

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan merupakan pengujian yang dilaksanakan untuk mengetahui karakteristik material yang akan digunakan pada saat penelitian. Pengujian pendahuluan berupa material beton, *mix design*, uji *slump*, kuat tarik baja tulangan, dan kuat tekan.

1. Pengujian Karakteristik Material Beton

Pengujian bahan material beton dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Bahan-bahan yang digunakan dalam pemeriksaan material yaitu agregat halus dan agregat kasar. Hasil pemeriksaan bahan material penyusun beton didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Pengujian Material Agregat Halus

1. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Hasil pemeriksaan kadar air didapat nilai rata-rata sebesar 1,75 %. Menurut Tjokrodimuljo (2007) mengenai kadar air oleh agregat halus maksimum 2 % Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 1.

2. Pemeriksaan berat satuan agregat halus

Hasil dari pemeriksaan berat satuan agregat halus diperoleh 1,26 gr/cm³. Pengujian berat satuan dilakukan untuk mengetahui agregat mampat atau *porous*. Semakin besar berat satuan maka semakin mampat agregat tersebut, tetapi apabila agregatnya *porous* maka dapat mengakibatkan penurunan kuat tekan pada beton. Berat satuan yang diperoleh merupakan golongan agregat satuan tidak normal. Berat normal 1,50-1,80 gram/cm³ Tjokrodimuljo (2010). Pemeriksaan berat satuan agregat halus dapat dilihat pada Lampiran 2.

3. Kadar lumpur agregat halus

Untuk agregat halus maksimal 5 % Mulyono (2004) dan hasil pengujian kadar lumpur yang diperoleh sebesar 1,39 %. Berdasarkan hasil bahwa hasil pengujian memenuhi syarat karena kadar lumpur bernilai

dibawah 5 %. Hasil pemeriksaan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

4. Pemeriksaan gradasi agregat halus

Hasil pengujian yang dilakukan pada agregat halus (Pasir Progo) dari hasil pemeriksaan pada Gambar 5.2 didapat bahwa gradasi agregat halus termasuk dalam daerah gradasi 2 menunjukkan pasir agak kasar yaitu dengan modulus halus butir sebesar 3,67. Sehingga dari hasil pengujian terdapat pada daerah 2 dan nilai MHB sebesar 3,67. Untuk mengetahui daerah gradasi bisa dilihat pada Tabel 5.1. Dan perhitungan pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.1 Gradasi kekasaran pasir

Lubang (mm)	% Berat butir lolos saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
1,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

Tabel 5.2 Hasil analisis gradasi pasir

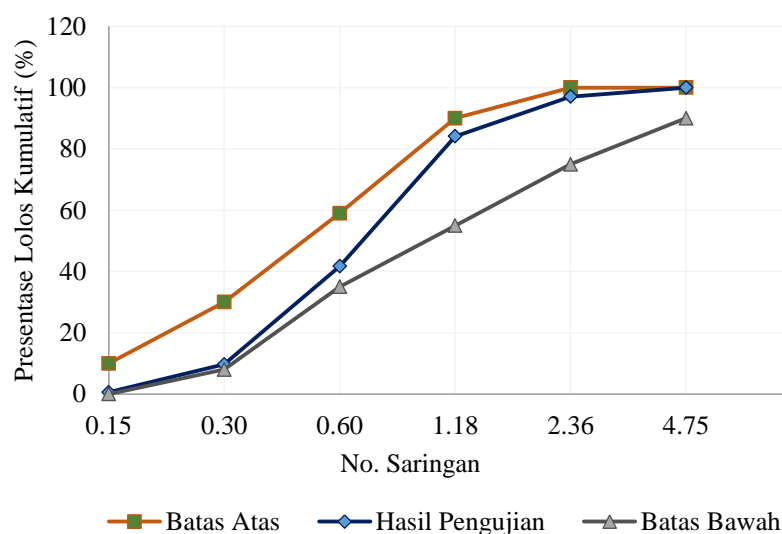
No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Berat tertahan (%)	Berat tertahan komulatif (%)	Berat tertahan komulatif (%)
4 (4,75 mm)	0	0	0	100
8 (2,36 mm)	29	2,9	2,9	97,10
16 (1,18 mm)	130	13	15,9	84,10
30 (0,6mm)	424	42,4	58,3	41,70
50 (0,3mm)	320	32	90,3	9,7
100 (0,15mm)	91	9,1	99,4	0,6

