



## BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan bertujuan untuk mengetahui persentase kadar lumpur yang terkandung pada agregat halus pasir Muntilan apakah agregat tersebut layak atau tidak untuk digunakan pada campuran lem beton. Lumpur yang terkandung di dalam agregat halus akan mempengaruhi kualitas lem beton sehingga kualitas campuran lem beton tidak maksimal. Persentase kadar lumpur pada agregat halus yang terkandung tidak boleh melebihi dari 5%. Contoh perhitungan pengujian kadar lumpur agregat halus berdasarkan AASHTO T 112 dapat dihitung menggunakan rumus 2.4:

1. Berat pasir kering kotor = 500 gr
2. Berat pasir kering bersih = 468,5 gr
3. Kandungan lumpur =  $\frac{\text{Berat pasir kering kotor} - \text{Berat pasir kering bersih}}{\text{Berat pasir kering kotor}} \times 100\%$   
 $= \frac{31,500}{500} \times 100\%$   
 $= 6,300\%$

Berdasarkan dari perhitungan pengujian kadar lumpur agregat halus pasir Muntilan mengandung lumpur sebesar 6,300%. Karena kandungan lumpurnya lebih dari 5%, sehingga agregat halus pasir Muntilan tersebut perlu dilakukan pencucian agar bersih sehingga dapat digunakan untuk bahan campuran lem beton.

### 4.2 Pengujian Kadar Organik Agregat Halus

Pengujian kadar organik agregat halus dilakukan untuk mengetahui kandungan organik yang terdapat pada agregat halus pasir Muntilan, karena kandungan organik akan mempengaruhi kualitas pada campuran lem beton. Pengujian kadar organik dilakukan dengan cara membandingkan warna antara agregat halus yang telah dicampur dengan larutan NaOH 3% kedalam gelas ukur dengan alat *organic plate*



untuk mengetahui warna dari kadar organik yang terkandung pada agregat halus. Perbandingan warna kadar organik agregat halus memiliki 3 pembagi yaitu:

1. Warna perbandingan 1 dan 2 agregat halus dapat digunakan tanpa dicuci,
2. Warna perbandingan 3 dan 4 agregat halus dapat digunakan melalui proses pencucian,
3. Warna perbandingan 5 agregat halus tidak boleh digunakan.

Tabel 4.1 Standar Warna *Organic Plate*

Nomor Standar Warna <i>Gardner</i>	Nomor pelat Organik
5	1
8	2
11	3 (standar)
14	4
16	5

(Sumber: SNI 2816:2014)

Berdasarkan dari hasil pengujian kadar organik pada agregat halus pasir Muntilan yang berpedoman pada SNI 2816:2014 memiliki kandungan organik berwarna kuning keemasan atau warna perbandingan 3 sehingga agregat halus pasir Muntilan disarankan untuk dilakukan pencucian dahulu sebelum digunakan untuk mengurangi kadar organik pada agregat halus.

#### 4.3 Analisis Berat Volume Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus merupakan perbandingan berat material dengan volume. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui berat volume agregat halus pasir Muntilan. Contoh perhitungan pengujian berat volume agregat halus pasir Muntilan dapat dihitung menggunakan rumus 2.1 dan 2.2:

1. Tinggi wadah = 17 cm
2. Diameter wadah = 15 cm
3. Volume wadah =  $\pi \times r^2 \times t$   
 $= 3,14 \times 7,5^2 \times 17$   
 $= 3002,625 \text{ cm}^3$



$$= 3 \text{ liter}$$

4. Berat wadah = 4,290 kg
5. Berat wadah + agregat = 8,730 kg
6. Berat agregat = 8,730 kg – 4,290 kg
7. Berat volume =  $\frac{\text{berat agregat}}{\text{volume wadah}}$   

$$= \frac{4,440}{3}$$
  

$$= 1,480 \text{ kg/liter}$$

Hasil analisis berat volume agregat halus ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis Berat Volume Agregat Halus

Keterangan	Hasil
Tinggi wadah	17 cm
Diameter wadah	15 cm
Volume wadah	3 liter
Berat wadah	4,290 kg
Berat wadah + agregat	8,730 kg
Berat agregat	4,440 kg
Berat volume	1,480 kg/liter

Dari hasil analisis dari pengujian berat volume agregat halus pasir Muntilan adalah sebesar 1,480 kg/liter

#### 4.4 Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air agregat halus berpedoman pada SNI 03 – 1971 – 1990. Pengujian kadar air agregat halus dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata. Pengujian kadar air agregat halus dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang terkandung pada agregat halus pasir Muntilan. Contoh perhitungan dalam pengujian kadar air agregat halus dihitung menggunakan rumus 2.3:

1. Berat wadah = 68,800 gram
2. Berat wadah + agregat = 568,800 gram
3. Berat agregat = 568,800 gram – 68,800 gram



$$= 500 \text{ gram}$$

$$4. \text{ Berat wadah + agregat kering} = 538,800 \text{ gram}$$

$$5. \text{ Berat agregat kering} = 538,800 \text{ gram} - 68,800 \text{ gram}$$

$$= 470 \text{ gram}$$

$$6. \text{ Kadar air} = \frac{(\text{berat agregat} - \text{berat agregat kering})}{\text{berat agregat kering}} \times 100\%$$

$$= \frac{(500 - 470)}{470} \times 100$$

$$= 6,380\%$$

Hasil pengujian kadar air agregat halus ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Keterangan	Hasil
Berat wadah	69,800 gram
Berat wadah + agregat	568,800 gram
Berat agregat	500 gram
Berat wadah + agregat kering	538,800 gram
Berat agregat kering	470 gram
Kadar air	6,380%

Dari hasil pengujian kadar air agregat halus pasir Muntilan didapatkan kadar air sebesar 6,380%.

