

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

Untuk memperjelas hasil penelitian, berikut akan diuraikan ringkasan hasil pengujian yakni kuat desak beton, kuat tarik beton, konversi umur beton, kuat tarik baja tulangan dan kuat tarik jaringan kawat. Penyajian hasil pengujian yang telah dilakukan dilampirkan dalam bentuk table dan grafik pada sub – sub bab berikut ini.

#### 5.2 Uji Material

Sebelum melakukan pembuatan benda uji dilakukan uji material atau pemeriksaan bahan campuran beton terlebih dahulu, adapun uji material yang dilakukan meliputi:

- 1.modelus halus butir (MHB) pasir,
- 2.berat jenis pasir (SSD),
- 3.berat jenis kerikil (SSD),
- 4.berat volume kerikil (SSD).

Hasil dari pengujian material ini seperti terlihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Uji Material

| NO | Uji Material              | Nilai Uji Material | Satuan             |
|----|---------------------------|--------------------|--------------------|
| 1  | Modelus Halus Butir Pasir | 2,450              | ---                |
| 2  | Berat Jenis Pasir         | 2,595              | ---                |
| 3  | Berat Jenis Krikil        | 2,645              | ---                |
| 4  | Berat Volume Krikil       | 1,530              | gr/cm <sup>3</sup> |

### 5.3 Uji Slump

Nilai *slump* yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 7,5 cm sampai dengan 15 cm. Adapun nilai slump yang dihasilkan merupakan nilai *slump* rata-rata dari masing-masing variasi dan umur beton yang berbeda, seperti terlihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian *Slump* Rata-rata

| Umur Beton 28 hari |               |                         |
|--------------------|---------------|-------------------------|
| NO                 | Variasi Beton | Nilai <i>Slump</i> (cm) |
| 1                  | BN            | 12,0                    |
| 2                  | BTS           | 13,1                    |
| 3                  | BTSWM         | 9,6                     |
| 4                  | BTWM          | 9,6                     |
| Umur Beton 14 hari |               |                         |
| NO                 | Variasi Beton | Nilai <i>Slump</i> (cm) |
| 1                  | BN            | 9,6                     |
| 2                  | BTS           | 11,0                    |
| 3                  | BTSWM         | 13,8                    |
| 4                  | BTWM          | 12,1                    |
| Umur Beton 7 hari  |               |                         |
| NO                 | Variasi Beton | Nilai <i>Slump</i> (cm) |
| 1                  | BN            | 12,2                    |
| 2                  | BTS           | 13,8                    |
| 3                  | BTSWM         | 12,7                    |
| 4                  | BTWM          | 12,7                    |
| Umur Beton 3 hari  |               |                         |
| NO                 | Variasi Beton | Nilai <i>Slump</i> (cm) |
| 1                  | BN            | 14,5                    |
| 2                  | BTS           | 14,5                    |
| 3                  | BTSWM         | 14,5                    |
| 4                  | BTWM          | 14,5                    |

### 5.4 Berat Volume Beton

Dimensi benda uji yang didapat pada penelitian ini, kemudian dapat dihitung besar berat volumenya. Berat volume tersebut merupakan berat volume rata-rata dari variasi beton dan umur beton yang berbeda, seperti dapat dilihat pada Tabel 5.3

Tabel 5.3 Berat Volume Beton Rata-rata

| Umur Beton 28 hari |         |             |          |                   |         |                     |
|--------------------|---------|-------------|----------|-------------------|---------|---------------------|
| No                 | Variasi | Dimensi (m) |          | Volume            | Berat   | Berat Volume        |
|                    |         | Panjang     | Diameter | (m <sup>3</sup> ) | (ton)   | (t/m <sup>3</sup> ) |
| 1                  | BN      | 0,30175     | 0,15013  | 0,00534           | 0,01272 | 2,38244             |
| 2                  | BTS     | 0,30098     | 0,15028  | 0,00534           | 0,01319 | 2,47146             |
| 3                  | BTSWM   | 0,30091     | 0,15000  | 0,00531           | 0,01305 | 2,45543             |
| 4                  | BTWM    | 0,30181     | 0,15019  | 0,00534           | 0,01296 | 2,42557             |
| Umur Beton 14 hari |         |             |          |                   |         |                     |
| No                 | Variasi | Dimensi (m) |          | Volume            | Berat   | Berat Volume        |
|                    |         | Panjang     | Diameter | (m <sup>3</sup> ) | (ton)   | (t/m <sup>3</sup> ) |
| 1                  | BN      | 0,30091     | 0,15010  | 0,00532           | 0,01288 | 2,41927             |
| 2                  | BTS     | 0,30091     | 0,15010  | 0,00532           | 0,01279 | 2,40283             |
| 3                  | BTSWM   | 0,30136     | 0,14997  | 0,00532           | 0,01283 | 2,41044             |
| 4                  | BTWM    | 0,30105     | 0,15010  | 0,00532           | 0,01274 | 2,39229             |
| Umur Beton 7 hari  |         |             |          |                   |         |                     |
| No                 | Variasi | Dimensi (m) |          | Volume            | Berat   | Berat Volume        |
|                    |         | Panjang     | Diameter | (m <sup>3</sup> ) | (ton)   | (t/m <sup>3</sup> ) |
| 1                  | BN      | 0,30211     | 0,15059  | 0,00538           | 0,01284 | 2,38687             |
| 2                  | BTS     | 0,30253     | 0,15072  | 0,00539           | 0,01296 | 2,40278             |
| 3                  | BTSWM   | 0,30116     | 0,15019  | 0,00533           | 0,01304 | 2,44492             |
| 4                  | BTWM    | 0,30169     | 0,15013  | 0,00534           | 0,01298 | 2,43094             |
| Umur Beton 3 hari  |         |             |          |                   |         |                     |
| No                 | Variasi | Dimensi (m) |          | Volume            | Berat   | Berat Volume        |
|                    |         | Panjang     | Diameter | (m <sup>3</sup> ) | (ton)   | (t/m <sup>3</sup> ) |
| 1                  | BN      | 0,30141     | 0,15006  | 0,00533           | 0,01286 | 2,41412             |
| 2                  | BTS     | 0,30186     | 0,15003  | 0,00533           | 0,01284 | 2,40684             |
| 3                  | BTSWM   | 0,30238     | 0,14997  | 0,00534           | 0,01284 | 2,40471             |
| 4                  | BTWM    | 0,30267     | 0,15000  | 0,00535           | 0,01276 | 2,38735             |