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Tabel 5.3 Hasil analisis gradasi pasir (Lanjutan)

No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Berat tertahan (%)	Berat tertahan kumulatif (%)	Berat tertahan kumulatif (%)
Pan	6	0,6	100	0
Total	1000	100	366,8	333,2

Sumber: Hasil Penelitian, 2017



Gambar 5.1 Grafik analisis gradasi butiran (pasir)

5. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Dari hasil pemeriksaan diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,39. Penyerapan air dari keadaan kering menjadi keadaan jenuh kering muka adalah 2,4. Pasir Progo termasuk dalam berat jenis normal yakni berada pada rentang 2,5 – 2,7 Tjokrodimuljo (2010). Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 5.

b. Hasil Pengujian Agregat Kasar

1. Berat satuan agregat kasar

Pada pengujian berat satuan digunakan untuk menentukan agregat tersebut *porous* atau mampat seperti pada agregat kasar. Semakin besar berat satuan maka semakin mampat agregat tersebut. Hasil pemeriksaan berat satuan agregat kasar 1,29 gr/cm³. Berdasarkan Tjokrodimuljo (2010) agregat

Merapi termasuk agregat normal karena nilai berat satuan berada pada rentang $1,50 - 1,80 \text{ gr/cm}^3$. Hasil pemeriksaan dapat dilihat dari Lampiran 7.

2. Kadar air agregat kasar (*split*)

Menurut (SII.0052 dalam Mulyono, 2004) syarat agregat normal sebesar 2 %. Pemeriksaan kadar air agregat kasar diperoleh kadar air rata-rata yang didapat dari hasil 1,33 %. Pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 8.

3. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (*split*)

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Dari berat jenis kerikil dengan berat jenis curah 2,7. Berat jenis jenuh kering muka 2,72. Berat jenis tampak sebesar 2,72. Dapat disimpulkan menurut (ASTM C.33 dalam Mulyono, 2004) bahwa kerikil Merapi termasuk dalam berat jenis normal yakni berada pada rentang 2,3 – 3,1. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 9.

4. Kadar lumpur agregat kasar (*split*)

Agregat kasar pada pengujian ini langsung dari lapangan, tanpa proses pencucian terlebih dahulu, hasil pengujian kadar lumpur ini lebih besar dari batas yang ditetapkan yaitu 1 %. Sehingga sebelum melakukan pengadukan beton, agregat ini perlu di cuci terlebih dahulu. Hasil pemeriksaan kadar lumpur 3,84 %. Menurut Tjokrodimuljo (2010) ada kecenderungan meningkatnya penggunaan air dalam campuran beton yang bersangkutan, jika terdapat lumpur maka tidak dapat menjadi satu dengan semen sehingga dapat menghalang penggabungan antara semen dan agregat. Pada akhirnya kekuatan tekan beton akan berkurang karena tidak adanya ikatan, sehingga sebelum melakukan pengadukan beton agregat perlu dicuci. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 11.

5. Keausan agregat kasar

Keausan agregat diuji dengan menggunakan alat *Los Angeles* diperoleh hasil dari masing-masing wilayah Yogyakarta. Pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* dengan menggunakan bola-bola baja sebanyak 11 buah. Menurut Tjokrodimuljo (2010) bahwa kerikil Merapi dengan hasil yang diperoleh sebesar 41,32% termasuk dalam beton kelas 1 yakni berada

pada rentang 40-50, sedangkan kerikil Clereng termasuk dalam keausan beton keatas 2 (kurang dari 14-22) yang hasilnya diperoleh sebesar 19,42%. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 12.

2. Rancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perhitungan perancangan campuran pada adukan beton dengan metode SK SNI: 03-2834-2002. Rencana untuk kebutuhan bahan adukan beton tiap 1 m³ dapat dilihat pada Tabel 5.4. Untuk kebutuhan 1 silinder dan 2 balok dapat dilihat pada Tabel 5.5. Analisis hitungan perancangan campuran beton dengan nilai FAS 0,47 dapat dilihat pada Lampiran 14.

Untuk 1 m³ didapatkan kebutuhan air sebesar 204,9 liter, kebutuhan semen 435,96 kg, agregat halus 614,93 kg, dan kebutuhan agregat kasar sebesar 1093,21 kg. Pada saat pengujian dilakukan pengecoran dalam satu kali adukan dengan jumlah benda uji untuk 2 balok dan 1 silinder. Hal ini dikarenakan kapasitas *mixer* molen terbatas, sehingga untuk 2 balok dan 1 silinder diperoleh kebutuhan air sebesar 6,62 liter, Semen sebesar 13,95 kg, Agregat halus sebesar 20,35 kg, dan agregat kasar sebesar 35,15 kg.

