

Perbaikan Beton Menggunakan Metode *Grouting* Pada Balok dan *Jacketing* Pada Sampel Kubus dengan Bahan Tambah Sodium Silikat dan Semen

Concrete Improvement Using Grouting Method on samples beam and Jacketing on cube samples with Add Sodium Silicate and Cement Materials

Dimas Irfani, Taufiq Ilham Maulana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Beton merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam konstruksi bangunan. Umumnya beton digunakan untuk membangun gedung, jembatan, jalan dan sebagainya. Seiring berjalannya waktu struktur bangunan (beton) akan mengalami kerusakan. Kerusakan yang terjadi bisa disebabkan dari beban yang diterima struktur bangunan melebihi batas maksimum atau kerusakan yang terjadi akibat bencana alam seperti gempa bumi. Kerusakan yang terjadi pada beton ini dapat diatasi dengan berbagai macam perbaikan dengan cara memberikan perkuatan ataupun penambahan bahan-bahan dan material tertentu pada struktur bangunan. Dalam penelitian ini perbaikan beton dilakukan dengan 2 metode perbaikan yaitu *grouting* pada sampel balok dan *jacketing* pada sampel kubus beton dengan bahan tambah sodium silikat dan semen. Metode *grouting* pada balok dilakukan dengan cara memperbesar retakan akibat beban *first crack* kemudian dilakukan pengisian bahan perbaikan, sedangkan metode *jacketing* dilakukan dengan cara memperbesar penampang dari kubus beton setelah terjadi kerusakan. Penampang kubus beton berukuran 150 x 150 x 150 mm diperbesar menjadi 160 x 160 x 160 mm. Hasil penelitian pada kasus perbaikan dengan metode *grouting* pada balok menunjukkan bahwa perbaikan balok yang telah *crack* menggunakan sodium silikat dan semen tidak lebih besar dari balok Kontrol, sedangkan pada kasus perbaikan dengan metode *jacketing* kubus beton, sampel sudah mengalami keruntuhan setelah dilakukan perbaikan masih memiliki kekuatan, tetapi tidak semaksimal dari kekuatan awal dari kubus beton.

Kata kunci : perbaikan, *grouting*, *jacketing*

Abstract. Concrete is a material used in building construction. Generally concrete is used to build buildings, bridges, roads and so on. Over time the building structure (concrete) will experience damage. Damage that occurs can be caused by the load received by the building structure beyond the maximum limit or damage caused by natural disasters such as earthquakes. Damage that occurs in this concrete can be overcome with a variety of improvements by providing reinforcement or addition of certain materials and materials in the building structure. In this study concrete repair was carried out with 2 methods of repair, namely *grouting* on beam samples and *jacketing* on concrete cube samples with sodium silicate and cement added ingredients. The method of *grouting* on the beam is done by enlarging crack due to the first crack load and filling the repair material, while the *jacketing* method is done by enlarging the cross section of the concrete cube after damage has occurred. Concrete cube cross section measuring 150 x 150 x 150 mm is enlarged to 160 x 160 x 160 mm. The result of the study on case of improvement with the beam *grouting* method showed that the repair of the cracked beam using sodium silicate and cement was not great than the control beam, whereas in the case of repair with the concrete cube *jacketing* method, the sample had already been destroyed after repair still had strength, but not as maximal as the initial strength of the concrete cube.

Key words : repair, *grouting*, *jacketing*

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam konstruksi bangunan. Umumnya beton digunakan untuk membangun gedung, jembatan, jalan dan sebagainya. Seiring berjalannya waktu struktur bangunan (beton) akan mengalami kerusakan. Kerusakan yang terjadi bisa disebabkan dari beban yang diterima struktur bangunan melebihi batas maksimum atau kerusakan yang terjadi akibat bencana alam seperti gempa bumi.

Berbagai jenis kerusakan beton yang terjadi pada beton ini dapat diatasi dengan berbagai macam perbaikan pada beton. Namun pada beberapa kasus, perbaikan pada beton yang kurang baik juga dapat memperburuk keadaan dan beresiko membuat kerusakan lain di bangunan. Retak-retak merupakan penyebab kerusakan balok biasanya terjadi di 1/3 tengah bentang (Helmi, 2009). Metode *grouting* yaitu dengan menyuntikan bahan tambah perekat menggunakan *epoxy* murni kedalam struktur yang retak (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009).