### 5.5 Kuat Tarik Baja Tulangan

Baja tulangan yang diuji adalah baja tulangan polos (BJTP-24) dengan diameter 6 mm. Hasil analisa pengujian tersebut diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Ilham Ardiansyah dan Akhmad Munip (2006) di Laboraturium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun hasil pengujian tersebut seperti terlihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil uji kuat tarik baja tulangan

| No | Tegangan               | Nilai (MPa) |
|----|------------------------|-------------|
| 1  | Teg. Leleh ( $f_y$ )   | 347,2771    |
| 2  | Teg. Ultimit ( $f_u$ ) | 526,2466    |
| 3  | Teg. Putus ( $f_r$ )   | 351,8465    |

## 5.6 Kuat Tarik Jaringan Kawat

Jaringan kawat yang digunakan adalah jaringan kawat berbentuk persegi yang dilas dengan diameter 0.9 mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Adapun hasil dari pengujian kuat tarik jaringan kawat tersebut seperti terlihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil uji Kuat tarik Jaringan Kawat

| No | Tegangan | Nilai $f_u$ (MPa) | Rata-rata (MPa) |
|----|----------|-------------------|-----------------|
| 1  | Tunggal  | 374,0400          | 395,8480774     |
| 2  | Ganda    | 417,6562          |                 |

## 5.7 Kuat Desak Beton

### 5.7.1 Hubungan Kuat Desak dan Umur Beton

Nilai kuat desak silinder beton yang dihasilkan pada saat pengujian kemudian dihitung kuat desak rata – ratanya ( $f'_{cr}$ ) dari persamaan (3.4), yang dapat dilihat pada Table 5.6 sampai dengan 5.9

Tabel 5.6 Hasil uji kuat desak beton pada umur 3 hari

| No | Variasi | Kuat Desak Rata-rata ( $f_{cr}$ ) |
|----|---------|-----------------------------------|
|    |         | (MPa)                             |
| 1  | BN      | 10,497                            |
| 2  | BTS     | 12,775                            |
| 3  | BTSWM   | 12,573                            |
| 4  | BTWM    | 12,041                            |

Tabel 5.7 Hasil uji kuat desak beton pada umur 7 hari

| No | Variasi | Kuat Desak Rata-rata (fcr) |
|----|---------|----------------------------|
|    |         | (MPa)                      |
| 1  | BN      | 18,484                     |
| 2  | BTS     | 19,135                     |
| 3  | BTSWM   | 19,671                     |
| 4  | BTWM    | 18,693                     |

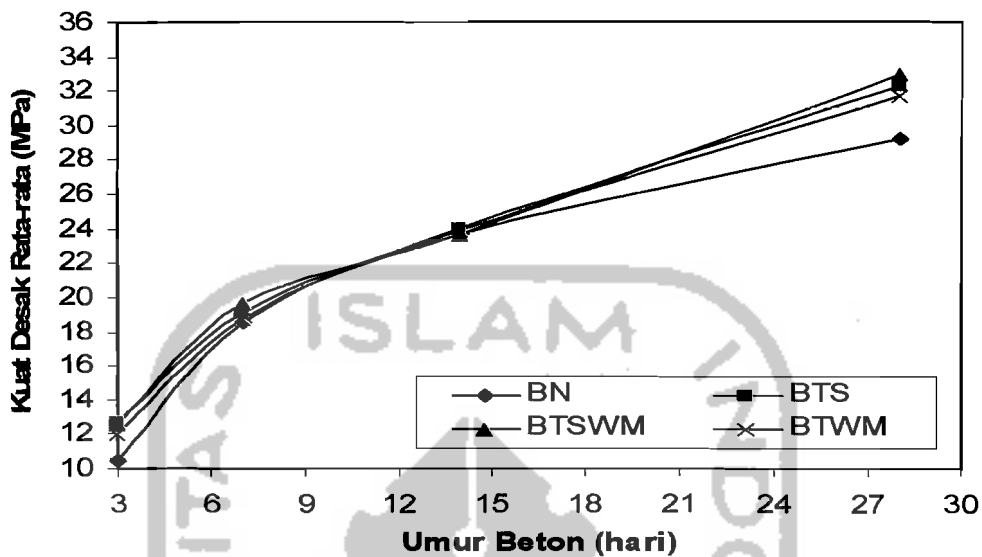
Tabel 5.8 Hasil uji kuat desak beton pada umur 14 hari

| No | Variasi | Kuat Desak Rata-rata (fcr) |
|----|---------|----------------------------|
|    |         | (MPa)                      |
| 1  | BN      | 23,629                     |
| 2  | BTS     | 23,941                     |
| 3  | BTSWM   | 23,681                     |
| 4  | BTWM    | 23,841                     |

Tabel 5.9 Hasil uji kuat desak beton pada umur 28 hari

| No | Variasi | Kuat Desak Rata-rata (fcr) |
|----|---------|----------------------------|
|    |         | (MPa)                      |
| 1  | BN      | 29,209                     |
| 2  | BTS     | 32,234                     |
| 3  | BTSWM   | 32,879                     |
| 4  | hari    | 31,649                     |

Kuat desak rata-rata dari Tabel 5.6 sampai dengan 5.9 ditampilkan dalam bentuk gambar. Seperti pada Gambar 5.1. Seiring dengan lajunya pertumbuhan waktu.



