampuran, prosedur pencampuran, pemadatan dan perawatan (Lin, Wuguang, et al., 2016). Baru-baru ini pertimbangan untuk lingkungan dan manajemen berkelanjutan terlihat dan dipromosikan tentang penggunaan beton berpori. Beton ini bisa menjadi sarana dalam menyikapi sejumlah masalah lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan. Meski memiliki kekuatan yang lebih rendah, beton berpori dengan yang lebih tinggi porositas berguna untuk banyak aplikasi, seperti perkerasan permeabel (Chen, Jiaqi, et al., 2019), pemurnian air (Tamai, Hiroki, 2015; Bubeník, Jan, dan Jiří Zach, 2019), peredam panas (Xu, Gelong, et al., 2018; Yao, Ailing, et al., 2018), dan peredam suara (Elizondo-Martínez, Eduardo Javier, et al., 2019).

Beton berpori telah banyak digunakan untuk daerah yang mempunyai curah hujan yang tinggi dan telah berhasil digunakan untuk menyaring air dan mengurangi muatan polutan yang masuk ke aliran, kolam, dan sungai (Xie, Chao, et al., 2020). Kisaran porositas yang umumnya diharapkan untuk beton berpori untuk perkerasan dan aplikasi lain adalah sekitar 15% hingga 25% (Wang, P., and C. Zhao, 2015). Dalam dekade terakhir, investigasi tentang keselamatan infrastruktur sipil dan mode kegagalannya terekspos berbagai pemuatan yang parah selama kondisi kemudahan servisnya telah menarik lebih banyak perhatian. Unsur struktural mungkin memulai kegagalan ketika mengalami beban yang berat, seperti muatan impak sebagai salah satu jenis muatan yang penting. Di sisi lain, elemen struktural harus tetap berkelanjutan karena dampak muatan. Beton berpori memiliki banyak rongga dan elastis yang

lebih rendah diharapkan dapat digunakan sebagai penyerap energi dampak karena kerusakan struktur diri ketika mengalami dampak beban, dan berpotensi dapat menunjukkan karakteristik kerusakan.

Beton berpori (atau beton tembus pandang) terbuat dari semen, agregat kasar dan sangat sedikit agregat halus, yang biasanya memiliki porositas 20-30% dan permeabilitas hidrolis yang tinggi (Yao, Xingliang, et al., 2019). Porositas berpori yang tinggi mengurangi kapasitas strukturnya dibandingkan dengan beton semen konvensional. Oleh karena itu, perkerasan beton berpori terutama konstruktif pada lapisan dasar agregat dan tanah infiltrasi tinggi untuk mengurangi limpasan air hujan di permukaan trotoar di area lalu lintas ringan (Gupta, Mayank, et al., 2016; Lin, Wuguang, et al., 2016). Beton berpori telah diadvokasi sebagai solusi perkerasan dingin untuk mengurangi efek Urban Heat Island (UHI), yang biasanya disebabkan oleh konsentrasi tinggi permukaan jalan dan atap bangunan di daerah perkotaan (Lin, Wuguang, et al., 2016; Xie, Chao, et al., 2020; Yao, Ailing, et al., 2018).

8.5 Penutup

Limbah beton dapat dimanfaatkan untuk mengurangi limbah material beton dan dapat mengurangi pemakaian agregat alam yang jumlahnya semakin terbatas dan mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis material limbah dan *green construction*.

Beton Tanpa Pasir

9.1 Pendahuluan

Beton adalah material yang paling banyak digunakan di Indonesia karena beton memiliki banyak kelebihan, antara lain kekuatan beton dijamin dan terjamin, tahan lama, mudah dalam pelaksanaan dan murah dalam pemeliharaan. Kelebihan beton yang lain adalah memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai cetakan dan dibuat sesuai kebutuhan. Jenis beton yang digunakan dalam konstruksi, antara lain:

a. Beton Penyerap Air

Beton penyerap air (*permeable topmix*) adalah jenis beton yang dibuat khusus berada di permukaan yang berfungsi untuk menyerap air di permukaan dan meneruskan ke dalam tanah, sehingga air tidak memungkinkan tergenang atau mengalir. Beton memiliki tekstur yang berpori di bagian permukaan sehingga memudahkan air dapat mengalir dengan mudah ke dalam beton. Beton *permeable topmix* berfungsi mengurangi debit air permukaan ke dalam tanah sehingga dapat mengurangi banjir genangan saat musim hujan yang ekstrim. Penggunaan beton ini pada *runaway* bandara, trotoar dan *rigid pavement*.

b. Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan jenis beton yang material terdapat unsur *silica* dan *alumina* yang terbentuk akibat proses polimerisasi bahan non organik. Material beton geopolimer menggunakan sisa hasil produksi industri tambang seperti fly ash dan slag nikel. Beton geopolimer disebut beton ramah lingkungan. Proses pembuatan beton mudah, murah dan dilakukan pemanasan 60°C selama sehari untuk meningkatkan kekuatan beton. Australia telah memproduksi beton polimer dalam bentuk pracetak. Penggunaan beton polimer antara lain untuk pipa beton, bantalan kereta api dan uditch.

c. Beton Bertulang



Gambar 9.1. Beton Polimer (hestanto website)

Jenis beton bertulang adalah beton yang di dalam diberi tambahan tulangan baja, hal ini bertujuan untuk menambah kekuatan beton terdapat gaya tarik maupun gaya tekan. Tulangan yang digunakan baja profil dan tulangan biasa bahkan sekarang dikembangkan beton yang menggunakan tulangan fiber. Jenis beton ini paling banyak digunakan di dunia konstruksi untuk kebutuhan konstruksi. Penggunaan

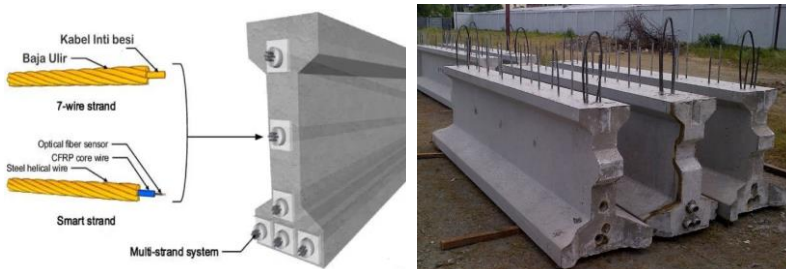
beton bertulang antara lain untuk balok, plat beton, pondasi, kolom dan dinding geser.

d. Beton ringan

Beton ringan adalah beton yang mengganti material agregat dengan agregat yang memiliki berat yang lebih ringan, sehingga beton ini akan memiliki berat massa lebih ringan dibandingkan beton normal. Bobot beton ringan karena menggunakan agregat yang ringan. Pada beton ringan dapat ditambahkan zat tambahan (aditif) agar dalam beton terbentuk gelembung udara dan membentuk pori-pori, sehingga dimensi beton menjadi besar. Ukuran beton akan bertambah dan menghasilkan bobot beton yang lebih ringan dari beton normal dengan dimensi yang sama. Kekuatan beton ringan yang tidak kuat sehingga beton hanya digunakan pada dinding dan bagian non-struktur, material pengisi dan sebagai bata.

e. Beton pracetak

Beton pracetak adalah beton pabrikasi yang diproduksi secara massal, mutunya dijamin dan terjamin, dicetak dengan ukuran sesuai kebutuhan sebelum dibawa ke site lokasi lalu dirangkai menjadi suatu kesatuan struktur yang utuh. Pengawasan saat pencetakan dilakukan mulai dari pemilihan bahan, proses *mix design* hingga pencetakan untuk menjaga mutu beton. Lokasi penyimpanan harus diperhitungkan agar memungkinkan penyimpanan beton pracetak. Lokasi juga tidak boleh terlalu jauh sehingga beton pracetak tidak mengalami kerusakan saat pengangkutan. Penggunaan beton pracetak antara lain, pagar, tangga, u-ditch dan sebagainya.



Gambar 9.2. Beton Prategang (Builder Indonesia, 2018)

f. Beton Prategang

Defenisi beton prategang menurut ACI (*American Concrete Institute*) adalah beton yang mengalami tegangan dalam yang besar di mana distribusi gaya melalui kawat prategang yang sedemikian rupa mampu melewati batas maksimum tegangan akibat beban eksternal. Defenisi beton prategang menurut Pedoman Beton Indonesia (OBI) tahun 1998 adalah beton bertulang yang diberi perkuatan di daerah yang mengalami tegangan tekan dan mengurangi tegangan tarik akibat beban kerja. Beton prategang adalah beton bertulang yang memiliki tegangan tarik, beban maksimum dan gaya tekan permanen yang sedemikian hingga batas aman, maka baja akan mengalami gaya sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pascatarik). Perbedaan beton prategang dengan beton bertulang adalah penambahan perkuatan berupa kawat baja dalam beton yang bertujuan agar beton tak mudah retak walaupun dibebani saat proses penegangan (*erection*). Beton prategang hanya direkomendasi sebagai penyangga struktur yang memiliki bentang panjang seperti jembatan.

g. Beton Hampa

Pembuatan beton hampa sama dengan beton konvensional. Perbedaan beton hampa menggunakan penyedotan air pengencer dengan vakum khusus, menyebabkan faktor air semen berkurang sehingga meningkatkan kekuatan beton. Proses penyedotan air menyebabkan beton memiliki tekstur yang lebih padat sehingga disebut beton hampa. Kekuatan beton hampa sangat tinggi akibat sisa air dalam beton adalah air yang telah bereaksi dengan semen. Contoh Penggunaan beton hampa antara lain pada gedung pencakar langit.

h. Beton serat

Beton serat adalah beton yang didesain dengan menambah serat ke dalam beton. Tujuan penambahan serat untuk meningkatkan kekuatan dan beton tak mudah mengalami retak. Beberapa serat yang dapat ditambahkan seperti plastik, asbestos, kawat baja dan material sejenis lainnya.

i. Beton siklop

Dalam pembuatan beton siklop menggunakan agregat cukup besar sebagai substitusi di mana ukuran agregat berkisar 15-20 cm. Penambahan agregat diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton. Penggunaan beton siklop antara lain struktur jembatan, bendung dan bendungan serta bangunan air lainnya.

