

## BETON STRUKTURAL MENGUNAKAN AGREGAT PASIR - BATU ALAM

Yulius Rief Alkhaly<sup>1)</sup>, Fahrurrazi<sup>2)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

(email: yr.alkhaly@gmail.com)

### Abstrak

Kuat tekan beton, selain dipengaruhi oleh mutu perekat (semen), juga ditentukan oleh mutu agregat yang digunakan sebagai bahan pengisinya. Hal ini terlihat dari komposisi agregat dalam campuran beton mencapai 60% – 75% dari total volume beton. Penggunaan agregat pasir-batu alam (sirtu) tidaklah lazim dalam pembuatan beton struktural. Namun demikian, pada pembangunan beberapa ruko/toko berlantai 2 dan 3 di kota Lhokseumawe ditemukan penggunaan sirtu sebagai agregat untuk beton. Sirtu adalah jenis batuan sedimen yang merupakan campuran kerikil dan pasir yang terjadi secara alami. Penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan faktor air semen (FAS) pada campuran beton agregat sirtu agar dicapai mutu beton struktural minimal 17 MPa dan memiliki kemudahan pengerjaan yang baik (*workability*). Sirtu yang digunakan berasal dari desa Paya Rabo, kecamatan Sawang, Kabupaten Aceh Utara, dengan ukuran maksimum 19 mm. Sirtu ini terdiri dari 73% - 86% pasir dan 14% - 27% kerikil. Semen yang digunakan merek Andalas tipe I. Jumlah sampel beton agregat sirtu yang di uji pada umur 28 hari adalah sebanyak 15 buah sampel silinder (150x 300)mm, yang terdiri dari 5 sampel untuk masing-masing FAS 0,58; 0,54; dan 0,47. Sebagai pembandingan digunakan 5 buah sampel yang dibuat untuk beton normal dengan FAS 0,58. Rancangan campuran digunakan metode *absolute volume* dari *Portland Cement Association (PCA)*. Dari hasil pengujian diperoleh kuat tekan beton normal pada umur 28 hari mencapai 24,57 MPa. Pada umur pengujian yang sama, untuk beton sirtu, kuat tekan yang diperoleh untuk masing-masing FAS 0,58; 0,54; dan 0,47 adalah sebesar 17,09 MPa, 23,37 MPa, dan 27,61 MPa. Pada FAS 0,58 dan 0,54 beton agregat sirtu mengalami penurunan kuat tekan masing-masing sebesar 33,4% dan 4,90% dibanding beton normal. Untuk memperoleh beton agregat sirtu dengan kekuatan 17 MPa, dilakukan interpolasi linier dari hasil pengujian tersebut dan didapat FAS sebesar 0,55. Dari hasil pengujian menggunakan FAS 0,55 didapat kuat tekan rata-rata beton agregat sirtu sebesar 21,60 MPa, dengan *slump* sebesar 79mm

Kata kunci: *sirtu (pasir-batu), faktor air semen, slump, kuat tekan, beton struktural*

### 1. Pendahuluan

Beton masih menjadi material pilihan utama untuk mendirikan bangunan ruko/toko di kota Lhokseumawe, hal ini dapat dibuktikan bahwa 100% bangunan ruko/toko baru di Lhokseumawe dibuat dari struktur beton. Beton dipilih sebagai bahan konstruksi karena mudah dalam memperoleh material pembentuknya dan mudah dilaksanakan, serta dianggap paling ekonomis dibanding material konstruksi lainnya.