#### 4.5 Pengujian Daya Ikut Semen

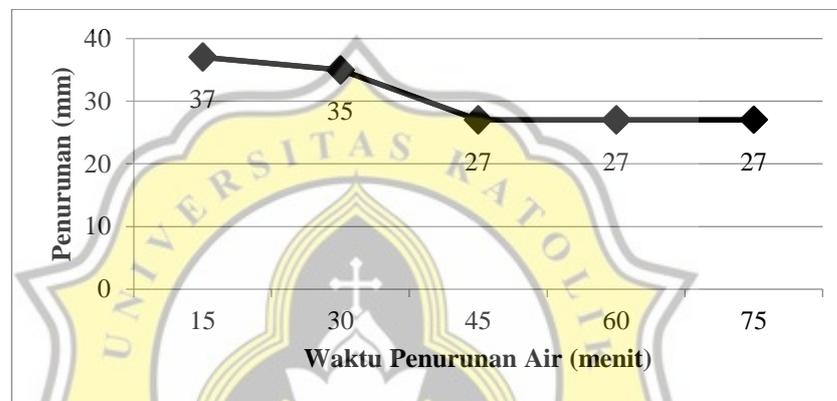
Pengujian daya ikat semen dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan semen agar bereaksi terhadap air hingga semen berbentuk pasta semen. Pengujian daya ikat semen berpengaruh atas keberhasilan dalam penggunaan sebagai adukan beton ataupun mortar adukan semen yang dibuat tidak boleh dibiarkan terlalu lama digunakan agar campuran semen tidak terjadi pengerasan akibat reaksi kimia antara semen dengan air tersebut. Pengujian daya ikat semen dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Universitas Soegijapranata. Proses pengujian daya ikat semen berpedoman pada SNI 15 – 2049 – 2004. Dari hasil pengujian daya ikat semen yang sudah dilakukan dirangkum pada Tabel 4.4.



Tabel 4.4 Pengujian Daya Ikat Semen

Waktu (menit)	Penurunan (mm)
15	37
30	35
45	27
60	27
75	27

Berikut ini adalah Gambar 4.1 Hasil Grafik Daya Ikat Semen pada bahan yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 4.1 Hasil Grafik Daya Ikat Semen

#### 4.6 Pengujian Konsistensi Normal Semen

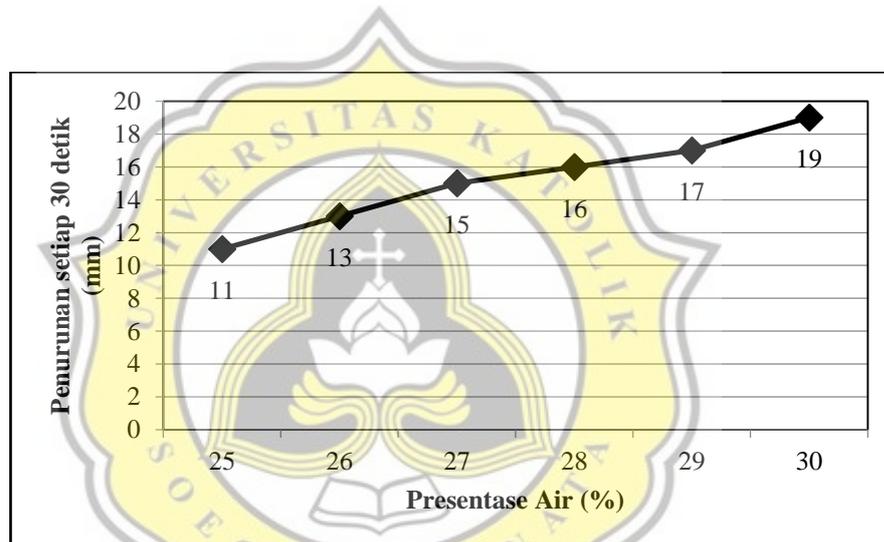
Pengujian konsistensi normal semen dilakukan di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Unika Soegijapranata. Pengujian konsistensi normal semen dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan sebagai persiapan agar menjadi pasta semen. Konsistensi normal semen *portland* adalah kadar air pasta semen apabila jarum vicat diletakkan dengan interval waktu 30 detik akan terjadi penetrasi sedalam 10 mm (SNI 03 – 6826 – 2002). Semen yang akan digunakan adalah semen komposit yaitu berasal dari PT.Semen Gresik. Hasil dari pengujian konsistensi normal semen ditunjukkan pada Tabel 4.5.



Tabel 4.5 Pengujian Konsistensi Normal Semen

Semen (Gram)	Persentase Air (%)	Penurunan Setiap 30 Detik (Mm)
300	25	11
300	26	13
300	27	15
300	28	16
300	29	17
300	30	19

Berikut ini adalah Gambar 4.2 Grafik Konsistensi Normal Semen pada bahan yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 4.2 Grafik Konsistensi Normal Semen

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa semakin besar persentase air akan mengurangi kekentalan pada semen, semakin berkurangnya kekentalan pada semen sehingga akan membuat daya lekat semen berkurang dan bisa membuat adonan beton menjadi *bleeding*.



#### 4.7 Pembuatan Benda Uji Kuat Tarik Belah

Benda uji yang telah diuji kemudian digunakan sebagai benda uji perbaikan dengan menggunakan bahan tambah lem beton kemudian di uji kembali. Benda uji tersebut didapatkan dari penelitian kelompok lain yang dikumpulkan tepat setelah dilakukan pengujian. Dari sampel yang dikumpulkan terdapat bahan tambah POLCON yang digunakan bertujuan untuk meningkatkan kualitas beton tersebut. Maka, langkah selanjutnya adalah melakukan pembuatan benda uji untuk pengujian benda uji kuat tarik. Benda uji yang dibuat berupa perbaikan atau pengeleman benda uji yang telah diuji kuat tarik belah sebelumnya yang telah terbelah menjadi dua bagian.