j. Beton Mortar

Beton mortar adalah beton campuran semen, pasir, kapur, lumpur dan air. Beton mortar memiliki kekuatan yang kecil sehingga tidak dapat digunakan pada struktur hanya sebagai bahan pengisi. Jenis beton mortar di Indonesia antara lain:

- a. Perekat Keramik (*tile adhesive*), jenis antara lain untuk keramik dinding, lantai, dan perekat keramik baru di atas keramik yang lama (tanpa melakukan pembongkaran keramik lama);
 - b. *Tile Grout*, berfungsi sebagai nat (pengisi celah) antar keramik;
 - c. *Thin Bed*, berfungsi sebagai perekat bata ringan (*autoclaved aerated concrete*);
 - d. *Skim Coat*, berfungsi sebagai plesteran dinding.
- k. Beton Non-pasir

Beton non-pasir merupakan campuran agregat kasar, semen dan air dan tidak menggunakan agregat halus sebagai material utama. Setelah kering dalam beton terbentuk rongga-rongga kecil sehingga lebih ringan. Beton non-pasir lebih murah karena menggunakan lebih sedikit semen dan tidak menggunakan pasir. Penggunaan beton non-pasir tidak dapat digunakan pada struktur ringan seperti kolom sederhana, dinding, batu bata serta buis beton.

l. Beton massa

Beton massa adalah beton yang diproduksi dalam jumlah sangat banyak. Proses pembuatan beton massa lebih dari kebutuhan yang biasa. Pada umumnya ukuran dimensi beton massa >60 cm. Penggunaannya untuk konstruksi dengan dimensi yang besar seperti pondasi besar, pilar bangunan dan bendungan.

9.2 Beton Non Pasir

Beton non pasir (*no fines concrete/permeconcrete/pervious concrete*) merupakan jenis beton ringan di mana material terdiri dari semen, agregat kasar, air dan zat aditif (*admixture*). Beton ini tidak menggunakan agregat halus sehingga membentuk beton berpori dan berat beton berkurang (Tjokrodimulyo, 2009). Berat jenis beton ini lebih rendah dibanding beton normal. Gradasi agregat dan berat jenis sangat mempengaruhi kekuatan beton.



Gambar 9.3. Beton Non Pasir (Dwikusuma,2012)

Hal yang mempengaruhi kekuatan beton non pasir antara lain:

a. Faktor air semen

Perbandingan faktor air semen (FAS) beton tanpa pasir adalah 0,36- 0,46, sedang FAS optimum sebesar 0,4. Jika FAS yang digunakan besar, maka pasta akan mengalir ke bawah sehingga permukaan beton bagian bawah tidak tertutup sedang jika FAS terlalu rendah maka pasta tidak akan menyelimuti agregat dengan merata. Oleh karena itu perlu penambahan zat aditif untuk meningkatkan workability. Nilai slump yang dihasilkan sangat kecil sehingga tidak disarankan untuk menggunakan *concrete pump*.

b. Perbandingan agregat terhadap semen

Pengaruh perbandingan agregat terhadap semen antara lain semakin besar rasio, maka semakin sedikit pasta semen. Hal ini berakibat kuat tekan beton tanpa pasir akan semakin rendah. Menurut ACI 522R-06 bahwa persentase rongga kisaran 15-25% sedang hasil penelitian (Tjokrodimulyo, 2009) persentase rongga 20-25%. Berikut tabel perbandingan agregat terhadap semen pada beton non pasir:

Tabel 9.1 Perbandingan Agregat terhadap Semen

Agregat Kasar	Semen	Tekstur beton non-pasir
1	2	Sedikit berongga
1	4	Sedikit berongga
1	6	Berongga
1	8	Berongga
1	10	Sangat berongga
1	12	Sangat berongga

Sumber: dwikusumadpu.wordpress.com (2012)

Perbandingan FAS yang baik antara 0,38-0,52. Penentuan nilai FAS harus hati-hati karena jika nilai terlalu rendah, maka pasta akan sangat kering yang adhesi yang tidak mencukupi. Jika nilai FAS terlalu tinggi, maka pasta akan encer dan berkumpul di bekisting di bagian bawah.

c. Jenis agregat yang digunakan

Pemanfaatan teknologi beton non pasir belum populer di Indonesia, Aplikasi hanya sebatas untuk konstruksi

sederhana seperti kolom, balok dan dinding bangunan, bata non pasir dan buis beton. Berat jenis beton tanpa pasir sangat dipengaruhi berat agregat. Berat beton non pasir berkisar 60-75% dari beton biasa. Beton tanpa pasir menggunakan ukuran agregat 10-20 mm, bergradasi padat dan memiliki sudut yang tajam akan menghasilkan kuat tekan dan berat jenis yang tinggi. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperoleh komposisi beton tanpa pasir menggunakan bermacam jenis agregat, antara lain Tjokrodimulyo menggunakan agregat pecahan keramik tahun 1992, Hadi menggunakan agregat batu kapur dari klaten tahun 2003 dan Deddy Misdarpon menggunakan agregat batu berangkal kapur limbah industri tahun 2006. Tabel perbandingan hasil penelitian sebagai berikut:

Tabel 9.2 Beberapa Hasil Pengujian Kekuatan Beton Non Pasir

Perbandingan Volume Semen : Agregat	Kuat tekan		
	Agregat		
	Batu berangkal kapur limbah industri	Batu kapur (Klaten)	Pecahan genteng keramik
1:2	-	22,79	-
1:3	-	-	-
1:4	-	22,44	-
1:5	10,44	-	-
1:6	9,53	-	9,03
1:7	8,62	-	8,32

1:8	7,72	7,35	7,04
1:9	6,81	-	5,51
1:10	5,90	3,71	4,54

Sumber: dwikusumadpu.wordpress.com (2012)

9.3. Kelebihan dan Kekurangan Beton Non Pasir



Gambar 9.4. Pengujian Densitas Beton Non Pasir
(variabeton.com,2019)

Kelebihan beton non pasir, antara lain:

1. *Low Shrinkage*, total nilai susut beton tanpa pasir saat kondisi kering adalah 0,5 dari beton normal. Penyusutan terjadi 50-80% dalam 10 hari pertama, sedang pada beton normal 20-30 % sehingga retak yang terjadi lebih sedikit dibandingkan beton normal.
2. Tergolong beton ringan (*light weight*) karena tidak menggunakan agregat halus (pasir);
3. Kerapatan massa 25-30% kurang dari beton normal;
4. Susut kering yang lebih kecil dibandingkan beton normal;

5. Sifat isolasi termal dan kedap suara (*thermal insulation dan sound insulation*) lebih baik dari beton normal sehingga dapat digunakan sebagai dinding luar;
6. *Reduce cement demand* yaitu luas permukaan plesteran berkurang;
7. Lebih ekonomis karena penggunaan semen dan agregat halus berkurang;
8. Walau beton non pasir tidak mengandung agregat halus tetapi kekuatan beton non pasir masih terbilang bagus karena masih mengandung agregat kasar;
9. *Eliminated segregation*, proses pemadatan dapat dilakukan tanpa vibrator;
10. Nilai permeabilitas cukup tinggi (*high permeability*) dibandingkan beton biasa;
11. *Environment Friendly*, mudah menuruskannya air permukaan sehingga dapat digunakan sebagai material pembuatan sumbu resapan yang berfungsi meningkatkan resapan air ke tanah;
12. Daya desak samping beton non pasir tidak besar, hal ini disebabkan partikel memiliki titik to point kontak dan beton encer. Sehingga bekisting dalam dilepas dalam lebih cepat dari beton biasa.

Beberapa kekurangan beton non pasir, antara lain:

1. Beton tanpa pasir memiliki kuat tekan rendah dibanding beton biasa;
2. Beton tanpa pasir memiliki tingkat permeabilitas yang cukup tinggi, maka tidak disarankan penggunaan tulangan di dalam

- beton non pasir karena mendapat mempercepat proses korosi;
3. Pada beton tanpa pasir tidak dapat dilakukan pengujian slump test dan uji pemadatan;
 4. Beton non pasir memiliki rongga (*porous*) yang banyak sehingga membutuhkan banyak plesteran unruk menutupi permukaan sehingga membutuhkan biaya tambahan;

9.4 Penutup

Teknologi beton tanpa pasir telah lama digunakan di dunia internasional sejak tahun 1961. Beton tanpa pasir masih asing di Indonesia. Beton tanpa pasir telah diaplikasikan di bangunan sederhana, bata tanpa pasir dan buis tanpa pasir. Penggunaan beton tanpa pasir (*permeconcrete* atau *pervious concrete*) di konstruksi jalan raya digunakan sebagai lapis bawah, selain ramah lingkungan juga dapat meneruskan genangan air ke dalam tanah karena beton non pasir memiliki pori yang banyak. Pada lapisan *permeable* akan meneruskan air ke *reservoir*. *Reservoir* akan menyimpan genangan air permukaan sebelum menyerap masuk ke drainase bawah tanah sehingga mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas air tanah.

Pada dinding penahan (*retaining wall*) juga menggunakan teknologi beton tanpa pasir. Selain ramah lingkungan, mampu meningkatkan stabilisasi tanah di sekitar dinding penahan, tekstur beton tanpa pasir yang berpori mampu meneruskan air di sekitar dinding penahan tanah. Penurunan nilai tekanan air tanah menyebabkan dinding lebih stabil dan mampu menahan tegangan geser dan gaya guling yang dipengaruhi oleh tekanan air tanah.