Perbaikan dengan menggunakan injeksi *epoxy* dapat meningkatkan kekuatan setelah terjadi retakan (Puspita dkk., 2018). Selain dengan injeksi *epoxy* perbaikan beton juga dapat menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) juga dapat meningkatkan kapasitas lateral pada kolom (Parmo dkk., 2013). Metode *jacketing* juga banyak digunakan dalam perbaikan struktur bangunan terutama pada kolom setelah mengalami keruntuhan. Perbaikan dengan *concrete jacketing* yaitu memperbesar penampang dari ukuran awal dengan tidak atau menggunakan tulangan atau penyelubungan dengan kawat jala las setempat pada daerah yang rusak (Soebandono dkk., 2011).

Kerusakan yang terjadi pada struktur juga sangat berpengaruh terhadap kapasitas kolom dalam menahan beban, kerusakan yang efektif untuk diperbaiki adalah minimal 70% dari struktur bangunan (Pasila dkk., 2016 ; Soenaryo dkk., 2009). Bahan perbaikan yang digunakan adalah foresemen atau dengan bahan pengikat resin serta bahan tambah lainnya. Metode *jacketing* dapat meningkatkan kapasitas kolom terutama dengan menggunakan tulangan (*dowel*) pada perbaikan kolom, semakin tebal jaket kolom yang diberikan maka akan semakin kuat (Elbakry dan Tarabia, 2015 ;

Kaontole dkk., 2015). Perbaikan dengan metode *eksternal prestressing* juga dapat digunakan sebagai alternatif perbaikan, dilakukan dengan cara batang atau kabel *prestressing* di tanam pada balok yang rusak kemudian memberi tegangan tertentu lalu mengangkernya sehingga elemen yang rusak mendapatkan gaya tekan (Khrisna dkk., 2018)

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh dan mempelajari pengaruh dari bahan perbaikan terhadap kuat tekan pada sampel kubus dan kuat lentur pada sampel balok. Perbaikan ini dapat menjadi alternatif untuk dipertimbangkan di lapangan.

1.1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Pengujian kuat tekan beton didasarkan SNI 1974:2011 (BSN, 2011a). Hitungan kuat tekan beton dinyatakan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji dengan luas penampang melintang rata. Seperti tertera dalam persamaan (2.1).

$$(f_c') = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

f_c' = Kuat tekan beton

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang (cm²)

1.2. Kuat Lentur Balok

Berdasarkan BSN (2011b), tentang pengujian kuat lentur normal dengan dua titik pembebanan. Kuat lentur balok adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji mengalami patah, dengan satuan *Mega Pascal* (MPa) gaya persatuan luas. Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

a. Penegujian bidang patah terletak di daerah pusat (dari 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), Ilustrasi bidang patah dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan perhitungan kuat lentur balok dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\sigma_l = \frac{P.l}{b.h^2} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- σ_l = Kuat lentur balok (MPa)
- P = Beban tertinggi (N)
- L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)
- b = lebar tampang melintang arah horizontal (mm)
- h = lebar tampang melintang arah vertikal (mm)

- b. Pengujian dimana patahannya terletak di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antar titik perletakan. Balok dengan patahan pada 1/3 bentang tengah dan garis patah <5% dari bentang. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan perhitungan kuat lentur balok menurut persamaan 3 adalah sebagai berikut.

$$\sigma_l = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots(3)$$

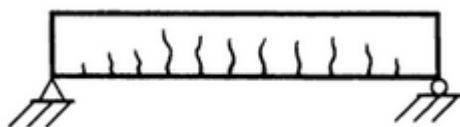
- σ_l = Kuat lentur balok (MPa)
- P = Beban tertinggi (N)
- L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)
- b = Lebar tampang melintang horizontal (mm)
- h = Lebar tampang melintang vertikal (mm)
- a = Jarak rata-rata antara tampang lintang dan tumpuan luar yang terdekat diukur pada empat tempat pada sudut bentang (mm)

1.3. Pola keruntuhan

Nawy (1998) jika balok beton diberikan beban di atasnya maka akan terjadi pola keruntuhan yang berbeda-beda, ada 3 jenis keruntuhan pada balok adalah sebagai berikut.

