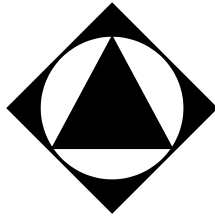


LAPORAN PENELITIAN



KAJIAN KANDUNGAN OPTIMUM ABU TERBANG PADA BETON YANG MENGUNAKAN SEMEN PPC DAN PCC

Penyusun :

Abinhot Sihotang, ST., MT NIP. 119970301

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG
Januari 2018**

Halaman Pengesahan

Judul : Kajian Kandungan Optimum Abu Terbang Pada Beton
Yang Menggunakan Semen PPC dan PCC

Ketua Peneliti:

Nama : Abinhot Sihotang, ST., MT
NIDN : 0420027201/ 119970301
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 0878 2312 1372
Alamat e-mail : abin@itenas.ac.ud

Bandung, Januari 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil




Yessi Nirwana Kurniadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 120130805

Ketua Peneliti,



Abinhot Sihotang, ST., MT
NIP. 119970301

Menyetujui,

Kepala
Lembaga Penelitian dan Pengabdian
Masyarakat




Dr. Tarsisius Kristyadi, ST., MT
NIP. 119960604

Dekan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan




Abinhot Sihotang, ST., MT
NIP. 119970301

DAFTAR ISI

Halaman

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Beton	4
1.2 Bahan Pembentuk Beton	4
1.2.1 Agregat	4
1.2.2 Air	7
1.3 Semen PCC (<i>Portland Composite Cement</i>)	7
1.4 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	9
1.4.1 Jenis-jenis <i>Fly ash</i>	9
1.4.2 Persyaratan <i>Fly ash</i>	10
1.4.3 Peran dan Manfaat <i>Fly ash</i>	12
1.5 Perencanaan Campuran Beton (<i>Concrete Mix Design</i>)	12
1.6 Sifat Mekanis Beton	13
1.7 Penelitian Terdahulu	14

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian	18
3.2 Pemeriksaan Bahan	18
3.2.1 Agregat Kasar	18
3.2.2 Agregat Halus	20
3.2.3 Semen	21
3.3 Perancangan Komposisi Beton	22
3.4 Pengujian <i>Slump</i>	27

3.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	28
3.5.1 Langkah Kerja	28
3.5.2 Benda Uji tanpa <i>Fly ash</i>	29
3.5.3 Benda Uji dengan <i>Fly ash</i>	29
3.5.4 Perawatan (<i>Curing</i>)	29
3.6 Pengujian Benda Uji	29
3.6.1 Uji Kuat Tekan	29
3.6.2 Uji Kuat Tarik Belah	30
3.6.3 Uji Kuat Tarik Lentur	30
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pemeriksaan Bahan	32
4.1.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	32
4.1.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus	32
4.1.3 Kandungan Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	34
4.1.4 Semen PCC (<i>Portland Composite Cement</i>)	35
4.2 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	36
4.3 Hasil Uji <i>Slump</i> Beton	40
4.4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton	41
4.3 Hasil Uji Kuat Tarik Belah	45
4.3 Hasil Uji Kuat Lentur	45
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara umum, penggunaan bahan ikat di Indonesia masih menggunakan semen *portland*. Seiring dengan berkembangnya teknologi, semen portland mengembangkan atau membuat jenis semen varian baru salah satunya yaitu, *Portland Composite Cement* (PCC). Berdasarkan SNI 7064:2014 tentang Spesifikasi Semen *Portland* Komposit, *Portland Composite Cement* (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik antara lain *pozzolan*, senyawa silikat, dan batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari *massa* semen.

Salah satu bahan tambahan yang dapat digunakan yaitu limbah abu terbang (*fly ash*). Limbah abu terbang di Indonesia, dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan banyaknya penggunaan batubara. Jumlah *fly ash* yang cukup besar, memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan seperti pencemaran udara atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem. Oleh sebab itu, maka harus dilakukan penelitian mengenai pengaruh abu terbang sebagai bahan campuran beton. Pada penelitian sebelumnya, abu terbang (*fly ash*) dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton dengan cara substitusi semen oleh abu terbang. Kadar substitusi semen oleh abu terbang, maksimal 20 % dari berat semen (Novena, 2017).

Penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian mengenai pengaruh abu terbang sebagai bahan campuran beton yang menggunakan semen portland komposit. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi permasalahan yang ditimbulkan oleh abu terbang dan juga dapat menekan biaya pembuatan beton, sehingga menjadi lebih ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Abu terbang (*fly ash*) dimanfaatkan sebagai bahan campuran pada beton yang menggunakan semen portland. Pada penelitian ini, *fly ash* juga dimanfaatkan pada beton yang menggunakan semen portland komposit. Kadar *fly ash* menentukan kuat tekan pada campuran beton. Oleh karena itu, untuk mendapatkan kuat tekan terbaik perlu diketahui kadar optimum *fly ash*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar optimum *fly ash* pada beton yang menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC), ditinjau dari kekuatan beton yang setinggi-tingginya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diantaranya:

1. Memanfaatkan limbah abu terbang sebagai campuran beton, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Menghasilkan beton dengan kekuatan yang *relative* sama dan menekan biaya menjadi lebih ekonomis.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

- a) Pengujian kuat tekan beton pada semen *PCC* dengan komposisi kadar penggunaan abu terbang (*fly ash*) sebesar 10% , 15%, 20%, dan 25% dari berat semen.
- b) Pengujian kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton dengan komposisi kadar abu terbang (*fly ash*) yang optimum.
- c) Perancangan komposisi beton menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan Laporan Penelitian ini terdiri dari:

1. BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan sistematis dari teori, temuan, dan bahan lain yang diperoleh dari sumber pustaka yang dijadikan landasan untuk melakukan penelitian.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi uraian rinci tentang prosedur penelitian, bahan atau materi, alat, variabel, parameter, dan model yang digunakan.

4. BAB IV DATA DAN ANALISIS DATA

Bab ini memuat hasil penelitian dan pembahasan yang sifatnya terpadu. Penyajian hasil penelitian dapat disertai tabel, grafik, foto atau bentuk lain. Pembahasan tentang hasil yang diperoleh berupa penjelasan teoritis baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan merupakan uraian singkat untuk menjawab tujuan penelitian berdasarkan hasil penelitian, sedangkan saran memuat berbagai usulan/pendapat serta berbagai kesulitan yang dijumpai selama penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran yang homogen antara semen, air, dan agregat. Karakteristik beton adalah mempunyai kuat tekan yang tinggi serta kuat tarik yang rendah. Sifat-sifat beton segar yang paling penting adalah kemudahan pengerjaan (*workability*/keleccakan). Sifat ini merupakan ukuran tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan serta tidak terjadi pemisahan /*segregasi*. Sifat ini dipengaruhi oleh perbandingan bahan-bahan dan sifat bahan-bahan pembentuk beton secara bersama-sama. Tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) berkaitan erat dengan tingkat keleccakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton maka makin mudah dikerjakan. Untuk mengukur tingkat keleccakan dilakukan pengujian *slump* (Pujianto, 2015).

Pengujian *slump* merupakan salah satu jenis pengujian terhadap adukan beton, parameternya adalah kadar air dalam beton. Kandungan air ini berkaitan dengan konsistensi kekentalan beton dan kegiatan pelaksanaannya. Pengujian *slump* dikerjakan dengan menggunakan kerucut Abrams.

Sifat-sifat beton keras yang penting adalah kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, modulus elastisitas, susut dan rangkak, dan kecedapan terhadap air. Dari semua sifat tersebut yang terpenting adalah kekuatan tekan beton karena merupakan gambaran dari mutu beton yang ada kaitannya dengan struktur beton. Berbagai *test* uji kekuatan dilakukan pada beton keras ini antara lain:

1. Uji kekuatan tekan (*compression test*);
2. Uji kekuatan tarik belah (*splitting tensile test*);
3. Uji kekuatan lentur (*modulus of rupture*); dan 4. Uji Modulus Elastisitas (*modulus of elasticity test*).

2.2 Material Pembentuk Beton

2.2.1 Agregat

Agregat adalah salah satu dari bahan material beton yang berupa sekumpulan batu pecah, kerikil, dan pasir (baik berupa hasil alam atau lainnya). Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Agregat terbagi menjadi agregat halus dan agregat kasar.

Agregat halus merupakan bahan pengisi diantara agregat kasar sehingga menjadikan ikatan lebih kuat. Agregat halus yang baik, tidak mengandung lumpur 5% lebih besar dari beratnya dan tidak mengandung bahan organis lebih banyak.

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm yang berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi. Agregat halus yang digunakan dalam adukan beton, harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butirannya harus bersifat kekal.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat keringnya.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.

Agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan sesuai SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, sesuai dengan Tabel 2.1. Selain harus memenuhi gradasi yang disyaratkan, agregat halus juga harus memiliki karakteristik yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Batasan Susunan Butiran Agregat Halus

Ukuran Saringan (Ayakan)	% Lolos Saringan (Ayakan)			
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
	Gradasi No. 1	Gradasi No. 2	Gradasi No. 3	Gradasi No. 4
9,50 mm / 3/8"	100	100	100	100
4,75 mm / No.4	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,36 mm / No.8	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,18 mm / No.16	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,60 mm / No.30	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,30 mm / No.50	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15 mm / No.100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.2 Standar Acuan untuk Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pengujian	Standar		
	Min	Maks	Acuan
Berat Jenis Semu	2,3	2,9	ASTM.C-127
Berat Jenis Kondisi Kering			
Berat Jenis SSD / Jenuh Kering Permukaan			
Penyerapan (%)	-	5%	PB-0202-76
Modulus Kehalusan	2,5	3,5	SNI-90
Berat Isi Padat	1,2	1,75	ASTM.C-29
Berat Isi Lepas			

Menurut SNI 1969-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 37,5 mm (No. 1½ inci). Syarat-syarat agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori.
2. Agregat kasar terdiri dari butiran pipih dan panjang, hanya bisa dipakai jika jumlah butiran pipih dan panjang tidak melebihi dari 20% berat agregat seluruhnya.
3. Butir-butir agregat harus bersifat kekal (tidak pecah atau hancur) oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, contohnya zat-zat reaktif dari alkali.
5. Lumpur yang terkandung dalam agregat kasar tidak boleh lebih dari 1% berat agregat kasarnya, apabila lebih dari 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu dengan air yang bersih.
6. Besar butiran agregat maksimum tidak boleh lebih dari jarak terkecil antar bidangbidang samping dari cetakan, dari tebal plat, atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antara batang-batang atas berkas tulangan.
7. Agregat kasar terdiri dari butir-butir beraneka ragam besarnya dan tidak melewati saringan 4,75 mm.

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, ukuran agregat kasar harus memenuhi persyaratan gradasi melalui analisis saringan seperti pada Tabel 2.3. Selain harus memenuhi gradasi yang disyaratkan, agregat kasar juga harus memiliki karakteristik seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Analisis Agregat Kasar

Ukuran Saringan (Ayakan)	% Lolos Saringan (Ayakan)		
	Ukuran Maks.	Ukuran Maks.	Ukuran Maks.
	10 mm	20 mm	40 mm
75,0 mm / 3"	-	-	100 - 100
37,5 mm / 1 ½ "	-	100 - 100	95 - 100
19,0 mm / ¾ "	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,5 mm / ⅜"	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,75 mm / No.4	0 - 10	0 - 10	0 - 5

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 2.4 Standar Acuan untuk Karakteristik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Standar		
	Min	Maks	Acuan
Berat Jenis Semu	2,4	2,9	ASTM.C-127
Berat Jenis Kondisi Kering			
Berat Jenis SSD / Jenuh Kering Permukaan			
Penyerapan (%)	-	3%	PB-0202-76
Modulus Kehalusan	6	8	SNI-90
Berat Isi Padat	1,2	1,75	ASTM.C-29
Berat Isi Lepas			

2.2.2 Air

Air sangat diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, fungsi dari air sendiri sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, karena air tersebut harus bebas dari material organik. Syarat air menurut SNI 032847-2002 adalah:

- 1) Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
- 2) Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- 3) Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama dan hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

2.3 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Berdasarkan SNI 7064:2014 tentang Spesifikasi Semen *Portland* Komposit, *Portland Composite Cement* (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama klinker semen *Portland* dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *Portland* dengan bubuk bahan anorganik lain.