Bab 10

Beton Siklop

10.1. Pendahuluan

Beton siklop yang menjadi salah satu bagian dari konstruksi yang memiliki banyak manfaat dan keunikan yang tersendiri jika dilihat dari pemilihan bahannya. Beton siklop atau sering Anda kenal dengan sebutan *cyclop* adalah salah satu yang akrab dalam dunia konstruksi. Beton jenis ini memiliki keunikan tersendiri jika dilihat dari campurannya yang unik yaitu perpaduan material beton dengan batu mangga (batu kali) (arthopodhomoro, 2022). Beton cyclop memiliki bentuk yang sama dengan beton pada umumnya. Namun, terdapat perbedaan pada penggunaan agregat. Penggunaan beton ini dapat digunakan dalam pembuatan pondasi sumuran. Terdapat bermacam-macam beton yang ada di pasaran beberapa diantaranya meliputi, beton ringan, beton vakum, beton serat, beton siklop dan lain sebagainya. Beton cyclop memiliki bentuk yang sama dengan beton pada umumnya. Namun, terdapat perbedaan pada penggunaan agregat pada jenis beton ini. Agregat yang digunakan memiliki kecenderungan bentuk dengan ukuran besar. Ukurannya dapat mencapai sekitar 20 cm. Selain itu, perbandingan agregat dengan ukuran lebih besar tidak

diperbolehkan mencapai besar lebih dari 20%. Beton siklop memang difungsikan untuk pondasi dalam. Maka dari itu, komposisinya berbeda dengan beton biasa. Hal ini dilakukan karena bergantung pada workabilitas, durabilitas dan waktu proses pengerasan sehingga menghasilkan karakter tertentu.

Pondasi sumuran menggunakan cyclop beton dengan ukuran diameternya mencapai 60 cm hingga 80 cm. Sedangkan, kedalamannya mencapai 1 hingga 2 meter. Pondasi tersebut dilakukan pengecoran beton lalu dilakukan pencampuran antara batu kali dan pembesian pada bagian atasnya. Pondasi ini dianggap tidak populer karena dianggap memiliki banyak kekurangan terutama penggunaan beton yang teralu boros dan ukuran sloof harus memiliki ukuran besar. Maka dari itu, penggunaannya memiliki peminat sedikit. Beton siklop atau cyclop memakai bahan pendukung dengan ukuran agregat besar mencapai 15 hingga 20 cm yang dibentuk di dalam adonan. Hal tersebut dilakukan untuk membuat daya tahan dan kekuatan beton semakin kuat dan meningkat. Selain itu, penggunaannya pada tahapan pengerjaan bangunan selalu berdekatan dan bersinggungan dengan air. Beberapa diantaranya seperti, jembatan

10.2. Penerapan Beton Siklop pada Pondasi Sumuran

(Indoprecast, 2022) Beton cylop biasa dimanfaatkan untuk membentuk pondasi dalam yaitu pondasi sumuran. Pondasi ini merupakan pengalihan dari pondasi yang tidak terlalu dalam dengan pondasi tiang. Penggunaan pondasi digunakan apabila tanah dasar yang memiliki permukaan yang kuat berada di tingkat kedalam yang sangat dalam. Pondasi sumuran atau lebih dikenal sebagai kaison dimaksudkan sebagai pondasi yang terdiri atas pipa yang terbuat dari beton dan penerapannya

dilakukan dengan penanaman di dalam tanah. Penanaman tersebut dimanfaatkan untuk membangun sumuran lalu dilakukan pengecoran di tempat dengan memanfaatkan bahan batu pecah atau belah dengan baton sebagai isian.

Penerapan pondasi dapat dilakukan pada lahan pembangunan dengan tingkat kedalaman mencapai lapisan tanah dengan kisaran 3 hingga 5 meter. Penggunaan pondasi kaison atau sumutan dimanfaatkan pada tanah dasar baik dengan kedalaman agak dalam dengan peletakkan berada di dalam tanah. Penerapan pondasi ini dapat dimanfaatkan apabila terdapat bahaya adanya penggerusan tanah di bagian bawah base pondasi yang disebabkan oleh arus air. Maka dari itu, dasar sumur harus memiliki lapisan tanah yang keras

10.3. Agregat Beton Siklop

Penggunaan agregat kasar pada beton cylop dapat mencapai ukuran sekitar 20 cm. Namun, perbandingan agregat kasar tidak lebih dari 20% dari keseluruhan. Ukuran penampang mencapai 15-20 cm. Penambahan bahan ke dalam adonan beton biasa atau normal mampu memberikan kekuatan. Penggunaan beton siklop biasa dimanfaatkan dalam pembangunan bangunan air, jembatan maupun bendungan. Bahan yang terkandung di dalam beton siklop diantaranya meliputi, beton K 175 dengan kualitas dan mutu baik dengan penambahan bahan dari volume batuan mangga. Meskipun, memiliki komposisi agregat besar.

Beton jenis ini dianggap masih kalah dengan beton bertulangan dari segi kekuatannya. Tetapi, jika dibandingkan dengan konstruksi pasangan batu, beton siklop memiliki kekuatan lebih baik dan masih mempunyai kapabilitas dalam menahan tegangan tarik maupun tekanan. Sedangkan, konstruksi

pasangan batu tidak mampu menahan gaya tegangan tarik dan hanya mempunyai kekuatan menahan pada gaya tekan. Maka dari pembuatan beton jenis siklop ering dijadikan sebagai penopang pada pangkal jembatan. Pemanfaatan beton cyclop memang terbatas dalam segi penopang pada konstruksi yang selalu bersinggungan dengan air. seperti halnya penggunaannya pada pondasi dalam terutama pada pondasi sumuran. Meskipun demikian, penggunaan beton cyclop dinilai penting untuk membangun bendungan tanpa mengalami kerusakan dan kebocoran.

10.4. Karakteristik dan Metode Pelaksanaan Beton Siklop (*Cyclop*)

Beton siklop adalah material struktur bangunan yang biasanya digunakan karena memiliki keunikan tersendiri. Beton siklop atau sering disebut dengan cyclop, material beton yang dicampur dengan batu Mangga (batu kali). Bahan campuran dari jenis beton ini mengikuti komposisi mutu beton K-175. Konstruksi yang menggunakan beton siklop mempunyai kekuatan yang didasarkan dari beton bertulang, meskipun begitu ia lebih disarankan untuk kebutuhan konstruksi pada pemakaian pasangan batu karena material batu siklop mempunyai kemampuan dalam menahan tegangan tarik dan tekan.

Tentu hal ini berbeda dengan konstruksi pasangan batu yang hanya memiliki kemampuan dalam menahan Gaya tekan saja. Beton siklop (cyclop) memiliki bentuk yang sama dengan beton pada umumnya, hanya berbeda dalam penggunaan agregat. Agregat yang digunakan dalam proses produksi cenderung berukuran besar bahkan mencapai 20 cm, dengan perbandingan agregat tidak diperbolehkan mencapai lebih dari 20%. Pemakaian beton siklop biasanya untuk

kebutuhan pondasi dalam, sehingga komposisi produksi dari beton jenis ini berbeda dengan bukan biasa. Tentu kualitas yang dihasilkan bergantung pada workability, durabilitas, dan waktu proses pengerasan sehingga mendapatkan beton dengan karakter tertentu.

Penambahan komponen pada campuran beton biasa atau normal dapat memberikan kekuatan pada karakter yang dimiliki oleh beton siklop. Penggunaan beton siklop bisa dimanfaatkan untuk pembangunan bangunan air, jembatan, dan bendungan. Untuk segi kekuatan yang dimiliki beton siklop, ia masih tidak sebanding dengan beton bertulang karena lebih rendah. Tapi bila dimanfaatkan untuk kebutuhan konstruksi pasangan batu, beton siklop memiliki kekuatan yang lebih baik dan mempunyai kapabilitas dalam menahan tegangan tarik ataupun tekanan. Jika dilihat dari nilai manfaatnya, penggunaan beton siklop memang sangat terbatas dalam segi penopang konstruksi yang bersinggungan dengan air. Meskipun demikian, pemakaian beton siklop dinilai dapat membantu bendungan tanah terhindar dari kerusakan ataupun kebocoran.

(Megacon Beton, 2021) metode pelaksanaan dalam pemasangan beton siklop dapat berfungsi dengan baik untuk membentuk pondasi dalam sumur. Pondasi ini berguna sebagai pengalihan dari pondasi yang tidak terlalu dalam dengan pondasi tiang. Pemakaian beton siklop digunakan jika tanah dasar mempunyai permukaan yang kuat berada di tingkat sangat dalam. Beton siklop kerap kali disebut juga sebagai pondasi sumuran / kaison yang terdiri dari pipa terbuat dari beton dan penerapannya dilakukan dengan penanaman pada bagian dalam tanah. Penanaman ini berguna untuk membuat

sumur dari proses pengecoran di tempat dengan memanfaatkan bahan batu Pecah atau belah.



Gambar 10.1. Metode Kerja Beton Siklop (Megacon Beton, 2021)

Penerapan pondasi beton siklop bisa dilakukan pada lahan pembangunan dengan tingkat kedalaman mencapai lapisan tanah dengan ukuran 3 sampai 5 meter. Penggunaan pondasi kaison atau sumuran dimanfaatkan pada tanah dasar ataupun peletakan yang agak dalam. Penerapan pondasi ini bisa anda manfaatkan jika terdapat resiko bahaya dari adanya penggerusan tanah di bagian bawah pondasi disebabkan oleh arus air. Oleh karena itu bagian dasar sumur harus mempunyai lapisan tanah yang keras.

10.5. Penutup

Beton siklop sama dengan beton pada umumnya, perbedaannya adalah pada beton siklop ukuran agregat yang digunakan relatif besar. Beton siklop dipakai untuk pembuatan bendungan, membangun pangkal jembatan, dan sebagainya. Agregat kasar yang digunakan biasanya memiliki ukuran hingga 20 cm, akan

tetapi lebih baik penggunaan agregat yang lebih besar dari pada umumnya ini tidak melebihi 20% dari agregatnya secara keseluruhan.

Bab 11

Beton Air Laut

11.1 Pendahuluan

Kekurangan air tawar untuk saat ini belum dirasakan di Kota yang berada di Pulau besar, akan tetapi di Indonesia memiliki pulau-pulau kecil yang terisolir ataupun susah mendapatkan air tawar, alhasil untuk memperoleh air bersih atau air minum dicoba dengan cara penawaran. Perihal struktur beton hendaknya butuh dipikirkan pemakaian air laut sebagai air pencampuran buat beton, walaupun aturan penggunaannya sedang dipakai pada beton non-struktural, misalnya beton murni, pelat beton (tanpa tulangan) buat perkerasan jalan beton, pondasi sumuran, beton siklop, plesteran bilik gedung, dan sebagainya. Sepanjang ini, pandangan penggiat struktur beton bila memakai air laut pada beton itu menyebabkan kehilangan dampak kehancuran yang ditimbulkan.

