

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material

Sebelum dilakukan pembuatan campuran beton perlu dilakukan pengujian material, mengenai karakteristik bahan material yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton apakah sudah memenuhi syarat yang ditentukan. Kemudian dapat dilanjutkan dalam perencanaan *Mix Design*. Penelitian dilakukan di Laboraturium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Maka didapat hasil pengujian dari bahan material seperti agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut ini.

4.1.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Gradasi Butiran Agregat Halus

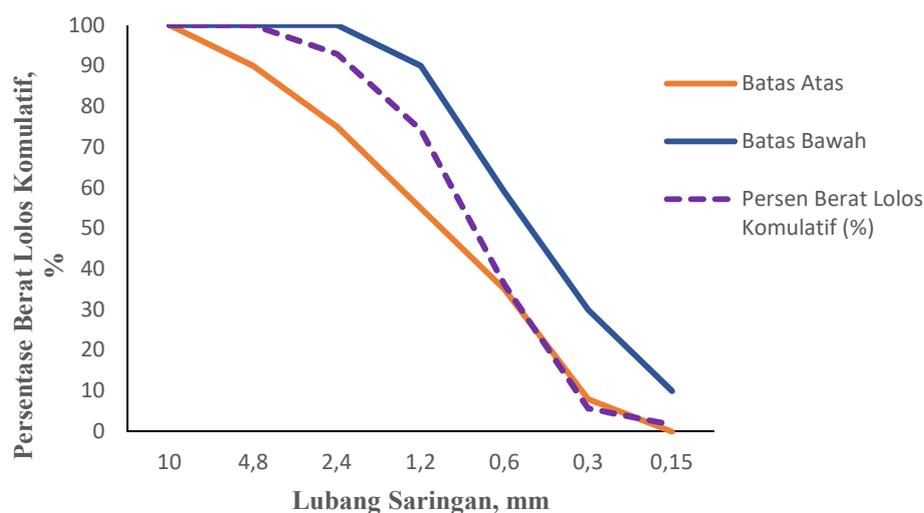
Berdasarkan hasil pemeriksaan Gradasi Agregat Halus (pasir Sungai Bantar) berdasarkan SNI 03-1750-1990 (BSN, 1990b) diketahui bahwa dalam gradasi daerah no 2 dengan karakteristik pasir agak kasar dengan modulus halus butir (MHB) rata-rata sebesar 3,85. Untuk lebih detail mengenai daerah gradasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1. Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.1 Gradasi Agregat Halus Benda Uji 1

| No saringan | Ukuran lubang saringan (mm) | Persentase lolos kumulatif (%) | Batas atas | Batas bawah |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|------------|-------------|
| 10 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 4,8 | 100 | 90 | 100 |
| 8 | 2,4 | 92,9 | 60 | 95 |
| 16 | 1,2 | 74,2 | 30 | 70 |
| 30 | 0.6 | 36,2 | 15 | 34 |

Tabel 4.2 Gradasi Agregat Halus Benda Uji 1 (lanjutan)

| No saringan | Ukuran lubang saringan (mm) | Presentase lolos kumulatif (%) | Batas atas | Batas bawah |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|------------|-------------|
| 50 | 0,3 | 5,7 | 5 | 20 |
| 100 | 0.15 | 1,7 | 0 | 10 |
| PAN | 0 | | | |



Gambar 4.1 Grafik gradasi pasir benda uji 1

2. Kadar Lumpur Agregat Halus

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan kadar lumpur agregat halus didapatkan rata-rata sebesar 4,97% lebih rendah dari nilai kandungan lumpur agregat yang disyaratkan pada agregat halus sebesar 5% dengan demikian pasir dapat langsung digunakan dalam pembuatan campuran beton normal tanpa harus dicuci terlebih dahulu. Hasil pemeriksaan kadar lumpur dapat dilihat pada Lampiran 1.

3. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus didapat nilai berat jenis kering muka yaitu sebesar 2,68. Penyerapan air dari keadaan kering menjadi jenuh kering muka adalah 9,94%. Berdasarkan Tjokrodimuljo (2007), menurut berat jenisnya, agregat dibagi menjadi 3 jenis yaitu: agregat ringan, agregat normal, agregat berat. Agregat ringan memiliki berat jenis kurang dari 2,0, Agregat normal memiliki berat jenis antara 2,5 -2,7, dan agregat berat memiliki berat jenis

lebih dari 2,8. sehingga agregat yang digunakan dalam pengujian ini masuk di dalam rentan antara 2,5 - 2,7. Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Lampiran 1.