a. Pola Keruntuhan lentur

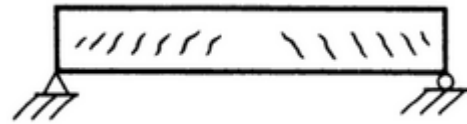
Pola keruntuhan lentur yaitu retak vertikal memanjang dari sisi Tarik balok dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netralnya. Diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola keruntuhan lentur balok (Nawy, 1998)

b. Pola keruntuhan geser

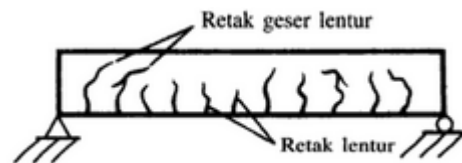
Pola keruntuhan geser biasanya terjadi pada bagian web balok beton baik sebagai retak yang bebas atau peranjangan retak lentur. Diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. pola keruntuhan geser balok (Nawy, 1998)

c. Pola keruntuhan geser-lentur

Pola keruntuhan yang terjadi pada balok pra tegang dan non prategang, pola keruntuhan tersebut adalah gabungan dari pola kerusakan geser dan lentur. Diilustrasikan pada gambar 3.



Gambar 3. pola keruntuhan geser-lentur balok (Nawy, 1998)

1.4. Sodium silikat

Sodium silikat (NaOH) merupakan salah satu bahan tertua yang paling aman yang dapat digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana sejak 1818 sodium silikat berkembang dengan pesat. Sodium silikat dapat dibuat dengan poses kering maupun basah. Sodium silikat memiliki bentuk cair dan padat. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk cairan, sodium silikat memiliki namalain yaitu *water glass*. Sodium silikat merupakan larutan alkali yang memainkan peranan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

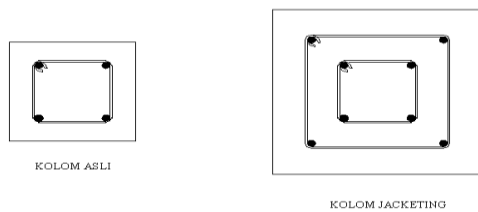
1.5. Grouting

Yurmansyah dan Mukhlis (2009) metode *grouting* adalah menyuntukan bahan perekat pada retak beton yang retaknya antara 0,2 mm sampai dengan 5,00 mm agar menjadi satu kesatuan kembali (homogen). Dalam penelitian

ini metode *grouting* yang digunakan adalah memperbesar lubang atau retakan yang ada kemudian disuntikan dengan bahan campuran perbaikan.

1.6. Jacketing

Soenaryo (2009) *concrete jacketing* yaitu salah satu dari sekian banyak metode yang digunakan dalam perbaikan beton bertulang. *Concrete jacketing* dilakukan dengan cara memperbesar penampang melintang beton bertulang yang sudah ada dengan lapisan yang baru, beton tambahan juga diperkuat dengan tulangan. Diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penampang melintang perkuatan *Concrete Jacketing* (Soenaryo.,2009)

2. Metode penelitian

a. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian dilakukan pada bulan November 2017 – Juli 2018.

b. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut ini.

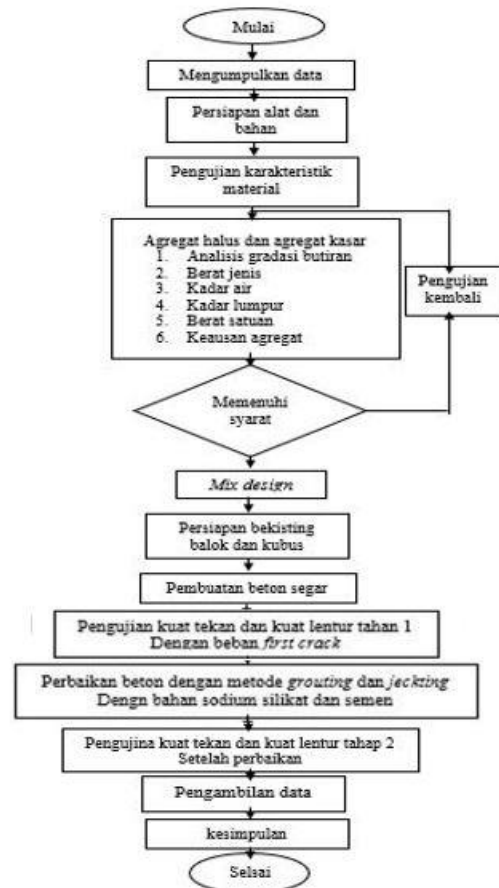
- 1) Agregat kasar yang digunakan adalah krikil/*split* Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta
- 2) Agregat halus yang digunakan adalah berasal dari Sungai Bantar Kulon Progo, Yogyakarta.
- 3) Semen yang digunakan adalah semen PPC (*Portland Pozzolan Cement*) merk Gresik.
- 4) Air bersih yang digunakan diambil dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 5) Besi tulangan digunakan sebagai tulangan didalam balok beton, besi yang