Beton merupakan bahan yang dibuat dengan pencampuran air dan semen sebagai pengikat (*binder*) dan agregat sebagai pengisi (*filler*). Agregat untuk

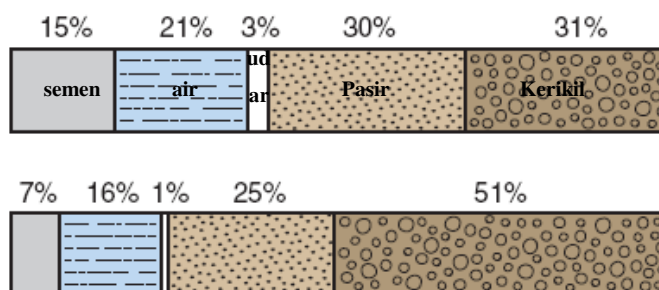
beton normal (*Ordinary Portland Cement, OPC*) dapat berupa kerikil atau batu pecah sebagai agregat kasar dan pasir sebagai agregat halus. Beton normal yang digunakan sebagai material struktur dinamakan beton struktural. Beton ini mempunyai kuat tekan antara 17 MPa – 40 MPa dan berat volume berkisar 2200 kg/m<sup>3</sup> - 2400 kg/m<sup>3</sup>. Umumnya untuk pembuatan beton normal digunakan material pilihan berupa kerikil bersih (kerikil beton) dan pasir bersih (pasir beton) dengan gradasi yang memenuhi syarat guna mencapai kuat tekan beton sebagaimana yang direncanakan.



**Gambar 1 Material sirtu pada dua lokasi pembangunan ruko di Kota Lhokseumawe**

Di luar kelaziman, pada pembangunan ruko/toko berlantai 2 dan 3 di Lhokseumawe ditemui penggunaan pasir-batualam (sirtu) sebagai bahan pembuatan beton. Penggunaan sirtu (atau dinamakan juga pasir kotor) ini dimaksudkan untuk tujuan ekonomis, karena harga sirtu yang jauh lebih murah dibanding harga kerikil beton dan pasir beton.

Sirtu merupakan material sedimen yang terbentuk di sungai yang terdiri dari campuran pasir dalam jumlah yang lebih besar dibanding batu (kerikil). Sirtu juga sering bercampur dengan material batu apung dan material pengotor lainnya (dapat berupa ranting kayu, dedaunan dan lumpur). Dilihat dari kondisi ini, dipastikan bahwa penggunaan sirtu sebagai material beton mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan ilustrasi gambar berikut:



**Gambar 2 Proporsi bahan-bahan campuran beton**

Sumber: Kosmatka, S.H., et.al (2003)

Dari Gambar 2 di atas terlihat bahwa volume pasir dalam suatu campuran beton lebih sedikit dibanding dengan volume kerikil, sedangkan kandungan sirtu merupakan kebalikan dari proporsi campuran beton sebagaimana gambar di atas.

Namun demikian, kekuatan beton tidak hanya bergantung dari mutu dan proporsi agregat saja, jumlah kandungan air dan semen (faktor air semen, FAS) merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton, sehingga penurunan kekuatan beton oleh mutu material yang buruk dapat ditingkatkan melalui penggunaan FAS kecil dengan tanpa mengabaikan tinggi *slump* untuk mencapai kemudahan pengerjaan (*workability*).

Dalam penelitian ini, direncanakan penggunaan sirtu sebagai bahan pembetuk beton struktural dengan mempertimbangkan nilai *slump* yang memenuhi syarat agar beton mudah dikerjakan dan dibentuk pada saat digunakan di lapangan. Dengan kata lain, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui nilai FAS dan *slump* yang sesuai, guna mencapai kuat tekan beton struktural minimum (17 MPa) dengan agregat sirtu sebagai pengganti kerikil dan pasir.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Sifat-sifat Beton Segar

Menurut Mulyono (2004), beton yang baik adalah beton yang dapat diaduk, dapat diangkat, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan kerikil dari adukan (*segregation*) maupun pemisahan air dan semen dari adukan (*bleeding*). Tiga hal utama dari sifat-sifat beton segar, yaitu: kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan butiran kasar (*segregation*), pemisahan air (*bleeding*).