4. Kadar Air Agregat Halus

Dari hasil pengujian kadar air dalam penelitian ini didapat nilai sebesar 14,39%. Benda uji termasuk dalam kondisi kering muka dan dalam kondisi kering udara karena butiran agregat mengandung sedikit air yang masuk kedalam pori. Semakin tinggi kadar air dari agregat maka daya serap air agregat juga semakin besar (Mulyono,2004). Hasil pemeriksaan kadar air dapat dilihat pada Lampiran 1.

5. Berat Satuan Agregat Halus

Hasil pengujian berat satuan dalam penelitian ini didapat nilai sebesar 1,47 gram/cm³. Besar atau kecil berat satuan agregat tergantung pada berat butiran dan volume agregat, semakin besar berat butiran agregat maka semakin besar pula berat isi agregat. Sedangkan semakin besar volume agregat maka semakin kecil berat satuan agregat. Berat satuan juga berpengaruh pada kuat tekan beton apabila agregatnya *porous* akan menurunkan kuat tekan beton (Mulyono, 2004) Hasil pengujian berat satuan dapat dilihat pada Lampiran 1. Berikut ini adalah hasil pengujian agregat halus di tunjukan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

| Jenis pengujian agregat halus | Hasil | Satuan |
|-------------------------------|----------|---------------------|
| Gradasi Butiran | Daerah 2 | - |
| Modulus Halus Butir (MHB) | 3,5 | - |
| Berat jenis | 2,68 | - |
| Kadar Lumpur | 4,97 | % |
| Penyerapan Air | 9,95 | % |
| Kadar Air | 14,39 | % |
| Berat Satuan | 1,47 | grm/cm ³ |

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

1. Berat jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Hasil pengujian dari berat jenis dan penyerapan air agregat pada penelitian ini didapatkan nilai sebesar 2,6. Syarat dari agregat nommal adalah antara 2,5-2,7 (Tjokrodimuljo, 2007). Sehingga agregat tersebut dapat digolongkan agregat

Normal. Sedangkan dari hasil penyerapan air sebesar 1,79%. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Lampiran 1.

2. Kadar Air Agregat Kasar

Hasil Pengujian kadar air dalam penelitian ini didapatkan nilai sebesar 1,17%. Syarat dari kadar air maksimum untuk agregat normal yaitu 2% SNI 03-1971-1990 (BSN, 1990a). Hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada Lampiran 1.

3. Kadar Lumpur Agregat Kasar

Hasil pengujian kadar lumpur dari penelitian ini didapatkan nilai sebesar 1,85%. Kandungan lumpur yang disyaratkan adalah tidak boleh lebih dari 1%, maka agregat yang digunakan dalam penelitian ini harus dicuci terlebih dahulu. Hasil pengujian kadar lumpur dapat dilihat pada Lampiran 1.

4. Berat Satuan Agregat Kasar

Hasil pengujian berat satuan agregat kasar didapatkan nilai sebesar 1,44 grm/cm³. Berat satuan digunakan untuk mengidentifikasi agregat tersebut *porus* atau mampat, selain itu berat satuan digunakan untuk mengetahui jenis batuan dan kelasnya (Tjokrodinuljo, 2007). Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Lampiran 1.

5. Keausan Agregat Kasar

Keausan agregat Kasar dari penelitian ini didapatkan nilai sebesar 21%. Batas maksimum yang ditetapkan adalah 40% (Tjokrodinuljo, 1992), sehingga agregat yang digunakan dalam penelitian ini masuk dalam syarat sehingga agregat dikategorikan termasuk material kualitas baik. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 1. Berikut adalah hasil dari pemeriksaan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

| Jenis Pengujian Agregat Kasar | Hasil | Satuan |
|-------------------------------|-------|---------------------|
| Berat Jenis | 2,6 | - |
| Penyerapan Air | 2,14 | % |
| Kadar Air | 1,17 | % |
| Kadar Lumpur | 1,85 | % |
| Berat Satuan | 1,44 | grm/cm ³ |
| Keausan Agregat | 21 | % |