Bahan anorganik antara lain *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen.

Kadar silika yang tinggi dari bahan pozzolan tersebut akan menyebabkan jenis semen ini agak lambat mengeras dan panas hidrasinya rendah, namun kekuatan beton masih dapat meningkat lagi secara signifikan saat berumur 28 hari. Walaupun kekuatan awalnya relatif rendah, namun dengan perawatan yang baik dan teratur bisa menghasilkan kekuatan akhir yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan semen portland normal.

a) Penggunaan

Penggunaan semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pemasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding, dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, panel beton, bata beton, dan sebagainya.

b) Syarat Mutu

Syarat kimia untuk semen portland komposit menurut SNI 7064:2014, SO_3 maksimum 4,0 % (Tabel 2.5). Sedangkan syarat fisika semen portland komposit terdapat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Perbandingan Syarat Kimia PC dan PCC

No	Uraian	Jenis Semen Portland (%)					Semen Portland Komposit (%)
		I	II	III	IV	V	
1	SiO_2 , min	-	20,0	-	-	-	-
2	Al_2O_3 , maks	-	6,0	-	-	-	-
3	Fe_2O_3 , maks	-	6,0	-	6,5	-	-
4	MgO, maks	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	-
5	SO_3 , maks						4,0
	Jika $C_3A \leq 8,0$	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3	
	Jika $C_3A > 8,0$	3,5	-	4,5	-	-	
6	Hilang pijar, maks	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0	-
7	Bagian tak larut, maks	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	-
8	C_3S , maks	-	-	-	35	-	-
9	C_2S , min	-	-	-	40	-	-
10	C_3A , maks	-	8,0	15	7	5	-
11	$C_4AF + 2C_3A$ atau $C_4AF + C_2F$, maks	-	-	-	-	25	-

(Sumber: SNI 7064-2014 dan SNI 2049-2004)

Tabel 2.6 Perbandingan Syarat Fisika PC dan PCC

Uraian	Satuan	Semen Portland Komposit	Jenis Semen Portland				
		Persyaratan	I	II	III	IV	V
Kehalusan dengan <i>blaine</i> , min	m ² /kg	280	280	280	280	280	280
Kekekalan bentuk dengan <i>autoclave</i> , max							
Pemuaian	%	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Penyusutan	%	0,20	-	-	-	-	-
Waktu Pengikatan dengan alat <i>vicat</i> , min							
Pengikatan awal	menit	45	45	45	45	45	45
Pengikatan akhir	menit	375	375	375	375	375	375
Waktu Pengikatan dengan alat <i>gillmore</i> , min							
Pengikatan awal	menit	-	60	60	60	60	60
Pengikatan akhir	menit	-	600	600	600	600	600
Kuat Tekan, min							
Umur 3 hari	kg/cm ²	125	125	100	240	-	80
Umur 7 hari	kg/cm ²	200	200	175	-	70	150
Umur 28 hari	kg/cm ²	250	280	-	-	170	210
Pengikatan semu							
Penetrasi Akhir, min	%	50	-	-	-	-	-
Kandungan udara dalam mortar, max	% volume	12	-	-	-	-	-

(Sumber: SNI 7064-2014 dan SNI 2049-2004)

2.4 Abu Terbang (*Fly ash*)

SNI 03-6863-2002 mendefinisikan pengertian *fly ash* / abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap, yang berbentuk halus, bundar, serta bersifat pozolanik.

Fly ash mengandung unsur kimia antara lain *silica* (SiO₂), *alumunia* (Al₂O₃), *fero oksida*, (Fe₂O₃), dan *kalsium oksida* (CaO) serta mengandung unsur tambahan lain yaitu *magnesium oksida* (MgO), *titanium oksida* (TiO₂), *alkalin* (Na₂O dan K₂O), *sulfur trioksida* (SO₃), *pospor oksida* (P₂O₅), dan *carbon* (C).

2.4.1 Jenis-jenis *Fly ash*

Ada beberapa jenis *fly ash* menurut SNI 2460-2014 tentang Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozzolan Alam Mentah atau yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan dalam Beton, abu batubara (*fly ash*) digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

- Kelas N

Buangan atau pozzolan alam terkalsinasi yang dipenuhi dengan kebutuhan yang memenuhi syarat yang dapat dipakai sesuai kelasnya, seperti beberapa tanah *diatomaceous*, *opalinse chert* dan serpihan-serpihan *tuff* dan debu-debu vulkanik atau *pumicities*, dan bahan-bahan lainnya yang mungkin masih belum terproses oleh kalsinasi, dan berbagai material yang memerlukan kalsinasi untuk memperoleh sifat-sifat yang memuaskan, misalnya beberapa jenis tanah liat dan serpihan-serpihan.

b) Kelas F

Abu batubara yang umumnya diproduksi dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilat) atau bitumen-bitumen batubara yang memenuhi syarat-syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batubara jenis ini memiliki sifat *Pozzolanic*.

c) Kelas C

Abu batubara yang umumnya diproduksi dari *lignite* atau batubara subitumen yang memenuhi syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batubara kelas ini, selain memiliki sifat pozzolan juga memiliki beberapa sifat yang lebih menyerupai semen. Untuk beberapa abu batubara kelas C bisa mengandung kapur lebih tinggi dari 10 %.

2.4.2 Persyaratan *Fly ash*

Persyaratan abu terbang sebagai bahan pengikat tambahan pada beton adalah sebagai berikut:

a) Persyaratan umum

Abu terbang yang akan digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan, seperti:

- a. Abu terbang berasal dari limbah hasil pembakaran batu bara dari tungku pembangkit listrik tenaga uap yang terbawa gas buangan cerobong asap
- b. Proses penyimpanan abu terbang di pembangkit listrik tenaga uap/di lokasi produksi harus terpisah dari dan penyimpanan abu dasar (*bottom ash*)
- c. Sifat dan karakteristik abu terbang hampir sama dengan semen *portland* sehingga dalam penanganannya harus sama dengan penanganan semen *portland*, dimana abu terbang tersimpan dalam wadah kedap udara dan kedap air, sehingga tidak akan berterbangan apabila dilakukan pengangkutan maupun penyimpanan, tidak

terkena air hujan maupun sumber air yang lain sehingga tidak akan bereaksi dengan air atau udara apabila disimpan dalam waktu yang lama.

- d. Abu terbang yang baru datang tidak boleh dicampur penyimpanannya dengan abu terbang yang sudah ada, sehingga penggunaan abu terbang harus dilakukan menurut urutan produksi dan pengiriman.

b) Persyaratan kimia

Persyaratan abu terbang yang digunakan pada beton harus memenuhi persyaratan kimia dan fisik seperti yang telah diuraikan pada SNI 2460-2014. Persyaratan kimia abu terbang kelas C dan kelas F untuk campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Persyaratan Kimia Abu Terbang untuk Campuran Beton

Uraian	Kelas	
	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min, %	70	50
SO_3 , maks, %	5	5
Kadar air, maks, %	3	3
Hilang pijar, maks, %	6	6
CaO	<10%	>10%

(Sumber: SNI 2460-2014)

c) Persyaratan fisik

Persyaratan fisik abu terbang kelas F sesuai dengan SNI 2460-2014 dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Persyaratan Fisika Abu Terbang Kelas F untuk Campuran Beton

Uraian	Abu Terbang Kelas F
Kehalusan: Jumlah yang tertinggal di atas ayakan 45 μm (No. 325) diayak secara basah, maks, %	34
Indeks aktifitas kekuatan: ^A	
dengan semen portland, pada umur 7 hari, min, persen <i>control</i>	75 ^B
dengan semen portland, pada umur 28 hari, min, persen kontrol	75 ^B
Kebutuhan air, maks, persen control	105
Kekekalan bentuk (<i>Soundness</i>): ^C Ekspansi atau penyusutan dengan <i>autoclave</i> , maks, %	0,8
Persyaratan keseragaman:	
Densitas dan kehalusan dari sampel individu tidak boleh	5

bervariasi dari rata-rata 10 sampel atau dari seluruh sampel jika jumlahnya kurang dari 10, lebih dari:	
Densitas, variasi maksimal dari rata-rata, % Persentase bahan yang tertinggal pada ayakan 45 μm , (No. 325), variasi maksimal, persentase dari rata-rata	5

(Sumber: SNI 2460-2014)

d) Persyaratan pengujian

Abu terbang yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi proses pengujian sebagai berikut:

- Untuk menentukan kelas abu terbang harus dilakukan pengujian analisis abu terbang dimana metode yang digunakan sesuai dengan ASTM D 4326-11.
- Apabila abu terbang yang telah diuji kemudian disimpan selama jangka waktu lebih dari 6 bulan, maka sebelum dilakukan pengiriman kepada pengguna harus dilakukan pengujian ulang. Berdasarkan literatur dan hasil penelitian abu terbang kelas F dapat digunakan dalam campuran beton sebagai bahan pengikat tambahan sampai dengan 42% dari total bahan bersifat semen. Jumlah optimal abu terbang untuk campuran beton pada setiap pekerjaan ditentukan dengan sifat-sifat beton yang diperlukan dan bahan penyusun lainnya. Jumlah optimal abu terbang ditetapkan dengan pengujian.

2.4.3 Peran dan Manfaat *Fly ash*

Beberapa sifat atau karakter dari *fly ash*, yang diharapkan untuk dimanfaatkan dan memberikan kelebihan bagi campuran beton adalah:

- ukuran partikel *fly ash* yang sangat halus membuat *fly ash* mampu mengisi celah kecil dalam komposisi adukan beton, sehingga meningkatkan kepadatan beton lebih *impermeable* (kedap air), lebih tahan terhadap abrasi, dan memperkecil susut beton;
- mengurangi potensi *bleeding* dan segregasi;
- membuat biaya produksi beton menjadi lebih murah, karena secara ekonomis *fly ash* lebih murah dari semen;

Selain manfaat di atas, kandungan SiO_2 pada abu terbang dapat berperan pada proses reaksi hidrasi. SiO_2 akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 , sehingga dapat mengurangi kadar Ca(OH)_2 dan meningkatkan kekuatan pada beton.

2.5 Perencanaan Campuran Beton (*Concrete Mix Design*)

Mix Design adalah proses merancang dan memilih bahan yang cocok serta menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan

tertentu dan se-ekonomis mungkin (Putra, 2012). Terdapat banyak cara/metoda dalam merancang campuran beton, diantaranya metoda SNI (Standar Nasional Indonesia). Proses perencanaan campuran menurut metoda SNI, dapat dilihat pada langkah-langkah di bawah ini:

- 1) Tentukan kuat tekan rerata yang ditargetkan,
- 2) hitung faktor air-semen W/C,
- 3) hitung jumlah air yang dibutuhkan 1m³ beton,
- 4) hitung jumlah semen yang dibutuhkan dalam 1m³ beton,
- 5) hitung jumlah agregat gabungan,
- 6) hitung volume pasir dan volume batu pecah dari agregat gabungan.

