

# PENGARUH BENTUK DAN KONFIGURASI AGREGAT TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Martin Hutagalung, Yanuar Setiawan  
Han Ay Lie<sup>\*)</sup>, Parang Sabdono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang 50239,  
Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

## ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh bentuk dan konfigurasi agregat terhadap kuat tekan mortar. Penelitian sejauh ini mengatakan bahwa bentuk agregat tidak begitu mempengaruhi kuat tekan beton dan pendapat ahli yang mengatakan bahwa agregat berbentuk blondos (rounded) adalah agregat yang paling baik digunakan pada campuran beton. Oleh karena itu muncul usulan dalam penelitian ini untuk meneliti bagaimana pengaruh agregat terhadap kuat tekan beton jika kita menggunakan agregat berbentuk balok (angular). Pertanyaan tersebut akan dapat dijawab dengan uji laboratorium dan pemodelan dan analisis dengan menggunakan software (SAP 2000).*

*Untuk mengetahui pengaruhnya digunakan variasi ukuran agregat berukuran 2 x 2 x 5 cm dan 2,5 x 1,5 x 5 cm yang pada saat pengecoran dibuat juga variasi posisi agregat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan mortar. Pengujian yang dilakukan dengan pembebanan uniaksial (satu arah) dan menggunakan data logger dan LVDT (Linear Variable Displacement Transducer), untuk mengukur displacement yang terjadi. Melalui penelitian ini diharapkan, selain mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton, dapat juga mengetahui hubungannya terhadap pola retak beton dari tegangan yang didapatkan saat pengujian dan divalidasi dengan menggunakan SAP 2000.*

**Kata Kunci :** *Bentuk, Konfigurasi, Kuat Tekan Mortar, Angular, Displacement, Pola Retak.*

## ABSTRACT

*This study aimed to investigate the influence of the shape and position of aggregate to compressive strength of matrix. Research conducted so far to say that the aggregate does not really affect the compressive strength of concrete and the opinions of experts who say that the aggregate rounded shaped is the aggregate are best used in the mix concrete . Therefore, there was a suggestion in this study to examine how the aggregate effect of the concrete compressive strength if we use the aggregate shaped beam (angular). That question will be answered by laboratory testing and modeling and analysis using software (SAP 2000).*

*To determine the effect used variations size of aggregate measuring 2 x 2 x 5 cm and 2.5 x 1.5 x 5 cm at the time of casting is also variation in the position to determine the aggregate effect on the compressive strength of matrix. Tests conducted with uniaxial loading (one-way) and use the data logger and LVDT (Linear Variable Displacement Transducer), to measure the displacement that occurs. Through this research is expected, in addition to knowing their effects on the compressive strength of concrete, can also determine its relation to the concrete cracking pattern of voltage obtained when testing and validated by using SAP 2000.*

**Keywords:** *Form, Configuration, Matrix Compressive Strength, Angular, Displacement, Pattern Cracks.*

---

<sup>\*)</sup> Penulis korespondensi, Email: hanaylie@indosat.net.id

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Beton didefinisikan sebagai sebuah bahan komposit dengan penyusun utamanya berupa partikel atau fragmen berbentuk agregat yang saling mengikat dan melekat (*ASTM C 125-06*). Parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah : kualitas semen, proporsi semen terhadap campuran, kekuatan dan kebersihan agregat, interaksi atau adhesi antar pasta semen dengan agregat, pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton (*Nawy, 1985*).

Agregat memiliki bentuk butir dari bulat (*rounded*) sampai bersudut (*angular*). Bentuk butir agregat dapat mempengaruhi workabilitas campuran beton selama pencampuran yaitu dalam hal energi pemadatan yang dibutuhkan untuk memadatkan campuran, dan kekuatan struktur beton selama umur pelayanannya. Kekuatan beton salah satunya dipengaruhi oleh interaksi atau adhesi antar pasta semen dengan agregat dalam hal ini adalah ikatan antara agregat dengan mortar. Bentuk partikel agregat yang bersudut memberikan ikatan antar agregat (*aggregate interlocking*) yang baik yang dapat menahan perpindahan atau displasemen agregat yang mungkin terjadi. Agregat yang bersudut tajam, berbentuk kubikal dan agregat yang memiliki lebih dari satu bidang pecah akan menghasilkan ikatan antar agregat yang paling baik.