digunakan berukuran diameter 8 mm dan 6 mm adalah produk PT Krakatau *Steel*

- 6) Bahan tambah kimia sebagai bahan perbaikan (Sodium silikat) yang digunakan adalah produk dari PT. Bratachem.
- c. Peralatan Penelitian
- 1) Timbangan dengan merk *ohauss* dengan ketelitian 0.1 gram memiliki kapasitas 150 kg. Alat ini berfungsi untuk menakar berat masing-masing material yang digunakan dalam penyusunan campuran beton.
 - 2) Oven dengan temperatur 100°C - 110°C, sebagai alat untuk pengeringan material yang digunakan
 - 3) Mesin pengayak dan satu set saringan standar ASTM. Alat ini digunakan untuk memeriksa gradasi butiran halus dengan susunan saringan dengan ukuran 0.15 mm; 0.3mm;0.6 mm; 2.36 mm; 4.75 mm
 - 4) Piknometer/ *Erlenmeyer* dengan kapasitas 500 ml. Alat ini digunakan untuk pemeriksaan berat jenis agregat halus
 - 5) Gelas ukur dengan kapasitas 1000 ml digunakan untuk menakar volume air dan sebagainya.
 - 6) Gelas ukur dengan kapasitas 50 ml digunakan untuk menakar cairan sodium silikat
 - 7) Cetok dan talem besi berukuran besar sebagai tempat menampung campuran beton yang dikeluarkan dari molen
 - 8) Penumbuk besi untuk menumbuk campuran beton yang sudah dimasukan kedalam bekisting dan sebagai penumbuk pada uji *slump*
 - 9) Kerucut *Abram* sebagai alat untuk mengetahui nilai *slump*
 - 10) Kaliper dan mistar sebagai alat pengukur dalam pengujian
 - 11) Cetakan beton dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm dan ukuran 15 x 15 x 15 cm
 - 12) Cetakan kubus beton dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm

- 13) *Mixer* dengan kapasitas 150 liter berfungsi sebagai alat pencampur adukan beton.
- 14) Mesin kuat tekan dengan kapasitas 150 MPa sebagai alat pengujian kuat tekan beton dan mengetahui nilai kuat tekan beton
- 15) Mesin kuat lentur sebagai alat pengujian kuat lentur balok kapasitas 45 MPa.
- 16) Mesin abrasi *Los Angeles* digunakan untuk menguji keausan agregat kasar.
- 17) Tumpuan untuk pengujian kuat lentur
- 18) Alat pembebanan dua titik untuk mendapatkan lentur murni
- 19) Cetakan perbaikan beton kubus berukuran 16 x 16 x16 cm terbuat dari kayu.
- 20) *Dial Gauge* yaitu sebagai alat pengukur dan kontrol lebar retak saat pembebanan kuat lentur balok
- 21) Palu dan Betel sebagai alat untuk membuat permukaan beton menjadi kasar
- 22) Timbangan Digital sebagai alat untuk menakar berat material.
- 23) Suntikan digunakan sebagai alat untuk memasukkan bahan perbaikan ke balok beton

d. Tahapan Penelitian



Gambar 5. Bagan alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil pemeriksaan agregat halus

a. 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.

b. 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.

c. 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 Tjokrodinuljo (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 didalam rentan antara 2,5 - 2,7.

d. 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).

e. 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). Adapun hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. 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 | gram/cm ³ |
| Berat Satuan | 1,47 | |

3.2. Hasil pemeriksaan agregat kasar

a. 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 normal adalah antara 2,5-2,7 (Tjokrodinuljo, 2007). Sehingga agregat tersebut dapat digolongkan agregat Normal. Sedangkan dari hasil penyerapan air sebesar 1,79%.

b. 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).

c. 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 harus di cuci terlebih dahulu.

d. 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).