4.2. Hasil Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan beton dalam penelitian ini didasarkan pada SNI 03-2834-2000 (BSN, 2000) mengenai tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Dalam hal ini bertujuan untuk mengetahui komposisi dari bahan-bahan penyusun beton. Nilai *f* yang digunakan adalah 0,48. Dari hasil perhitungan *mix design* dalam pembuatan campuran beton normal yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.5 Hasil *Mix Design* Dalam 1 m³

| Bahan campuran | Berat | Satuan |
|----------------|---------|-------------------|
| Air | 205 | Liter |
| Semen | 434,875 | Kg/m ³ |
| Pasir | 576,87 | Kg/m ³ |
| Krikil | 1071,9 | Kg/m ³ |
| Total | 2280 | Kg/m ³ |

Tabel 4.6 Hasil *Mix Desain* Untuk 1 Kali Benda Uji Kubus Ukuran 15x15x15 cm

| Bahan campuran | Berat | Satuan |
|----------------|-------|--------|
| Air | 0,76 | Liter |
| Semen | 1,58 | Kg |
| Pasir | 2,14 | Kg |
| Kerikil | 6,46 | kg |
| Total | 8,46 | kg |

Tabel 4.7 Hasil *Mix Design* Untuk 1 Kali Benda Uji Balok Ukuran 15x15x60 cm

| Bahan campuran | Berat | Satuan |
|----------------|-------|--------|
| Air | 3,04 | Liter |
| Semen | 6,33 | Kg |
| Pasir | 8,56 | Kg |
| Kerikil | 15,9 | kg |
| Total | 33,85 | kg |

4.3. Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan untuk memeriksa penurunan yang terjadi pada beton segar. Cara uji *slump* didasarkan pada SNI 1972:2008 (BSN, 2008c). Hasil pengujian *slump* rata-rata yang didapatkan adalah sebesar 13,7 cm. Dari hasil pengujian yang didapatkan nilai *slump* tersebut masuk diantara persyaratan yang

ditentukan yaitu antara 7,5-15 cm. Berikut adalah hasil nilai *slump* yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Slump*

| No | Uji <i>Slump</i> | Hasil (cm) |
|-----------|------------------|------------|
| 1 | <i>Slump</i> 1 | 14,5 |
| 2 | <i>Slump</i> 2 | 14,4 |
| 3 | <i>Slump</i> 3 | 12,8 |
| 4 | <i>Slump</i> 4 | 12,6 |
| 5 | <i>Slump</i> 5 | 12,9 |
| 6 | <i>Slump</i> 6 | 14,8 |
| 7 | <i>Slump</i> 7 | 14,2 |
| 8 | <i>Slump</i> 8 | 13,4 |
| 9 | <i>Slump</i> 9 | 14,3 |
| Rata-rata | | 13,7 |

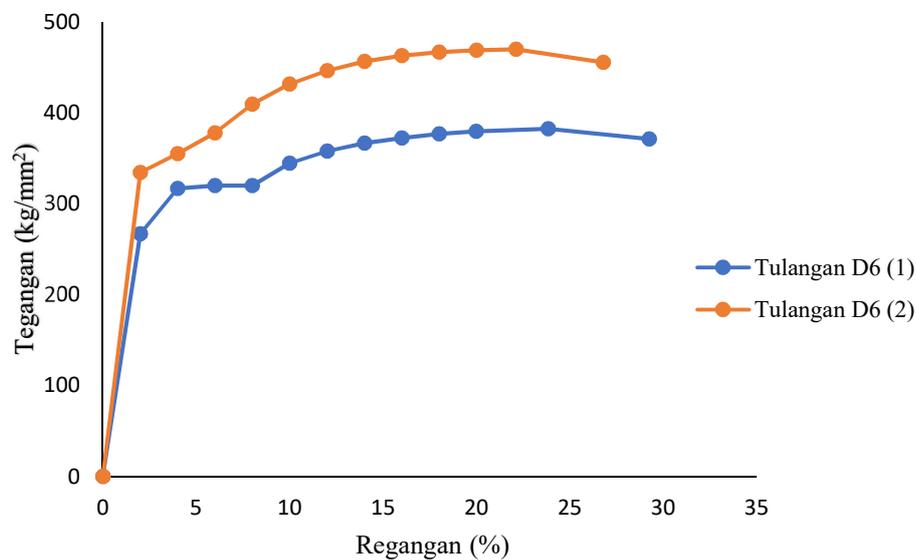
4.4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tulangan polos memiliki diameter 6 mm dan 8 mm. Pengujian tarik baja didasarkan pada SNI 07-2052-2002 (BSN, 2002). Tulangan dengan diameter 6 mm diuji sebanyak 2 sampel hasil yang didapat dalam pengujian tarik baja adalah nilai batas *ultimate* dari masing-masing baja tulangan. Dari benda uji baja tulangan 1 nilai batas *ultimate* saat nilai regangan 23,84% yaitu sebesar 382,6 kg/mm², untuk benda uji baja tulangan 2 nilai regangan 22,12% yaitu sebesar 470,03 kg/mm², Sedangkan nilai batas putus dari masing-masing tulangan yaitu untuk baja tulangan 1 sebesar 371,31 kg/mm², baja tulangan 2 sebesar 455,74 kg/mm², Hasil pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Baja Tulangan Diameter 6 mm