Namun selama ini belum pernah diketahui bagaimana pengaruh bentuk butir agregat terhadap kekuatan beton. Untuk itu perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh bentuk butir agregat terhadap kekuatan beton. Tetapi dalam penelitian ini tidak memperhatikan pengaruh ikatan antar agregat (*aggregate interlocking*) sehingga hanya ingin mengetahui pengaruh bentuk butir agregat terhadap kekuatan beton saja.

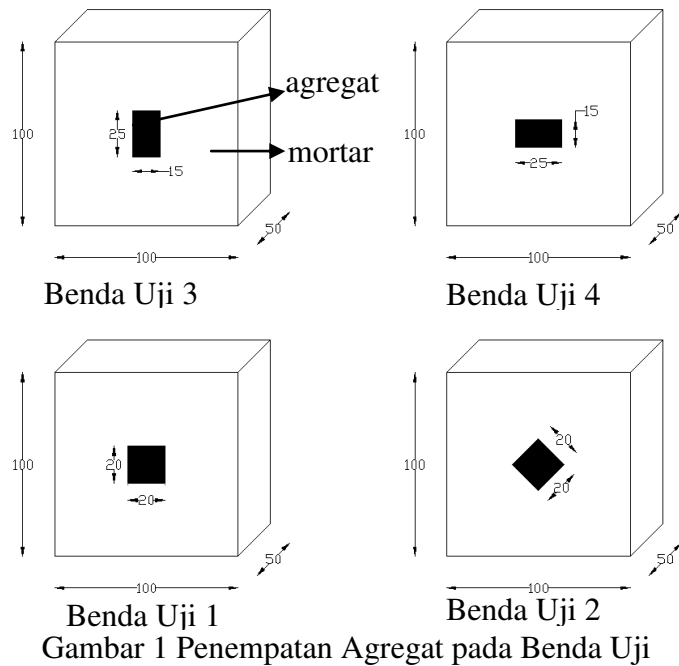
### **Maksud dan Tujuan**

1. Mengetahui pengaruh bentuk agregat (*angular*) terhadap kuat tekan mortar.
2. Mengetahui pengaruh konfigurasi agregat terhadap kuat tekan mortar.
3. Mengetahui pola retakan pada mortar dengan bentuk dan konfigurasi agregat yang berbeda.

### **Batasan Penelitian**

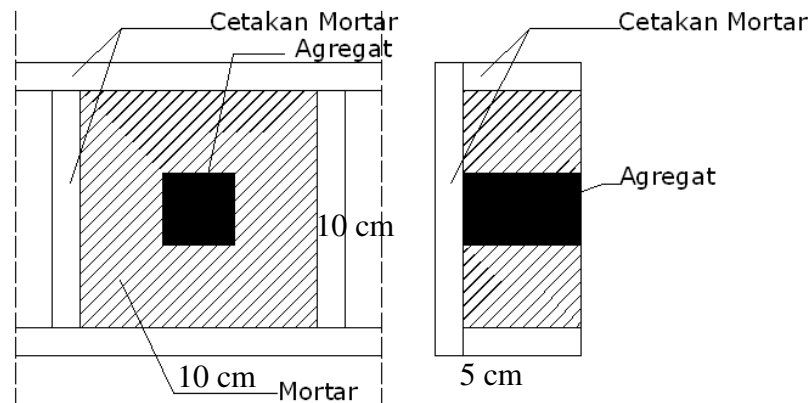
Bahan yang digunakan untuk benda uji dalam penelitian ini adalah:

- Agregat kasar yaitu batu *split* yang berasal dari *quarry* Pudak Payung.
- Agregat yang digunakan untuk benda uji merupakan hasil pemotongan batu dengan menggunakan alat pemotong hingga berbentuk prisma berukuran sekitar 2x2x5 cm dan 2,5x1,5x5 cm.
- Luas permukaan agregat yang terselimuti mortar sama atau mendekati luas permukaan selimut agregat hasil core Ø 28 mm dengan tinggi 5 cm. Hal ini dikarenakan untuk mendekati ukuran agregat 2/3.
- Jumlah total benda uji adalah 32 benda uji, dengan penempatan agregat seperti pada gambar 1.1.



Masing-masing posisi dibuat 8 benda uji.