#### a. Kemudahan pengerjaan (*workability*)

Kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan ukuran dari tingkat kemudahan atau kesulitan adukan untuk diaduk, diangkat, dituangkan dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat-sifat bahan ini secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain:

- Jumlah air pencampur  
Semakin banyak air yang digunakan maka semakin mudah beton tersebut dikerjakan.
- Kandungan semen  
Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
- Gradasi campuran pasir-kerikil  
Gradasi adalah distribusi ukuran dari agregat berdasarkan hasil persentase berat yang lolos pada setiap ukuran saringan dari analisa saringan.
- Bentuk butiran agregat  
Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
- Cara pemadatan dan alat pemadatan

Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan (keenceran) yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit dari pada dipadatkan dengan tangan.

b. Pemisahan butiran kasar (*segregation*)

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

- Campuran kurang semen.
- Terlalu banyak air.
- Besar agregat maksimum lebih dari 40 mm.
- Permukaan agregat butir kasar, semakin kasar permukaan butir agregat semakin mudah terjadi segregasi.

Untuk mengurangi kecenderungan terjadinya segregasi, maka dapat dicegah dengan beberapa cara yaitu tinggi jatuh diperpendek, penggunaan air sesuai dengan syarat, ukuran agregat sesuai syarat dan pemadatan yang baik.

c. Pemisahan air (*bleeding*)

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput. *Bledding* ini dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain:

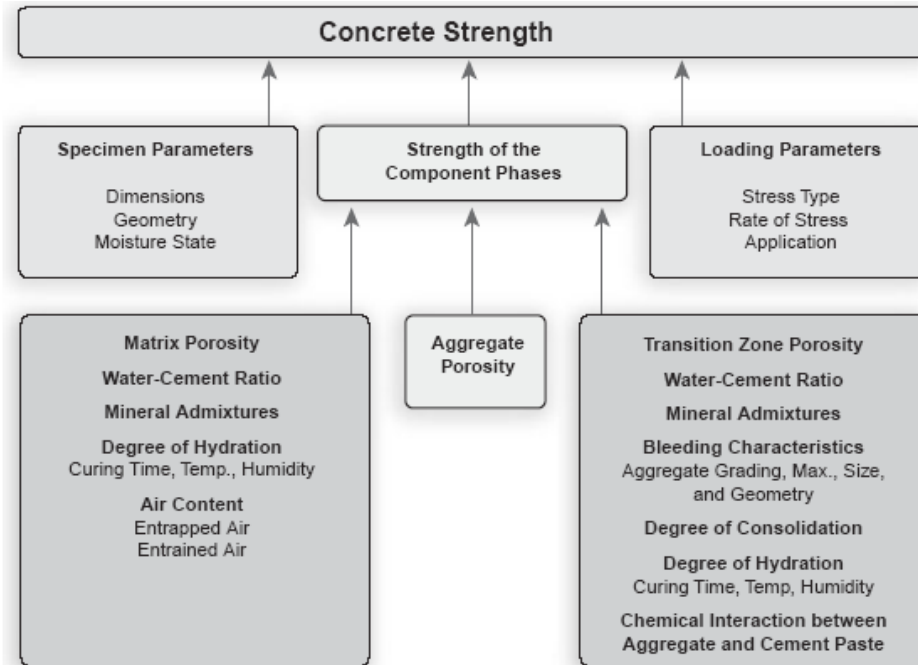
- Susunan butir agregat  
Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bledding* kecil.
- Banyaknya air  
Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bledding*.
- Kecepatan hidrasi  
Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil terjadinya *bledding*.
- Proses pemadatan  
Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya *bledding*. Untuk mengurangi kecenderungan terjadinya *bledding* maka dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu memberi lebih banyak semen, penggunaan air sesedikit mungkin, penggunaan butir halus lebih banyak, dan pemberian sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus

## 2.2 Sifat-sifat Beton Keras

Kuat tekan (*compression strength*) merupakan sifat beton keras yang utama diantara sifat-sifat beton keras yang lain yaitu: kuat lentur (*flexural strength*), rangkai-susut (*creep and shrinkage*), modulus elastisitas (*elasticity modulus*) dan keawetan (*durability*).