Tabel 5.4 Total kebutuhan bahan susun untuk tiap 1 m³ adukan beton normal

Jenis Bahan	Kebutuhan	Satuan
Air	204,9	Liter
Semen	435,96	Kg
Agregat halus	614,93	Kg
Agregat kasar	1093,21	Kg

Sumber: Hasil penelitian, 2017

Tabel 5.5 Kebutuhan bahan susun untuk tiap 1 adukan beton normal

Jenis Bahan	Kebutuhan	Satuan
Air	6,62	Liter
Semen	13,95	Kg
Agregat halus	20,35	Kg
Agregat kasar	35,15	Kg

Sumber: Hasil penelitian, 2017

3. Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan pada saat pengadukan pencampuran beton. Menurut PBB (1971) untuk benda uji balok memiliki nilai *slump* minimum 7,5 cm dan maksimum 15 cm. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat nilai *slump* rata-rata sebesar 9,71 cm. Berdasarkan hasil *slump* tersebut bahwa sudah sesuai dengan yang direncanakan. Hasil uji *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil uji *slump*

No	Jenis Semen	Nilai FAS	Uji <i>Slump</i> (cm)
1	Gresik	0,47	8
2	Gresik	0,47	7,5
3	Gresik	0,47	8,5
4	Gresik	0,47	8,5
5	Gresik	0,47	9
6	Gresik	0,47	10
7	Gresik	0,47	11
8	Gresik	0,47	11
9	Gresik	0,47	11
10	Gresik	0,47	11
11	Gresik	0,47	11
12	Gresik	0,47	10
Rata-rata		0,47	9,71

Sumber: Hasil penelitian, 2017

4. Pengujian Kuat Tarik Tulangan

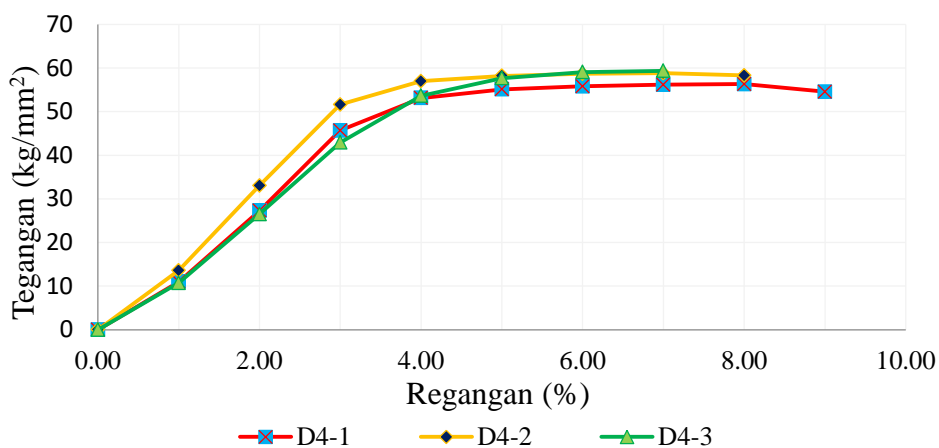
a. Kuat tarik tulangan diameter 4

Pengujian kuat tarik tulangan dilakukan dengan menggunakan 3 sampel dengan panjang 50 cm, memiliki diameter tulangan 4 mm. Kuat leleh tidak dapat diperoleh karena alat pengujian tidak dapat merekam pada saat leleh, sehingga hanya didapat tegangan *ultimate* rata-rata. Pada diameter 4 mm sebesar 570,64 MPa. Hasil pengujian kuat tarik tulangan menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Tabel 5.7 Hasil pengujian kuat tarik baja diameter 4

No	Benda Uji	Tegangan <i>Ultimate</i> (MPa)
1	D4-1	582,32
2	D4-2	577,02
3	D4-3	552,60
Rata-rata		570,64