| Regangan (%) | Tegangan (kg/mm ²) | |
|--------------|--------------------------------|-----------------|
| | Baja tulangan 1 | Baja tulangan 2 |
| 0 | 0 | 0 |
| 2 | 266,96 | 334,34 |
| 4 | 317,1 | 355,17 |
| 6 | 320,12 | 377,93 |
| 8 | 320,12 | 409,79 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 10 | 344,73 | 431,76 |
| 12 | 356,93 | 446,7 |
| 14 | 366,83 | 456,65 |
| 16 | 372,45 | 463,05 |
| 18 | 377 | 467,10 |
| 19 | 379,9 | - |
| 20 | - | 469,95 |
| 22 | - | 470,03 |
| 23 | 382,6 | - |
| 26 | - | 455,74 |
| 29 | 371,31 | - |

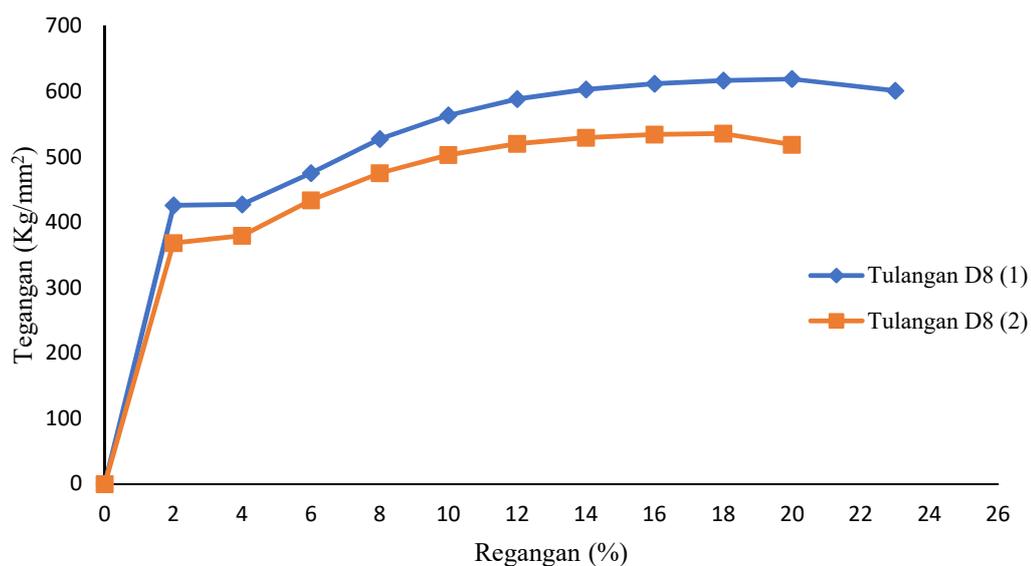


Gambar 4.2 Garafik hubungan reganan dan tegangan diameter 6 mm

Pengujian kuat tarik baja tulangan dengan diameter 8 mm diuji sebanyak 2 sampel, dari hasil pengujian didapat nilai batas *ultimate* masing-masing tulangan. Dari tulangan 1 nilai batas *ultimate* disaat regangan 20% yaitu sebesar 619,11 kg/mm², dan tulangan 2 nilai batas *ultimate* disaat regangan 18,18% yaitu sebesar 534,72 kg/mm². Sedangkan untuk nilai batas putus dari tulangan 1 sebesar 601,34 kg/mm² dan tulangan 2 sebesar 518,73 kg/mm². Hasil tegangan dan regangan tulangan dengan diameter 8 dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Baja Tulangan Diameter 8 mm