Kuat tekan adalah kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Menurut *American Concrete Institute(ACI), 2008*, beton struktural didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan minimum 17 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan sangat tergantung kepada faktor air semen, bentuk dan

ukuran benda uji, serta mutu material antara lain umur semen. FAS adalah faktor utama yang mempengaruhi kuat tekan, sedangkan proporsi campuran lainnya hanya merupakan faktor pendukung.



**Gambar 3** Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton  
 Sumber: Mehta, P.K., dan Monteiro, P.J.M (2006)

**2.3 Hubungan FAS terhadap Kemudahan Pengerjaan dan Kuat Tekan Beton**

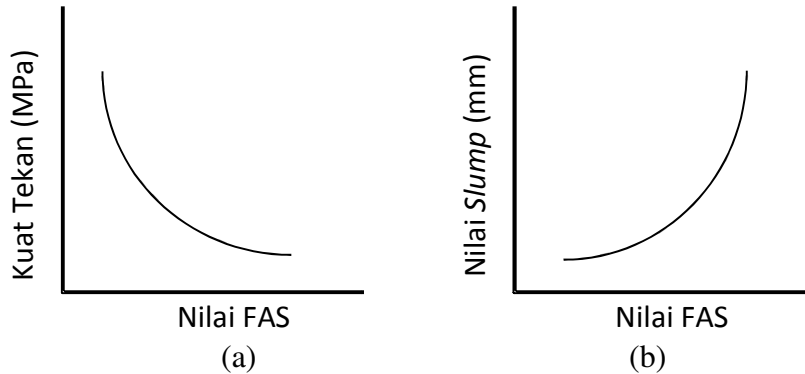
Kemudahan pengerjaan beton (*workability*) dapat diukur dengan nilai *slump*. Nilai *slump* adalah besarnya penurunan tinggi adukan beton sesudah kerucut standar Abram's diangkat. Besarnya nilai *slump* yang direkomendasi *Portland Cement Association (PCA)*.diperlihatkan dalam tabel berikut:

**Tabel 1** Rekomendasi nilai *slump* berdasarkan jenis konstruksi

| Concrete construction                            | Slump, mm (in.) |         |
|--|-----------------|---------|
|  | Maximum*        | Minimum |
| Reinforced foundation walls and footings         | 75 (3)          | 25 (1)  |
| Plain footings, caissons, and substructure walls | 75 (3)          | 25 (1)  |
| Beams and reinforced walls                       | 100 (4)         | 25 (1)  |
| Building columns                                 | 100 (4)         | 25 (1)  |
| Pavements and slabs                              | 75 (3)          | 25 (1)  |
| Mass concrete                                    | 75 (3)          | 25 (1)  |

Sumber: Kosmatka, S.H., et.al (2003)

Secara umum, makin tinggi nilai FAS, makin tinggi tingkat kemudahan pengerjaan. Sebaliknya, makin tinggi nilai FAS, makin rendah kuat tekan beton. Hubungan FAS, kuat tekan dan nilai *slump* diilustrasikan dalam gambar berikut:



**Gambar 4 (a) Hubungan nilai FAS dan kuat tekan, (b) Hubungan nilai FAS dan nilai *slump***

### 3. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh.

#### 3.1 Material

Agregat sirtu yang digunakan berasal dari desa Paya Rabo, kecamatan Sawang, kabupaten Aceh Utara dengan ukuran maksimum lolos saringan 19 mm. Dari hasil uji saringan terhadap 15 sampel sirtu diketahui bahwa kandungan pasir berkisar antara 73% - 86% dan kandungan kerikil sebesar 14% - 27%. Untuk pembuatan beton normal, digunakan pasir dan kerikil yang berasal dari Krueng Mane, Kecamatan Muara Batu, Kabupaten Aceh Utara. Hasil analisa saringan agregat diperlihatkan pada Tabel 2