Gambar 5.1 Hubungan kuat desak rata-rata dengan umur beton

### 5.7.2 Perbandingan $f'_{cr}$ Beton Normal dengan Beton Terkekang

Setelah diperoleh  $f'_{cr}$  untuk masing – masing variasi, kemudian masing – masing variasi beton terkekang yakni BTS, BTSM, BTWM, dibandingkan dengan Beton Normal (BN). Diperoleh persentase kenaikan  $f'_{cr}$ , setelah diberi pengekan. Seperti pada Tabel 5.10.

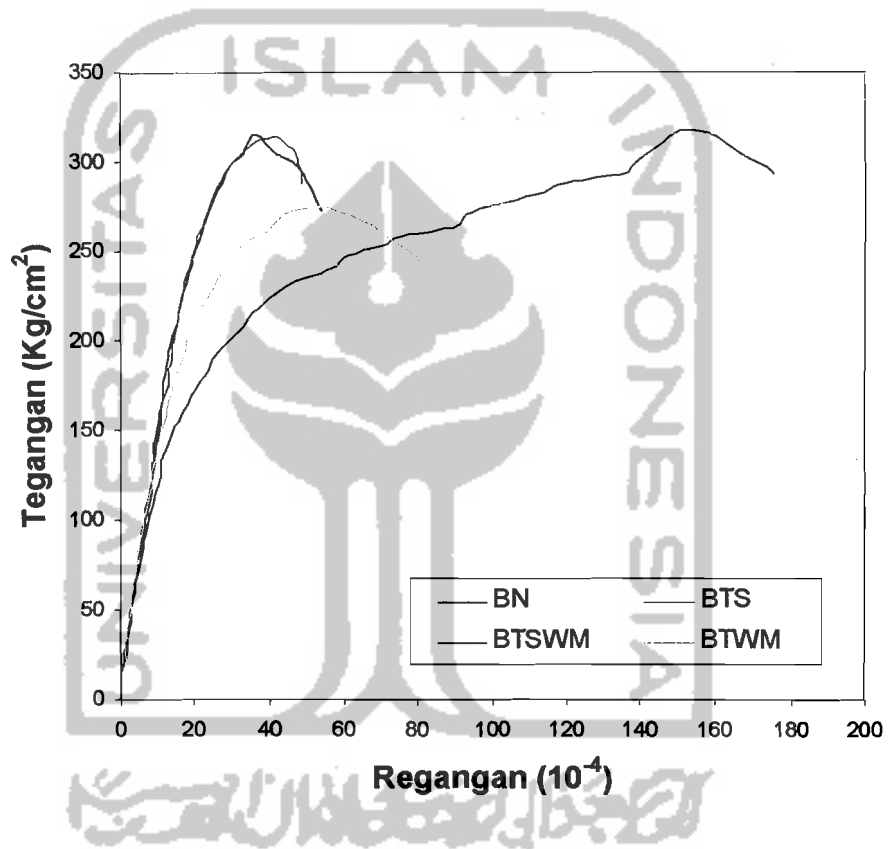
Tabel 5.10 Persentase kuat desak rata-rata ( $f_{cr}$ ) umur 3, 7, 14, dan 28 dengan Beton Normal sebagai pembandingan.

| <b>Kuat Desak Beton Umur 3 Hari</b>  |                |   |  |
|--------------------------------------|----------------|---|--|
| <b>No</b>                            | <b>Variasi</b> | <b>Kuat Desak Rata-rata (<math>f_{cr}</math>)</b> | <b>Persentase Kuat Desak Rata-rata</b> |
|                                      |                | <b>(MPa)</b>                                      | <b>terhadap BN (%)</b>                 |
| 1                                    | BN             | 10,497  | 100,000                                |
| 2                                    | BTS            | 12,775  | 121,702                                |
| 3                                    | BTSWM          | 12,573  | 119,778                                |
| 4                                    | BTWM           | 12,041  | 114,708                                |
| <b>Kuat Desak Beton Umur 7 Hari</b>  |                |   |  |
| <b>No</b>                            | <b>Variasi</b> | <b>Kuat Desak Rata-rata (<math>f_{cr}</math>)</b> | <b>Persentase Kuat Desak Rata-rata</b> |
|                                      |                | <b>(MPa)</b>                                      | <b>terhadap BN (%)</b>                 |
| 1                                    | BN             | 18,484  | 100,000                                |
| 2                                    | BTS            | 19,135  | 103,522                                |
| 3                                    | BTSWM          | 19,671  | 106,421                                |
| 4                                    | BTWM           | 18,693  | 101,131                                |
| <b>Kuat Desak Beton Umur 14 Hari</b> |                |   |  |
| <b>No</b>                            | <b>Variasi</b> | <b>Kuat Desak Rata-rata (<math>f_{cr}</math>)</b> | <b>Persentase Kuat Desak Rata-rata</b> |
|                                      |                | <b>(MPa)</b>                                      | <b>terhadap BN (%)</b>                 |
| 1                                    | BN             | 23,629  | 100,000                                |
| 2                                    | BTS            | 23,941  | 101,322                                |
| 3                                    | BTSWM          | 23,681  | 100,220                                |
| 4                                    | BTWM           | 23,841  | 100,898                                |
| <b>Kuat Desak Beton Umur 28 Hari</b> |                |   |  |
| <b>No</b>                            | <b>Variasi</b> | <b>Kuat Desak Rata-rata (<math>f_{cr}</math>)</b> | <b>Persentase Kuat Desak Rata-rata</b> |
|                                      |                | <b>(MPa)</b>                                      | <b>terhadap BN (%)</b>                 |
| 1                                    | BN             | 29,209  | 100,000                                |
| 2                                    | BTS            | 32,234  | 110,353                                |
| 3                                    | BTSWM          | 32,879  | 112,564                                |
| 4                                    | BTWM           | 31,649  | 108,352                                |