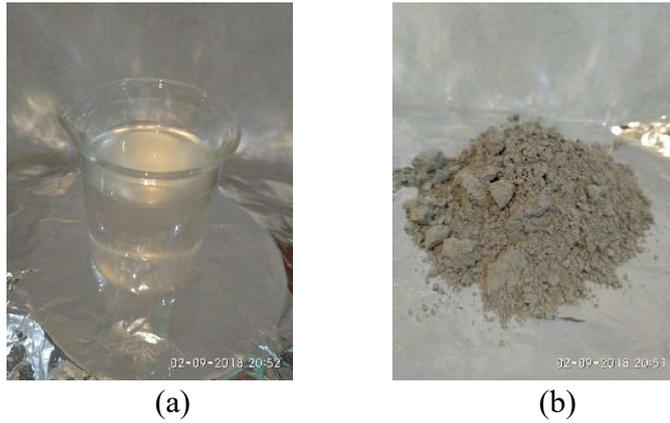
| Regangan (%) | Tegangan (kg/mm ²) | |
|--------------|--------------------------------|------------|
| | Tulangan 1 | Tulangan 2 |
| 0 | 0 | 0 |
| 2 | 426 | 368,22 |
| 4 | 427,3 | 379,73 |
| 6 | 475,47 | 433,65 |
| 8 | 527,84 | 475,15 |
| 10 | 563,83 | 503 |
| 12 | 588,52 | 520,05 |
| 14 | 603,02 | 529,34 |
| 16 | 612,07 | 534,23 |
| 18 | 618,02 | 534,72 |
| 20 | 619,11 | 518,73 |
| 23 | 601,34 | - |



Gambar 4.3 Hubungan antara regangan dan tegangan diameter 8 mm

4.5. Hasil Pembuatan Campuran Sodium Silikat dan Semen

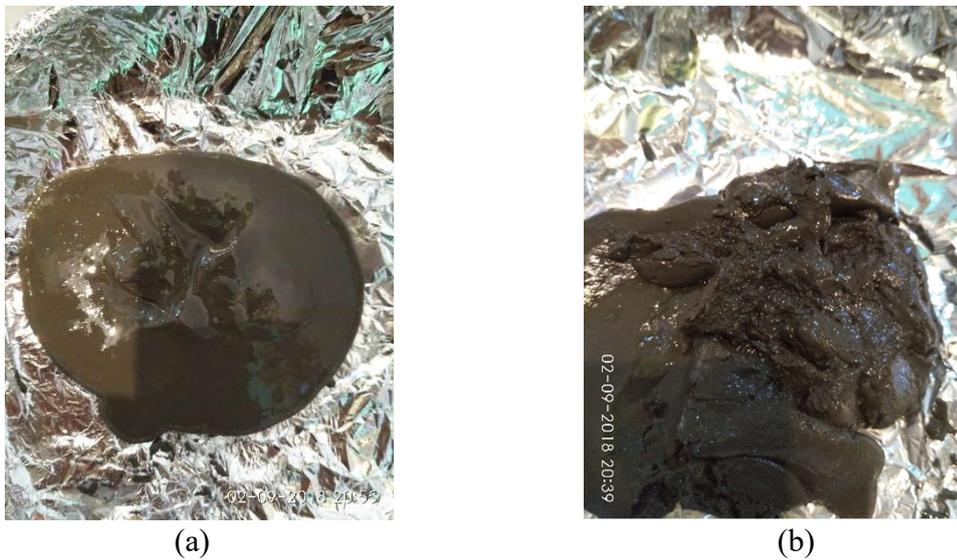
Pembuatan campuran perbaikan dalam penelitian ini menggunakan perbandingan 1:1, 3:4, 1:2. Campuran sodium silikat dan semen memiliki *setting time* yang cepat dan terjadi penggumpalan setelah sodium dan semen tercampur. Hasil dari pembuatan campuran perbaikan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 (a) Sodium silikat (b) semen