**Tabel 2 Analisa saringan agregat**

| Ukuran saringan (mm) | % Lolos |         |         |
|----------------------|---------|---------|---------|
|                      | Sirtu   | Pasir   | Kerikil |
| 38,10                | 100     | 100     | 100     |
| 19,00                | 98 – 99 | 100     | 100     |
| 12,7                 | -       | -       | 65 – 67 |
| 9,50                 | 88 – 95 | 100     | 36 – 37 |
| 4,75                 | 73 – 86 | 100     | 0       |
| 2,36                 | 49 – 65 | 73 – 82 | 0       |
| 1,18                 | 32 – 47 | 51 – 63 | 0       |
| 0,6                  | 17 – 28 | 27 – 39 | 0       |
| 0,3                  | 3 – 7   | 6 – 11  | 0       |
| 0,15                 | 1 – 2   | 1 – 2   | 0       |
| Modulus halus butir  | 3,07    | 3,24    | 1,65    |

Sifat fisis lainnya dari agregat diperlihatkan dalam Tabel 3

**Tabel 3 Sifat fisis agregat**

| Uraian               |                        | Sirtu | Pasir | Kerikil |
|----------------------|------------------------|-------|-------|---------|
| Ukuran maksimum (mm) |                        | 19    | 4,75  | 19      |
| Berat Jenis          | Kering jenuh-permukaan | 2,56  | 2,6   | 2,7     |
|                      | Kering tungku/oven     | 2,58  | 2,51  | 2,64    |
| Absorpsi (%)         |                        | 1,81  | 3,6   | 2,27    |
| Kadar lengas (%)     |                        | 4,49  | 1,56  | 1,04    |

Semen yang digunakan adalah produksi PT. Semen Andalas, *Portland Cement* tipe I, dan air yang digunakan berupa air yang dapat diminum. Air ini diperoleh dari air isi ulang produksi depot Aqua Mon Pasee, Lhokseumawe. Untuk semen dan air tidak dilakukan pemeriksaan lagi, karena telah memenuhi persyaratan.

### 3.2 Benda Uji

Dalam penelitian ini digunakan benda uji silinder ukuran (150 x 300) mm sebanyak 5 (lima) buah untuk masing-masing sampel dengan variasi FAS 0,58; 0,54; dan 0,47. Proporsi campuran (*mix design*) diperoleh melalui metode *Absolute Volume* dari *Portland Cement Association (PCA)*. Tabel berikut memperlihatkan proporsi campuran untuk masing-masing benda uji:

**Tabel 4 Proporsi campuran beton**

| No | Uraian       | FAS  | Benda uji (bh) | Target <i>slump</i> (mm) | Proporsi per m <sup>3</sup> beton (kg) |       |       |         |       |
|----|--------------|------|----------------|--------------------------|--|-------|-------|---------|-------|
|    |              |      |                |                          | Air                                    | Semen | Pasir | Kerikil | Sirtu |
| 1  | Beton Normal | 0,58 | 5              | 25-100                   | 177                                    | 354,5 | 835   | 995,6   | -     |
| 2  | Beton Sirtu  | 0,58 | 5              |                          | 251                                    | 354,5 | -     | -       | 1746  |
| 3  | Beton Sirtu  | 0,54 | 5              |                          | 251                                    | 379,6 | -     | -       | 1746  |
| 4  | Beton Sirtu  | 0,47 | 5              |                          | 251                                    | 436,2 | -     | -       | 1746  |

### 3.3 Pengujian Beton

#### 3.3.1 Pengukuran *Slump* dan Volume Beton Segar

Metode pengujian *slump* dilakukan berdasarkan standar *American Society for Testing and Materials (ASTM) C 143*. Setiap kali pembuatan benda uji dilakukan pengujian *slump* untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan, target *slump* rencana adalah 25 – 100 mm.