2.6 Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik beton dapat diklasifikasikan menjadi sifat jangka panjang dan sifat jangka pendek. Sifat jangka panjang adalah rangkai dan susut, sedangkan sifat jangka pendek adalah kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas. Sifat mekanik beton yang dibahas dalam penelitian ini adalah kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur.

a. Kuat Tekan (f'_c)

Kuat tekan beton dijadikan acuan dalam menentukan mutu suatu material beton. Pada umumnya sifat mekanik beton lainnya dapat diperkirakan berdasarkan kuat tekannya.

Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Nilai kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c), diperoleh dari benda uji silinder standar yang dirawat dan telah berumur 28 hari. Banyak hal yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton, di antaranya adalah rasio air-semen, jenis semen dan bahan tambahan (*admixture*) yang digunakan, agregat, kondisi kelembaban udara saat masa perawatan benda uji, serta umur beton saat diuji. Kuat tekan dihitung dari beban tekan maksimum yang dapat ditahan, dibagi dengan luas penampang benda uji.

$$f'_c = \frac{P}{A}(\text{MPa}) \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

f'_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan maksimum yang dapat ditahan (Newton) A =

Luas penampang silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm

b. Uji Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik beton dilakukan dengan uji pecah belah silinder. Silinder diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji, dan ditekan. Besar gaya tekan yang menyebabkan benda uji terbelah menjadi dua bagian dicatat. Kuat tarik beton dapat diketahui dengan dua kali beban ultimit yang kemudian dibagi dengan luas daerah yang didesak sepanjang silinder yang direbahkan.

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

- f_t = Kuat Tarik Beton (MPa)
- P = Beban hancur (N)
- L = Panjang daerah yang ditekan (mm) D = Diameter daerah yang ditekan (mm)

c. Kuat Tarik Lentur

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan, untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997). Sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi, dan oleh sebab itu timbul momen-momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Rumus kuat tarik lentur, dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$f_r = \frac{PL}{bh^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

- f_r = Kuat Tarik Lentur (MPa)
- P = Beban pada waktu lentur (N) L = Panjang atau bentang tumpuan (mm) b = Lebar penampang balok (mm) h = Tinggi penampang balok (mm)

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang perancangan beton dengan cara mensubstitusi sebagian semen oleh abu terbang, telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti dengan berbagai macam cara. Mardiono (2011) dari Universitas Gunadarma Jakarta, merancang komposisi campuran beton abu terbang dengan metode SNI. Abu terbang yang digunakan adalah abu terbang kelas C dari PLTU Suralaya. Faktor air semen diperoleh sebesar 0,420 dan proporsi campuran dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Proporsi per m³ Campuran Beton

Bahan Campuran	Varian Campuran				
	Campuran Dasar (kg)	Campuran 1 (kg)	Campuran 2 (kg)	Campuran 3 (kg)	Campuran 4 (kg)
Air	200,3	200,4	189,2	189,2	189,3
Semen	476,9	429,4	360,4	315,4	270,4
<i>Fly Ash</i>	-	47,7	90,1	135,2	180,3
Kerikil	995,3	995,3	1009,2	1009,2	1009,2
Pasir	622,5	635,3	639,6	632,9	626,1

(Sumber: Mardiono, 2011)

Setelah dilakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. Kuat tekan yang direncanakan (f'_c) sebesar 40 MPa, sebanyak 60 sampel yang terdiri dari 5 (lima) variasi campuran, masing-masing variasi dibuat 12 sampel. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Hasil Kuat Tekan Rata-rata pada Umur 28 Hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)
BN	40,85
B10	41,57
B20	41,28
B30	35,57
B40	33,91

(Sumber: Mardiono, 2011)

Dari Tabel 2.10, terlihat bahwa kuat tekan rata-rata tertinggi pada umur 28 hari diperoleh pada campuran beton dengan penggantian semen oleh *fly ash* 10% (B10) yaitu sebesar 41,57 MPa dan kuat tekan rata-rata terendah diperoleh pada campuran beton dengan penggantian semen oleh *fly ash* 40% (B40) yaitu sebesar 33,91 MPa. Data di atas menunjukkan bahwa dengan penggantian sebagian semen oleh 10% *fly ash* mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan beton variasi campuran *fly ash* lainnya.

Selanjutnya pada penelitian Kusuma (2013) dari Universitas Riau Pekanbaru, melakukan penelitian yang sama seperti pada penelitian Mardiono (2011) dengan metode ACI. Proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.11, Tabel 2.12, dan Tabel 2.13.

Tabel 2.11 Komposisi Campuran Beton per m³ untuk f'_c 10 MPa

% Abu Terbang	Semen (kg)	Bt. Pecah (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Abu Terbang (kg)
0	287,52	971,09	785,35	178,55	0
10	257,77	971,09	785,35	178,55	28,75
20	201,26	971,09	785,35	178,55	57,50
30	115,01	971,09	785,35	178,55	86,26

(Sumber: Kusuma, 2013)

Tabel 2.12 Komposisi Campuran Beton per m³ untuk f'_c 17,5 MPa

% Abu Terbang	Semen (kg)	Bt. Pecah (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Abu Terbang (kg)
0	358,25	971,09	728,39	180,10	0
10	322,43	971,09	728,39	180,10	35,83
20	250,78	971,09	728,39	180,10	71,65
30	143,30	971,09	728,39	180,10	107,48

(Sumber: Kusuma, 2013)

Tabel 2.13 Komposisi Campuran Beton per m³ untuk f'_c 25 MPa

% Abu Terbang	Semen (kg)	Bt. Pecah (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Abu Terbang (kg)
0	442,50	971,09	660,55	181,94	0
10	398,25	971,09	660,55	181,94	44,25
20	309,75	971,09	660,55	181,94	88,50
30	177,00	971,09	660,55	181,94	132,75

(Sumber: Kusuma, 2013)

Pada umur beton 7 hari akan dilakukan analisis awal untuk seluruh variasi campuran. Setelah didapatkan variasi substitusi semen yang optimum, maka variasi tersebut yang akan dilanjutkan untuk pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dan 90 hari. Tabel 2.14 menunjukkan hasil kuat tekan pada umur 7 hari.

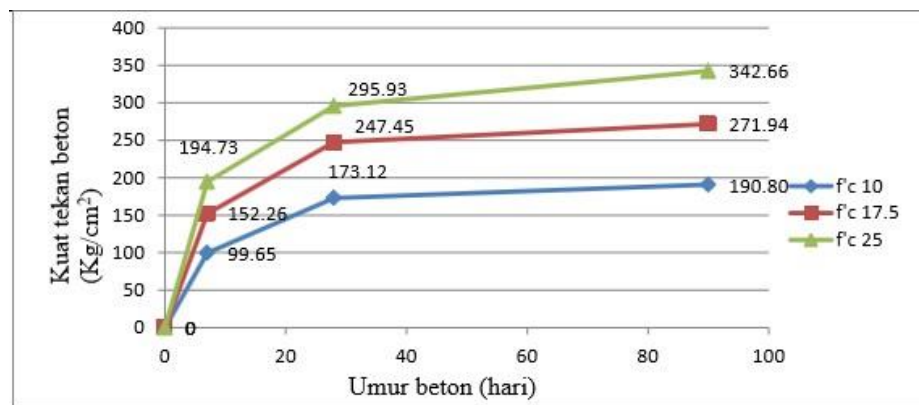
Tabel 2.14 Hasil Kuat Tekan pada Umur 7 hari

Mutu Beton (MPa)	Nilai Kuat Tekan (kg/cm ²)			
	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 30%
10	244,73	158,62	135,96	97,44
	251,53	160,89	133,70	101,97
	258,00	166,41	139,96	101,03
	237,90	152,25	129,96	98,15
17,5	312,71	222,07	194,88	142,76

25	328,58	224,34	176,75	163,16
	336,07	219,35	188,03	156,07
	303,42	226,60	183,21	147,07
	346,70	301,38	233,40	190,35
25	389,76	217,54	253,80	199,41
	383,38	287,61	239,29	200,33
	348,53	226,60	248,36	188,84

(Sumber: Kusuma, 2013)

Campuran dengan variasi abu terbang 30% merupakan campuran dengan penurunan yang paling maksimum dari ketiga jenis mutu beton, yaitu berkisar antara 46-60% dari variasi kontrol 0%. Selanjutnya pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dan 90 hari hanya dilakukan pada variasi 30% yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan Nilai Kuat Tekan terhadap Umur Beton
(Sumber: Kusuma, 2013)

Hasil uji setelah umur beton 28 hari, kuat tekan beton dengan menggunakan abu terbang menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan beton saat umur 7 hari. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur beton, maka kekuatan beton semakin meningkat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil ITENAS Bandung. Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan penyusunan tahapan penelitian. Penyusunan tahapan ini dimaksudkan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan. Tahapan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Kaji literatur dengan cara mencari literatur-literatur tentang teknologi beton.
2. Persiapan alat dan bahan serta pemeriksaan bahan (agregat kasar dan halus).
3. Perancangan komposisi beton dengan metode SNI, kuat tekan rencana $f'_c = 30$ MPa.
4. Pembuatan campuran sebagai *trial mix*.
5. Pengujian *slump* dengan nilai *slump* yang direncanakan 10 ± 2 cm.
6. Apabila tidak memenuhi nilai yang direncanakan, maka *slump* harus dikoreksi dengan cara menambahkan air atau semen.
7. Pembuatan benda uji menggunakan cetakan silinder dengan ukuran 10 cm \times 20 cm.
8. Perawatan (*curing*) untuk benda uji dilakukan selama 3 hari.
9. Pengujian kuat tekan beton umur 3 hari.
10. Apabila kuat tekan tidak sesuai yang direncanakan, maka harus kembali merancang komposisi beton.
11. Pembuatan benda uji untuk pengujian kuat tekan dengan kadar *fly ash* 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen serta untuk pengujian kuat tarik belah dan kuat lentur dengan kadar *fly ash* yang optimum.
12. Perawatan (*curing*) benda uji dilakukan selama 14 hari dan 28 hari.
13. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur.
14. Analisis hasil data penelitian.

3.2 Pemeriksaan Bahan

3.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan, yaitu batu pecah dari Gunung Lagadar. Agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar terdiri dari: a.

Berat isi agregat kasar

$$\text{Berat isi} = \frac{W_3}{V} \quad (3.1)$$

dimana :

V = Volume wadah (m^3).

W_3 = Berat benda uji agregat kasar (kg).

b. Kadar air agregat kasar

$$\text{Kadar air} = \frac{W_4 - W_5}{W_5} \times 100 \quad (3.2)$$

dimana :

W_4 = Berat agregat kasar keadaan asli (g). W_5

= Berat kering agregat kasar (g).

c. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{W_k}{V_k - (1)} \quad (3.4)$$

$$\text{Berat jenis kering} = \frac{W_j}{V_j - (1)} \quad (3.5)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{W_j}{V_j - (1)} \quad (3.6)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{W_k - W_j}{W_j} \times 100 \quad (3.7)$$

dimana:

B_k = Berat agregat kondisi kering (gr).

B_j = Berat agregat kondisi SSD (gr). W_1
 = Berat agregat dalam air (gr).

d. Analisa saringan agregat kasar

Satu set saringan dengan ukuran berikut:

1. 25,40 mm (1,000 inchi)
2. 19,10 mm (0,750 inchi)
3. 12,50 mm (0,500 inchi)
4. 9,50 mm (0,375 inchi) 5. 4,75 mm (No. 4)

3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan, yaitu pasir dari Cimalaka. Agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus terdiri dari: a.