e. 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 dikategoriakan termasuk material kualitas baik. Adapun hasil pengujian dari agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. 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 | gram/cm ³ |
| Keausan Agregat | 21 | % |

3.3. Hasil perancangan *Mix design*

Perancangan beton dalam penelitian ini didasarkan pada SNI 03-2834-2000 (BSN, 2000) mengenai tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Nilai FAS yang digunakan adalah 0,48. Dari hasil perhitungan *mix design*. Adapun hasil dari perhitungan *mix design* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. 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. 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 5 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 |

3.4. 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. Adapun hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. 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 |

3.5. Hasil pengujian kuat tekan kubus beton

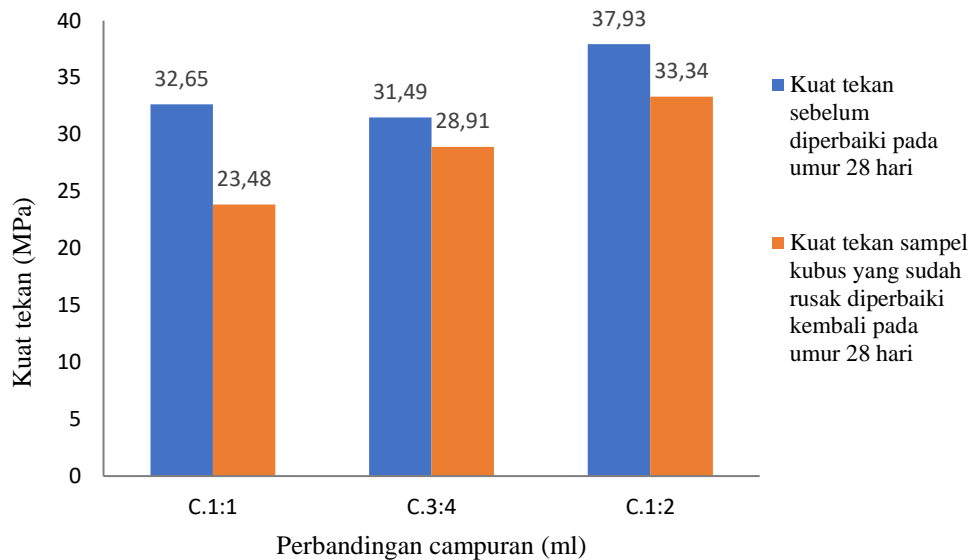
Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dalam dua tahap, tahap pertama yaitu kuat tekan untuk mengasumsikan bahwa sudah terjadi kerusakan pada beton untuk diperbaiki, sedangkan kuat tekan tahap kedua dilaksanakan ketika beton sudah diperbaiki. Perbaikan kubus beton ini menggunakan metode *Jacketing* dengan memperbesar penampang sebesar 0,5 mm disetiap sisinya dari ukuran awal pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Adapun hasil pengujian kuat tekan kubus dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kubus

| Nama | Perbandingan | Hasil sebelum diperbaiki | | | Hasil sesudah diperbaiki | | | Selisih 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 | | |

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kubus (lanjutan)

| Nama | Perbandingan | Hasil sebelum diperbaiki | | | Hasil setelah diperbaiki | | | Nilai sisa dari kekuatan awal (%) |
|------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|--------------|-----------------------------------|
| | | Kuat tekan (MPa) | Umur (hari) | Rerata (MPa) | Kuat tekan (MPa) | Umur (hari) | Rerata (MPa) | |
| 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 6 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

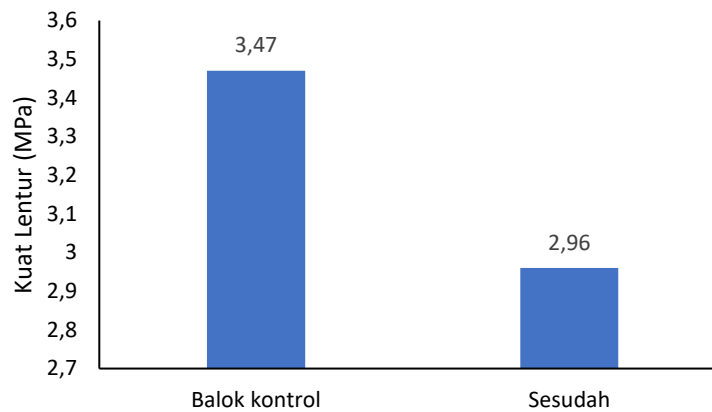
menghasilkan kuat tekan sebesar 33,34 MPa, dan memiliki selisih kekuatan 12% dari kuat tekan aslinya.