**Tabel 5 Nilai *slump* dan berat volume benda uji**

| No | Uraian       | FAS  | <i>Slump</i> rata-rata (mm) | Berat beton segar per m <sup>3</sup> (kg) |
|----|--------------|------|-----------------------------|---|
| 1  | Beton Normal | 0,58 | 65                          | 2280                                      |
| 2  | Beton Sirtu  | 0,58 | 85                          | 2230                                      |
| 3  | Beton Sirtu  | 0,54 | 78                          | 2260                                      |
| 4  | Beton Sirtu  | 0,47 | 73                          | 2300                                      |

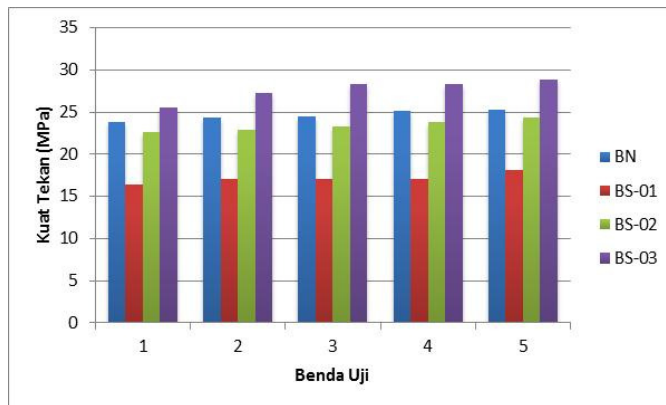


### 3.3.2 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan perendaman dalam bak air. Pada umur 21 hari benda uji diberi *capping* yang terbuat dari mortar semen dengan perbandingan 1 bagian semen dan 1 bagian pasir dengan ketebalan ±10 mm. Pemberian *capping* dimaksudkan agar permukaan benda uji cukup rata sehingga kekasaran permukaan tidak berpengaruh terhadap pengujian kuat tekan. Sehari setelah pemberian *capping*, benda uji kembali direndam sampai umur 28 hari.

### 3.3.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Kuat tekan rencana beton normal (BN) adalah 20 MPa dengan margin yang disyaratkan PCA ( $m = 1,34 S$ ) sebesar = 7 MPa, atau standar deviasi ( $S$ ) = 5,22 MPa.



Gambar 5 Kuat tekan masing-masing benda uji

Tabel 6 Kuat tekan masing-masing benda uji

| No | Uraian              | FAS  | Kuat tekan (MPa) | Kuat tekan rata-rata (MPa) | Standar deviasi (S) (MPa) | % Pencapaian kuat tekan |
|----|---------------------|------|------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1  | Beton Normal (BN)   | 0,58 | 23,77            | 24,57                      | 0,58                      | 100                     |
|    |                     |      | 24,33            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 24,50            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 25,07            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 25,18            |                            |                           |                         |
| 2  | Beton Sirtu (BS-01) | 0,58 | 16,41            | 17,09                      | 0,62                      | 69,6                    |
|    |                     |      | 16,98            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 16,98            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 16,98            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 18,11            |                            |                           |                         |
| 3  | Beton Sirtu (BS-02) | 0,54 | 22,64            | 23,37                      | 0,68                      | 95,1                    |
|    |                     |      | 22,92            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 23,20            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 23,77            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 24,33            |                            |                           |                         |
| 4  | Beton Sirtu (BS-03) | 0,47 | 25,46            | 27,61                      | 1,35                      | 112,4                   |
|    |                     |      | 27,16            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 28,29            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 28,29            |                            |                           |                         |
|    |                     |      | 28,86            |                            |                           |                         |



Batasan penerimaan kuat tekan beton normal:

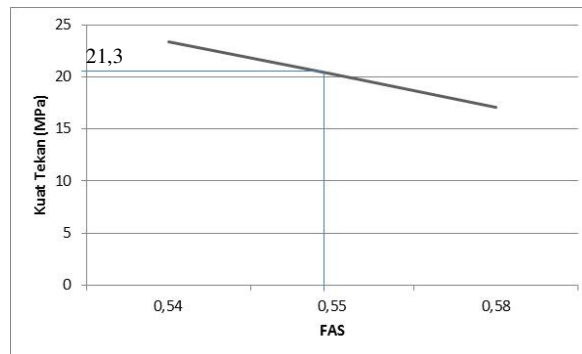
- Nilai rata-rata dari 4 benda uji:  $fc' + 0,82S = (20) + (0,82)(5,22) = 24,3$  MPa
- Nilai minimum dari tiap benda uji:  $0,85 fc' = (0,85) (20) = 17$  MPa