### 5.7.3 Tegangan dan Regangan

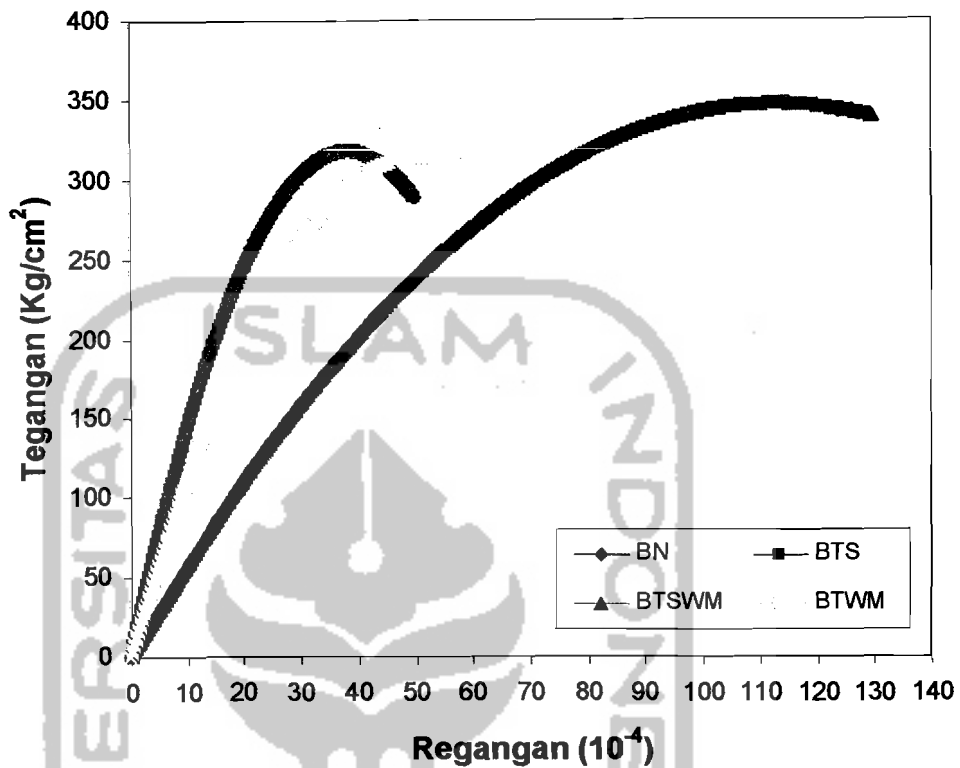
Untuk mengetahui peningkatan daktilitas beton perlu dilakukan pengujian tegangan-regangan. Uji tegangan-regangan ini tidak dilakukan pada semua sample benda uji, tetapi diambil 2 sample benda uji untuk masing – masing variasi. Dari 2 sample tersebut diambil salah satu data pengujian yang relatif lebih baik. Pada perhitungan tegangan-regangan ini, digambar berdasarkan gambar pengujian

langsung dan juga berdasarkan gambar pengujian setelah diregresi. Seperti yang terlihat pada Gambar 5.2 dan Tabel 5.3.



Gambar 5.2 Tegangan-regangan gabungan variasi beton (pengujian langsung)





Gambar 5.3 Tegangan–regangan gabungan variasi beton (setelah diregresi)

Dari gambar-gambar tegangan-regangan tersebut dapat diketahui tingkat daktilitas beton dan diperoleh modulus elastis dari persamaan (3.8), modulus kenyal dari persamaan (3.11), dan kekakuan beton dan persamaan (3.12) seperti pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Modulus Elastis, Modulus Kenyal, Kekakuan

| No | Variasi | Modulus Elastisitas ( $E_c$ ) |          | Modulus Kenyal ( $E_k$ ) | Kekakuan ( $K$ )     |
|----|---------|-------------------------------|----------|--------------------------|----------------------|
|    |         | ( $\text{Kg/cm}^2$ )          | (MPa)    | ( $\text{Kg/cm}^2$ )     | ( $\text{Kg/cm}^2$ ) |
| 1  | BN      | 147186.43                     | 14438.99 | 0.054                    | 1733120.20           |
| 2  | BTS     | 140837.54                     | 13816.16 | 0.056                    | 1658362.02           |
| 3  | BTSM    | 113996.10                     | 11183.02 | 0.071                    | 1346782.20           |
| 4  | BTWM    | 149249.81                     | 14641.41 | 0.041                    | 1757416.52           |

Sebagai pembandingan modulus elastis dari hasil penelitian adalah modulus elastis berdasarkan SNI dari persamaan (3.9) dan modulus elastis berdasarkan ACI dari persamaan (3.10). Perbandingan modulus elastis terlihat pada Tabel 5.12

Tabel 5.12 Perbandingan modulus elastis.

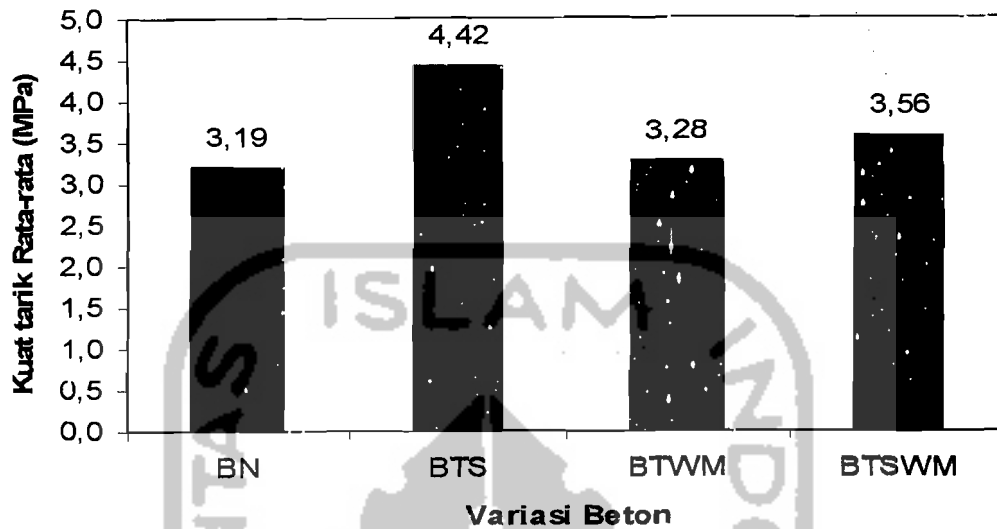
| No | Variasi | f <sub>c</sub> aktual |            | E <sub>c</sub> (MPa) |            |
|----|---------|-----------------------|------------|----------------------|------------|
|    |         | U-28                  | SNI        | ACI                  | Penelitian |
| 1  | BN      | 22,5869               | 22337,0893 | 22693,7188           | 147186.43  |
| 2  | BTS     | 30,8152               | 26090,3580 | 26506,9115           | 140837.54  |
| 3  | BTSWM   | 32,4914               | 26790,5903 | 27218,3235           | 113996.10  |
| 4  | BTWM    | 28,4711391            | 25078,4262 | 25478,8234           | 149249.81  |