3.6. Hasil pengujian kuat lentur balok

Hasil pengujian kuat lentur beton sebelum dan setelah 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*. Adapun hasil pengujian kuat lentur balok dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 7.

Tabel 9. 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 |



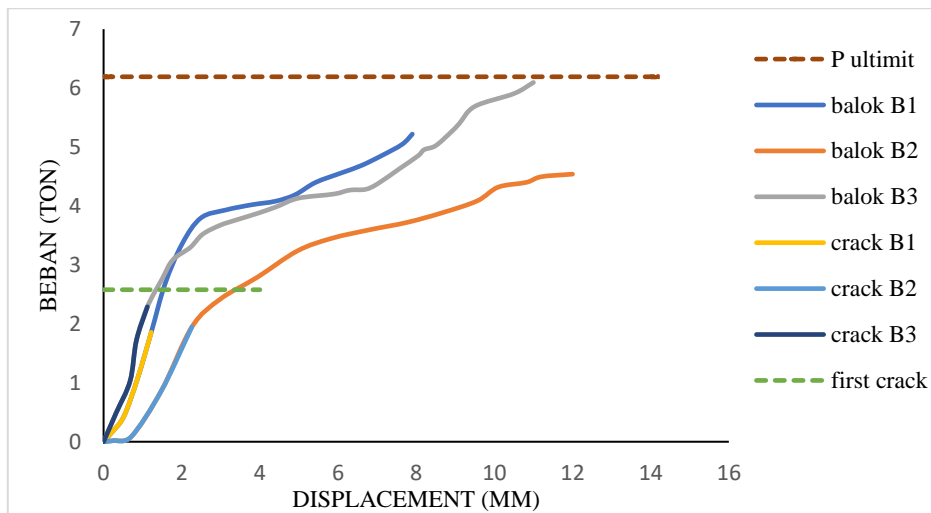
Gambar 7. Kuar lentur rata-rata balok

Dari hasil pengujian kuat lentur balok setelah diperbaiki pada Tabel 8 dan Gambar. Menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan kekuatan balok sebesar 0,51 MPa terhadap balok Kontrol N1. Bahan tambah sodium silikat dan semen tidak disarankan sebagai bahan perbaikan.

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 10 dan Gambar 8.

Tebel 10. 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 |
| <i>Ultimate</i> setelah diperbaiki | B1 | 5,32 | 7,9 |
| | B2 | 4,63 | 12 |
| | B3 | 6,21 | 8,69 |



Gambar 8. Hubungan antara *displacement* dan beban

Hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kuat lentur yang terjadi pada saat beban rata-rata *first crack* sebelum diperbaiki adalah sebesar 2,63 ton, dan *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.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil oleh penulis dari penelitian adalah sebagai berikut ini.

- a. Pada kasus kuat tekan, sampel kubus beton sudah mengalami keruntuhan pada pengujian kuat tekan tahap satu, tetapi setelah dilakukan perbaikan dengan metode *jacketing*, masih dapat menahan kekutan sebesar 23,84 MPa untuk sampel kubus c1:1, 28,91 MPa untuk sampel kubus c3:4, dan sampel kubus beton c1:2 memiliki kekuatan sebesar 33,34 MPa. Memiliki selisih kekuatan dari kekuatan awal sebesar 28%, 8%, dan 12%.
- b. Pada kasus pembebanan lentur, perbaikan balok yang telah menggunakan sodium silikat dan semen tidak lebih besar dari pada balok kontrol yang utuh, karena pada pengujian balok kontrol N1 dibebani secara terus menerus sampai dengan beban maksimum. Terdapat ketidak telitian dalam pelaksanaan

sehingga perbandingan P-delta balok kontrol dan yang telah diperbaiki kurang dapat terlihat. Namun, perbaikan ini dapat menjadi alternatif untuk dipertimbangkan para pelaksana di lapangan.