Sumber: Hasil penelitian, 2017



Gambar 5.2 Grafik hubungan regangan-tegangan diameter 4 mm

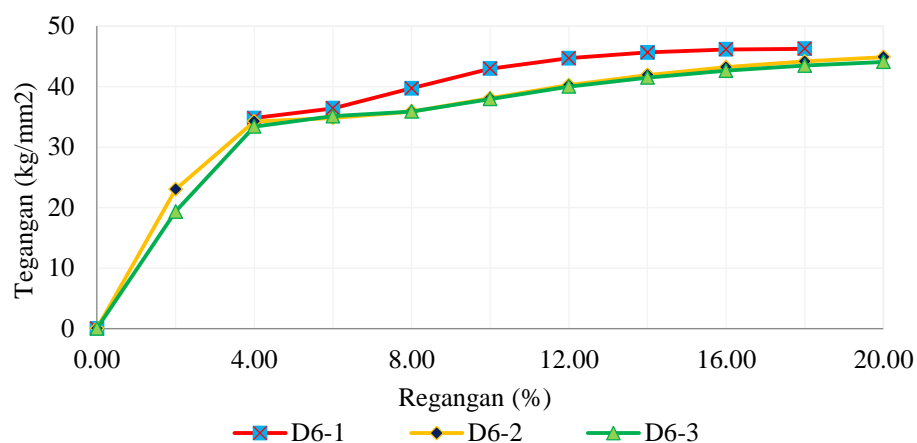
b. Kuat tarik tulangan diameter 6

Pengujian kuat tarik tulangan dilakukan dengan menggunakan 3 sampel dengan panjang 50 cm, memiliki diameter tulangan 6 mm. Kuat leleh tidak dapat diperoleh karena alat pengujian tidak dapat merekam pada saat leleh, sehingga hanya didapat tegangan *ultimate* rata-rata. Pada diameter 6 mm sebesar 437,58 MPa. Hasil pengujian kuat tarik tulangan Gambar 5.3.

Tabel 5.8 Hasil pengujian kuat tarik baja diameter 6

No	Benda Uji	Tegangan <i>Ultimate</i> (MPa)
1	D6-1	440,17
2	D6-2	440,17
3	D6-3	432,42
Rata-rata		437,58

Sumber: Hasil penelitian, 2017



Gambar 5.3 Grafik hubungan regangan tegangan diameter 6 mm

5. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton silinder dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Alat yang digunakan untuk pengujian tersebut yaitu *Compression Testing Machine* yang dilakukan pengujian di Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Hasil pengujian kuat tekan beton silinder dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Berdasarkan tabel tersebut, kuat tekan beton silinder memiliki kuat tekan rata-rata mencapai 21,28 MPa. Sedangkan pada *mix design* kuat tekan yang direncanakan 25 MPa. Hal ini terjadi pada saat di lapangan karena pada saat proses penumbukan yang tidak rata.

Tabel 5.9 Kuat tekan silinder

Benda Uji	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
A	14,8	172,03	25,53	21,28
B	15,1	179,08	14,81	
C	15	176,71	16,75	
D	14,91	174,60	31,25	
E	15,2	182,65	15,04	

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Tabel 5.10 Kuat tekan silinder (Lanjutan)

Benda Uji	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
G	15,16	180,50	12,74	21,28
H	15,12	179,55	18,08	
I	15,17	180,74	27,35	
J	15,24	182,41	19,13	
K	15,12	179,55	29,52	
L	15,11	179,32	23,53	

B. Pengujian Utama

1. Hasil Perbandingan Kuat Lentur Balok Normal dengan Balok Bakteri

Pada Gambar 5.6 balok *self healing* yang berumur 28 dengan balok bakteri diperoleh beban 7133 kg dengan *displacement* 11,48 mm. Untuk nilai balok kontrol didapat hasil 6858,5 kg dan *displacement* sebesar 13,85 mm. Sehingga peningkatan kuat lentur diperoleh sebesar 5,21 %. Hasil dapat dilihat pada Tabel 5.11, dan hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada lampiran 25.