### 5.8 Kuat Tarik Beton

Pada penelitian ini, pengujian tarik beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari dengan metode pecah belah silinder (*split cylinder*). Hasil pengujian kuat tarik beton tersebut seperti terlihat pada Tabel 5.13 dan Gambar 5.4.

Tabel 5.13 Persentase Kuat Tarik rata – rata.

| No | Variasi | Kuat Tarik (MPa) | Persentase Kuat Tarik terhadap (%) |                      |
|----|---------|------------------|------------------------------------|----------------------|
|    |         |                  | Beton Normal                       | Kuat Desak Rata-rata |
| 1  | BN      | 3,190            | 100,000                            | 10,919               |
| 2  | BTS     | 4,424            | 138,719                            | 15,147               |
| 3  | BTWM    | 3,284            | 102,949                            | 11,241               |
| 4  | BTSWM   | 3,563            | 111,703                            | 12,197               |



Gambar 5.4 Hubungan antara variasi beton dengan kuat tarik beton rata-rata

### 5.9 Konversi umur beton

Bila kuat desak beton umur 3,7 dan 14 hari yang telah dikonversi dibandingkan dengan beton umur 28 hari sehingga didapat kekuatan beton yang sesuai dengan rencana, yakni 25 MPa. Berdasarkan SNI diperoleh hasil konversi seperti pada Tabel 5.14 sampai dengan 5.15

Tabel 5.14 Konversi umur beton berdasarkan SNI

| No | Variasi | f <sub>cr</sub> Hasil uji (MPa) |       |       | f <sub>cr</sub> Konversi (MPa) |       |       | f <sub>cr</sub> (MPa) |
|----|---------|---------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-----------------------|
|    |         | U-3                             | U-7   | U-14  | U-3                            | U-7   | U-14  | U - 28                |
| 1  | BN      | 10,50                           | 18,48 | 23,63 | 26,24                          | 28,44 | 26,85 | 29,21                 |
| 2  | BTS     | 12,77                           | 19,14 | 23,94 | 31,94                          | 29,44 | 27,21 | 32,23                 |
| 3  | BTSWM   | 12,57                           | 19,67 | 23,68 | 31,43                          | 30,26 | 26,91 | 32,88                 |
| 4  | BTWM    | 12,04                           | 18,69 | 23,84 | 30,10                          | 28,76 | 27,09 | 31,65                 |

Tabel 5.15 Perbandingan nilai faktor konversi

| No | Variasi | Rasio Umur Beton Hasil Uji |        |         |
|----|---------|----------------------------|--------|---------|
|    |         | 3 / 28                     | 7 / 28 | 14 / 28 |
| 1  | BN      | 0,36                       | 0,63   | 0,81    |
| 2  | BTS     | 0,40                       | 0,59   | 0,74    |
| 3  | BTSWM   | 0,38                       | 0,60   | 0,72    |
| 4  | BTWM    | 0,38                       | 0,59   | 0,75    |

## 5.10 Pembahasan

Sebelum ditarik suatu kesimpulan, perlu dilakukan terlebih dahulu pembahasan mengenai pelaksanaan dari hasil yang diperoleh dari penelitian berdasarkan teori yang melandasinya.

### 5.10.1 Pengujian Material

Pada pengujian material ini dilakukan beberapa pengujian bahan yang akan digunakan untuk menentukan komposisi adukan beton. Adapun pengujian yang dilakukan adalah pengujian modelus halus butir (MHB) pasir yang diperoleh sebesar 2,4499. Gradasi pasir termasuk pada daerah II yaitu jenis pasir agak kasar. Umumnya pasir memiliki nilai MHB berkisar 1,5-3,8 (Tri Mulyono, 2004), jadi nilai MHB yang telah didapat sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Pengujian yang dilakukan berikutnya adalah pengujian berat jenis pasir. Pada penelitian ini diperoleh berat jenis pasir sebesar 2,595. Selanjutnya dilakukan pengujian berat jenis krikil dan diperoleh sebesar 2,645. Pengujian yang dilakukan berikutnya adalah pengujian berat volume krikil dan diperoleh sebesar 1,53 gr/cm<sup>3</sup>.

### 5.10.2 Pengujian Nilai Slump

Nilai *slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituang dan dipadatkan atau memenuhi syarat *workability*. Pada pengujian ini, jenis pekerjaan yang dilakukan masuk dalam jenis pekerjaan kolom, balok, dan plat lantai yang mempunyai nilai *slump* berkisar antara

7,5-15 cm. Dalam pengujian ini diperoleh nilai slump minimum sebesar 9,6 cm dan nilai *slump* maksimum sebesar 14,5 cm. Perbedaan nilai *slump* pada pengujian ini diduga disebabkan oleh tidak homogenya bahan yang digunakan dan kebersihan dari alat pengaduk (molen) yang tidak baik, karena pada alat tersebut terdapat sisa adukan semen yang sudah mengering, dan diduga dapat menyerap air yang telah ditentukan.