Pandangan ini butuh diluruskan dengan riset guna meyakinkan kalau beton non-struktural (tanpa tulangan) malah lebih profitabel memakai air laut sebagai air pencampur atau selaku air pemeliharaan (curing), diakibatkan terdapatnya kenaikan kuat tekan pada kombinasi beton apabila air pencampuran dipakai air laut. Pemakaian air laut selaku air pencampuran atau

air pemeliharaan (curing) pada pembuatan beton, menjadikan biaya produksi beton lebih ekonomis, ditinjau dari segi waktu maupun biaya.

11.2. Penelitian Tentang Beton Air Laut

Kyushu University, Jepang sementara mempertajam riset tentang pemanfaatan air laut sebagai air pencampur beton, baik buat beton sistemis ataupun non sistemis. Mohammed (2003) sudah melakukan riset mengenai pencampuran beton dengan air laut yang selama 20 tahun terjadi pada area pasang surut dan hasilnya memenuhi, kuat tekan beton bertambah dibanding yang menggunakan air tawar (Sumber: Cement and Concrete Research, 34 (2004) 593-601). Hal tersebut diperkuat dengan hasil penelitian Otsuki (2011) mengenai kemungkinan pemakaian air laut sebagai air pencampuran pada beton, menyamakan durabilitas beton yang memakai OPC (*standard portland cement*) serta semen BFS (*blast furnace slag*) yang dicampur dengan air tawar serta air laut. Ilustrasi 10x10x40 milimeter terbuat dengan pasta semen BFS ke OPC merupakan 70% serta perbandingan air semen FAS=0,5. Hasil riset membuktikan kalau perbandingan durabilitas antara beton yang dicampur dengan air tawar serta yang dicampur dengan air laut tidak banyak, tetapi perbandingan antara beton dengan semen OPC serta BFS amat besar. Selain itu, pencampuran dengan air laut dapat mengurangi jumlah pori, dan meningkatkan kinerja semen BFS terhadap kuat tekan dibanding dengan semen BFS yang memakai air tawar.

Mohammed (2003) menyelidiki difusi klorida, struktur mikro serta desain sampel beton silinder setelah 5 tahun terpapar area pasang surut. Tipe semen yang digunakan merupakan semen portland biasa (OPC), semen terak jenis A (SCA), semen jenis

B(SCB) serta jenis C(SCC) dan semen fly ash jenis B(FCAB). Kuat tekan beton bertambah pada usia 28 hari hingga 5 tahun kecuali buat tipe FACB yang diprediksi sebab terjadinya ettringite. Dalam riset ditemui kalau pemakaian semen kombinasi (SCA, SCB, SCC, serta FCAB) menunda terjadinya korosi. Batang baja yang tertancap pada benda percobaan silinder pada intensitas 70 milimeter dari penutup beton, waktu inisiasi korosi buat slag cement (SCC) jenis C sekitar 150 tahun, sebaliknya jenis OPC serta FACB masing-masing sekitar 22 tahun serta 65 tahun. Tidak hanya itu, jika pencantuman senyawa klorida dalam beton dipesan mulai dari OPC>FACB>SCA>SCB>SCC, hal ini diakibatkan pemanfaatan slag semen memunculkan depresiasi daya muat ruang di wilayah luar. Benda percobaan yang menimbulkan berkurangnya konektivitas saluran pori kapiler.

11.3. Air Laut untuk Bahan Pencampuran

Observasi visual terhadap campuran beton menggunakan air laut sebagai bahan pencampuran menunjukkan bahwa kondisi segar (*fresh concrete*) beton yang menggunakan semen portland komposit dan air laut sebagai pasta dan pasir laut sebagai agregat halus mampu menyatu tanpa terjadi segregasi bahan, memiliki kemudahan pengerjaan (*workability*) yang cukup baik untuk dibentuk kedalam cetakan silinder dengan kepadatan yang baik (Hamkah dkk, 2016). Komposisi dan berat masing-masing jenis bahan untuk adukan beton terbagi atas 3 jenis mutu beton disesuaikan dengan jumlah benda uji yang dicetak. Tabel 11.1. menunjukkan komposisi campuran beton dalam 1 m³ adukan beton yang dibedakan masing-masing menurut berat (*kg*) untuk jenis bahan: air laut, semen PCC, pasir laut, dan batu pecah ukuran maksimum 40 mm (G40) untuk 3 mutu beton yang berbeda berdasarkan hasil rancangan campuran beton.

Tabel 11.1. Komposisi Campuran Beton Menurut Mutu dan Jenis Bahan

Variasi campuran	Air laut, kg	Semen PCC, kg	Pasir Laut, kg	Batu pecah (G40), kg	Admixture (Glenium), kg
Mutu I	210.0	543.8	631.5	947.3	7.5
Mutu II	210.0	428.6	678.8	1,018.3	4.3
Mutu III	210.0	357.1	708.0	1,062.1	2.8

Sumber: Hamkah, 2016

Benda uji dibuat dalam cetakan silinder, berukuran diameter 10 cm × tinggi 20 cm. Metode membuat silinder beton dalam cetakan silinder ketika kondisi beton masih plastis. Silinder beton dibuka dari cetakan setelah berumur 24 jam untuk dilakukan perawatan ataupun tanpa perawatan (di udara). Silinder beton dibuat secukupnya masing-masing 3 variasi mutu beton, diperuntukkan sebagai sampel untuk perekaman temperatur sekaligus uji kuat tekan.

11.4. Air Laut untuk Perawatan

Beberapa penelitian menggunakan air laut untuk merawat sampel beton menunjukkan hasil yang bervariasi. Islam, S. Md., et.al (2005) meneliti pengaruh air laut pada perawatan (curing) beton terhadap kuat tekan serta absorpsi beton dengan alterasi aspek air semen serta durasi perawatan sehubungan dengan proses pembuatan bangunan di wilayah tepi laut, sehingga kontak dengan air laut tidak bisa dihindari. Riset ini mangulas tentang pengaruh air laut terhadap kuat tekan serta serapan beton selama 28 hari dengan bermacam durasi bersentuhan dengan air laut. Riset ini memakai benda uji beton dengan

alterasi air semen 0,45; 0,50; 0,55 serta alterasi lama pemeraman air laut sepanjang 1 hari, 2 hari, 3 hari, serta air bersih sepanjang 3 hari. Hasil riset menunjukkan bahwa alterasi aspek air semen dengan variasi 0,45; 0,50; serta 0,55 memberikan perbandingan pengaruh yang nyata terhadap kuat tekan beton baik dengan perlakuan air laut sepanjang 1 hari, 2 hari, serta 3 hari. Penyerapan yang terjadi pada beton dipengaruhi oleh alterasi lama pemeraman air laut serta alterasi aspek air semen, lama masa pemeraman menyebabkan semakin besar pula aspek air semen hingga penyerapan yang terjadi terus meningkat.

Raju, et al (2014) meneliti pengaruh air laut sebagai air pencampur dan sifat-sifat beton. Hasil studi menunjukkan jika kuat tekan beton yang dicampur dengan air tawar (BTT dan BTL). Terkait dengan depresiasi porositas batu. Kuat tekan beton yang dicampur dan diberi perlakuan air laut (BLL) sebesar 352,29 kg atau cm² dengan porositas batu 16,87%. Kuat tekan beton yang dicampur air payau dan diberi perlakuan air tawar (BTT) diterapkan pada beton pembeda dan didapat 314,05 kg atau cm² dengan porositas 17,97%. Kuat tekan beton yang dicampur dengan air tawar dan diolah dengan air laut (BTL) didapat 297,80 kg atau cm² dengan porositas 16,44%. Daya serap beton yang bagus ditunjukkan pada beton yang diolah air laut (BTL dan BLL).

11.5. Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton

Beton yang terserang air laut harus memakai semen jenis V; tetapi semen tersebut tidak dijual bebas di toko bahan bangunan khususnya di Indonesia. Secara universal terdapat 3 semen yang bersirkulasi dengan jenis yang berbeda: jenis I setara jenis I(PCC); serta jenis II. Riset Mohammed (2003) untuk membandingkan kuat tekan beton menggunakan 3 tipe semen

terhadap pengaruh air laut, serta untuk mengidentifikasi jenis semen yang sangat kuat terhadap pengaruh air laut. Ilustrasi memakai silinder beton dimensi standar, kualitas $f_c=17$ MPa; tiap perlakuan memakai 5 benda uji; perlakuan dengan merendam benda uji dalam air laut selama 7, 14, serta 28 hari. Pengujian kuat tekan memakai Testing Machine dengan kapasitas 100 ton. Hasil pengujian menampilkan: 1. Sepanjang 7 hari perendaman dalam air laut, kuat tekan beton bertambah, namun apabila direndam lebih lama kekuatannya cenderung menyusut; 2. Sepanjang 28 hari direndam dalam air laut, beton yang memakai semen jenis I mempunyai kuat tekan relatif sangat besar.