Komposisi bahan yang digunakan untuk pembuatan benda uji hanya satu jenis komposisi yang berbeda – beda. Berikut ini adalah Tabel 4.6 Keterangan Komposisi Benda Uji Kuat Tarik Belah.

Tabel 4.6 Keterangan Komposisi Benda Uji Kuat Tarik Belah

Nama Kode	Keterangan		Umur (hari)
	Campuran Bahan	Campuran Lem Beton (LB)	
1B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
1B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
1B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
2B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
2B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
2B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
3B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
3B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari
3B TB	1Pc: 1Ps: 0,3 Air	0,4 LB	28 hari

Komposisi campuran mortar yang digunakan dalam penelitian menggunakan acuan dari pabrik lem beton tersebut. Dari acuan tersebut seharusnya perbandingan campuran lem beton adalah 0,3. Tetapi, setelah kami melakukan pra-penelitian didapatkan hasil bahwa ternyata dengan perbandingan campuran lem beton sebesar 0,4 mendapatkan hasil yang lebih baik.

Berikut ini adalah langkah – langkah pembuatan benda uji:

- a. Langkah pertama, siapkan alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan benda uji berupa campuran mortar. Pastikan alat yang digunakan sudah dicek



- terlebih dahulu dan bahan yang digunakan untuk campuran mortar juga sudah melewati tahap pengujian sesuai dengan standar SNI,
- b. Langkah kedua, setelah alat dan bahan disiapkan tahap selanjutnya adalah menimbang bahan sesuai dengan porsi berat yang sudah ditentukan. Pastikan hasil timbangan atau takaran sudah dikurangi dengan berat cawan atau wadah. Selain dengan pengurangan berat wadah, dapat juga menggunakan tombol *tare* (mengenolkan berat objek pada timbangan),
  - c. Langkah ketiga, setelah bahan ditakar sesuai dengan porsi yang sudah ditentukan campurkan bahan – bahan tersebut dengan menggunakan cetok dan plat besi sebagai alas. Agar campuran tercampur dengan baik langkah pertama aduk pasir dan semen hingga homogen. Setelah homogen kemudian tambahkan air dan aduk hingga rata setelah itu campurkan juga lem beton ke dalam campuran dan aduk hingga rata hingga homogen,
  - d. Langkah keempat, basahi benda uji yang akan diperbaiki dengan menggunakan air supaya air dalam campuran tidak langsung menyerap ke pori-pori beton sehingga dapat menyebabkan retak,
  - e. Langkah kelima, aplikasikan campuran mortar yang sudah dibuat pada benda uji yang telah disiapkan dengan cara menggunakan cetok dan tuangkan mortar ke permukaan benda uji yang sudah terbelah,
  - f. Langkah keenam, setelah mortar dituangkan ke benda uji ratakan mortar ke seluruh sisi dalam benda uji dan gabungkan kedua bagian benda uji hingga membentuk silinder beton seperti semula,
  - g. Langkah ketujuh, taruh benda uji ditempat yang tidak terkena hujan dan beri pemberat di atasnya untuk menekan benda uji supaya dapat merekat dengan baik. Setelah itu tunggu sampai kering selama 28 hari.

#### 4.8 Pengujian Kuat Tarik Belah Silinder Beton

Pengujian kuat tarik belah merupakan salah satu parameter penting pada kekuatan beton, nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan dengan membebani setiap benda uji silinder secara lateral sampai pada kekuatan maksimumnya.



Kekuatan tarik belah digunakan dalam mendesain elemen struktur beton untuk mengevaluasi ketahanan geser beton dan untuk menentukan panjang penyaluran dari tulangan. Pengujian kuat tarik belah ini menggunakan alat *compression machine*.

Berikut ini adalah langkah – langkah dalam pengujian kuat tarik belah:

- a. Siapkan benda uji silinder yang sudah dilakukan perbaikan atau pengeleman pada umur 28 hari,
- b. Letakkan benda uji kedalam *casing*, agar beban yang diterima benda uji dapat merata dan pada arah lateral,
- c. Pasang peninggi alas agar benda uji dapat terbebani oleh alat *compression machine* dengan baik,
- d. Masukkan benda uji yang sudah diberi *casing* kedalam alat *compression machine* dan pastikan posisi benda uji simetris agar beban terdistribusi dengan optimal,
- e. Tutup pintu pengaman pada *compression machine* untuk menghindari percikan benda uji dan tutup lubang keluar – masuk angin pada alat,
- f. Nyalakan mesin dan lihat *dial* hingga benda uji terbelah, setelah itu catat hasil yang ditampilkan jarum yang tertahan (umumnya berwarna merah) pada *dial*.

#### 4.8.1. Berat massa volume beton silinder sebelum diperbaiki

Perhitungan berat massa volume beton utuh merupakan perbandingan berat benda uji silinder terhadap volume sebelum beton tersebut diperbaiki atau dilakukan pengeleman. Beton yang ditimbang untuk perhitungan berat massa volume beton utuh adalah beton yang sudah berumur 28 hari. Berikut ini adalah contoh perhitungan berat massa volume beton 1A TB yang dihitung dengan rumus 2.6.

- a. Berat benda uji beton = 12,340 kg
- b. Perhitungan volume benda uji beton =  $\pi \times r^2 \times t$   
 =  $3,14 \times 0,075^2 \times 0,3$



$$= 0,0053 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{c. Berat massa volume beton} &= \frac{\text{Berat Benda Uji Silinder}}{\text{Volume Benda Uji Silinder}} \\ &= \frac{12,340}{0,0053} \\ &= 2328,301 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka hasil dari berat massa volume beton 1A TB adalah 2328,301 kg/m<sup>3</sup>. Berikut ini adalah Tabel 4.7 Berat Massa Volume Beton Sebelum Diperbaiki.