Gambar 4.5 Awal pencampuran bahan



Gambar 4.6 (a) Campuran saat 0 menit (b) campuran setelah 7 menit



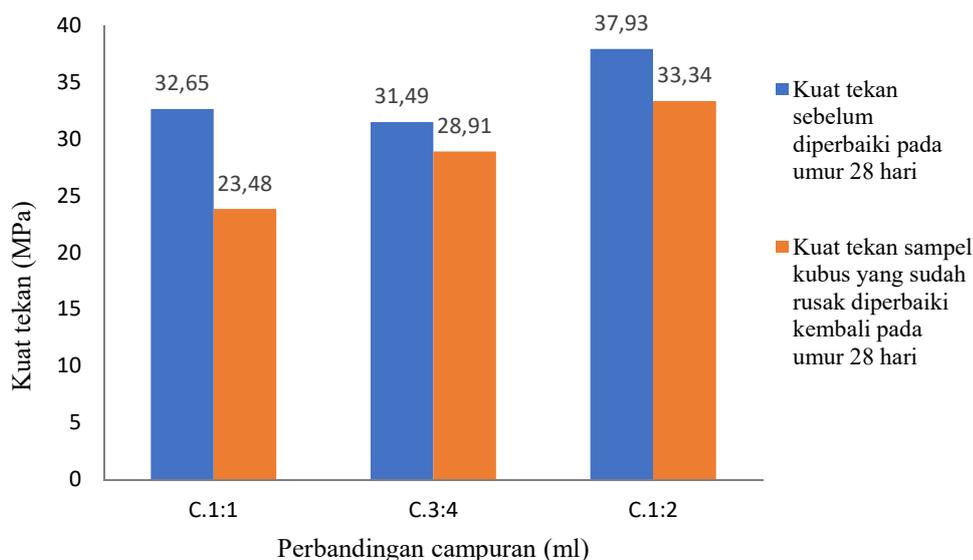
Gambar 4.7 Terjadi penggumpalan setelah pencampuran

4.6. Hasil Pengujian Kuda Tekan Kubus Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dalam dua tahap, tahap pertama yaitu kuat tekan untuk mengasumsikan bahwa sudah terjadi kerusakan pada beton untuk diperbaiki, sedangkan kuat tekan tahap kedua dilaksanakan ketika beton sudah diperbaiki. Perbaikan kubus beton ini menggunakan metode *jacketing* dengan memperbesar penampang sebesar 0,5 mm disetiap sisinya dari ukuran awal pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Hasil dari uji kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kubus

| Nama | Perbandingan | Hasil sebelum diperbaiki | | | Hasil sesudah diperbaiki | | | Selisih kekuatan dari kekuatan awal (%) |
|------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|---|
| | | Kuat tekan (MPa) | Umur (hari) | Rerata (MPa) | Kuat tekan (MPa) | Umur (hari) | Rerata (MPa) | |
| TA1 | c.1:1 | 26,16 | 28 | 32,65 | 21,35 | 28 | 23,48 | 28% |
| TA2 | | 39,75 | 28 | | 24,14 | 28 | | |
| TA3 | | 32,04 | 28 | | 24,96 | 28 | | |
| TA4 | c.3:4 | 39,53 | 28 | 31,49 | 33,27 | 28 | 28,91 | 8% |
| TA5 | | 32,71 | 28 | | 34,41 | 28 | | |
| TA6 | | 22,25 | 28 | | 19,05 | 28 | | |
| TA7 | C.1:2 | 36,41 | 28 | 37,93 | 32,74 | 28 | 33,34 | 12% |
| TA8 | | 40,38 | 28 | | 41,13 | 28 | | |
| TA9 | | 36,99 | 28 | | 26,14 | 28 | | |