Wegian, F.M. (2010) melakukan pula riset terkait kekuatan beton dengan memakai air laut selaku air pencampur di wilayah pasang surut, hasil riset eksperimen membuat desain kombinasi beton silinder dimensi diameter. 150 milimeter serta besar 300 milimeter. Jumlah benda uji tiap-tiap 24 benda uji pada beton yang memakai air laut serta beton yang memakai air tawar. Perlakuan tiap-tiap benda uji dipecah jadi 4 alterasi yaitu yang awal (beton air tawar) dicoba dengan pengawetan air tawar sebaliknya alterasi kedua (beton air laut) dicoba dengan pengawetan air laut. Untuk alterasi ketiga (beton air laut) serta alterasi keempat (beton air tawar) dicoba curing basah serta kering dengan memakai air laut. Pengawetan basah serta kering yang diasuksikan 2 hari perendaman dalam air laut setelah itu disimpan di tempat kering (temperatur ruang) selama 5 hari, dengan usia perendaman 3, 14, 28 serta 91 hari. Hasil riset menampilkan kalau beton air laut dengan curing basah air laut menampilkan nilai kuat tekan yang sama dengan beton air tawar dengan curing basah air tawar. Kenaikan kuat tekan sebesar 0,9% dari kuat tekan beton air tawar usia 28 hari. Sebaliknya

pada pengujian curing air laut kering-basah nilai kuat tekan beton air laut menampilkan nilai yang lebih besar dibanding beton air tawar. Kenaikan kuat tekan sebesar 2,75% dari kuat tekan beton air tawar dengan perlakuan yang sama. Secara umum beton dengan perawatan basah menampilkan nilai kuat tekan yang lebih besar dibanding beton dengan perawatan kering-basah (wilayah pasang surut) menggunakan air laut. Penyusutan kuat tekan beton air laut mencapai 4,09% serta kuat tekan beton air tawar mencapai 6,73% dari beton biasa.

11.6. Porositas Terhadap Beton Air Laut

Porositas beton ialah pori-pori beton yang terbentuk dampak gelembung udara yang tak bisa keluar dari pasta beton, hal ini mengakibatkan beton keropos serta kekuatannya berkurang. Oleh karena itu, dalam pembuatannya wajib diperhatikan proses pematatannya agar menghasilkan beton yang tak keropos. Beton mempunyai rongga akibat air bebas yang menguap setelah beton mengering dan mengeras. Raju et.al. (2014) yang meneliti dampak air laut sebagai air campuran serta perawatan beton terhadap sifat porositas serta sorptiviti beton. Hasil penelitian bahwa porositas beton yang dicampur menggunakan air laut (BLT serta BLL) mengalami penurunan dibandingkan porositas beton yang dicampur dengan air tawar (BTT dan BTL). Sebagai ilustrasi, porositas beton yang dicampur serta dirawat dengan air laut (BLL) diperoleh porositas sebanyak 17,06 %. Porositas beton yang dicampur air laut serta dirawat menggunakan air tawar (BLT) diperoleh porositas beton 16,87 %. Porositas beton yang dicampur menggunakan air tawar serta dirawat menggunakan air tawar (BTT) menjadi beton pembanding diperoleh porositas 17,97 %. Porositas beton yang dicampur menggunakan air tawar serta dirawat dengan air

bahari (BTL) diperoleh porositas 16,44 %. Sifat sorptiviti beton yang baik pula cenderung ditunjukkan oleh beton yang dirawat menggunakan air laut (BTL serta BLL).

11.7. Penutup

Kebutuhan air bersih pada kehidupan sehari-hari semakin tinggi tetapi potensi sumber air semakin kecil sebagai perlu memikirkan cara lain penggunaan air laut untuk pekerjaan konstruksi beton. Salah satunya ialah munculnya inovasi beton air laut. Beton air laut merupakan salah satu bahan konstruksi yang terbuat dari campuran antara agregat, bahan pengikat hidrolis, bahan tambah (*admixture*) dan air laut sebagai air pencampur pada proporsi tertentu atau air laut sebagai bahan perawatan menggantikan air tawar.

Beton air laut adalah campuran agregat yang menggunakan air laut sebagai bahan pembentuk pasta ataupun campuran agregat yang menggunakan air tawar sebagai bahan pembentuk pasta, namun menggunakan air laut sebagai bahan perawatan (*curing*). Pengaruh air laut terhadap beton memberikan efek kuat tekan yang lebih tinggi dan porositas lebih rendah akibat dari pada pembentukan garam fridel pada beton. Rekomendasi penggunaan beton air laut di Indonesia masih diperuntukkan di beton non-struktural, mirip beton masif, pelat beton (tanpa tulangan) buat perkerasan jalan beton, pondasi sumuran, beton siklop, plesteran dinding bangunan, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Ben Fraj, M. Kismi, P. Mounanga, Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete, *Constr. Build. Mater.* 24 (6) (2010) 1069–1077.
- A. M. Neville, *Properties of Concrete* 4th Edition, 2005, Prentice Hall, London.
- Abadjieva, T., and P. Sephiri. "Investigations on some properties of no-fines concrete." University of Botswana, Botswana (2000).
- Aburawy, M.M. and Swamy, R. N. 2008. Influence Of Salt Weathering On The Properties Of Concrete", *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 33, Number 1B.
- ACI 303R-04, *Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice*
- ACI 533R-93, *Guide for Precast Concrete Wall Panels*
- ACI Committee 544, 2002. *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI 544.1R-96, American Concrete Institute.
- Adepegba D. A., (1975) "Comparative Study of Normal Concrete which Contains Laterite Fines Instead of Sand" *Building Science*; 10:135–41.
- Ahmadi, M. A., Alidoust, O., Sadrijenad, I. and Nayeri, 2007. Development of Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Contain Rice Husk Ash, *Proceedings Of World Academy Of Science, International Journal of Computer, Information, and Systems Science, and Engineering* 1:4: 258 - 261.

- Akhtar, M. F., et al. "Use of Different Types of Aggregate vis-a-vis Demolition Waste as an Alternate Material for Concrete." *Urbanization Challenges in Emerging Economies: Resilience and Sustainability of Infrastructure*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2018. 679-690.
- Al-Akhras N. M. et al. 2007. Thermal Cycling of Wheat Straw Ash Concrete. Institution of Civil Engineers.
- Alani, A. M., and Beckett, D. (2013). "Mechanical properties of a largescale synthetic fiber reinforced concrete ground slab." *Constr. Build. Mater.*, 41, 335–344.
- Albitar, et al. (2015). Effect of granulated lead smelter slag on strength of fly ash-based geopolymer concrete. *Construction and Building Materials* 83, 128–13.
- Alhozaimy, A. M., Soroushiad, P., and Mirza, C. F. (1996). "Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials." *Cem. Concr. Compos.*, 18(2), 85–92.
- Ali. et al. 2016. Performance of geopolymer high strength concrete wall panels and cylinders when exposed to a hydrocarbon fire. *Construction and Building Materials* (195 – 207).
- Aliabdo, et al. (2016). Effect of cement addition, solution resting time and curing characteristics on fly ash based geopolymer concrete performance. *Construction and Building Materials* (581 – 593).
- Al-Tamimi and Sonebi, M. 2003. Assessment of Self-Compacting Concrete Immersed in Acidic Solutions, *Journal of*

Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol 15, No. 4:354-357

Altoubat, S., Yazdanbakhsh, A., and Rieder, K.-A. (2009). "Shear behavior of macro-synthetic fiber-reinforced concrete beams without stirrups." *ACI Mater. J.*, 106(4), 381–389.

Amalia dan Riyadi M. 2005. *Teknologi Bahan I. Bahan Ajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*

American Standard of Testing Material (ASTM), C186, Standard Test for Heat of Hydration.

American Coal Ash Association. 2014. CCP Production and Use Survei. <https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/2014-Production-and-Use-Survey-Presentation.pdf>.

American Concrete Institute (ACI) 207, Manual of Concrete Practice.

American Concrete Institute (ACI) 207.1R-05, Guide to Mass Concrete

American Concrete Institute (ACI) 207.2R-07, Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete

American Concrete Institute (ACI) 209R-92, 1997, Prediction Temperature Affect in Concrete Structure.

American Concrete Institute (ACI) 209R-92, 1997, Prediction Temperature Effect in Concrete Structure.

Anggoro Y., 2008. *Makalah Ilmu Bahan I Beton.*

- Antiohos S., Maganari K., & Tsimas S. (2005). Evaluation of blends of high and low calcium fly ashes for use as supplementary cementing materials. *Cement dan Concrete Composites* : 349-356.
- Antoni dan Nugraha P. 2007. *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
 Web:<http://yoppyinfo.blogspot.com/2009/10/teknologi-beton-semen.html>
- Arde, *Penggunaan Polypropylene Fiber Dintinjau terhadap Mekanisme Tekan dan Lentur pada Campuran Beton Normal*, Surabaya : Teknik Sipil UPN “Veteran” Jawa Timur, 2005.
- arthopodhomoro (2022) *Mengenal Beton Siklop dalam Konstruksi dan Keunikannya*, arthopodhomoro.com. Available at: <https://arthopodhomoro.com/mengenal-beton-siklop-dalam-konstruksi-dan-keunikannya/> (Accessed: 28 February 2022).
- ASTM C39/C39M – 12a, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, October 2012.
- ASTM C494 / C494M - 13 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- ASTM C494/C494M – 13, 2013. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, April 2013.
- ASTM C496/C496M-11,2011 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimen, August 2011.

- ASTM C618-03 (2003). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4142-1996. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4137-1996. Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan Agregat Kasar. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil. Jakarta : Dewan Standardisasi Nasional.
- Bahan Lanjut – Semen dan Beton Berongga. CV. Telaga Zamzam. Makassar.
- Banda, R., Tjaronge, M. W., Djameluddin, A. R., & Muhiddin, A. B. (2018). Corrosion behavior of reinforcing steel bar embedded in concrete with nickel slag coarse

- aggregates. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(9), 1573–1581.
- Brooks, J. J., P. J. Wainwright, and A. M. Neville. "Time-Dependent Behavior of High-Early-Strength Concrete Containing a Superplasticizer." *Special Publication 68* (1981): 81-100.
- BS EN 197-1:2000. Cement. Composition, specification and conformity criteria for common cements.
- Bubeník, Jan, and Jiří Zach. "The use of foam glass based aggregates for the production of ultra-lightweight porous concrete for the production of noise barrier wall panels." *Transportation Research Procedia* 40 (2019): 639-646.
- Buider Indonesia (2018) *Beton Prategang (Pratekan) Keunggulan dan Pembuatan Beton Pratekan*. <https://www.builder.id/beton-prategang/> diakses 17 Oktober 2021
- Cahyadi, Wahyu Dwi. "Studi kuat tekan beton normal mutu rendah yang mengandung abu sekam padi (RHA) dan limbah adukan beton (CSW)= The study on compressive strength of normal concrete containing rice husk ash (RHA) and concrete sludge waste (CSW) designed for low strength." (2012).
- Carmona, Jacinto R., Gonzalo Ruiz, and Javier R. del Viso. "Mixed-mode crack propagation through reinforced concrete." *Engineering Fracture Mechanics* 74.17 (2007): 2788-2809.