Tabel 4.7 Berat Massa Volume Beton Silinder Sebelum Diperbaiki

No	Kode Beton	Umur Beton (hari)	Berat Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (m <sup>3</sup> )	Berat Massa Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )	Rata – Rata Berat Massa Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )
1.	1A TB	28	12,340	0,0053	2328,301	2255,678
2.	1A TB	28	11,780	0,0053	2223,641	
3.	1A TB	28	11,740	0,0053	2215,094	
4.	2A TB	28	12,700	0,0053	2396,226	2361,006
5.	2A TB	28	12,480	0,0053	2354,717	
6.	2A TB	28	12,360	0,0053	2332,075	
7.	3A TB	28	12,590	0,0053	2376,472	2328,006
8.	3A TB	28	12,150	0,0053	2292,453	
9.	3A TB	28	12,270	0,0053	2315,094	
<b>Rata – Rata Berat Massa Volume Beton</b>						<b>2314,897</b>

Berdasarkan tabel di atas, benda uji beton silinder pada umur 28 hari termasuk kedalam beton normal karena berat massa volume beton berada diantara 2200 kg/m<sup>2</sup> – 2500 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.8.2. Berat massa volume beton silinder setelah diperbaiki

Perhitungan berat massa volume beton sesudah diperbaiki adalah perhitungan perbandingan berat benda uji terhadap volume benda uji sesudah dilakukan pengeleman atau perbaikan pada saat umur 28 hari setelah beton diperbaiki. Perhitungan berat massa volume beton 1B TB dapat dihitung dengan rumus 2.6.

$$\text{a. Berat benda uji beton} = 12,540 \text{ kg}$$

$$\text{b. Perhitungan volume benda uji beton} = \pi \times r^2 \times t$$



## Tugas Akhir

## Analisis Perbaikan Kegagalan Struktur Balok Beton Akibat

## Tarik Belah Dan Lentur Dengan Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton X

$$= 3,14 \times 0,076^2 \times 0,3$$

$$= 0,0054 \text{ m}^3$$

c. Berat massa volume beton

$$= \frac{\text{Berat Benda Uji Silinder}}{\text{Volume Benda Uji Silinder}}$$

$$= \frac{12,540}{0,0054}$$

$$= 2366,038 \text{ kg/m}^3$$

Berikut adalah Tabel 4.8 Berat Massa Volume Beton Silinder Setelah Diperbaiki.

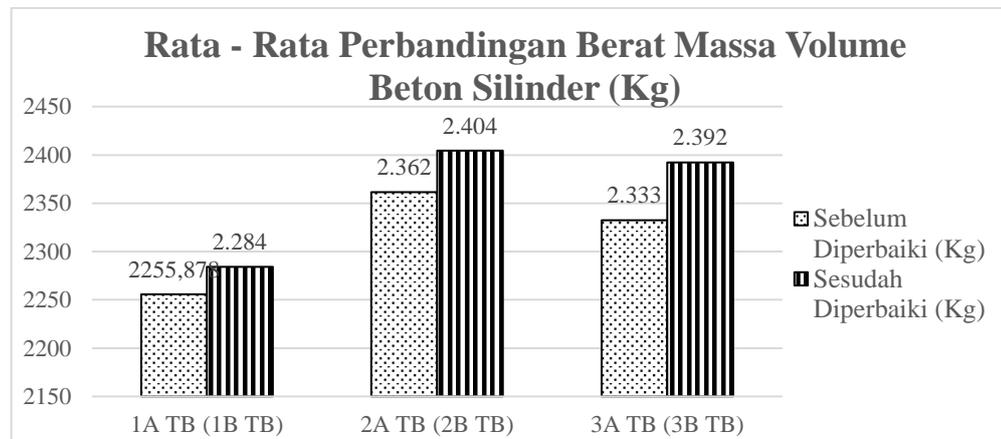
Tabel 4.8 Berat Massa Volume Beton Silinder Setelah Diperbaiki

No	Kode Beton	Umur Beton Setelah Diperbaiki (hari)	Berat Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (m <sup>3</sup> )	Berat Massa Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )	Rata – Rata Berat Massa Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )
1.	1B TB	28	12,540	0,0054	2366,038	2256,580
2.	1B TB	28	11,870	0,0054	2198,148	
3.	1B TB	28	11,910	0,0054	2205,555	
4.	2B TB	28	12,890	0,0054	2387,037	2359,876
5.	2B TB	28	12,710	0,0054	2353,704	
6.	2B TB	28	12,630	0,0054	2338,889	
7.	3B TB	28	12,770	0,0054	2364,815	2348,148
8.	3B TB	28	12,580	0,0054	2329,630	
9.	3B TB	28	12,690	0,0054	2350	
<b>Rata – Rata Berat Massa Volume Beton</b>						<b>2321,534</b>

Berdasarkan Tabel 4.8, benda uji beton silinder pada umur 28 hari masih termasuk ke dalam beton normal karena berat massa volume beton yang sudah diperbaiki berada diantara 2200 kg/m<sup>3</sup> – 2500 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.8.3. Hasil perbandingan berat massa volume beton silinder

Berikut adalah hasil perbandingan rata - rata berat massa volume beton silinder yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Rata – Rata Berat Massa Volume Beton Silinder.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Rata – Rata Berat Berat Massa Volume Beton Silinder.