Berat isi agregat halus

$$\text{Berat isi} = \frac{W_6 - W_7}{V} \quad (3.8)$$

dimana :

V = Volume wadah (m^3).

W_4 = Berat benda uji agregat halus (kg).

b. Kadar air agregat halus

$$\text{Kadar air} = \frac{W_6 - W_7}{W_7} \times 100 \quad (3.9)$$

dimana :

W_6 = Berat agregat halus keadaan asli (gr).

W_7 = Berat kering agregat halus (gr).

c. Berat jenis dan penyerapan agregat halus

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{k}{B_k + W_2 - W_1} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$\text{Berat jenis kering} = \frac{k}{j \cdot 2 - 1} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{i}{2 \cdot 1} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{j \cdot k - 1}{k} \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana:

B_k = Berat benda uji kondisi kering (gr).

B_j = Berat benda uji kondisi SSD (gr).

W_1 = Berat benda uji SSD + piknometer + air (gr). W_2

= Berat piknometer + air (gr).

d. Analisa saringan agregat halus

Satu set saringan dengan ukuran berikut:

1. 4,75 mm (No. 4)
2. 2,38 mm (No.8)
3. 1,18 mm (No. 16)
4. 0,60 mm (No. 30)
5. 0,30 mm (No. 50)
6. 0,15 mm (No. 100)

3.2.3 Semen

Semen yang digunakan, yaitu PCC (*Portland Composite Cement*). Semen PCC dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Semen PCC

3.3 Perancangan Komposisi Beton

Perancangan komposisi beton ini dirancang menggunakan metode SNI (Standar Nasional Indonesia), dengan tahapan sebagai berikut:

1. Merencanakan kuat tekan disyaratkan
2. Menentukan standar deviasi (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Harga S Himsworth

Types of control	Excellent	Very Good	Good	Fair	Poor	Uncontrolled
S Standard Deviation (Mpa)	2,80	3,50	4,20	5,60	7,00	8,40

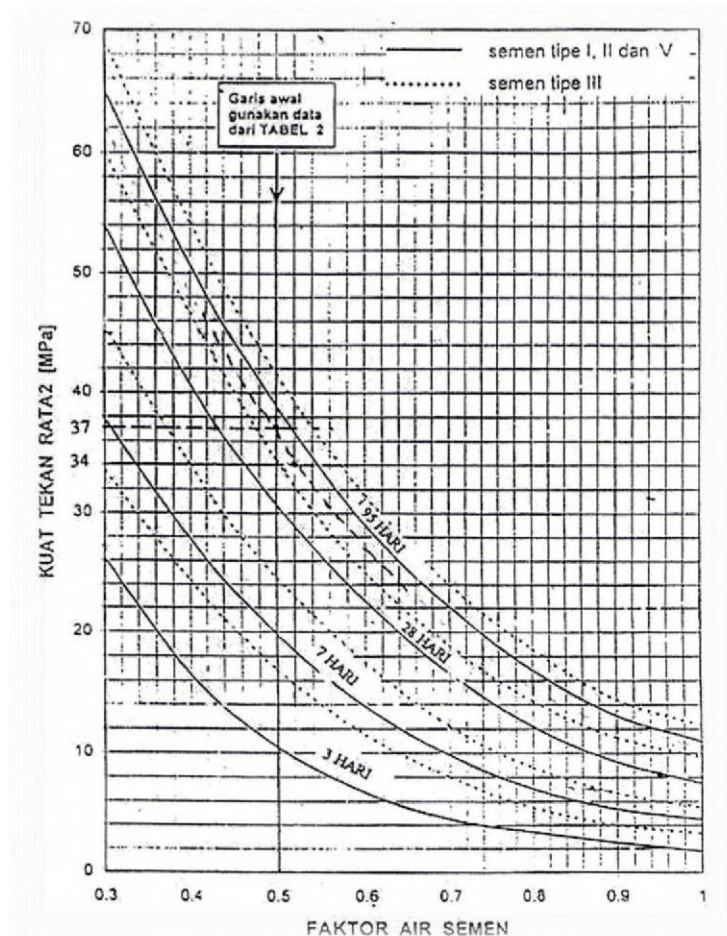
3. Nilai tambah kuat tekan = $1,64 \times S = f'_{cr}$
4. Kuat tekan rata-rata = (langkah 1 + langkah 3)
5. Menentukan jenis semen
6. Jenis agregat diketahui:
 - a) Agregat halus (pasir)
 - b) Agregat kasar berupa batu pecah
7. Menentukan faktor air semen bebas (Tabel 3.2)

Tabel 3.2 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Faktor Air Semen 0,50

Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (Mpa)				
		Umur (hari)				Bentuk benda uji
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I, II, dan IV	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

7. Mencari faktor air semen untuk beton yang dirancang dengan cara sebagai berikut:
 - a. Dari Tabel 3.2 didapat prakiraan kuat tekan beton.
 - b. Lihat Gambar 3.5 untuk benda uji silinder.
 - c. Tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong ordinat kuat tekan beton pada poin (a) di atas, sehingga didapat koordinat (fas, f'_{cr}).
 - d. Tarik garis lengkung melalui koordinat tersebut membentuk kurva yang proposional terhadap kurva lengkung di bawah dan di atasnya.
 - e. Tarik garis mendatar melalui kuat tekan f'_{cr} sampai memotong kurva baru yang ditentukan pada poin (d) di atas.
 - f. Tarik garis lurus ke bawah dari perpotongan tersebut untuk mendapatkan harga faktor air semen yang diperlukan.



Gambar 3.5 Hubungan antara Kuat Tekan Beton dan FAS Beton
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Menentukan faktor air semen maksimum (Tabel 3.3). Bila faktor air semen yang diperoleh dari poin (7) diatas tidak sama dengan faktor air semen yang maksimum, maka diambil faktor air semen yang lebih kecil.
9. Menentukan *slump* yang direncanakan setinggi 10 ± 2 cm.
10. Ukuran agregat maksimum ditetapkan 20 mm (dilihat dari ukuran butiran maksimum pada analisa gradasi ayakan).
11. Menentukan kadar air bebas. Tabel perkiraan kebutuhan air untuk beton dapat dilihat pada Tabel 3.4.
12. Menentukan berat semen per m^3 beton, dihitung dengan cara membagi jumlah air (dari langkah 11) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah 8.
13. Menentukan kebutuhan semen minimum (Tabel 3.3).

Seandainya kadar semen yang diperoleh dari perhitungan 12 belum mencapai syarat minimum yang ditetapkan, maka harga minimum ini harus dipakai dan faktor air semen yang baru perlu disesuaikan.

Tabel 3.3 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis pembetonan	Semen minimum per m^3 beton (kg)	FAS maks
Beton di dalam ruang bangunan: a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan:		0,60
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	
Beton yang masuk ke dalam tanah:	325	0,55
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti		Lihat tabel 3.3a
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang selalu berhubungan dengan: a. Air tawar		Lihat tabel 3.3b
b. Air laut		

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 3.4 Perkiraan Kebutuhan Air per m³ Beton (Liter)

Ukuran agregat maks	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10 mm	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20 mm	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40 mm	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda (alami dan batu pecah), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus:

$$A = \frac{2}{3} \times A_h + \frac{1}{3} \times A_k \dots \dots \dots (3.14)$$

dimana :

A = Jumlah air yang dibutuhkan (lt/m³)

A_h = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus

A_k = Jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

14. Faktor air semen yang disesuaikan: dalam hal ini dapat diabaikan karena syarat minimum kadar semen sudah dipenuhi.
15. Susunan butir agregat halus: dari hasil analisa ayakan di dapat bahwa pasir berada pada zona 2.
16. Presentase agregat pasir (bahan yang lebih halus dari 4,8 mm) : dicapai dalam Gambar 3.6 untuk kelompok ukuran butir agregat maksimum 20 mm.
17. Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$BJ_{camp} = P \times BJ_{ah} + K \times BJ_{ak} \dots \dots \dots (3.15)$$

dimana :

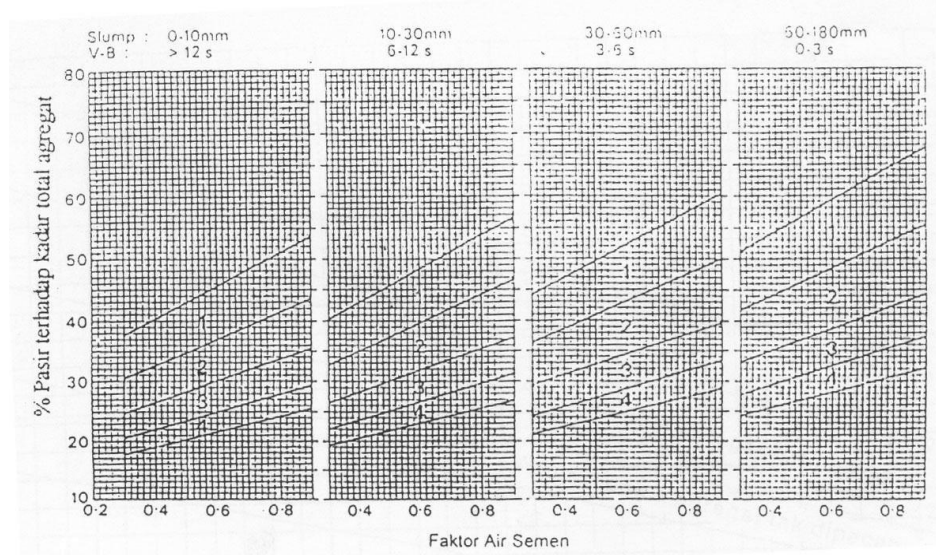
BJ_{camp} = Berat jenis agregat campuran

BJ_{ah} = Berat jenis agregat halus

BJ_{ak} = Berat jenis agregat kasar

P = Persentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran

K = Persentase berat agregat kasar terhadap berat agregat campuran



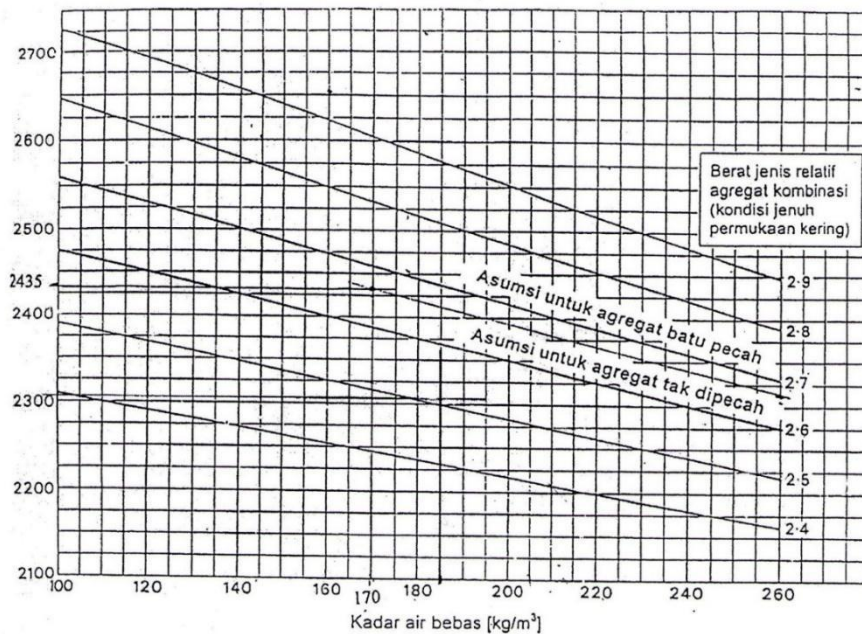
Gambar 3.6 Persentase Agregat Halus terhadap Agregat dengan Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

18. Menentukan berat isi beton

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah 17 dan kebutuhan air tiap m^3 beton dari langkah 11, maka penentuan berat isi beton berdasarkan Gambar 3.7. Caranya sebagai berikut:

- Buat garis miring berat jenis agregat campuran dari langkah 17 sesuai dengan garis miring yang paling dekat dengan Gambar 3.7.
 - Masukan kebutuhan air dari langkah 11 ke dalam sumbu horizontal pada Gambar 3.7, kemudian titik ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis miring berat jenis agregat campuran yang dibuat sebelumnya.
 - Dari titik potong ini ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat isi beton.
- Kadar agregat gabungan adalah berat isi beton (langkah 18) dikurangi jumlah kadar semen (langkah 12) dan kadar air (langkah 11).
 - Kadar agregat halus adalah persentase agregat halus (langkah 16) dikalikan kadar agregat gabungan (langkah 19).
 - Kadar agregat kasar adalah kadar agregat gabungan (langkah 19) dikurangi kadar agregat halus (langkah 20).