#### **5.10.3 Berat Volume Beton**

Penentuan berat volume beton ialah dengan membandingkan volume dari beton dengan berat beton tersebut. Pada penelitian ini direncanakan ukuran atau dimensi benda uji yang akan dibuat adalah 30 cm x 15 cm, tapi pada pelaksanaannya dimensi benda uji yang diperoleh beragam. Pada penelitian ini diperoleh berat volume maksimum sebesar 2,455 t/m<sup>3</sup> dan berat volume beton minimal sebesar 2,386 t/m<sup>3</sup>. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh proses pemadatan yang kurang sempurna pada saat pembuatan benda uji.

#### **5.10.4 Kuat Tarik Baja Tulangan**

Dari pengujian kuat tarik baja tulangan yang dilakukan oleh Ilham dan Munip (2006), diperoleh nilai tegangan leleh baja dari persamaan (3.13), tegangan ultimit dari persamaan (3.14) dan tegangan putus dari persamaan (3.15). Nilai tegangan leleh baja ( $f_y$ ) rata-rata sebesar 347,28 MPa. Sedangkan tegangan ultimit baja ( $f_u$ ) rata-rata sebesar 526,25 MPa. Tegangan putus ( $f_r$ ) rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 351,847 Mpa. Jadi berdasarkan SNI baja tulangan yang digunakan termasuk dalam jenis BJTP-30. Baja tulangan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja tulangan polos yang berdiameter 6 mm.

#### 5.10.5 Kuat Tarik Jaringan Kawat

Dari pengujian kuat tarik jaringan kawat, diperoleh nilai tegangan putus ( $f_r$ ) dari persamaan (3.14). nilai tegangan putus tunggal jaringan kawat rata-rata yaitu 374, 040 MPa dan nilai tegangan putus ganda sebesar 417, 656 MPa. Dari nilai tegangan putus ganda dan tunggal diatas diperoleh tegangan putus ( $f_r$ ) rata-rata jaringan kawat sebesar 395,848 MPa. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Jaringan kawat yang digunakan pada pengujian ini adalah jaringan kawat berbentuk persegi yang dilas dengan diameter 0,9 mm. Bila dibandingkan dengan penelitian yang terdahulu, yakni penelitian Ilham dan Munip (2006) yang menggunakan *wire mesh* berbentuk wajik (*diamond shape*) dengan diameter 1,57 mm, diperoleh tegangan putus tunggal nya adalah 366,436 MPa dan tegangan putus untuk *wire mesh* ganda adalah 447,161 MPa. Sehingga diperoleh tegangan putus rata-rata sebesar 406,799 MPa. Pada pengujian tersebut, *wire mesh* berbentuk wajik (*diamond shape*) lebih kuat dalam menahan tegangan putus. Hal ini disebabkan diameter jaringan kawat berbentuk persegi lebih kecil bila dibandingkan dengan *wire mesh* berbentuk wajik (*diamond shape*).

#### 5.10.6 Kuat Desak Beton

Dari gambar Gambar 5.1 terlihat bahwa nilai kuat desak rata-rata secara keseluruhan meningkat dari beton normal (BN) bila diberi pengekang, baik dengan tulangan sengkang maupun dengan gabungan tulangan sengkang dan jaringan kawat. Secara garis besar, kuat desak rata-rata yang paling optimum pada umur 3,7,14, dan 28 hari diperoleh dari variasi beton yang menggunakan pengekang gabungan yakni tulangan sengkang dan jaringan kawat (BTSWM). Hal ini disebabkan oleh, beton dikekang terhadap gaya ekspansi akibat beban aksial. Selain itu, dengan

menambahkan jaringan kawat pada beton dapat memperbaiki kekakuan dan kekuatan beton. Jaga dapat menunda proses peretakan bagian inti dari beton setelah terjadi peretakan pada bagian luar dari beton tersebut.

Sebagai pembanding dari penelitian ini, dibandingkan dengan penelitian Beton terkekang dengan pengekang *wire mesh* berbentuk wajik dengan diameter kawat sebesar 1,57 mm. Penelitian ini dilakukan oleh Ilham Ardiansyah dan Akhmad Munip (2006) dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa untuk masing-masing variasi beton terkekang pada umur 3,7,14 dan 28 menghasilkan kuat tekan beton yang lebih besar dari pada beton normal. Perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan seperti terlihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Perbandingan Hasil uji dengan pengujian Ilham dan Munip (2006)

| Umur 28 hari |                  |                  |                                  |                  |
|--------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| No           | Hasil Penelitian |                  | Hasil penelitian Ilham dan Munip |                  |
|              | Variasi          | Kuat Desak (MPa) | Variasi                          | Kuat Desak (MPa) |
| 1            | BN               | 29,21            | BTT                              | 30,74            |
| 2            | BTS              | 32,23            | BBS                              | 33,03            |
| 3            | BTSWM            | 32,88            | BBSWM                            | 34,96            |
| 4            | BTWM             | 31,65            | BBWM                             | 32,22            |
| Umur 14 hari |                  |                  |                                  |                  |
| No           | Hasil Penelitian |                  | Hasil penelitian Ilham dan Munip |                  |
|              | Variasi          | Kuat Desak (MPa) | Variasi                          | Kuat Desak (MPa) |
| 1            | BN               | 23,63            | BTT                              | 25,26            |
| 2            | BTS              | 23,94            | BBS                              | 26,85            |
| 3            | BTSWM            | 23,68            | BBSWM                            | 27,24            |
| 4            | BTWM             | 23,84            | BBWM                             | 26,47            |
| Umur 7 hari  |                  |                  |                                  |                  |
| No           | Hasil Penelitian |                  | Hasil penelitian Ilham dan Munip |                  |
|              | Variasi          | Kuat Desak (MPa) | Variasi                          | Kuat Desak (MPa) |
| 1            | BN               | 18,48            | BTT                              | 18,60            |
| 2            | BTS              | 19,14            | BBS                              | 19,76            |
| 3            | BTSWM            | 19,67            | BBSWM                            | 20,37            |
| 4            | BTWM             | 18,69            | BBWM                             | 19,21            |
|              |                  |                  |                                  |                  |

| Umur 3 hari |                  |                  |                                  |                  |
|-------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| No          | Hasil Penelitian |                  | Hasil penelitian liham dan Munip |                  |
|             | Variasi          | Kuat Desak (MPa) | Variasi                          | Kuat Desak (MPa) |
| 1           | BN               | 10,50            | BTT                              | 13,96            |
| 2           | BTS              | 12,77            | BBS                              | 16,08            |
| 3           | BTSWM            | 12,57            | BBSWM                            | 17,97            |
| 4           | BTWM             | 12,04            | BBWM                             | 14,77            |