Berdasarkan perbandingan pada tabel di atas maka beton mengalami kenaikan berat massa volume rata – rata sebesar  $\pm 70$  gram. Hal ini terjadi karena ada tambahan agregat halus atau pasir yang ditambahkan pada saat perbaikan beton tersebut. Akan tetapi, kenaikan berat massa volume tersebut tidak akan mempengaruhi jenis beton yang sudah diperbaiki. Karena beton tetap pada berat massa jenis antara  $2200 \text{ kg/m}^3$  –  $2500 \text{ kg/m}^3$ . Berarti beton yang sudah diperbaiki mengalami penambahan berat massa jenis dan masih tergolong beton normal.

#### 4.8.4. Hasil pengujian kuat tarik belah beton

Berikut adalah hasil pengujian kuat tarik belah silinder beton yang dilakukan di Laboratorium Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata Semarang dengan menggunakan alat *compression machine*. Adapun daftar sampel beton yang diuji ada dua jenis, yaitu beton normal yang belum diuji sebelumnya (data sudah diketahui dari penelitian sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 4.9) dan beton yang sudah diperbaiki dan diuji kuat tarik belah lagi.

Berikut ini adalah daftar beton yang diujikan:

- a. Beton semula yang belum dilakukan perbaikan sebelumnya didapat dari penelitian sebelumnya,
  - a.1 1A TB = Beton ditambah POLCON® 10 cc, umur 28 hari,



a.2 2A TB = Beton ditambah *Fly Ash* 15%, umur 28 hari,

a.3 3A TB = Beton ditambah *Fly Ash* 30%, umur 28 hari.

Berikut ini adalah contoh cara perhitungan pengujian kuat tarik belah silinder beton dengan menggunakan rumus 2.5 Perhitungan kuat tarik belah beton silinder ditambah POLCON® 10 cc, umur 28 hari.

$$\begin{aligned}
 1. \quad 1A \text{ TB} &= \frac{2P}{\pi ld} \\
 &= \frac{2 \times 120000}{3,14 \times 300 \times 150} \\
 &= 1,690 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai kuat tarik beton silinder yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Sebelum Diperbaiki.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Sebelum Diperbaiki

Kode Beton	Ukuran Silinder (mm)	Umur (hari)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata – Rata (MPa)
1A TB	Ø 152 t = 300	28	12,340	120	1,690	1,460
1A TB			11,780	100	1,420	
1A TB			11,740	90	1,270	
2A TB	Ø 152 t = 300	28	12,700	140	1,840	1,840
2A TB			12,480	120	1,700	
2A TB			12,360	130	1,700	
3A TB	Ø 152 t = 300	28	12,590	140	1,980	1,980
3A TB			12,150	150	2,120	
3A TB			12,270	130	1,840	

Sumber: Mahardika dan Priambodo (2020)

Hasil kuat tarik belah sebelum diperbaiki didapatkan dari penelitian orang lain yang menguji kuat tarik belah, kemudian hasil dan bekas benda uji tersebut diperbaiki menggunakan mortar dengan campuran lem beton kemudian hasil pengujian kuat tarik belah dibuat perbandingan antara sebelum diperbaiki dan sesudah diperbaiki.

b. Beton yang sudah diuji dari penelitian sebelumnya dan sudah diperbaiki dengan menggunakan campuran lem beton,

b.1 1B TB (1A TB) = Perbandingan material 1Pc: 1Ps: 0,3 Air

= Perbandingan lem beton 0,4 LB (Lem Beton)



b.2 2B TB (2A TB) = Perbandingan material 1Pc: 1Ps: 0,3 Air  
= Perbandingan lem beton 0,4 LB (Lem Beton)

b.3 3B TB (3A TB) = Perbandingan material 1Pc: 1Ps: 0,3 Air  
= Perbandingan lem beton 0,4 LB (Lem Beton)

Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat tarik belah silinder beton setelah diperbaiki dengan menggunakan campuran lem beton pada umur 28 hari.

$$\begin{aligned}
 1. \quad 1B \text{ TB} &= \frac{2P}{\pi ld} \\
 &= \frac{2 \times 110000}{3,14 \times 300 \times 150} \\
 &= 1,557 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

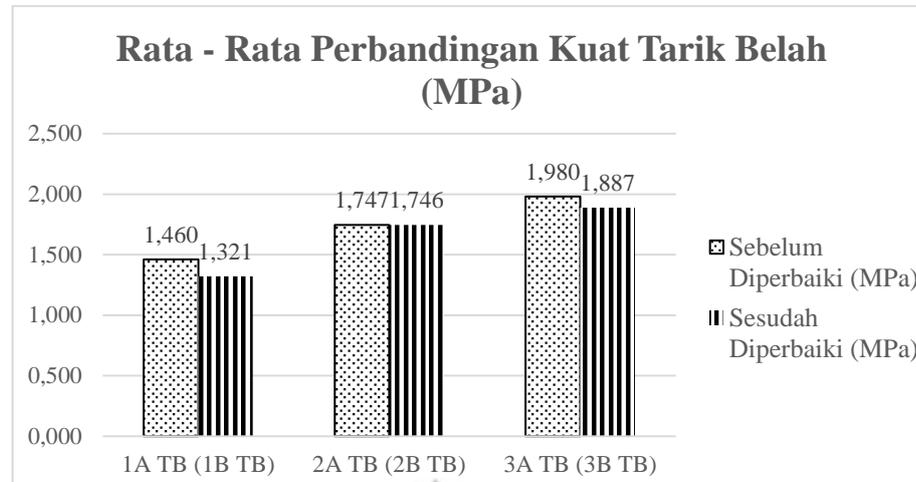
Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai kuat tarik beton silinder setelah diperbaiki sebesar 1,557 MPa. Untuk hasil perhitungan sampel lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Setelah Diperbaiki.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Setelah Diperbaiki

Kode Beton	Ukuran Silinder (mm)	Umur Beton Setelah Diperbaiki (hari)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata – Rata (MPa)
1B TB	Ø 152 t = 300	28	12,540	110	1,557	1,321
1B TB			11,870	80	1,132	
1B TB			11,910	90	1,274	
2B TB	Ø 152 t = 300	28	12,890	130	1,840	1,746
2B TB			12,710	120	1,699	
2B TB			12,630	120	1,699	
3B TB	Ø 152 t = 300	28	12,770	140	1,982	1,887
3B TB			12,580	140	1,982	
3B TB			12,690	120	1,699	

#### 4.8.5. Perbandingan hasil pengujian kuat tarik belah beton silinder

Berikut ini adalah hasil perhitungan pengujian kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 Grafik Kuat Tarik Belah Rata – Rata Beton Silinder.