Gambar 3.7 Penentuan Berat Isi Beton yang Dimampatkan secara Penuh
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3.4 Pengujian *Slump*

Slump test merupakan salah satu jenis pengujian terhadap adukan beton, dimana parameternya adalah kadar air dalam beton. Kandungan air dalam beton berkaitan dengan konsistensi kekentalan beton dan kegiatan pelaksanaannya. Berikut adalah peralatan dan tahapan pada uji *slump*:

1) Peralatan

- Kerucut Abrams sebagai cetakan *slump*, dengan diameter bawah 30 cm, diameter atas 10 cm, dan tinggi 30 cm.
- Batang logam bulat dengan panjang ± 60 cm diameter 10-16 mm.
- Pelat logam rata dan kedap air sebagai alas.
- Sendok adukan.
- Meteran.

2) Tahapan uji *slump* adalah sebagai berikut:

- Campuran beton dimasukkan ke dalam kerucut setinggi $\pm \frac{1}{3}$ dari tinggi kerucut.

2. Campuran yang telah dituangkan tersebut ditumbuk dengan tongkat besi Ø 16 mm sepanjang 60 cm sebanyak 25 kali.
3. Adukan beton lapis kedua dituangkan setinggi ± 10 cm ($\frac{2}{3}$ dari tinggi kerucut Abram), kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali.
4. Lapisan campuran beton terakhir dituangkan ke dalam kerucut Abram (sampai penuh), kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali lalu diratakan.
5. Setelah terisi penuh dan rata, kerucut ditarik secara vertikal ke atas secara perlahan-lahan.
6. Kerucut diletakkan perlahan-lahan disamping benda uji, ukur *slump* dengan mistar/meteran berapa penurunan yang terjadi dengan pembacaan perbedaan tinggi kerucut dengan tinggi rata-rata dari keruntuhan campuran beton.

3.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

3.5.1 Langkah Kerja

- 1) Bersihkan cetakan yang akan dipakai, dengan sikat kawat sampai bersih.
- 2) Pasang cetakan sesuai dengan pasangannya, dan perhatikan pada sambungan jangan sampai ada celah.
- 3) Lumuri cetakan dengan oli dimaksudkan agar hasil cetakan mudah dibongkar.
- 4) Pemadatan

Pemadatan dilakukan dengan tongkat pemadat, dengan cara sebagai berikut:

 - a. Isilah cetakan dengan adukan beton sebanyak 3 lapis, tiap lapisan dipadatkan dengan cara menusuk 25 kali tusukan secara merata.
 - b. Pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan dan pada saat pemadatan lapisan kedua dan ketiga, tongkat pemadat diperbolehkan masuk $\pm 2,55$ mm ke dalam lapisan di bawahnya.
- 5) Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan dengan palu karet perlahan-lahan agar rongga bekas tusukan tertutup dan gelembung air keluar, lalu ratakan permukaan beton dan tutuplah dengan kain basah ataub bahan yang kedap air dan tahan karat. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama ± 24 jam dan tempatkan di tempat yang bebas getaran dan terlindung.
- 6) Setelah 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji, rendamlah benda uji didalam air atau bak perendam, lama perendaman sampai dengan benda uji selesai dilaksanakan pengetesan.

3.5.2 Benda Uji tanpa *Fly ash*

Pembuatan benda uji tanpa *fly ash* ini menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan ukuran silinder 10 cm × 20 cm serta menggunakan komposisi campuran yang sudah dirancang sebelumnya.

3.5.3 Benda Uji dengan *Fly ash*

Pembuatan benda uji dengan *fly ash* menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan ukuran silinder 10 cm × 20 cm dan cetakan berbentuk balok dengan ukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm serta menggunakan komposisi campuran yang sudah dirancang sebelumnya. Kadar *fly ash* yang dipakai pada benda uji ini sebanyak 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Penambahan kadar *fly ash* terhadap benda uji, yaitu dengan cara menambah kadar *fly ash* dan mengurangi kadar semen (metode substitusi).

3.5.4 Perawatan (*Curing*)

Curing atau perawatan benda uji ini selama 14 hari dan 28 hari untuk benda uji dengan *fly ash*, sedangkan untuk benda uji tanpa *fly ash* selama 3, 14, dan 28 hari. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara perendaman. Perawatan beton ini bertujuan untuk:

- a. Menjamin proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan sempurna, sehingga retakretak pada permukaan beton dapat dihindari.
- b. Mutu beton yang diinginkan dapat tercapai.
- c. Menghindarkan beton dari kehilangan air semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*.
- d. Menghindarkan perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

Adapun cara perendamannya adalah sebagai berikut:

1. Setelah 24 jam maka cetakan beton silinder dibuka.
2. Kemudian silinder beton dimasukan ke dalam bak perendaman.
3. Perendaman dilakukan sampai umur beton tertentu.

3.6 Pengujian Benda Uji

3.6.1 Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton tersebut dalam menerima beban tekan yang nantinya akan menghasilkan nilai mutu dari beton tersebut. Di bawah ini adalah cara pengujian untuk kuat tekan:

- 1) Ambil benda uji dari perendaman, lalu keringkan.

- 2) Timbang berat benda uji dan ukur permukaan yang akan ditekan, tentukan luas permukaannya.
- 3) Jika benda uji berbentuk silinder, sebelum benda uji ditekan harus terlebih dahulu diratakan (*caping*) untuk mendapatkan permukaan yang benar-benar rata dan simetris.
- 4) Letakkan benda uji pada mesin tekan secara simetris.
- 5) Periksa jarum manometer pada mesin yang akan digunakan pada skala nol.
- 6) Jalankan mesin dengan penambahan secara perlahan.
- 7) Pembebanan ini dilakukan sampai dengan beban maksimum dan catat hasilnya.
- 8) Hitung kuat tekan dari benda uji tersebut dengan persamaan 2.1.

3.6.2 Uji Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik beton dilakukan dengan uji pecah belah silinder. Silinder diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji, dan ditekan. Besar gaya tekan yang menyebabkan benda uji terbelah menjadi dua bagian dicatat. Kuat tarik beton dapat diketahui dengan dua kali beban ultimit yang kemudian dibagi dengan luas daerah yang didesak sepanjang silinder yang direbahkan. Pengujian kuat tarik beton dilakukan pada umur beton 28 hari, langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a) Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan
- b) Menimbang dan mencatat berat sampel beton, kemudian diamati apakah terdapat cacat pada beton sebagai bahan laporan
- c) Pengujian kuat tarik dengan menggunakan mesin uji tarik belah beton.
- d) Meletakkan sampel beton ke dalam alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sampel beton hingga sampel beton terbelah
- e) Mencatat hasil kuat tarik beton untuk tiap sampelnya
- f) Menghitung kuat tarik benda uji dengan persamaan 2.2.

3.6.3 Uji Kuat Tarik Lentur

Pengujian kuat lentur beton yang dilakukan pada umur beton 28 hari, langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a) Balok untuk uji lentur diangkat dari rendaman, kemudian dilap hingga kering permukaan
- b) Balok untuk uji lentur diukur, dan diberi garis pada kedua tepinya sebagai titik tumpuan
- c) Pengujian lentur dengan menggunakan mesin uji lentur balok beton.

- d) Meletakkan sample balok beton ke dalam alat penguji, lalu hidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sample balok beton
- e) Mencatat hasil uji lentur balok beton untuk tiap sampelnya.
- f) Menghitung lentur balok beton (*Modulus of Rupture*) dengan persamaan 2.3.

BAB IV

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil ITENAS Bandung. Agregat yang akan digunakan pada campuran beton harus memiliki karakteristik yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Karakteristik tersebut dapat diketahui dengan melakukan beberapa pemeriksaan diantaranya, yaitu berat jenis, berat isi, penyerapan, kadar air, analisa saringan, dan kehalusan.

4.1.1 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

Pemeriksaan bahan yang dilakukan adalah pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan agregat halus. Pemeriksaan agregat dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik setiap agregat yang digunakan. Agregat kasar yang digunakan, yaitu batu pecah dari Gunung Lagadar. Hasil dari pemeriksaan karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

No	Agregat Kasar	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis Semu	2,74	
2	Berat Jenis Kondisi Kering	2,54	
3	Berat Jenis SSD / Jenuh Kering Permukaan	2,61	
4	Penyerapan	2,79	%
5	Modulus Kehalusan	7,04	
6	Kadar Air	1,26	%
7	Berat Isi Padat	1,40	gr/cm ³
8	Berat Isi Lepas	1,30	gr/cm ³

Berdasarkan pada Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa semua hasil dari pemeriksaan karakteristik agregat kasar yang diperoleh memenuhi persyaratan standar acuan seperti pada Tabel 2.4.

4.1.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan, yaitu pasir dari Cimalaka. Hasil dari pemeriksaan karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

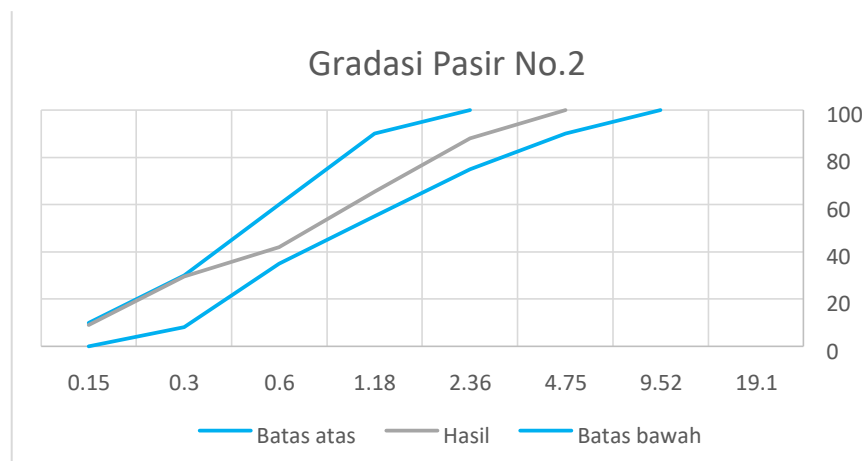
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No	Agregat Halus	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis Semu	2,65	
2	Berat Jenis Kondisi Kering	2,43	
3	Berat Jenis SSD / Jenuh Kering Permukaan	2,52	
4	Penyerapan	3,52	%
5	Modulus Kehalusan	2,66	
6	Kadar Air	4,71	%
7	Berat Isi Padat	1,50	gr/cm ³
8	Berat Isi Lepas	1,41	gr/cm ³