Tabel 5.11 Hasil pengujian kuat lentur balok

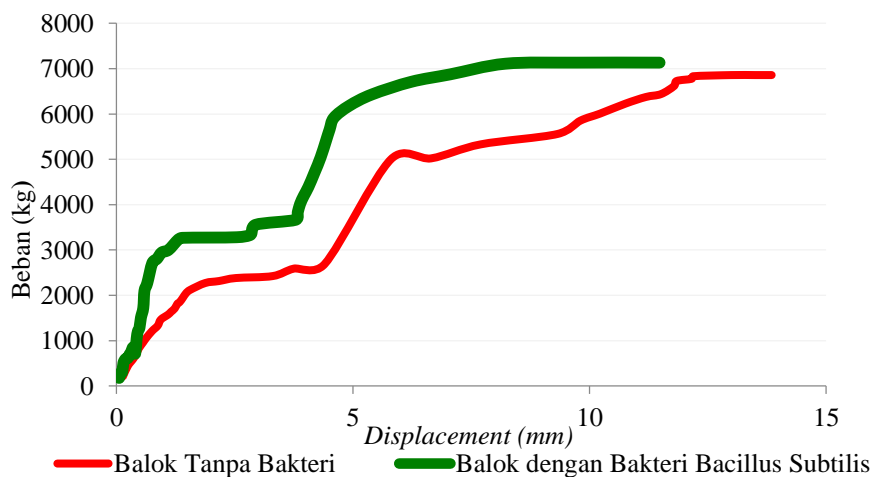
	Kode Balok	Dimensi (cm)			<i>Displacement</i> (mm)	Kuat Lentur (MPa)
		L	b	h		
Balok tanpa bakteri	F1	60	15,20	15,10	14	11,41
	F2	60	15	15	13,7	12,37
Rata-rata Kuat lentur	11,89 MPa					

Sumber: Hasil Penelitian , 2017

Tabel 5.12 Hasil pengujian kuat lentur balok (Lanjutan)

	Kode Balok	Dimensi (cm)			Displacement (mm)	Kuat Lentur (MPa)
		L	b	h		
Balok <i>Bacillus Subtilis</i>	G1	59,60	14,90	14,90	13,74	12,57
	G2	59,9	15	15	9,22	12,46
Rata-rata Kuat lentur	12,51 MPa					

Sumber: Hasil Penelitian , 2017



Gambar 5.4 Grafik perbandingan kuat lentur retan waktu 28 hari terhadap balok kontrol dengan balok *self-healing*

2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Berdasarkan Rentan Waktu

Balok dengan rentan waktu 7 hari diperoleh hasil kuat lentur sebesar 9,66 MPa. Untuk umur perawatan 14 hari diperoleh hasil sebesar 8,76 MPa. Umur 21 hari untuk kuat lentur 10,87 MPa, dan umur 28 hari diperoleh kuat lentur 12,51 MPa. Hasil peningkatan atau penurunan kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 5.7. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan hasil perhitungan kuat lentur

menggunakan rumus:

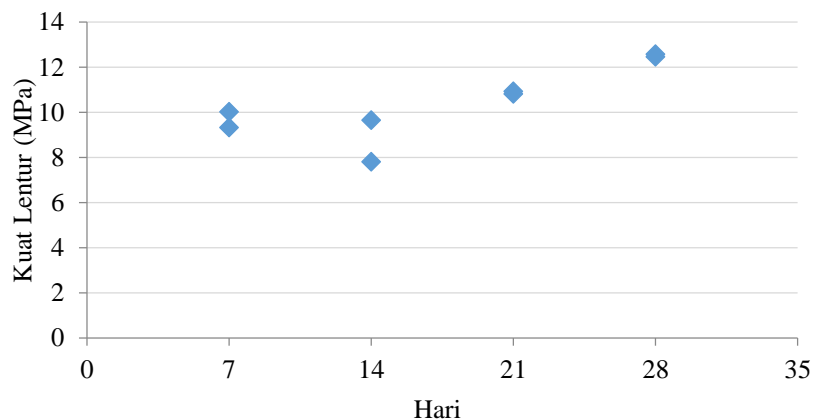
$$(\sigma_1) = \frac{(P \times l)}{(b \times h^2)} \dots\dots\dots(5.1)$$

Karena hasil dari pengujian didapat patahan berada 1/3 bentang tengah, hasil perhitungan kuat lentur beton berupa balok dapat dilihat pada Lampiran 55.

Tabel 5.13 Hasil kuat lentur dengan rentan waktu 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari

Rentan waktu (Hari)	Kuat lentur (MPa)
7	9.66
14	8.73
21	10.87
28	12.51

Sumber: Hasil Penelitian, 2017



Gambar 5.5 Grafik regresi

Dari Gambar 5.5 dapat dilihat balok dengan rentan waktu 7 hari diperoleh hasil kuat lentur sebesar 9,66 MPa dengan kuat tekan benda uji silinder D sebesar 31,25 MPa. Balok untuk usia perawatan menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* di hari 14 mengalami penurunan dengan hasil 8,73 MPa, hal ini karena dipengaruhi oleh kuat tekan dengan benda uji silinder H yang diperoleh sebesar 18,08 MPa. Dalam umur 21 hari untuk kuat lentur 10,87 MPa dengan kuat tekan benda uji silinder E sebesar 15,04 MPa terjadi peningkatan. Dan umur 28 hari diperoleh kuat lentur 12,51 MPa dengan kuat tekan dengan benda uji silinder G sebesar 12,74 MPa mengalami peningkatan karena memiliki rentan waktu yang lama