Dari Tabel 5.16 terlihat bahwa beton terkekang dengan pengekang *wire mesh* yang berbentuk wajik, memiliki kuat desak yang lebih besar dari pada beton terkekang dengan pengekang jaringan kawat berbentuk persegi yang dilas. Hal ini disebabkan diameter *wire mesh* yang digunakan lebih besar yakni 1,57 mm. Sedangkan pada penelitian ini digunakan jaringan kawat dengan diameter 0,9 mm.

Sebagai pembandingan yang lain, pada penelitian ini adalah Beton serat baja. Penelitian ini dilakukan oleh Luthfi Zamroni (2004). Menyimpulkan bahwa, beton serat dengan volume serat 2 % dan 3 % dan panjang serat 90 mm, memberikan persentase peningkatan kuat tekan sebesar 29,03 % dan 36,51 %. Balaguru dan Surendra, (1992) mengatakan, penggunaan serat baja dalam konstruksi beton berguna untuk mencegah terjadinya retak-retak, sehingga beton serat lebih daktail dibandingkan dengan beton normal. Selain itu serat juga berfungsi untuk menahan sebagian beban yang diterima oleh beton, baik gaya tarik maupun gaya tekan

Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Rahayu dan Trihandoko (1996) dengan menggunakan benda uji kubus 15x15x15 cm dan jenis *steel fibers* berupa kawat bendrat yang dipotong sepanjang 5 cm mendapatkan hasil peningkatan kuat tekan sebesar 22,0036 % dan 36,1554 % dari kuat tekan beton normal dengan penambahan *steel fiber* sebesar 2 % dan 3 % dari berat beton.

Dengan membandingkan hasil-hasil penelitian tersebut dengan beton terkekang pada penelitian ini, khususnya beton dengan pengekang tulangan sengkang



(BTS) diperoleh peningkatan kuat desak terbesar yakni sebesar 21,7 %. Pada saat proses penekanan, beton pada bagian luar atau kulit beton mengalami peretakan tetapi pada bagian inti belum terjadi peretakan. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan Abdullah (1999-2000) jaringan kawat dapat menahan proses peretakan pada inti beton. Maka dapat disimpulkan bahwa beton terkekang dengan pengekang jaringan kawat bentuk persegi yang dilas dapat memberikan kuat tekan yang relatif sama dengan beton-beton dengan variasi yang lain seperti beton terkekang dengan pengekang *wire mesh*, beton dengan serat baja dan beton *fiber*.

#### **5.10.7 Tegangan dan Regangan Beton.**

Dari uji tekan beton dapat dibuat suatu kurva yang menyatakan nilai tegangan yang sesuai dengan nilai regangan beton tersebut. Berdasarkan penelitian, beton normal biasanya tegangan maksimum terjadi pada saat regangan desak beton mencapai  $\epsilon_c \pm 0,002$  dan setelah titik maksimum tercapai, kurva akan menurun lagi sampai sampel benda uji beton hancur. Tapi pada pengujian ini diperoleh regangan yang sangat tinggi. Hal ini dapat dilihat pada pengujian sampel benda uji beton normal (BN). Terlihat pada Gambar 5.2 bahwa ketika beton mencapai tegangan maksimum  $315,427 \text{ kg/cm}^2$  terjadi pada saat regangan beton mencapai 0,0036.

Dari penelitian yang dilakukan Ilham Ardiansyah dan Akhmad Munip (2006) menunjukkan bahwa regangan pada saat tegangan maksimal pada beton terkekang berkisar 0,00189 sampai 0,00353. Selain itu, grafik tegangan regangan menunjukkan bahwa tegangan desak maksimum yang terjadi untuk masing-masing variasi berbeda-beda, hal ini menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada tegangan maksimum tidak tergantung pada besarnya tegangan maksimum yang terjadi, dan penurunan tegangan setelah beton mencapai tegangan maksimum relatif landai untuk masing-masing variasi.

Bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Ilham Ardiansyah dan Akhmad Munip (2006) diatas, pada penelitian ini diperoleh regangan yang sangat tinggi untuk beton dengan pengekang sengkang (BTS) dan beton dengan pengekang jaringan kawat (BTWM) yakni sebesar 0,0042 dan 0,0054. Dan untuk variasi beton dengan pengekang gabungan tulangan sengkang dan jaringan kawat (BTSWM) mempunyai nilai regangan yang sangat tinggi yakni sebesar 0,0152 hal ini menunjukkan bahwa variasi ini mempunyai daktilitas yang sangat tinggi.

Apabila diperhatikan, hubungan tegangan-regangan untuk mutu beton sama akan membentuk kurva yang berbeda apabila kondisi pembebanan berbeda. Atau dengan kata lain, dengan kondisi pembebanan berbeda yang berarti nilai regangannya berbeda dan diperoleh kurva yang berbeda pula (Istimawan, 1994).

Modulus elastisitas merupakan sifat dari beton yang berkaitan dengan mudah atau tidaknya beton mengalami deformasi. Dari Tabel 5.11 dapat dilihat bahwa elastisitas beton terkekang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal. Hal ini disebabkan besarnya regangan yang terjadi pada beton terkekang. Hal yang sama terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Ilham Ardiansyah dan Akhmad Munip (2006), modulus elastisitas yang diperoleh seperti terlihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Modulus elastisitas Penelitian Ilham dan Munip (2006)

| No | Tipe  | Modulus elastisitas   |            |
|----|-------|-----------------------|------------|
|    |       | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (MPa)      |
| 1  | BTT   | 276936,4777           | 27167,4685 |
| 2  | BBS   | 265236,9318           | 26019,7430 |
| 3  | BBWM  | 225388,0870           | 22110,5713 |
| 4  | BBSWM | 193837,7709           | 19015,4853 |

Modulus elastisitas relatif lebih kecil terjadi pada beton yang terkekang bila dibandingkan dengan beton yang tidak terkekang atau beton normal.