- Caronge, M. A., Tjaronge, M. W., Hamada, H., & Irmawaty, R. (2017). Effect of water curing duration on strength behaviour of portland composite cement (PCC) mortar. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 271).
- Chen, Jiaqi, et al. "Analysis of thermal conductivity of porous concrete using laboratory measurements and microstructure models." *Construction and Building Materials* 218 (2019): 90-98.
- Cho, Y. S., et al. "Estimation of compressive strength of high-strength concrete with recycled aggregate using non-destructive test and numerical analysis." *Materials Research Innovations* 18.sup2 (2014): S2-270.
- Chompreda, P. 2010.
- Del Viso, J. R., J. R. Carmona, and G. Ruiz. "Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete." *Cement and Concrete Research* 38.3 (2008): 386-395.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1989. Standar Nasional Indonesia S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan A (Bahan Bangunan Berupa Bahan Bukan Logam), LPMB: Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1990. Standar Nasional Indonesia 03-1974-1990, Metode Uji Kuat Tekan Beton, LPMB: Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1990. Standar Nasional Indonesia T-15-1991-03, Proses Pembuatan Rencana Beton Normal, LPMB: Bandung.

- Departemen Pekerjaan Umum, 2000. Standar Nasional Indonesia 03-2834-2000, Tata Cara Perencanaan Beton Normal, Puslitbang Teknologi Pemukiman: Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002. Standar Nasional Indonesia 03-2491-2002, Metode Uji Kuat Tarik Belah Beton. LPMB: Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002. Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002, Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. LPMB: Bandung.
- Dhapekar, N. K., and S. P. Mishra. "Efficient Utilization of Construction and Demolition Waste in Concrete." *Urbanization Challenges in Emerging Economies: Resilience and Sustainability of Infrastructure*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2018. 216-226.
- Dina, Pengaruh Penggunaan Polypropylene Fiber Terhadap Penyusutan Pada Saat Pre-hardening Stage, Teknik Sipil UPN " Veteran " Jawa Timur, 1999.
- Dwikusuma (2012), Beton Non Pasir No Filnes Concrete <https://dwikusumadpu.wordpress.com/2012/11/21/beton-non-pasir-no-fines-concrete/> 02 Oktober 2021
- E.K.K. Nambiar, K. Ramamurthy, Air-void characterisation of foam concrete, *Cem. Concr. Res.* 37 (2) (2007) 221–230.
- E.K.K. Nambiar, K. Ramamurthy, Influence of filler type on the properties of foam concrete, *Cement and Concrete Composites* 28 (2006) 475–480.

- E.P. Kearsley, P.J. Wainwright, Porosity and permeability of foamed concrete, *Cement and Concrete Research* 31 (2001) 805–812.
- E.P. Kearsley, P.J. Wainwright, The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete, *Cem. Concr. Res.* 31 (1) (2001) 105–112.
- Edhi, W.S., Pengaruh Penambahan Styrene Butadiene Latex (Sika Latex) Pada Campuran Beton Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Beton, Surabaya: Teknik Sipil Program Pasca Sarjana ITS, 1996
- Elizondo-Martínez, Eduardo Javier, et al. "Review of porous concrete as multifunctional and sustainable pavement." *Journal of Building Engineering* (2019): 100967.
- Febriani, eni. "pengaruh pemanfaatan pecahan beton sebagai alternatif pengganti agregat kasar sebagai campuran beton k 250 kg/cm²." *kurva s jurnal mahasiswa* 1.2 (2013): 353-375
- Ginting, Arusmalem. "Kuat tekan dan porositas beton porous dengan bahan pengisi styrofoam." *Jurnal Teknik Sipil* 11.2 (2015): 76-98.
- Gull, Ishtiyag. "Testing of strength of recycled waste concrete and its applicability." *Journal of construction Engineering and Management* 137.1 (2011): 1-5.
- Gupta, Mayank, et al. "Determination of Optimum Parameters of Porous Concrete for Adequate Strength and Permeability." *Journal of Materials in Civil Engineering* (2016).

- Hamid, Deni Anwar, and Endah Safitri. "Pengaruh Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Berkinerja Tinggi Grade 80." *Matriks Teknik Sipil 2.2* (2014): 43-49.
- Hamkah, Tjaronge, M. W., Djameluddin, R., Nasruddin, 2016, Maturity Method Evaluated for Concrete Containing Portland Composite Cement, Marine Sand and Seawater, Proceedings The 3rd International Seminar of Infrastructure Development, ISID 2016, Doctoral Study Program of Civil Engineering Department, Hasanuddin University, p.p. 305-309.
- Hartono, Sandy B., et al. "Poly-L-lysine functionalized large pore cubic mesostructured silica nanoparticles as biocompatible carriers for gene delivery." *Acs Nano* 6.3 (2012): 2104-2117.
- Hestanto. *Geopolmer Industri Indonesia*
<http://www.hestanto.web.id/geopolimer/>
- Indoprecast (2022) *Apa Itu Beton Cyclop Istilah Lain Untuk Pondasi Sumuran*, *Indoprecast.com*.
- Islam, S. Md., Kausik, S. K. and Islam, M. Md. 2005, Physical and Mechanical Behavior of Concrete in Sea Water Under High Hydrostatic Pressure. The Institution of Engineers, Malaysia. Vol. 66, No. 2.
- Jones MR, Giannakou A. Foamed concrete for energy-efficient foundations and ground slabs. *Concrete* 2002(March):14-7.
- Jones MR, McCarthy A. Behaviour and assessment of foamed concrete for construction applications. In: Dhir RK,

- Newlands MD, McCarthy A, editors. Use of foamed concrete in construction. London: Thomas Telford; 2005. p. 61–88.
- Jones MR, McCarthy A. Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material. *Mag Concr Res* 2005;57:21–31.
- Jones MR, McCarthy MJ, McCarthy A. Moving fly ash utilization in concrete forward: a UK perspective. In: Proceedings of the 2003 international ash utilisation symposium, centre for applied energy research. University of Kentucky; 2003. p. 20–2.
- Jones MR. Foamed concrete for structural use. In: Proceedings of one day seminar on foamed concrete: properties, applications and latest technological developments. Loughborough University; 2001. p. 27–60.
- K. Ramamurthy, E.K. Kunhanandan Nambiar, G. Indu Siva Ranjani, A classification of studies on properties of foam concrete, *Cem. Concr. Compos.* 31 (6) (2009) 388–396.
- Kearsely EP, Mostert HF. Use of foam concrete in Southern Africa. In: Proceedings from the ACI international conference on high performance concrete. SP 172-48; 1997. p. 919–34.
- Kearsley EP, Booyens PJ. Reinforced foamed concrete, can it be durable. *Concrete/Beton* 1998;91:5–9.
- Kearsley EP, Mostert HF. The use of foamed concrete in refractories. In: Dhir RK, Newlands MD, McCarthy A,

- editors. Use of foamed concrete in construction. London: Thomas Telford; 2005. p. 89–96.
- Kearsley EP, Visagie M. Micro-properties of foamed concrete. In: Dhir RK, Handerson NA, editors. Specialist techniques and materials for construction. London: Thomas Telford; 1999. p. 173–84.
- Kearsley EP, Wainwright PJ (2002) The effect of porosity on the strength of foamed concrete. *Cem Concr Res* 32:233–239.
- Kearsley EP, Wainwright PJ. Ash content for optimum strength of foamed concrete. *Cem Concr Res* 2002;32:241–6.
- Kearsley EP, Wainwright PJ. Porosity and permeability of foamed concrete. *Cem Concr Res* 2001;31:805–12.
- Kearsley EP, Wainwright PJ. The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete. *Cem Concr Res* 2001;31:105–12.
- Kearsley EP, Wainwright PJ. The effect of porosity on the strength of foamed concrete. *Cem Concr Res* 2002;32:233–9.
- Kearsley EP. Just foamed concrete – an overview. In: Dhir RK, Handerson NA, editors. Specialist techniques and materials for construction. London: Thomas Telford; 1999. p. 227–37.
- Kearsley EP. The use of foamed concrete for affordable development in third world countries. In: Dhir RK, McCarthy MJ, editors. Appropriate concrete technology. London: E&FN Spon; 1996. p. 233–43.

- Lewis, Janile, Bora Cetin, and Ahmet H. Aydilek. "Effect of pH on the Leaching of Elements from Highway Base Layers Built with Recycled Concrete Aggregates." IFCEE 2015. 2015. 2758-2766.
- Limbachiya, M. C., T. Leelawat, and R. K. Dhir. "Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete." *Materials and structures* 33.9 (2000): 574-580.
- Lin, Wuguang, et al. "Development of permeability test method for porous concrete block pavement materials considering clogging." *Construction and Building Materials* 118 (2016): 20-26.
- Lin, Wuguang, et al. "Development of permeability test method for porous concrete block pavement materials considering clogging." *Construction and Building Materials* 118 (2016): 20-26.
- Liu, Zhen, et al. "Experimental study of the geopolymeric recycled aggregate concrete." *Journal of Materials in Civil Engineering* 28.9 (2016): 04016077.
- Ahmedzade, P., Yilmaz, M., 2008. Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures. Science Direct, *Construction and Building Materials*, hal. 481 -486.
- M.R. Jones, A. McCarthy, Utilising unprocessed low-lime coal ash in foamed concrete, *Fuel* 84 (2005) 1398–1409.
- M.R. Jones, M.J. McCarthy, A. McCarthy, Moving fly ash utilization in concrete forward: A UK perspective, in: *Proceedings of the 2003 International Ash Utilization Symposium*, University Press of Kentucky, 2003, pp. 1–24.