#### 4. Pembahasan

Nilai *slump* untuk seluruh benda uji, baik untuk beton normal (BN) maupun beton sirtu (BS) memperlihatkan kemudahan kerja (*workability*) yang cukup baik dan memenuhi kriteria yang direkomendasikan oleh PCA sebesar 25 mm – 100 mm untuk jenis pekerjaan balok/kolom. Pada beton sirtu (BS), terjadi peningkatan tinggi *slump* antara 8 mm – 20 mm, hal ini disebabkan beton sirtu mengandung pasir (bahan berbutir halus) lebih tinggi dibanding beton normal.

Kuat tekan beton sirtu (BS-01) dengan FAS 0,58 mengalami penurunan yang cukup drastis dibanding beton normal (BN) yaitu sebesar 33,4% dan kuat tekan empat benda uji berada di bawah syarat penerimaan kuat tekan beton normal. Kuat tekan beton sirtu (BS-02) dengan FAS 0,54 mengalami penurunan sebesar 4,90% dibanding beton normal (BN), sedangkan kuat tekan beton sirtu (BS-03) dengan FAS 0,47 memiliki kuat tekan lebih tinggi sebesar 12,4% dibanding beton normal (BN). Jumlah penggunaan semen untuk FAS 0,54 dan 0,47 mengalami peningkatan sebesar masing-masing  $25 \text{ kg/m}^3$  dan  $82 \text{ kg/m}^3$ .

Agar diperoleh kuat tekan rata-rata untuk 4 benda uji dengan kuat tekan rencana 17 MPa, maka besarnya kuat tekan rata-rata yang harus dipenuhi adalah:  $fc' + 0,82S = (17) + (0,82)(5,22) = 21,3$  MPa. Dengan interpolasi linier dari hasil pengujian di atas, diperoleh nilai FAS sebesar 0,55 untuk nilai kuat beton rata-rata 21,3 MPa.



**Gambar 6 Interpolasi linier nilai FAS untuk kuat tekan beton 21,3 MPa**

Dari hasil pengujian selanjutnya, untuk 5 (lima) buah benda uji menggunakan FAS 0,55 diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 21,6 MPa dan nilai *slump* sebesar 79 mm. Dalam campuran ini, penggunaan semen sebanyak  $373 \text{ kg/m}^3$ , meningkat sebesar  $19 \text{ kg/m}^3$  dibandingkan campuran beton normal.

#### 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian terhadap campuran beton dengan menggunakan agregat sirtu dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada nilai FAS yang sama, beton sirtu mengalami penurunan kuat tekan yang cukup drastis dibanding kuat tekan beton normal
2. Guna meningkatkan kuat tekan beton sirtu setara dengan beton normal, maka harus digunakan FAS yang lebih rendah dibanding FAS yang digunakan untuk beton normal. Hal ini menyebabkan penggunaan semen pada beton sirtu lebih banyak dibanding beton normal
3. Kuat tekan beton beton sirtu untuk mutu beton struktural minimal (17 MPa), dapat dicapai dengan menggunakan FAS 0,55
4. Nilai *slump* untuk seluruh beton sirtu memenuhi syarat rekomendasi dari PCA.

#### Daftar Kepustakaan

1. Anonim, 2008, ACI 318-08: *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills;
2. Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., dan Panarese, W.C., 2003, *Design and Control of Concrete Mixtures*, edisi ke-14, Portland Cement Association, Illinois;
3. Mehta, P.K., dan Monteiro, P.J.M., 2006, *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*, edisi ke-3, McGraw-Hill, New York;
4. Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, edisi ke-1, Penerbit Andi, Yogyakarta.