Gambar 4.4 Grafik Kuat Tarik Belah Rata – Rata Beton Silinder

Berdasarkan grafik di atas maka dapat dilihat bahwa penurunan kekuatan yang terjadi pada sampel 1A TB dan 1B TB sebesar  $\pm 0,1$  MPa. Sedangkan pada sampel 2A TB terjadi kenaikan kekuatan yang tidak terlalu signifikan yaitu, sebesar 0,005 MPa. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh ketidaksesuaian pelaksanaan metode dan bahan perbaikan yang digunakan. Seperti pada penelitian Isnaeni (2009), bahwa harus ada kesesuaian jenis kerusakan, bahan, dan metode yang dilakukan untuk memperbaiki sebuah kerusakan pada struktur beton. Selain itu, apabila dibandingkan penelitian Mahardika dan Priambodo (2020), penurunan tarik belah yang terjadi akan sangat mengurangi mutu beton apabila digunakan pada struktur bangunan.

#### 4.9 Pembuatan Benda Uji Kuat Lentur

Proses pembuatan benda uji kuat lentur ini hampir sama seperti pembuatan benda uji kuat tarik belah. Untuk benda uji yang digunakan adalah balok beton yang sudah patah dan sudah diketahui nilai kuat tarik lenturnya dari mix desain kelompok lain kemudian dikumpulkan untuk dilakukan perbaikan dengan bahan tambah lem beton dan di uji kembali. Proses pembuatan benda uji hanya menyambungkan dua bagian balok beton yang sudah patah hampir sama dengan pembuatan benda uji kuat tarik belah sebelumnya.



Berikut ini adalah langkah – langkah pembuatan benda uji untuk pengujian kuat lentur:

- a. Siapkan alat dan bahan yang sudah dilakukan pengujian sebelumnya,
- b. Sesuaikan porsi takaran bahan campuran perbaikan yang berupa mortar sesuai yang sudah ditetapkan dengan menggunakan timbangan,
- c. Siapkan balok beton yang akan dilakukan perbaikan dan basahi sisi permukaan yang akan dilem. Hal ini bertujuan supaya balok beton tidak terlalu cepat menyerap air,
- d. Selanjutnya campurkan bahan yang sudah ditimbang sebelumnya pada pelat baja atau alas adukan dengan menggunakan cetok hingga *homogen*,
- e. Setelah campuran *homogen* dan tercampur dengan baik maka langsung aplikasikan kesisi permukaan balok beton yang sudah dibasahi tadi. Pastikan pada saat mengaplikasikan adonan mortar merata pada kedua sisinya,
- f. Kemudian setelah kedua sisi teraplikasikan lem beton maka tumpuk kedua bagian balok beton tersebut agar terjadi tekanan sehingga beton akan mengering dengan baik,
- g. Tunggu waktu selama 28 hari supaya beton mencapai kekuatan optimal.

#### **4.10 Pengujian Benda Uji Kuat Lentur Balok Beton**

Pengujian benda uji kuat lentur balok beton ini bertujuan untuk mencari nilai kuat lentur maksimum yang dapat diterima oleh balok tersebut. Untuk pengujian kuat tarik lentur memiliki dua jenis metode uji yaitu metode ASTM C 78 (tiga titik pembebanan) dan metode ASTM C 293 (pembebanan titik pusat). Pada pengujian kali ini yang digunakan adalah metode dengan menggunakan standar ASTM C 78 atau pembebanan titik ketiga. Pengujian titik ketiga atau *third point loading* adalah pengujian kuat tarik lentur yang pembebanannya diberikan pada tiga titik di atas benda uji balok beton dengan jarak 1/3 bentang benda uji tersebut yang kemudian diberi tekanan menggunakan mesin.



Berikut ini adalah cara pengujiannya dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.

- a. Langkah pertama, ukur dimensi balok untuk memastikan ukurannya sesuai dengan kapasitas alat,
- b. Langkah kedua, timbang balok beton yang akan diuji untuk mengetahui beratnya,
- c. Langkah ketiga, letakkan balok beton pada alat *universal testing machine* dengan presisi sesuai dengan tempatnya,
- d. Langkah keempat, pasang *casing third point loading* yang digunakan pada pengetasan kuat lentur balok pada alat *universal testing machine* tepat di atas balok beton dan pastikan sudah berada di tengah - tengah,
- e. Langkah kelima, nyalakan mesin UTM dan pastikan jaga jarak aman untuk menghindari percikan dari balok beton,
- f. Langkah keenam, setelah balok patah maka jarum yang berwarna merah akan tertahan pada angka yang ditunjukkan pada *dial*, setelah itu catat hasil tersebut.

#### 4.10.1 Berat massa volume balok beton sebelum diperbaiki

Perhitungan berat massa volume balok beton sebelum dilakukan perbaikan adalah perhitungan perbandingan antara berat benda uji balok beton terhadap volume balok beton. Dalam perhitungan ini yang dihitung adalah perbandingan antara berat atau massa terhadap volume beton sebelum diperbaiki atau dalam kondisi awal.