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	% Lolos
19,1	-
9,52	-
4,75	100
2,36	87,95
1,18	65,4
0,6	42,05
0,3	29,65
0,15	9,05

Berdasarkan pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa semua hasil dari pemeriksaan karakteristik agregat halus yang diperoleh, memenuhi persyaratan standar acuan seperti pada Tabel 2.2. Tabel 4.3 menunjukkan hasil dari pemeriksaan analisa saringan agregat halus, dari hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa gradasi agregat termasuk ke dalam Gradasi No.2 seperti pada Tabel 2.1. Gradasi yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Pasir

4.1.3 Kandungan Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PLTU Suralaya. Pada penelitian ini, abu terbang (*fly ash*) tidak diperiksa atau diuji secara langsung di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil ITENAS Bandung. Oleh sebab itu, maka untuk mengetahui kandungan abu terbang digunakan data sekunder dari laporan hasil pengujian PT PLN (Persero) dalam Rancangan 1 Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil (2017) seperti pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Abu Terbang

No.	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
1	SiO ₂	% wt*	46,90
2	Al ₂ O ₃	% wt*	25,21
3	Fe ₂ O ₃	% wt*	9,34
4	TiO ₂	% wt*	0,95
5	CaO	% wt*	4,84
6	MgO	% wt*	2,92
7	K ₂ O	% wt*	2,23
8	Na ₂ O	% wt*	2,70
9	SO ₃	% wt*	0,93
10	MnO ₂	% wt*	0,07
11	P ₂ O ₃	% wt*	0,36
12	<i>Moisture Content</i>	% wt*	Nd
13	L O I	% wt*	3,08
14	<i>Oil Content</i>	% wt*	0,07
15	<i>Unburned Carbon</i>	% wt*	1,95

Keterangan: * = persen terhadap berat

(Sumber: Rancangan 1 Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, 2017)

Tabel 4.5 Hasil Analisis Saringan Abu Terbang

Ukuran	Satuan	Tertahan	Lolos
Ayakan No 100 (0,149 mm)	% wt*	2,44	97,56
Ayakan No 200 (0,074 mm)	% wt*	3,60	96,40
Ayakan No 325 (0,044 mm)	% wt*	9,68	90,32

Keterangan: * = persen terhadap berat

(Sumber: Rancangan 1 Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, 2017)

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada tabel di atas, maka kandungan kimia dan fisika yang terdapat pada abu terbang (*fly ash*), termasuk ke dalam kelas F seperti pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

4.1.4 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Berdasarkan SNI 7064:2014 tentang Semen *Portland* Komposit, *Portland Composite Cement* (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama klinker semen *portland* dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik. Pada penelitian ini, *Portland Composite Cement* (PCC) yang digunakan adalah merk Tiga Roda. Data kandungan kimia dan fisika yang terdapat pada semen PCC diperoleh dari SNI 7064:2014. Persyaratan kimia semen PCC adalah SO_3 maksimum 4,0% dan persyaratan fisika dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Syarat Fisika Semen PCC

Uraian	Semen <i>Portland</i> Komposit	
	Satuan	Persyaratan
Kehalusan dengan <i>blaine</i> , min	m ² /kg	280
Kekekalan bentuk dengan <i>autoclave</i> , max		
Pemuaian	%	0,80
Penyusutan	%	0,20
Waktu Pengikatan dengan alat <i>vicat</i> , min		
Pengikatan awal	menit	45
Pengikatan akhir	menit	375
Waktu Pengikatan dengan alat <i>gillmore</i> , min		
Pengikatan awal	menit	
Pengikatan akhir	menit	
Kuat Tekan, min		
Umur 3 hari	kg/cm ²	125
Umur 7 hari	kg/cm ²	200
Umur 28 hari	kg/cm ²	250
Pengikatan semu		
Penetrasi Akhir, min	%	50

Kandungan udara dalam mortar, max	% volume	12
--------------------------------------	----------	----

(Sumber: SNI 7064:2014)

4.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton dilakukan sesuai dengan SNI 032834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 30 MPa pada umur 28 hari dan *slump* yang direncanakan 10 ± 2 cm. Proses perencanaan campuran beton menurut SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut:

8. Merencanakan kuat tekan disyaratkan.

Campuran beton direncanakan dengan kuat tekan yang disyaratkan sebesar $f'_c = 30$ MPa.

9. Menentukan standar deviasi.

Standar deviasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan dipilih standar deviasi (s) sebesar 4,20 karena kontrol pekerjaan yang baik.

10. Nilai tambah kuat tekan.

Nilai tambah kuat tekan dapat dihitung dengan rumus $f'_{cr} = 1,64 \times S = 1,64 \times 4,20 = 6,88$ MPa.

11. Menentukan kuat tekan rata-rata.

Kuat tekan rata-rata dapat dihitung dengan cara menambahkan kuat tekan yang disyaratkan dengan nilai tambah kuat tekan, yaitu $30 + 6,88 = 36,88$ MPa.

12. Menentukan jenis semen.

Jenis semen yang digunakan adalah semen *Portland Composite* merk Tiga Roda.

13. Menentukan jenis agregat.

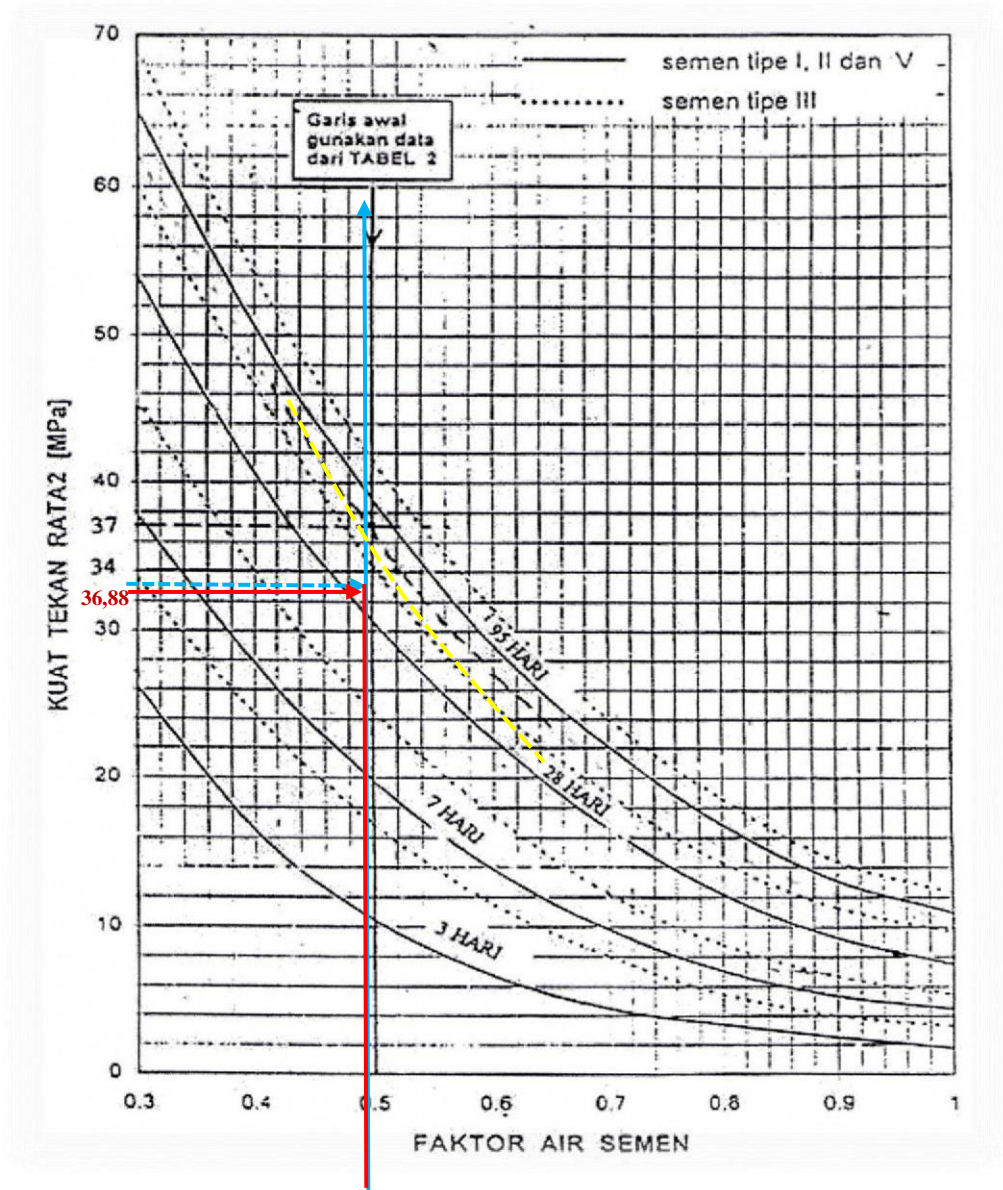
- c) Agregat halus berupa pasir, dan
- d) Agregat kasar berupa batu pecah

14. Menentukan faktor air semen bebas sebesar 0,50.

15. Mencari faktor air semen untuk beton yang dirancang dengan cara sebagai berikut:

- g. Perkiraan kuat tekan beton diperoleh dari Tabel 3.2 sebesar 37 MPa,
- h. lihat Gambar 4.2 untuk benda uji silinder,
- i. tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong ordinat kuat tekan beton pada poin (a) di atas, sehingga didapat koordinat (f_{cr}),

- j. tarik garis lengkung melalui koordinat tersebut membentuk kurva yang proposional terhadap kurva lengkung di bawah dan di atasnya,
- k. tarik garis mendatar melalui kuat tekan f'_{cr} sampai memotong kurva baru yang ditentukan pada poin (d) di atas,
- l. tarik garis lurus ke bawah dari perpotongan tersebut untuk mendapatkan harga faktor air semen yang diperlukan.



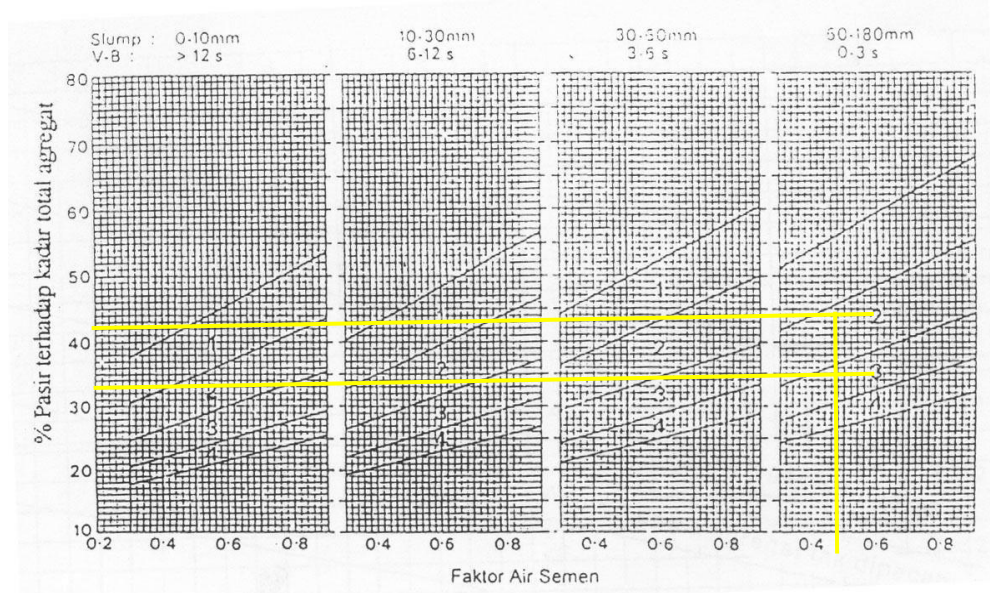
Gambar 4.2 Hasil Hubungan antara Kuat Tekan Beton dan FAS Beton
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