Dari Tabel 5.12 secara keseluruhan dapat dilihat bahwa modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SNI sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan modulus elastisitas dengan menggunakan rumus ACI. Dan bila dibandingkan modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SNI atau ACI dan modulus elastisitas yang diperoleh melalui hasil penelitian terlihat bahwa modulus elastisitas pada beton terkekang lebih rendah bila dibandingkan dengan modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SNI atau ACI. Hal ini dipengaruhi adanya regangan yang cukup besar. Seperti terlihat pada beton terkekang dengan variasi beton terkekang gabungan tulangan sengkang dan jaringan kawat (B1'SWM). Jadi dapat disimpulkan bahwa menggunakan rumus SNI atau ACI dalam menentukan modulus elastisitas hanya dapat digunakan pada beton normal.

Dari modulus elastis dapat diketahui berapa besarnya kekakuan beton terkekang tersebut. Pada Tabel 5.11 terlihat bahwa semakin besar modulus elastisitas maka semakin besar pula kekakuan beton tersebut begitu juga sebaliknya. Terlihat bahwa beton normal lebih kaku dari pada beton terkekang. Hal ini disebabkan karena adanya deformasi yang lebih besar pada beton terkekang. Bahan beton bersifat elasto plastis dimana akibat dari beban tetap yang sangat kecil sekali pun, disamping memperlihatkan kemampuan elastis bahan beton juga menunjukkan deformasi permanen (Istimawan, 1994).

#### **5.10.8 Kuat Tarik Beton**

Berdasarkan hasil uji belah terlihat dari Tabel 5.13 dan Gambar 5.4 bahwa beton yang diberi pengekang juga memberikan peningkatan terhadap kuat tarik beton. Untuk variasi beton terkekang dengan pengekang tulangan sengkang (BTS) mengalami peningkatan sebesar 38.72 % dan variasi beton terkekang dengan pengekang gabungan tulangan sengkang dan jaringan kawat mengalami peningkatan

sebesar 11,70 % serta variasi beton terkekang dengan pengekang jaringan kawat mengalami peningkatan sebesar 2,95 % dari beton normal. Kuat tarik sangat penting untuk menahan retak. Dari hasil penelitian ini, terlihat bahwa beton dengan variasi beton terkekang dengan pengekang tulangan sengkang (BTS) mengalami peningkatan kuat tarik yang paling besar.

Bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Ilham Ardiansyah dan Akhmad Munip (2006) dengan menggunakan pengekang *wire mesh* bentuk wajik sengan diameter kawat sebesar 1,57 mm, untuk masing-masing variasi beton terkekang yakni beton bertulang sengkang (BBS), beton bertulang *wire mesh* (BBWM) dan beton bertulang sengkang dan *wire mesh* (BBSWM) secara berturut-turut memberikan peningkatan sebesar 19,47 %; 13,97 % dan 36,02 % terhadap beton tanpa tulangan (BTT).

Dari perbandingan ini dapat disimpulkan bahwa kuat tarik beton terkekang dengan menggunakan pengekang jaringan kawat bentuk persegi yang dilas dengan diameter 0,9 mm dan beton terkekang dengan pengekang *wire mesh* bentuk wajik dengan diameter 1,57 mm, maka beton terkekang dengan pengekang *wire mesh* bentuk wajik dengan diameter 1,57 mm lebih kuat menahan kuat tarik dari pada dengan menggunakan pengekang jaringan kawat bentuk persegi yang dilas dengan diameter 0,9 mm. Hal ini disebabkan diameter dari jaringan kawat berbentuk persegi lebih kecil dari pada *wire mesh* bentuk wajik (*diamond shape*) dan pada saat terjadi proses pengujian tarik diduga jaringan kawat lebih cepat putus yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan tarik dari beton terkekang dengan pengekang jaringan kawat berbentuk persegi yang dilas.

Nilai kuat tarik beton relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan kuat tekannya. Nilai kuat tarik dari beton hanya berkisar 9 % sampai dengan 15 % dari

kuat tekannya (Istimawan, 1994). Pada penggunaannya sebagai komponen struktur, beton diperkuat oleh tulangan sebagai bahan yang dapat menahan beban tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana tulangan menahan beban atau gaya tarik sedangkan beton menahan gaya tekan, sehingga diperoleh suatu konstruksi yang bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik sekaligus.

#### **5.10.9 Konversi Umur Beton**

Dari Tabel 5.14 terlihat bahwa untuk keempat variasi secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa pada umur 3 hari beton mengalami peningkatan kekuatan bila dibandingkan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Dan mengalami peningkatan sedikit demi sedikit hingga pada umur maksimum.

Untuk perbandingan nilai faktor konversi seperti terlihat pada Tabel 5.15, terlihat secara keseluruhan umur 3 hari memiliki nilai faktor konversi sedikit lebih tinggi dari nilai yang telah ditetapkan oleh SNI. Secara keseluruhan kekuatan beton pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari setelah dikonversi telah memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh SNI yakni sebesar 25 MPa.

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat tekan beton ditentukan pada waktu beton mencapai 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 3 hari kuat tekan beton mencapai 40 %, pada umur 7 hari kuat tekan beton 70 % dan pada umur 14 hari kuat tekan beton mencapai 85 % sampai dengan 90 % dari kuat tekan beton saat umur beton mencapai 28 hari (Istimawan, 1994). Pada kondisi pembebanan tekan tertentu, beton menunjukkan fenomena yang disebut dengan rangkai (*creep*), yakni sifat dimana beton mengalami perubahan bentuk akibat beban yang bekerja padanya.