Berikut ini adalah contoh perhitungan berat massa volume balok beton berdasarkan rumus 2.6.

- a. Berat benda uji beton  $= 32,430 \text{ kg}$
- b. Perhitungan volume benda uji beton  $= p \times l \times t$   
 $= 0,6 \times 0,15 \times 0,15$



$$= 0,0135 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{c. Berat massa volume beton} &= \frac{\text{Berat Benda Balok Beton}}{\text{Volume Benda Balok Beton}} \\ &= \frac{32,430}{0,0135} \\ &= 2402,230 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berikut adalah Tabel 4.11 Berat Massa Volume Balok Beton Sebelum Diperbaiki

Tabel 4.11 Berat Massa Volume Balok Beton Sebelum Diperbaiki

No	Kode Beton	Umur Beton (hari)	Berat Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (m <sup>3</sup> )	Berat Massa Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Massa Volume Beton Rata – Rata (kg/m <sup>3</sup> )
1.	1A KL	201	32,430	0,0135	2402,222	2401,481
2.	1A KL	201	32,320	0,0135	2394,074	
3.	1A KL	201	32,510	0,0135	2408,148	

Berdasarkan Tabel 4.11, benda uji balok beton pada umur 28 hari termasuk kedalam beton normal karena berat massa volume beton berada diantara 2200 kg/m<sup>3</sup> – 2500 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.10.2 Berat massa volume balok beton setelah diperbaiki

Perhitungan berat massa volume balok beton sebelum dilakukan perbaikan adalah perhitungan perbandingan antara berat benda uji balok beton terhadap volume balok beton. Dalam perhitungan ini yang dihitung adalah perbandingan antara berat atau massa terhadap volume beton sebelum diperbaiki atau dalam kondisi awal.

Berikut ini adalah contoh perhitungan berat massa volume balok beton berdasarkan rumus 2.6

$$\begin{aligned} \text{a. Berat benda uji beton} &= 32,500 \text{ kg} \\ \text{b. Perhitungan volume benda uji beton} &= p \times l \times t \\ &= 0,6 \times 0,15 \times 0,15 \end{aligned}$$



$$= 0,0135 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{c. Berat massa volume beton} &= \frac{\text{Berat Benda Balok Beton}}{\text{Volume Benda Balok Beton}} \\ &= \frac{32,500}{0,0135} \\ &= 2407,407 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berikut adalah Tabel 4.12 Berat Massa Volume Balok Beton Setelah Diperbaiki.

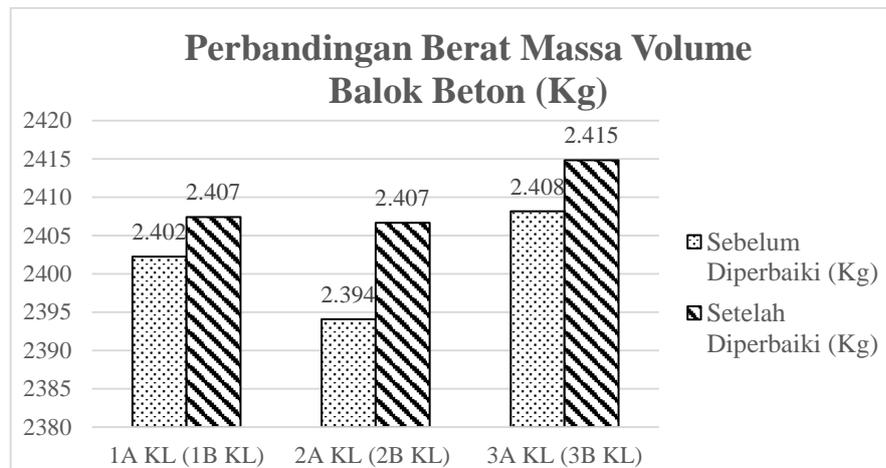
Tabel 4.12 Berat Massa Volume Balok Beton Setelah Diperbaiki

No	Kode Beton	Umur Beton Setelah Diperbaiki (hari)	Berat Benda Uji (kg)	Volume Benda Uji (m <sup>3</sup> )	Berat Massa Volume Beton (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Massa Volume Beton Rata – Rata (kg/m <sup>3</sup> )
1.	1B KL	28	32,500	0,0136	2407,407	2409,630
2.	1B KL	28	32,490	0,0136	2406,667	
3.	1B KL	28	32,600	0,0136	2414,815	

Berdasarkan Tabel 4.12, benda uji balok beton pada umur 28 hari termasuk ke dalam beton normal karena berat massa volume beton berada diantara 2200 kg/m<sup>3</sup>– 2500 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.10.3 Hasil perbandingan berat massa volume balok beton

Hasil perbandingan berat massa volume balok beton dapat dilihat pada Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Berat Massa Volume Balok Beton.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Berat Massa Volume Balok Beton

Berdasarkan grafik di atas berat massa volume yang sudah diperbaiki juga mengalami kenaikan yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan sampel kuat tarik belah benda uji beton silinder. Kenaikan berat massa volume beton pada sampel balok beton rata – rata adalah sebesar  $\pm 0,008$  kg. Untuk berat massa volume pada perbaikan kuat lentur dengan menggunakan benda uji balok beton masih tergolong beton normal, karena berat massa jenis antara  $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.10.4 Hasil pengujian kuat lentur balok beton

Berikut ini adalah hasil pengujian kuat lentur balok beton yang diuji di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang. Adapun pengujian kuat lentur yang diuji adalah beton utuh (yang belum diuji sebelumnya) dan beton yang sudah dilakukan perbaikan atau pengeleman. Pengujian kuat lentur balok beton dilakukan dengan menggunakan alat penguji kuat lentur.