Gambar 4.8 Kuat tekan dari perbandingan campuran

Hasil kuat tekan beton sebelum dan setelah diperbaiki pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.2. Menunjukkan bahwa pada benda uji dengan perbandingan c1:1 memiliki kuat tekan rata-rata sebelum diperbaiki adalah sebesar 32,65 MPa, setelah itu diperbaiki dan menghasilkan kuat tekan sebesar 23,84 MPa, metode perbaikan *jacketing* dengan bahan tambah sodium silikat tidak dapat menghasilkan kuat tekan seperti kekuatan awal, dan memiliki selisih kekuatan sebesar 28% dari kekuatan aslinya. Pada benda uji dengan perbandingan c3:4 kuat tekan rata-rata sebelum diperbaiki adalah sebesar 31,49 MPa, setelah diperbaiki menghasilkan kuat tekan sebesar 28,91 MPa, dan memiliki selisih kekuatan 8% dari kekuatan aslinya. Sedangkan untuk perbandingan c1:2 kuat tekan rata-rata sebelum diperbaiki adalah sebesar 37,93 MPa, setelah diperbaiki menghasilkan kuat tekan sebesar 33,34 MPa, dan memiliki selisih kekuatan 12% dari kuat tekan aslinya.

4.7. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok

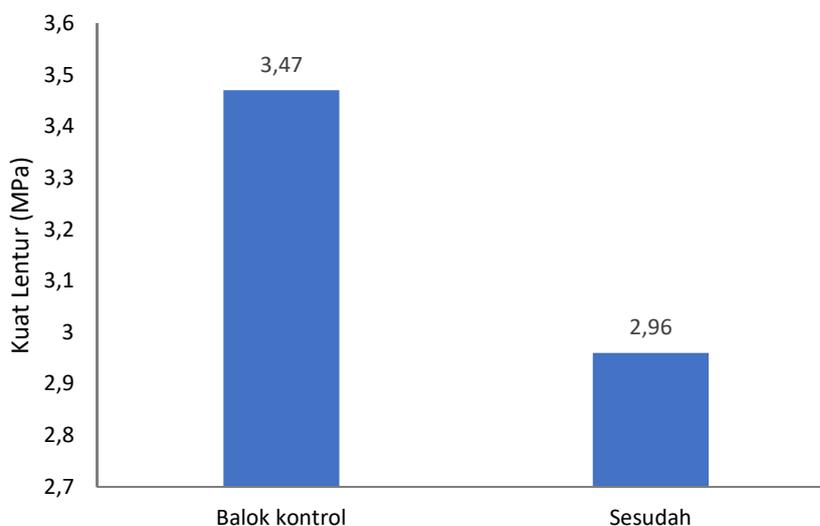
1. Hasil pengujian kuat lentur

Hasil pengujian kuat lentur beton sebelum dan sesudah diperbaiki dengan metode *grouting* dengan bahan tambah sodium silikat dan semen, dan menggunakan perbandingan campuran 3:4. Balok kontrol N1 dibebani 100% sampai terjadi runtuh digunakan sebagai acuan kuat lentur maksimum yang dapat ditahan oleh balok dan untuk mengetahui peningkatan kekuatan pada balok setelah

dilakukan perbaikan. Balok B1, B2, dan B3 diberi beban *first crack* sebesar 2500 kg sebagai asumsi terjadinya kerusakan pada balok yang akan diperbaiki dengan metode *grouting*. Hasil kuat lentur dengan beban dua titik setelah diperbaiki dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.12 Hasil Kuat Lentur Balok Setelah Diperbaiki

| Keterangan | Kode | Peak point (N) | Dimensi (mm) | | | Kuat lentur (MPa) | Rata-rata kuat lentur σ_l (MPa) |
|------------------------------|------|-------------------|--------------|-------|----|-------------------------|---|
| | | | b | h | a | | |
| Balok sesudah diperbaiki | B1 | 52.191,16 | 151,9 | 153,4 | 20 | 2,92 | 2,96 |
| | B2 | 45.401,66 | 154,6 | 152 | 20 | 2,54 | |
| | B3 | 60.949,53 | 153,3 | 152,8 | 20 | 3,42 | |
| Balok kontrol kuat lentur | N1 | 61.926,61 | 152,8 | 152,7 | 20 | 3,47 | 3,47 |
| Selisih kuat lentur | | | | | | | 0,51 |