- Marewangeng, A., Tjaronge, M. W., Djamaluddin, A. R., & Aly, S. H. (2020). Compressive strength of laterite stone mixed concrete. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 419).
- Megacon Beton (2021) *Spesifikasi & Metode Pelaksanaan Beton Siklop (Cyclop)*, Megacon Perkasa.com. Available at: <https://megaconperkasa.com/metode-pelaksanaan-beton-siklop.html?v=b718adec73e0> (Accessed: 28 February 2022).
- Mehta, P.K. (2003). Modern Concrete Technology : Concrete In The Marine Environment, Elsevier Science Publisher, Taylor & Farancis e-Library, <http://libgen.org/>, diakses 26 Mei 2013.
- Meshkini, M.H., Eslamdoost, E., Sadati, and S., Shekarchi, M. 2015, Effect of Wet Curing Duration on Long-Term Performance of Concrete in Tidal Zone of Marine Environment, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol.9, No.4, pp.487-498, December 2015.
- Mohammed, T.U., Hamada, H., and Yamaji, T., 2003, Marine Durability of 30-Year Old Concrete Made with Different Cements, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.1, No.1, pp.63-75. Japan.
- Mulyati, 2011. Beton dan Material Dasar, Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Mulyono, Tri. (2004). Teknologi Beton.Yogyakarta, Andi Yogyakarta.
- Mulyono, Tri. "Teknologi beton." (2005).

- Nambiar EKK, Ramamurthy K. Air-void characterization of foam concrete. *Cem Concr Res* 2007;37:221–30.
- Nambiar EKK, Ramamurthy K. Fresh state characteristics of foam concrete. *ASCE Mater Civ Eng* 2008;20:111–17.
- Nambiar EKK, Ramamurthy K. Influence of filler type on the properties of foam concrete. *Cem Concr Res* 2006;28:475–80.
- Nambiar EKK, Ramamurthy K. Models for strength prediction of foam concrete. *Mater Struct* 2008;41:247–54.
- Nambiar EKK, Ramamurthy K. Models relating mixture composition to the density and strength of foam concrete using response surface methodology. *Cem Concr Comp* 2006;28:752–60.
- Nambiar EKK, Ramamurthy K. Sorption characteristics of foam concrete. *Cem Concr Res* 2007;37:1341–7.
- Narayanan N, Ramamurthy K (2000) Prediction relations based on gel-pore parameters for the compressive strength of Aerated Concrete. *Concr Sci Eng* 1(2):206–212.
- Nawy, Edward G. "A New Formula to Calculate Crack Spacing for Concrete Plates. Paper by E. Rizk and H. Marzouk: Discussion by Edward G. Nawy/AUTHORS'CLOSURE." *ACI Structural Journal* 107.6 (2010): 735.
- Nawy, Edward G., and Benxian Chen. "Deformational behavior of high performance concrete continuous composite beams reinforced with prestressed prisms and instrumented with bragg grating fiber optic sensors." *Structural Journal* 95.1 (1998): 51-60.

- Neville, A.M. and Brooks, J.J. 2010 *Construction Material: Concrete*, Mahidol University, Thailand.
- Otsuki, N., Furuya, D., Saito, T., Tadokoro, Y. 2011, Possibility of Sea Water as Mixing Water in Concrete, 36th Conference on Our World In Concrete & Structures: 14-16 August 2011, Singapore, Article Online Id: 100036021.
- Padmini, A. K., K. Ramamurthy, and M. S. Mathews. "Relative moisture movement through recycled aggregate concrete." *Magazine of concrete research* 54.5 (2002): 377-384.
- PU 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I.-2*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Raju, P.K., Ravindra, V., Bhanusingh, M. 2014, An Investigation on Strengths of Concrete for Marine Works Using OPC and Sea Water, *SSRG International Journal of Civil Engineering*, Volume I, Issue I-Feb 2014.
- Ramamurthy K., Nambiar E. K. K. dan Ranjani G. I. S. 2009. A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement & Concrete Composites* 31(2009): 388 – 396.
- Ren, Xin, and Lianyang Zhang. "Experimental Study of Geopolymer Concrete Produced from Waste Concrete." *Journal of Materials in Civil Engineering* 31.7 (2019): 04019114.
- Ren, Xin, and Lianyang Zhang. "The complete recycling of waste concrete to produce geopolymer concrete." *Geo-Chicago* 2016. 2016. 103-111.

- Sakai, Satoki. "A model for seed size variation among plants." *Evolutionary Ecology* 9.5 (1995): 495-507.
- Samekto, Wuryati, and Candra Rahmadiyanto. "Teknologi beton." Penerbit Kansius, Yogyakarta (2001).
- SNI 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus.
- SNI 03-2417-1991 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- SNI 03-2491-2002 Metode pengujian kuat tarik belah beton." Bandung: Badan Standardisasi Nasional (2002).
- SNI 03-4137-1996. Metode pengujian tebal dan panjang rata-rata agregat
- SNI 03-4804-1998 Pengujian Rongga Udara dalam Agregat.
- SNI 15-2049-2004. Semen Portland, Badan Standardisasi Nasional (BSN)
- SNI 15-7064-2004 Composite Portland Cement National Standardization Agency (BSN).
- SNI 15-7064-2004. Semen Portland komposit
- SNI 15-7064-2004. Semen Portland Komposit, Badan Standardisasi Nasional (BSN)
- SNI 15-7064-2012. Portland Composite Cement, National Standardization Agency (BSN).
- SNI 1969-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.

- SNI 1974: 2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder." Badan Standardisasi Nasional, Jakarta (2011).
- SNI 2417-2008. Cara Uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- SNI 2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung
- Tamai, Hiroki. "Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate." *Procedia Engineering* 125 (2015): 732-738.
- Tjaronge M. W. (2012). *Teknologi, Concrete Technology*, Prentice Hall, 2nd Ed.
- Tjaronge, M. W., Irmawaty, R., Adisasmita, S. A., Amiruddin, A., & Hartini. (2014). Compressive Strength and Hydration Process of Self Compacting Concrete (SCC) Mixed with Sea Water, Marine Sand and Portland Composite Cement. *Advanced Materials Research*, 935, 242-246.
- Tjaronge, M. Wihardi. "Teknologi Bahan Lanjut Semen dan Beton Berongga." Telaga Zamzam, Makassar Indonesia (2012).
- Tjokrodimuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, UGM Pres, Yogyakarta.
- Viantono, Aris. "Penelitian Laboratorium Evaluasi Penggunaan Limbah Batu Bata dari Daerah Godean sebagai Fraksi Agregat Halus dalam Campuran HRS B." (1997).
- Wang, Chu Kia, Charles G. Salmon, and Binsar Hariandja. "Disain beton bertulang edisi keempat jilid 1." (1993).

- Wang, K., et al. "Development of mix proportion for functional and durable pervious concrete." NRMCA concrete technology forum: focus on pervious concrete. Nashville, 2006.
- Wang, P., and C. Zhao. "Study on reducing railway noise by porous concrete sound-absorbing panel." *Materials Research Innovations* 19.sup5 (2015): S5-1156.
- Wegian, F.M. 2010, Effect of Sea Water for Mixing and Curing On Structural Concrete, *The IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, Vol.3, No.4, pp 235-243.
- Xie, Chao, et al. "Study on failure mechanism of porous concrete based on acoustic emission and discrete element method." *Construction and Building Materials* 235 (2020): 117409.
- Xu, Gelong, et al. "Investigation on the properties of porous concrete as road base material." *Construction and Building Materials* 158 (2018): 141-148.
- Y.H. Mugahed Amran, N. Farzadnia, A.A. Abang Ali, Properties and applications of foamed concrete; a review, *Constr. Build. Mater.* 101 (2015) 990–1005.
- Yao, Ailing, et al. "Optimum design and performance of porous concrete for heavy-load traffic pavement in cold and heavy rainfall region of NE China." *Advances in Materials Science and Engineering* 2018 (2018).
- Yao, Xingliang, et al. "Synergistic use of industrial solid waste mixtures to prepare ready-to-use lightweight porous concrete." *Journal of cleaner production* 211 (2019): 1034-1043.

Yoga Sandya, Prihantono, Sittati Musalamah, 2019, "penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Geopolimer" Universitas Negeri Jakarta

Zongjin Li, 2011. *Advanced Concrete Technology*, John Wiley & Sons, Inc, Canada.

Internet

<http://www.variabeton.com/2019/11/beton-porous.html>

https://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/8053/mod_resource/content/2/SPESIFIKASI%20UMUM%202018%20-%20DIVISI%207%20STRUKTUR.pdf.

<https://strong-indonesia.com/artikel/macam-jenis-beton/>

<https://www.pengadaan.web.id/2019/01/beton-prategang.html>

Biodata Singkat



Fauzan Hamdi, S.T., M.T., lahir di Makassar, pada 30 April 1975. Ia tercatat sebagai lulusan S1 Universitas Islam Indonesia, dan lulusan S2 di Universitas Muslim Indonesia. Pria yang kerap disapa Fauzan ini adalah anak dari pasangan Drs. S. Musa Al-Mahdi (ayah/alm) dan Hj. St. Muthiah Djamal (ibu). Fauzan selama ini mengabdikan diri di Universitas Muhammadiyah Makassar dan Ia kerap wara-wiri di dunia konstruksi Indonesia.



Dr. Ir. Franky Edwin Paskalis Lapian, ST., M.Si., MT. lahir di Jayapura pada tanggal 31 Maret 1975. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil, di Universitas Sebelas Maret Surakarta, selesai tahun 2000. Gelar S-2 (M.Si), Administrasi Publik diperoleh pada tahun 2010 di Sekolah Tinggi Ilmu Administrasi (STIA) Jakarta. Gelar S-2 (MT), Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin bidang konsentrasi Transportasi diperoleh pada Tahun 2015. Pada tahun 2019, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2017-sekarang, sementara melanjutkan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin, bidang konsentrasi Eco Material. Saat ini, dipercaya sebagai Kepala Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional (PJN) III Tanah Merah pada Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Merauke Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.