16. Menentukan faktor air semen maksimum.

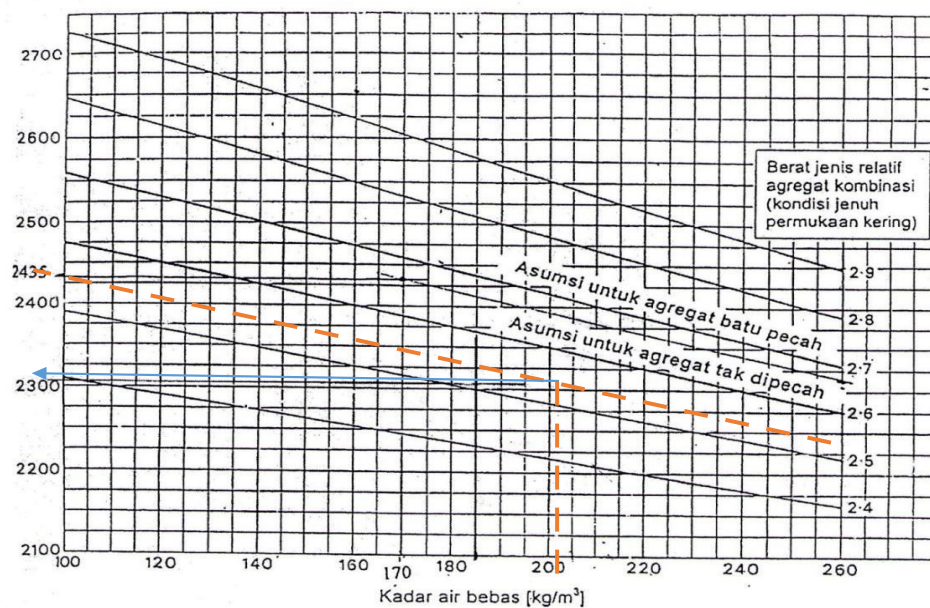
Pada Tabel 3.3 didapat faktor air semen maksimum sebesar 0,52. Hasil faktor air semen pada poin (7) di atas tidak sama dengan faktor air semen yang maksimum, maka diambil faktor air semen yang lebih kecil yaitu 0,50.

17. Menentukan *slump* yang direncanakan setinggi 10 ± 2 cm.
18. Ukuran agregat maksimum ditetapkan 20 mm (dilihat dari ukuran butiran maksimum pada analisa gradasi ayakan).
19. Menentukan kadar air bebas.
Perkiraan kebutuhan air untuk beton dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan dihitung menggunakan persamaan 3.14, yaitu $= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 = 205 \text{ kg/cm}^3$.
20. Menentukan berat semen per m^3 beton, dihitung dengan cara membagi jumlah air (dari langkah 11) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah 8 = $\frac{205}{0,50} = 410 \text{ kg/cm}^3$
21. Menentukan kebutuhan semen minimum.
Kebutuhan semen minimum dapat dilihat pada Tabel 3.3, karena kadar semen yang diperoleh dari perhitungan 12 sudah mencapai syarat minimum, maka semen yang dibutuhkan sebesar 410 kg/cm^3
22. Susunan butir agregat halus: dari hasil analisa ayakan di dapat bahwa pasir berada pada zona 2.
23. Presentase agregat pasir diperoleh pada Gambar 4.3, yaitu diantara 38 % sampai 47% dan diambil rata-ratanya sebesar 43%.
24. Menghitung berat jenis agregat campuran.
Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan rumus 3.15, yaitu $B_{J_{camp}} = 43\% \times 2,52 + 57\% \times 2,61 = 2,57$
25. Menentukan berat isi beton
Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah 16 dan kebutuhan air tiap m^3 beton dari langkah 11, maka penentuan berat isi beton berdasarkan Gambar 4.4. Caranya sebagai berikut:
 - d) Buat garis miring berat jenis agregat campuran dari langkah 16 sesuai dengan garis miring yang paling dekat dengan Gambar 4.4,
 - e) masukkan kebutuhan air dari langkah 11 ke dalam sumbu horizontal pada Gambar 4.4, kemudian titik ini ditarik garis vertikal ke atas sampai mencapai garis miring berat jenis agregat campuran yang dibuat sebelumnya,
 - f) dari titik potong ini ditarik garis horizontal ke kiri sehingga diperoleh nilai berat isi beton,
 - g) dari langkah di atas diperoleh berat isi beton sebesar 2325 kg/cm^3 .

26. Kadar agregat gabungan adalah berat isi beton (langkah 17) dikurangi jumlah kadar semen (langkah 12) dan kadar air (langkah 11), yaitu $2325 - (410 + 205) = 1710 \text{ kg/cm}^3$.
27. Kadar agregat halus adalah persentase agregat halus (langkah 15) dikalikan kadar agregat gabungan (langkah 18), yaitu $43\% \times 1710 = 735,30 \text{ kg/cm}^3$.
28. Kadar agregat kasar adalah kadar agregat gabungan (langkah 18) dikurangi kadar agregat halus (langkah 19), yaitu $1710 - 735,30 = 974,70 \text{ kg/cm}^3$.



Gambar 4.3 Hasil Persentase Agregat Halus terhadap Agregat dengan Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.4 Hasil Berat Isi Beton yang Dimampatkan secara Penuh
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Berdasarkan dari langkah di atas, diperoleh proporsi campuran seperti yang berada pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Proporsi Campuran untuk 1 m³ Beton

Kode Campuran	PCC-100	PCC-90	PCC-85	PCC-80	PCC-75	
Bahan	Jumlah					Satuan
Semen	410	369	348,5	328	307,5	kg/m ³
<i>Fly Ash</i>	0	41	61,5	82	102,5	kg/m ³
Agregat Kasar	974,70	974,70	974,70	974,70	974,70	kg/m ³
Agregat Halus	735,30	735,30	735,30	735,30	735,30	kg/m ³
Air	205	205	205	205	205	kg/m ³

Keterangan: PCC-X adalah campuran dengan X % PCC dan (100 - X) % *fly ash*

4.3 Hasil Uji *Slump* Beton

Setelah diperoleh proporsi campuran beton, maka dilakukan uji *slump* dengan rencana *slump* sebesar 10 ± 2 cm pada campuran beton segar. Pada penelitian ini uji *slump* dilakukan untuk semua penambahan kadar *fly ash*. Hasil uji *slump* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai *Slump* Campuran Beton

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Nilai <i>Slump</i> (cm)
0	11,5
10	8
15	8
20	8,5
25	9,5

Berdasarkan Tabel 4.8, semua nilai *slump* yang diperoleh sudah memenuhi yang direncanakan sebesar 10 ± 2 cm. Pada campuran normal tanpa *fly ash*, nilai *slump* lebih tinggi dibandingkan dengan campuran substitusi kadar *fly ash*. Nilai *slump* akan menurun, jika campuran beton ditambah substitusi kadar *fly ash*. Hal ini terjadi akibat butiran *fly ash*

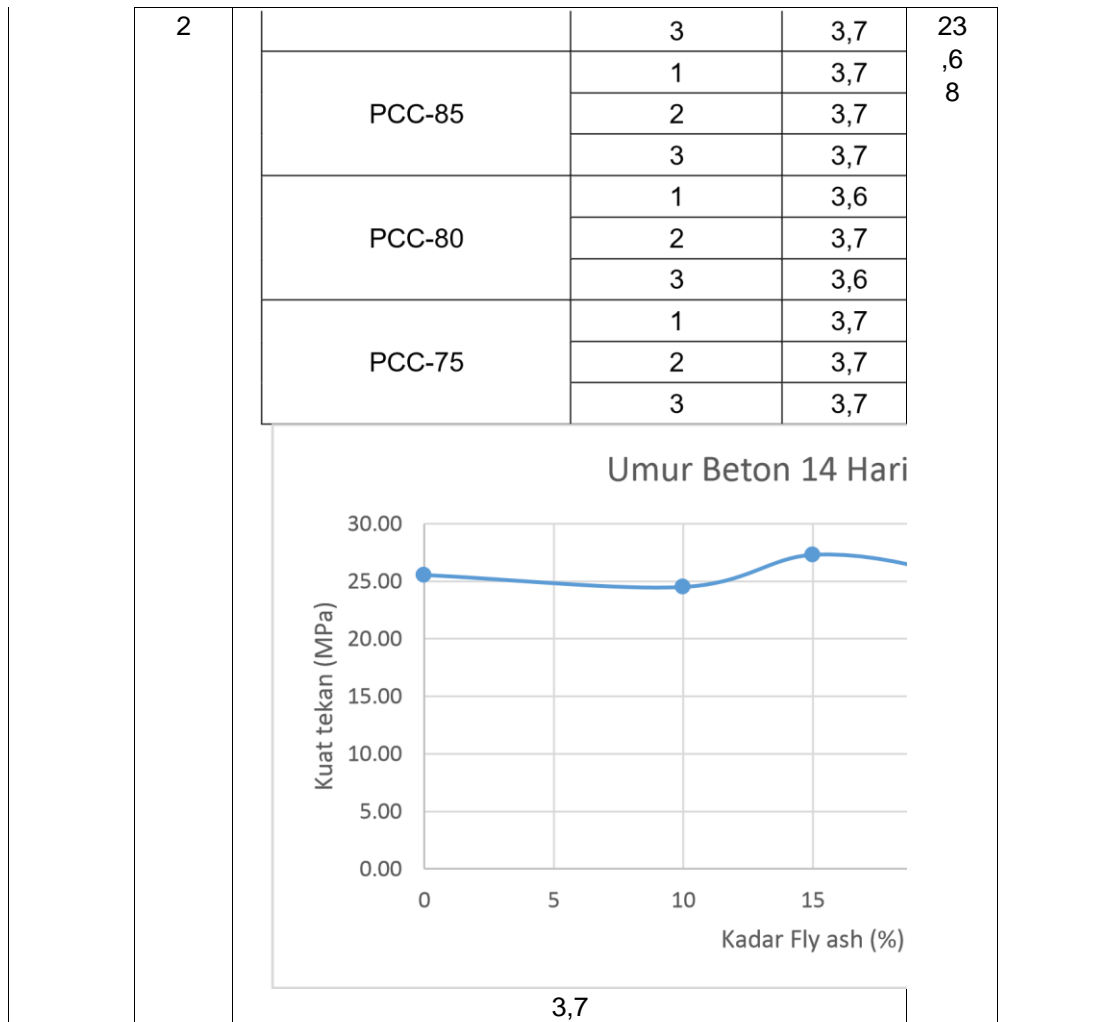
yang lebih halus dan kecil daripada semen, sehingga penyerapan lebih banyak dan membuat campuran lebih kental.