Balok beton yang digunakan untuk pengujian kuat lentur merupakan balok beton dengan komposisi bahan yang sejenis. Berikut ini adalah contoh hasil perhitungan kuat lentur balok beton semula dengan menggunakan pembebanan 3 titik terpusat yang ada di Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang. Dalam perhitungan ini dapat menggunakan rumus 2.9



Tugas Akhir  
 Analisis Perbaikan Kegagalan Struktur Balok Beton Akibat  
 Tarik Belah Dan Lentur Dengan Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton X

$$\begin{aligned}
 \text{a. } 1A \text{ KL} &= R = \frac{3PL}{2bd^2} \\
 &= \frac{3 \times 21087 \times 446}{2 \times 150 \times 150^2} \\
 &= \frac{28214406}{6750000} \\
 &= 4,180 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka hasil perhitungan kuat lentur beton 1A KL adalah sebesar 4,180 MPa. Berikut ini adalah Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Sebelum Diperbaiki.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Sebelum Diperbaiki.

Kode Beton	Ukuran Balok (mm)	Umur (hari)	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata - Rata (MPa)
1A KL	600 x 150 x 150	201	32,430	90	4,180	4,288
2A KL			32,320	87	4,041	
3A KL			32,510	100	4,644	

Kemudian berikut ini adalah pengujian kuat lentur balok beton yang sudah dilakukan perbaikan atau pengeleman. Untuk pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Adapun alat yang digunakan adalah *Universal Testing Machine*.

Berikut ini adalah daftar beton yang diujikan:

- a. 1B KL = Perbandingan material 1Pc: 1Ps: 0,3 Air  
 = Perbandingan lem beton 0,4 LB (Lem Beton)
- b. 2B KL = Perbandingan material 1Pc: 1Ps: 0,3 Air  
 = Perbandingan lem beton 0,4 LB (Lem Beton)
- c. 3B KL = Perbandingan material 1Pc: 1Ps: 0,3 Air  
 = Perbandingan lem beton 0,4 LB (Lem Beton)

Berikut adalah contoh perhitungan kuat lentur pada balok beton yang sudah diperbaiki dengan menggunakan rumus 2.9.

$$\text{a. } 1B \text{ KL} = R = \frac{3PL}{2bd^2}$$



Tugas Akhir  
Analisis Perbaikan Kegagalan Struktur Balok Beton Akibat  
Tarik Belah Dan Lentur Dengan Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton X

$$= \frac{3 \times 15000 \times 446}{2 \times 150 \times 150^2}$$

$$= \frac{20070000}{6750000}$$

$$= 2,973 \text{ MPa}$$

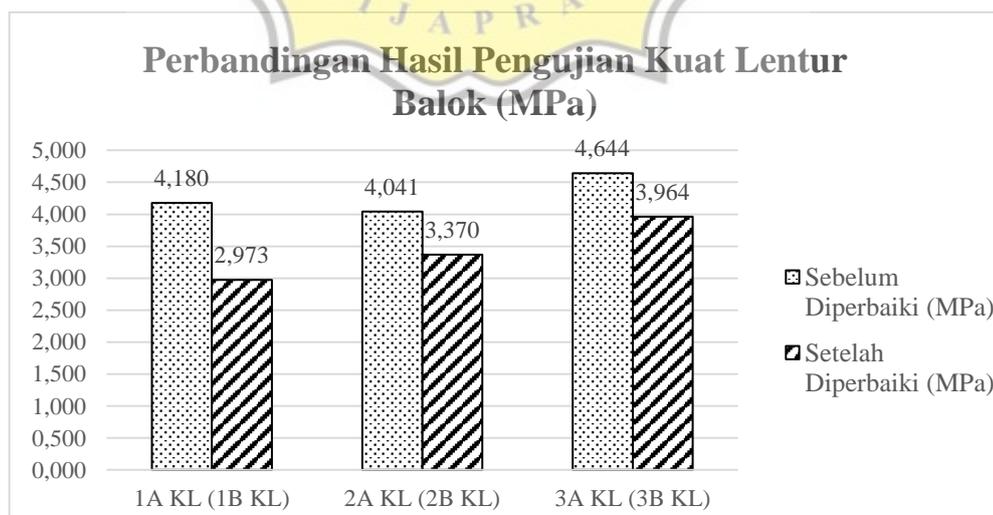
Berdasarkan perhitungan di atas maka hasil kuat lentur balok beton 1B KL adalah sebesar 2,973 MPa. Berikut ini adalah Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Setelah Diperbaiki.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Setelah Diperbaiki

Kode Beton	Ukuran Balok (mm)	Umur (Hari) Setelah Diperbaiki	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata - Rata (MPa)
1B KL	600 x 150 x 150	28	32,500	15	2,973	3,436
2B KL			32,490	17	3,370	
3B KL			32,600	20	3,964	

#### 4.10.5 Perbandingan hasil pengujian kuat lentur balok beton

Hasil perbandingan pengujian kuat lentur balok beton dapat dilihat pada Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok



Tugas Akhir  
Analisis Perbaikan Kegagalan Struktur Balok Beton Akibat  
Tarik Belah Dan Lentur Dengan Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton X

---

Berdasarkan grafik di atas, hasil perbandingan pengujian kuat lentur balok mengalami penurunan kuat lentur yang cukup signifikan yaitu, sebesar  $\pm 0,8$  MPa. Penurunan kekuatan tersebut tentunya sangat cukup besar karena penurunan kekuatan terjadi  $\pm 15\%$ . Menurut Isnaeni (2009), analisis penyebab kerusakan, bahan, dan metode pelaksanaan memang sangat perlu dilakukan apabila melakukan perbaikan struktur. Karena setiap bahan maupun metode pelaksanaan akan mempunyai fungsi yang berbeda – beda sesuai dengan analisis faktor penyebab kerusakan yang terjadi pada struktur beton di lapangan.