Dr. Ir. Miswar Tumpu, ST., MT., CST lahir di Ujung Pandang pada tanggal 23 Februari 1995. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil, di Universitas Hasanuddin Makassar, selesai tahun 2016. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2018 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Struktur Material. Pada tahun 2019, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2020 mengikuti pelatihan sebagai Construction Safety Trainer (CST) melalui Balai Jasa Konstruksi Wilayah VI Provinsi Sulawesi Selatan. Tahun 2021 telah menyelesaikan studi S-3 ilmu teknik sipil dalam bidang Eco Material dan Rekayasa Gempa Struktur di Universitas Hasanuddin. Pada tahun 2019 bergabung menjadi Dosen di Universitas Fajar. Aktivitas publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional terindeks scopus dimulai sejak tahun 2018.



Mansyur, ST., MT., lahir di Bone pada tanggal 15 Mei 1983. Pada Tahun 2006, menyelesaikan Studi S-1 Teknik Sipil di Universitas Haluoleo. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2013 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Struktur Material. Pada tahun 2019 sampai sekarang, sementara melanjutkan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin. Pada tahun 2014 bergabung menjadi Dosen Tetap di Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Aktivitas publikasi ilmiah baik nasional maupun Internasional dimulai sejak tahun 2017.



Dr. Ir. Irianto, ST., MT lahir di Cabbenge Sopeng pada tanggal 20 Juni 1979. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Pertambangan, di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, selesai tahun 2002. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2012 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Perencanaan Infrastruktur. Pada tahun 2020, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2021, menyelesaikan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin. Merupakan salah satu Dosen di Universitas Yapis Papua.



Dr. Ir. Didik Suryamiharja S. Mabui, ST., MT., IPM lahir di Kota Serui Kepulauan Yapen pada tanggal 08 Juli 1980. Menyelesaikan kuliah pada Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) dan mendapat gelar Sarjana Teknik Sipil pada tahun 2004. Kemudian melanjutkan Program Magister pada Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) dan menyandang gelar Magister Teknik pada tahun 2010. Lulus pada tahun 2020 dari Universitas Hasanuddin Program Doktor Teknik Sipil. Pada tahun 2010 bergabung menjadi Dosen Universitas Yapis Papua. Tahun 2021 diamanahkan tanggungjawab sebagai Wakil Rektor III di Universitas Yapis Papua (Uniyap). Program Program Studi Teknik Sipil di Lingkungan Fakultas Teknik dan Sistem Informasi Universitas Yapis Papua hingga sekarang. Aktifitas menulis buku dimulai sejak tahun 2020.



Dr. Ir. Adri Raidyarto, ST, MMT. Lahir di Ujung Pandang, 4 Juli 1968. Pendidikan SD di SDN Sukarasa 3 Bandung, SDN 5 Banjar, dan SDN Sukarasa 5 Bandung (1975-1981). Pendidikan SMP di SMP Pasandan 3 Bandung dan SMPN 1 Jayapura (1981-1984). Dan Pendidikan SMA di SMAN 2 Jayapura (1984-1987). Pada Tahun 1993, menyelesaikan Studi S-1 Teknik dan Manajemen Industri di Institut Teknologi Nasional Bandung. Pendidikan S-2 Teknik Perencanaan Wilayah Kota diperoleh pada tahun 2002 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, pada bidang konsentrasi Manajemen Perkotaan. Pada tahun 2016 sampai sekarang, sementara melanjutkan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin. Pada tahun 1995 hingga 2007 bergabung menjadi Dosen Tetap di Universitas Sains dan Teknologi Jayapura, Jabatan yang pernah disandang adalah Kasubbag Kemahasiswaan, Kaprodi Teknik Industri, Wakil Dekan Akademik, dan Kepala Lembaga Penelitian. Tahun 2007 – hingga sekarang bergabung di Universitas Yapis Papua, jabatan yang pernah disandang adalah Kaprodi Manajemen S2, Dekan Teknik dan Sistem Informasi. Aktivitas diluar kampus, sebagai Konsultan Dana Bantuan Operasional Sekolah Papua (2001-2010), dan Sekretaris di Dewan Teknologi Informasi Komunikasi Provinsi Papua (2014-2019). Publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional dimulai sejak tahun 2000.



Ardi Azis Sila, ST.,M.Eng. lahir di Pangkajene pada tanggal 17 Oktober 1984. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil, di Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar, selesai tahun 2009. Gelar S-2 (M.Eng), Bidang Konsentrasi Teknik Struktur diperoleh pada tahun 2014 di Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta. Pada tahun 2021 sampai sekarang sementara melanjutkan studi S-3 Ilmu Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin, Bidang Konsentrasi Teknik Struktur. Saat ini bekerja sebagai staf pengajar pada Universitas Yapis Papua Jayapura. Selain sebagai Tenaga Pengajar keseharian penulis adalah sebagai Tenaga Ahli Perencanaan Jembatan pada Kementerian PUPR dan juga aktif pada pekerjaan Manajemen Konstruksi untuk pembangunan Gedung di Jayapura Papua.



DR. Masdiana, ST., MT. lahir di Kota Ujung Pandang Sulawesi Selatan tanggal 15 Januari 1974 Alamat Jl Cakalang No.17 Kota Kendari email masdiana.unhalu@gmail.com tercatat menyelesaikan Sarjana Teknik (S1) Jurusan Teknik Sipil di Universitas Muslim Indonesia Makassar (UMI) tahun 1999, Program Magister Teknik (S2) Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Struktur di Universitas Hasanuddin tahun 2014 dan Program Doktor Ilmu Teknik (S3) Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Struktur di Universitas Hasanuddin tahun 2018. Beliau salah satu dosen tetap PNS di Program Pendidikan Vokasi Program Studi Teknik Sipil Universitas Halu Oleo Kendari Sulawesi Tenggara yang mengampu mata kuliah struktur. Telah menulis buku antara lain

"Lalu Lintas Penerbangan di Masa Pandemi COVID-19", "Mitigasi Gempa Bumi dan Tsunami", "Mitigasi Banjir", "Modernisasi Transportasi Massal di Indonesia (Sarana dan Prasarana)", "Media Pembelajaran", "Perencanaan Perkerasan Jalan" , "Business Process Procement", "Dosen Merdeka", "Teknologi Bahan dan Material" dan "Pengembangan Media Pembelajaran"



Parea Rusan Rangan, lahir di Rantepao pada tanggal 15 Maret 1968. Ia menyelesaikan kuliah dan mendapat gelar Sarjana Teknik pada 14 September 1994. Ia merupakan alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar. Pada tahun 2005 mengikuti Program Magister Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2007 dari Universitas Pelita Harapan, Jakarta. Pada tahun 2020 berhasil menyelesaikan gelar Doktor pada bidang Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin, Makassar. Pada tahun 2003 diangkat menjadi Dosen UKI Toraja dan ditempatkan di Fakultas Teknik pada program studi Teknik Sipil.



Dr. Ir. Hamkah, M.T., lahir di Kota Ujung Pandang pada tanggal 27 Januari 1964. Menyelesaikan kuliah di Universitas Hasanuddin Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan mendapat gelar Insinyur (Ir.) pada tahun 1988. Kemudian melanjutkan Program Magister pada Universitas Brawijaya dan menyanggah gelar Magister Teknik pada tahun 2004. Lulus pada tahun 2018 di Universitas Hasanuddin Program Doktorat Teknik Sipil. Sejak tahun 1994 bergabung menjadi Dosen Politeknik

Negeri Ambon. Tahun 1988 s.d. 1993 bekerja sebagai Kontraktor di PT. Tuju Wali Wali, 1993 hingga kini aktif sebagai Penyedia Jasa Konsultansi. Aktifitas menulis buku dimulai tahun 2019 dan baru mencatat 1 buku yang ditulis yaitu berjudul "**Rekayasa Perkerasan Jalan Beton**".

TEKNOLOGI BETON

Beton adalah bahan komposit yang terbuat dari beberapa material, yang menggunakan bahan utama yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air dan material tambahan jika dibutuhkan dengan komposisi tertentu. Beton adalah material komposit, oleh karena itu kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya. Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur. Bisa dikatakan semua bangunan struktur dibangun menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, contohnya yaitu struktur gedung, struktur bangunan air, struktur bangunan transportasi dan banyak lagi bangunan struktur lainnya. Salah satu kelebihan beton yaitu mampu menahan beban tekan, perubahan cuaca, suhu yang tinggi, dapat dibentuk dan mudah dirawat.

Berkembangnya ilmu pengetahuan khususnya di bidang konstruksi, maka material penyusun beton juga mengalami perkembangan. Sebagian produsen semen di Indonesia sudah mengadopsi semen kombinasi (blended cement) yang sudah dibesarkan terlebih dulu di sebagian negeri di Eropa, Amerika, Jepang serta lain- lain, salah satunya adalah abu terbang sebagai salah satu material pozzolan yang bisa dicampur bersama klinker semen buat memproduksi semen kombinasi. Dalam dekade terakhir, di Indonesia, bersumber pada pertimbangan konservasi alam, pengurangan limbah semacam abu terbang, penyusutan emisi CO₂ serta faktor- faktor lain yang terpaut dengan pembangunan infrastruktur berkepanjangan, sudah terdapat kecenderungan yang kokoh ke arah pengembangan akumulasi alternatif buat pembuatan semen kombinasi ramah lingkungan semacam semen portland komposit (Portland Composite Cement). Banyak upaya sudah dicoba untuk mengurangi jejak karbon industri semen, misalnya i) tingkatkan efisiensi tenaga; ii) mengubah bahan bakar fosil dengan sumber tenaga alternatif semacam residu hewan, lumpur limbah serta minyak limbah; iii) substitusi semen Portland tradisional dengan bahan semen alternatif, semacam slag furnace serta abu pembakaran batubara serta masih banyak lagi teknologi lain yang diterapkan.

TOHAR MEDIA

No Anggota IKAPI : 022/SSL/2019
Workshop : JL. Kanjovank (Pintu 0 workshop UNHAS)
Redaksi : JL. Hamzah dg Tompa Kabupaten Gowa
Perumahan Nayla Regency Blok D No 25
Telp. (0411) 8987659/ 085299993635
<https://toharmedia.co.id>

ISBN 978-623-5603-29-2