4.4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Setelah dilakukan uji *slump*, maka dilanjutkan dengan pembuatan dan perawatan benda uji. Perawatan (*curing*) benda uji ini dilakukan dengan cara direndam pada bak perendaman selama 14 hari dan 28 hari. Setelah benda uji mencapai umur beton yang telah direncanakan, maka dilakukan beberapa pengujian terhadap benda uji tersebut. Benda uji untuk pengujian kuat tekan berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian kuat tekan beton menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dilakukan pada umur beton 14 dan 28 hari. Kuat tekan beton yang direncanakan (f'_c) sebesar 30 Mpa. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Tabel dan Grafik dibawah ini:

Tabel 4.9 Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Kode Campuran	Benda Uji	Massa (kg)	Kuat tekan (MPa)	
			f'_c	$f'_{rata-rata}$
PCC-100	1	3,7	27,29	23,95
	2	3,7	27,49	
	3	3,7	17,07	
PCC-90	1	3,7	24,18	24,51

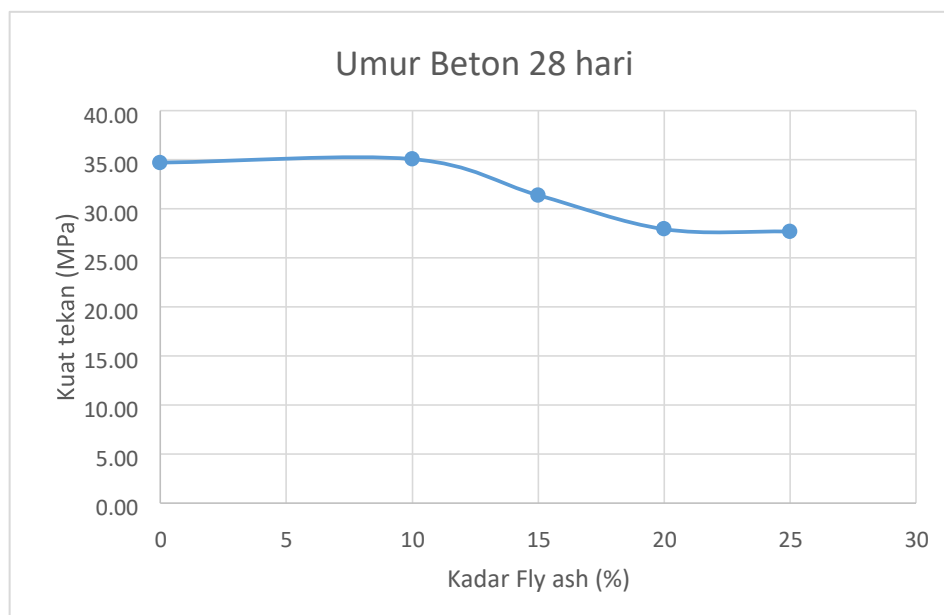


Gambar 4.2 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Tabel 4.10 Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Kode Campuran	Benda Uji	Massa (kg)	Kuat tekan (MPa)	
			f'_c	$f'_{rata-rata}$
PCC-100	S3-0	3,7	35,43	34,70
	S4-0	3,7	32,92	
	S5-0	3,7	35,75	
PCC-90	S3-10	3,6	35,19	35,06
	S4-10	3,7	36,11	
	S5-10	3,7	33,87	
PCC-85	S3-15	3,7	29,47	31,38
	S4-15	3,6	31,15	

	S5-15	3,7	33,52	
PCC-80	S3-20	3,6	28,89	27,92
	S4-20	3,7	28,04	
	S5-20	3,7	26,84	
PCC-75	S3-25	3,6	28,62	27,68
	S4-25	3,6	27,88	
	S5-25	3,6	26,54	



Gambar 4.3 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Berdasarkan pada Tabel 4.10, terlihat bahwa hasil dari kuat tekan beton untuk campuran tanpa *fly ash* sesuai dengan kuat tekan rencana. Oleh sebab itu, maka perencanaan campuran beton (*mix design*) sudah tepat. Pada beton dengan substitusi *fly ash* sampai dengan kadar 15%, kuat tekan yang diperoleh masih memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu sebesar 30 MPa.

Kuat tekan tertinggi pada umur 14 hari, diperoleh pada campuran beton *fly ash* 15% dengan kekuatan $\pm 107\%$ dari kuat tekan beton tanpa *fly ash*. Pada umur 28 hari, kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran *fly ash* 10% dengan kekuatan $\pm 117\%$ dari kuat tekan rencana.

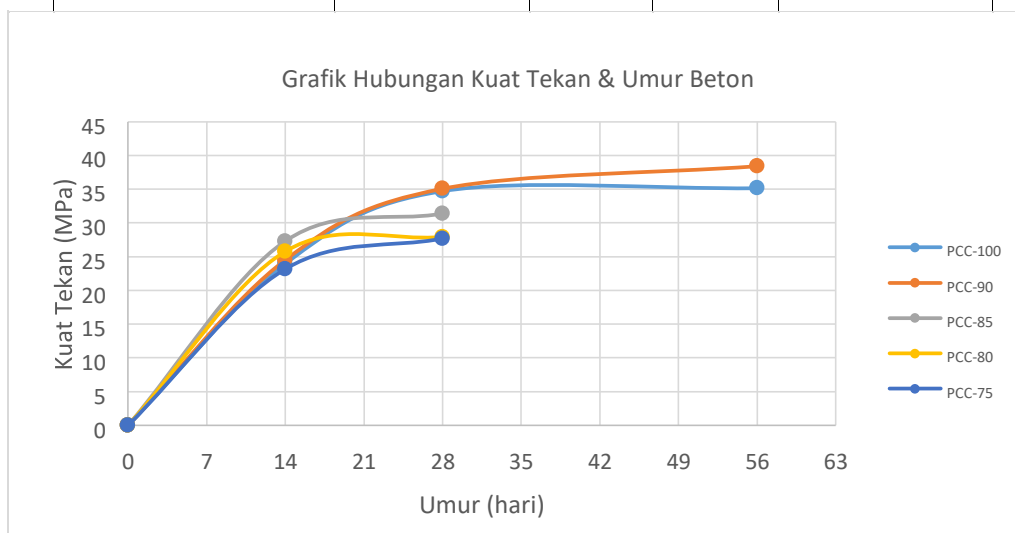
Berdasarkan pada Tabel 4.10, substitusi *fly ash* dengan kadar ≤ 15 masih memenuhi kuat tekan rencana. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* mengandung bahan *pozzolan*, sehingga kehilangan C_2S dan C_3S pada semen dapat digantikan oleh senyawa SiO_2 pada *fly ash*. Pada

beton dengan umur 28 hari, substitusi *fly ash* dengan kadar >15 kekuatan beton cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena kehilangan senyawa C_2S dan C_3S pada semen yang disubstitusi terlalu besar, sehingga senyawa SiO_2 pada *fly ash* tidak mampu lagi menggantikannya.

Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur beton, maka kuat tekan beton semakin meningkat, khususnya pada campuran dengan kadar abu terbang 10%. Oleh sebab itu, dilakukan pengujian beton dengan umur 56 hari untuk mengetahui perbandingan antara campuran beton tanpa abu terbang dengan campuran beton abu terbang kadar 10%. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Kuat Tekan Beton Umur 56 Hari

Kode Campuran	Benda Uji	Massa (kg)	Kuat tekan (MPa)	
			f'_c	$f'_{rata-rata}$
PCC-100	1	3,7	33,18	35,13
	2	3,7	36,25	
	3	3,7	35,95	
PCC-90	1	3,7	37,90	38,39
	2	3,7	39,60	
	3	3,7	37,67	



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Umur Beton

Pada grafik hubungan kuat tekan dan umur beton, dapat dilihat bahwa hasil kuat tekan pada campuran *fly ash* 10% masih terus meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton, sedangkan untuk campuran beton tanpa *fly ash* kuat tekannya relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa SiO_2 pada *fly ash* bereaksi setelah umur beton 28 hari.

4.5 Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton dengan campuran *fly ash* dan membandingkannya dengan beton tanpa *fly ash*. Campuran untuk pengujian kuat tarik belah, digunakan campuran dengan kadar optimum *fly ash*. Kadar optimum *fly ash* diperoleh pada pengujian kuat tekan, yaitu sebesar 10%. Benda uji untuk pengujian kuat tarik belah berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan panjang 20 cm. Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.12 Kuat Tarik Belah Beton

Kode Campuran	Benda Uji	Berat	Kuat Tarik belah (MPa)	
			f_t	f_t rata-rata
PCC-100	1	3,6	2,64	2,58
	2	3,6	2,18	
	3	3,6	2,91	
PCC-90	1	3,6	2,37	2,61
	2	3,6	2,89	
	3	3,6	2,58	

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa hasil kuat tarik belah beton campuran 10% *fly ash*, hampir sama dengan kuat tarik belah beton campuran tanpa *fly ash*. Campuran beton tanpa *fly ash* memiliki kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,58 MPa dan berkisar antara 12% - 15% terhadap kuat tekan beton. Kuat tarik belah rata-rata untuk campuran dengan kadar *fly ash* 10%, diperoleh kuat tarik belah rata-rata 2,61 MPa dan berkisar antara 12% - 15% terhadap kuat tekan beton.

4.6 Hasil Uji Kuat Lentur

Campuran untuk pengujian kuat tarik lentur, digunakan campuran dengan kadar optimum *fly ash*. Kadar optimum *fly ash* diperoleh pada pengujian kuat tekan, yaitu sebesar 10%. Benda uji untuk pengujian kuat lentur berbentuk balok dengan dimensi 15 cm × 15 cm × 60 cm. Pengujian kuat lentur beton menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dilakukan pada umur beton 28 hari dengan dua titik pembebanan. Hasil dari pengujian kuat

lentur beton dapat dengan persamaan 3.18 dan hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.13 Kuat Lentur Beton

Kode Campuran	Benda Uji	Massa (kg)	Kuat Tarik Lentur (MPa)	
			f_r	$f_{rata-rata}$
PCC-100	1	31,2	2.85	2.93
	2	32,0	3.01	
PCC-90	1	31,0	3.05	2.77
	2	31,0	2.49	

Peraturan SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai modulus keruntuhan lentur untuk beton normal (tanpa tulangan) yaitu, $f_r = 0,7\sqrt{f'_c}$. Berdasarkan peraturan tersebut, maka hasil dari pengujian kedua campuran tidak memenuhi nilai modulus keruntuhan lentur yang disyaratkan. Belum diketahui secara pasti penyebab kedua campuran tidak memenuhi nilai modulus keruntuhan lentur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, analisa, dan pembahasan yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan rencana sebesar 30 MPa, mampu dicapai oleh penggantian semen PCC dengan *fly ash* kadar 10% dan *fly ash* kadar 15%. Kuat tekan beton dengan 10% *fly ash* melebihi kuat tekan beton tanpa *fly ash*, yaitu sebesar 35,06 MPa berbanding 34,70 MPa.
2. Kadar optimum substitusi semen PCC oleh *fly ash* adalah sebesar 10% dari *massa* semen.
3. Apabila dilihat dari pencapaian terhadap kuat tekan rencana, maka kadar optimum *fly ash* dapat diambil sebesar 15% dari *massa* semen.
4. Kelecekan beton kedua campuran sudah memenuhi yang disyaratkan, yaitu 10 ± 2 cm. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *slump*, yaitu 11,5 cm untuk campuran beton tanpa *fly ash* dan 8 cm untuk campuran beton dengan penambahan *fly ash* sebesar 10%.
5. Pengujian kuat tarik belah menunjukkan bahwa pengaruh substitusi semen oleh 10% *fly ash*, tidak akan menurunkan kuat tarik belah beton.
6. Pengujian kuat tarik lentur menunjukkan fenomena yang berbeda dibandingkan dengan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Pada pengujian kuat tarik lentur, kedua jenis campuran tidak memenuhi nilai modulus keruntuhan lentur untuk beton normal ($f_r = 0,7\sqrt{f'_c}$), sehingga dalam analisis pengaruh pergantian semen oleh *fly ash* sulit dilakukan.

5.2 Saran

1. Menambah jumlah benda uji dan umur perawatan beton diperpanjang (> 28 hari) untuk semua variasi campuran.
2. Menggunakan *fly ash* terbaru (< 6 bulan). Apabila *fly ash* sudah lebih dari 6 bulan, maka dilakukan kembali pengujian untuk *fly ash*.