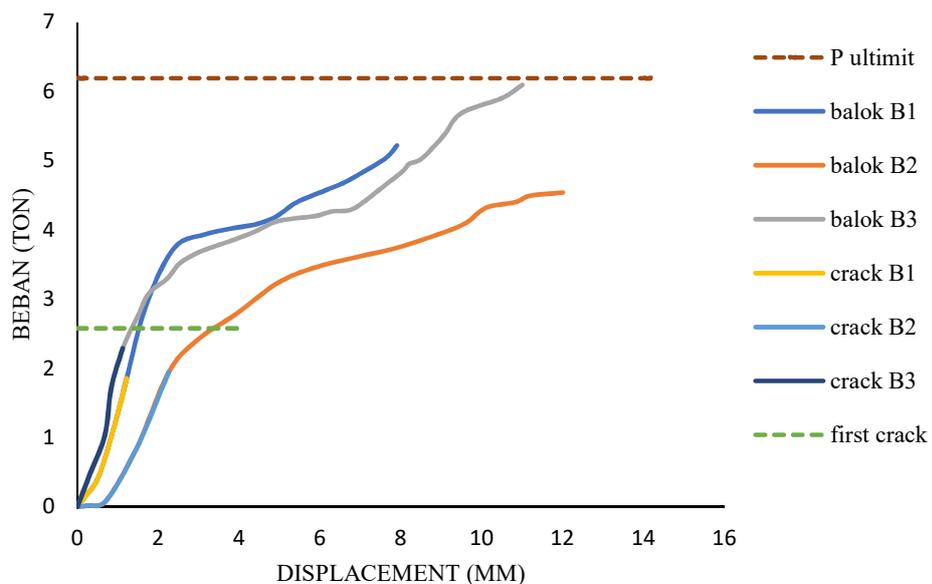
Gambar 4.9 Kuat lentur rata-rata balok

Dari hasil pengujian kuat lentur balok setelah diperbaiki pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.5. Menunjukkan bahawa telah terjadi penurunan kekuatan balok sebesar 0,51 MPa terhadap balok Kontrol N1.

2. Hasil pengujian kuat lentur balok hubungan antara *displacement* dan beban
- Hasil pengujian diketahui hubungan antara *displacement* dan beban pada setiap balok yang menggunakan perbandingan perbaikan 3:4. Garafik hubungan antar *displacement* dan beban antara beban *first crack* sebelum diperbaiki, *first crack* setelah diperbaiki dan beban *ultimate* setelah diperbaiki. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.13 Perbandingan Antara *Displacement* dan Beban Pada Setiap Sampel Balok

| Jenis Beban | kode | P u (ton) | δu (mm) |
|---------------------------------------|------|-----------|-----------------|
| <i>First crack</i> sebelum diperbaiki | B1 | 2,57 | 1,39 |
| | B2 | 2,66 | 0,86 |
| | B3 | 2,65 | 0,96 |
| Rata-rata | | 2,63 | 1,07 |
| <i>Crack</i> sesudah diperbaiki | B1 | 1,89 | 1,22 |
| | B2 | 1,92 | 2,26 |
| | B3 | 2,21 | 1,12 |
| Rata-rata | | 2 | 1,5 |
| Ultimate setelah diperbaiki | B1 | 5,32 | 7,9 |
| | B2 | 4,63 | 12 |
| | B3 | 6,21 | 8,69 |



Gambar 4.10 Hubungan antara *displacement* dan beban

Hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahawa kuat lentur yang terjadi pada saat beban rata-rata *first crack* sebelum diperbaiki adalah sebesar 2,63 ton, dan rata-rata *Crack* setelah diperbaiki adalah sebesar 2 ton terjadi penurunan kekuatan sehingga disimpulkan bahwa bahan tambah sodium silikat dan semen kurang direkomendasikan sebagai bahan perbaikan pada balok.

3. Pola keruntuhan balok

Pada pengujian kuat lentur balok beton normal dengan umur 28 hari pola keretakan yang terjadi pada balok adalah pola keruntuhan lentur murni. Pola tersebut didapat dari hasil pembebanan dua titik dengan beban maksimum 6.312,6 kg sehingga retak yang timbul adalah retak makro di tengah bentang balok beton. Retak dengan beban maksimum dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Retak pada saat beban maksimum beton normal

Retak pada saat *first crack* dilakukan hanya untuk memberikan beban minimum kepada balok sebesar 2.500 kg . Beban *first crack* didapat dari perhitungan awal sebagai simulasi keruntuhan pada hal yang sebenarnya di lapangan. Kemudian balok diperbaiki dan diuji tekan tahap kedua dengan beban maksimum. Gambar pola retak dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Retak pada saat beban *first crack*



Gambar 4.7 Retak maksimum setelah perbaikan