yaitu 28 hari. Hasil kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.9

3. Pola Keruntuhan Balok

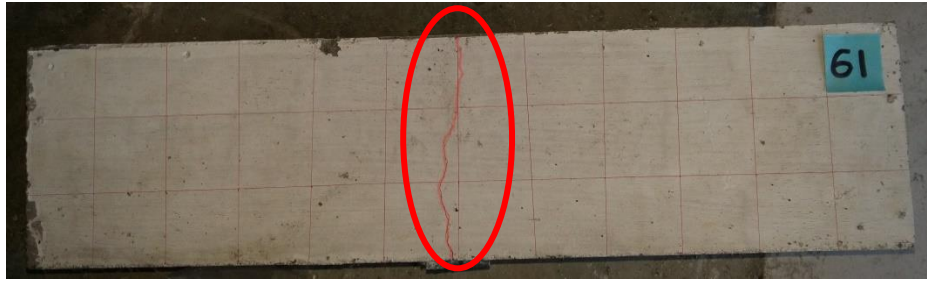
Pengujian dilakukan saat benda uji balok berusia 28 hari dengan menggunakan (*Micro-Computer Universal Testing Machine*). Benda uji balok dilakukan pengujian hanya sampai pada retak rambut dengan beban minimum 2000 Kg, hasil perhitungan perencanaan beban tahap I dapat dilihat pada Lampiran 21, kemudian pengujian dilakukan proses *Self Healing* yaitu menginjeksi balok dengan cairan bakteri *Bacillus Subtilis*. Hasil pengujian kuat lentur tahap I dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan hasil pengamatan balok (*Bacillus Subtilis*) pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.10 dengan pengamatan (7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari). Sedangkan tahap II dapat dilihat pada Gambar 5.11. Keretakan balok muncul dengan adanya retakan pertama yang terjadi di bagian tengah balok. Retak rambut terjadi karena beban yang kecil. Pada saat dilakukan pengujian tahap ke II diberikan beban yang besar sehingga mengakibatkan keretakan bagian tengah. Balok tanpa bakteri sebesar 6858,5 Kg dan balok bakteri (*Bacillus Subtilis*) sebesar 7133 Kg. Hasil pengujian tahap II dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan 5.13. keretakan yang dihasilkan pada pengujian tahap I dan 2 merupakan jenis keretakan lentur hal ini diakibatkan karena beban yang diberikan adalah beban statik (*two point loading*).



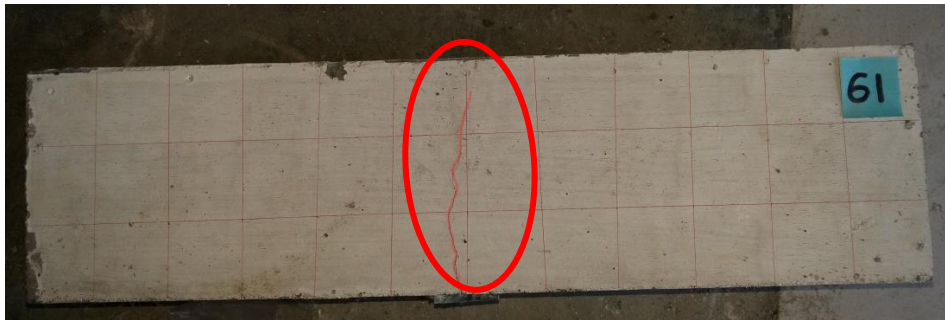
Gambar 5.6 Keretakan balok hasil pengujian tahap I



Gambar 5.7 Pengamatan 7 Hari



Gambar 5.8 Pengamatan 14 Hari



Gambar 5.9 Pengamatan 21 Hari



Gambar 5.10 Pengamatan 28 Hari



Gambar 5.11 Keretakan balok hasil pengujian tahap II (*Bacillus Subtilis*)



Gambar 5.12 Keretakan balok hasil pengujian tahap II
rentan waktu 28 hari (*Bacillus Subtilis*)



Gambar 5.13 Keretakan balok hasil pengujian tahap II rentan waktu 28 hari
(Balok tanpa bakteri)