Saran terkait dari penelitian yang di lakukan agar penelitian selanjutnya mengenai perbaikan beton sesuai dengan yang diharapkan adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemilihan bahan tambah sebagai bahan perbaikan yang lebih baik dan benda uji yang digunakan adalah dalam skala yang besar.
2. Pada penelitian ini tidak dilakukan perawatan beton setelah dilakukan perbaikan, karena ketidak telitian dalam pelaksanaan.
3. Metode perbaikan yang di lakukan terhadap beton sebaiknya dilakukan sesuai dengan kebutuhan dari kerusakan yang terjadi pada beton.
4. Dari penelitian ini merk semen yang digunakan adalah Gresik jenis PPC di sarankan menggunakan jenis lain seperti PCC dan lain-lain.
5. Kendala dalam penelitian ini adalah pada saat pencampuran bahan perbaikan, *setting time* yang terjadi pada bahan sangat cepat sehingga pekerjaan perbaikan harus dilakukan dengan cepat dan bahan perbaikan sodium silikat dan semen sulit untuk tercampur merata masih terdapat butiran semen yang menggumpal, harus lebih teliti dalam

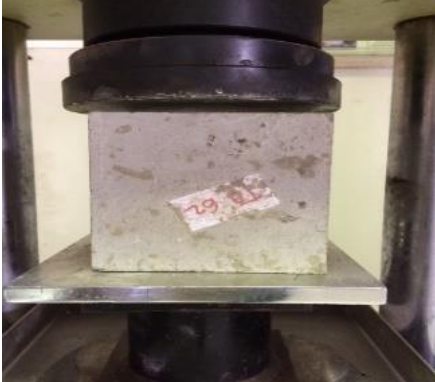





pencampuran agar tidak ada bahan yang menggumpal. Sehingga kurang disarankan untuk digunakan sebagai bahan perbaikan karena kendala dalam

penelitian ini. Disarankan agar para peneliti selanjutnya menindak lanjuti kendala-kendala dalam penelitian ini.

5. Daftar Pustaka

- BSN, 1990a, SNI 03-1971-1990 : *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 1990b, SNI 03-1750-1990 : *Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2000, SNI 03-2834-2000 : *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2008c, SNI 1972-2008 : *Cara Uji Slump Beton*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2011a, SNI 1974:2011 : *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2011b, SNI 4431:2011 : *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua titik Pembebanan*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Elbakry, H. M. F., dan Tarabia, A. M., 2016. Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Ikatan dari Perkuatan *Jacketing* kolom. *Alexandria Engineering Journal*, 55, 57-67.
- Helmi, M., 2009. Perbaikan Balok Beton Bertulang Yang Telah Megalami Beban Puncak dengan Baja Siku. *Jurnal Rekayasa*. 13(1), 55-56.
- Kaontole, J.T., Sumajouw, M. D. J., dan Windah, R. S., 2015. Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Metode *Concrete Jacketing*. *Jurnal Sipil Statik*. 3(3), 167-174.
- Khrisna, D., Hazairin, dan Herbudiman, B., 2015. Kajian Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *External Prestresing*. *Jurnal Reka Rencana*. 1(1), 1-8.
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Nawy, E.G., 1998. *Beton Bertulang-Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Refika Aditama, Bandung.
- Parmo, P., Soeharjono, A., dan Tavio, T., 2013. Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer*. *Jurnal Teknologi dan Kejuruan*. 36(1),75-86.
- Pasila, R., Sumajouw, M. D. J., dan Pandelege, R. E., 2016. Kapasitas Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Tambahan Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Variasi Beban Runtuh dengan Metode *Concrete Jacketing*. *Jurnal Tekno*. 14(65), 29-36.
- Puspita, F. F., Aulia, B. T., dan Afifudin, M., 2018. Analisis Retak Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu tinggi yang Diperbaiki dengan *Injeksi Epoxy*. *Jurnal Teknik Sipil*. 1(4), 831-844.
- Soebandono, B., Triwiyono, A., dan Muslikh., 2011. Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Jacketing* dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik pada Beton Ultimit. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. 14(2), 166-176.
- Soenaryo, A., Hidayat, M. T., dan Siswanto, H., 2009. Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 3(2), 91-100.
- Tjokrodinuljo, K., 1992. *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri, Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K., 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Yogyakarta.
- Yurmansyah, I., dan Mukhlis., 2009. Perkuatan Struktur Beton Gedung dengan Metode *Grouting* dan *Fiber*. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 5(1), 46-57.

6. Lampiran

| kegiatan | <i>Jacketing</i> | <i>Graoting</i> |
|--------------------------|---|--|
| Pengujian tahap 1 |  |  |
| Perbaikan |  |  |
| Pengujian tahap 2 |  |  |