- Setiap agregat yang sudah dibentuk tidak memiliki kekasaran permukaan yang sama, sehingga solusinya harus diampelas agar sama. Hal ini dilakukan untuk memberi perlakuan yang sama untuk setiap benda uji sehingga mudah untuk dibandingkan hasilnya serta tidak perlu ada koreksi.
- Semua benda uji berada pada kondisi kering pada saat proses pengecoran, untuk memberi perlakuan yang sama untuk setiap benda uji sehingga mudah untuk dibandingkan hasilnya serta tidak perlu ada koreksi.
- Mortar yang digunakan berukuran 10 cm x 10 cm x 5cm, menggunakan bekisting dari multiplek setebal 12 mm. *Mix design* yang digunakan berdasarkan *ASTM C109/C109M-02* dengan komposisi mix : *Cement* : *Fine Aggregates* : *Water* : *Superplasticizer* = 1 : 2,75 : 0,482 : 0,002798. *Superplasticizer 0,28% to cement by weight*. Semua benda uji dilakukan pengujian pada umur 28 hari.
- Gradasi saringan agregat halus menggunakan gradasi ideal sesuai dengan *ASTM C 33/03 “Standart Spesification for concrete aggregates”*.
- Cara pembuatan benda uji dapat dilihat seperti gambar 1.2. :

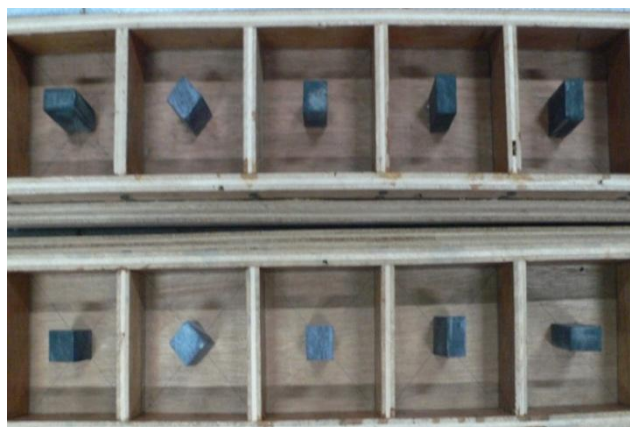


**Gambar 2 Sket Pembuatan Benda Uji**

## METODOLOGI PENELITIAN

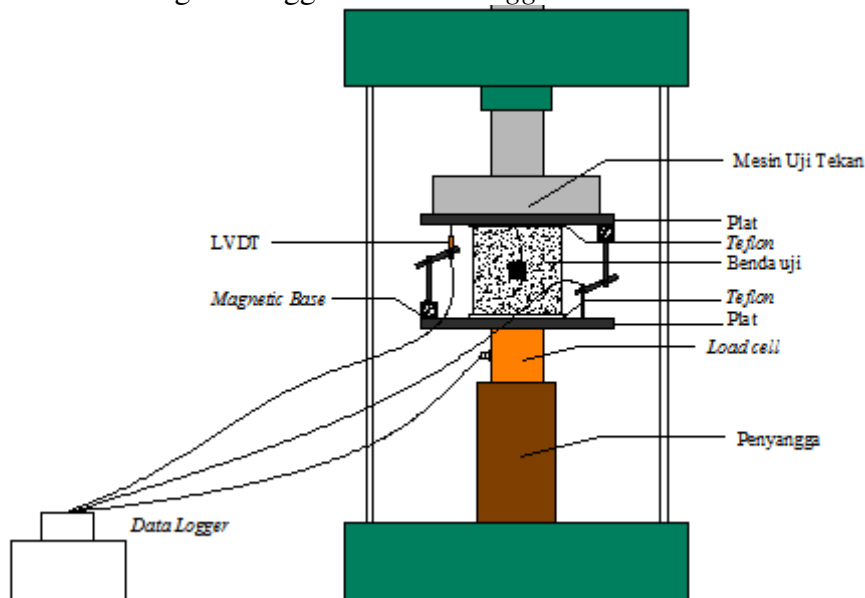
Adapun metodologi dalam penelitian ini, antara lain:

1. Tahap persiapan penelitian  
Dimulai dengan mengkaji permasalahan yang ada kemudian melakukan studi literatur tentang penelitian.
2. Tahap persiapan bahan/material  
Bahan atau material yang digunakan untuk membuat benda uji :
  - a. Pasir menggunakan pasir muntilan. Pasir yang digunakan harus sesuai dengan standar *fine aggregate*. Pasir dicuci agar diperoleh kadar lumpur dalam pasir sesuai standar yaitu kurang dari 5 % kemudian dikeringkan dengan cara dioven agar didapat kadar air 0 %. Selanjutnya dilakukan analisa saringan agar diperoleh gradasi sesuai ASTM C 33-03.
  - b. *Portland cement* menggunakan semen Gresik tipe *Ordinary Portland Cement (OPC)*.
  - c. Agregat menggunakan batu hasil pemotongan batu dengan quarry Pudak Payung. dipecah agar didapat bentuk yang dapat dipotong dengan alat pemotong. Batu hasil pecahan dipotong dengan alat pemotong agar berbentuk balok berukuran sekitar 2 x 2 x 5 cm dan 2,5 x 1,5 x 5 cm. Agregat yang telah dipotong diampelas agar diperoleh permukaan yang sama untuk masing-masing agregat.
  - d. *Superplasticizer*, dari produk *SIKA Viscocrete 10*.
  - e. Air menggunakan air PDAM.
3. Tahap pembuatan cetakan  
Cetakan untuk benda uji dibuat dengan bahan multiplek 12 mm yang dibentuk sedemikian rupa agar didapat cetakan untuk benda uji berukuran 10 x 10 x 5 cm dengan jumlah 4 benda uji untuk setiap cetakan.
4. Tahap pembuatan benda uji.  
Benda uji direncanakan dengan empat variasi seperti gambar 1. Pembuatan benda uji dengan tahap pekerjaan sebagai berikut:
  - a. Menimbang berat tiap bahan yang diperlukan sesuai dengan rancangan campuran/*Mix Design*, antara lain air, semen, agregat halus.
  - b. Melindungi/menutup bahan-bahan yang telah ditimbang dengan karung. Tujuannya agar tidak terpengaruh kondisi sekitar tempat pengujian, misalnya penguapan.
  - c. Memastikan semua peralatan, baik untuk pengadukan maupun cetakan, telah bersih dari kotoran dan debu.
  - d. Mengolesi permukaan cetakan bagian dalam dengan minyak pelumas agar beton tidak menempel di cetakan sehingga mudah dibuka saat akan mengeluarkan benda uji.
  - e. Menempatkan agregat sesuai dengan gambar 3 pada cetakan mortar.



Gambar 3 Penempatan Agregat pada Cetakan

- f. Membasahi peralatan yang digunakan untuk mengaduk campuran beton, di antaranya molen, loyang, besi pengaduk, pisau pengaduk, kerucut *Abrams* dan alas papan. Tujuannya agar air dalam campuran beton tidak berkurang akibat terserap oleh peralatan yang kering.
  - g. Memasukkan bahan-bahan yang telah disiapkan ke dalam *mixer* (agregat halus dan semen), kecuali air.
  - h. Mencampur bahan-bahan kering yang telah dimasukkan hingga merata.
  - i. Memasukkan air sedikit demi sedikit ke dalam *mixer*.
  - j. Mengaduk bahan-bahan kering dengan air hingga campuran menjadi homogen.
  - k. Menuangkan campuran ke dalam cetakan.
  - l. Menyimpan benda uji dalam ruang lembab selama 24 jam.
  - m. Membuka cetakan
5. Tahap Perawatan, Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan harus dilakukan perawatan sampai pengujian dilakukan yaitu 28 hari. Perawatan yang dilakukan adalah dengan cara direndam dalam air.
  6. Tahap Pengujian  
 Pengujian benda uji menggunakan *Compression Testing Machine* dengan *set-up* pengujian yaitu, memasang *load cell* pada alat, meletakkan pelat pada bagian atas *load cell*, meletakkan *teflon* diatas pelat, meletakkan benda uji diatas *teflon*, meletakkan *teflon* kembali diatas benda uji, meletakkan plat diatas *teflon* yang bertujuan untuk meratakan beban yang diberikan *Compression Testing Machine* serta agar diperoleh keakurasian angka hasil kuat tekan yang didapat tanpa pengaruh ikatan maupun kekuatan kaping seperti penggunaan belerang dan topi baja.. Kemudian memasang LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) dan *data logger*. Pembebanan diberikan dengan cara smenekan benda uji secara bertahap hingga mencapai beban maksimum yang dapat ditahan benda uji. Pembacaan beban dan deformasi pada benda uji dilakukan dengan menggunakan *data logger*.

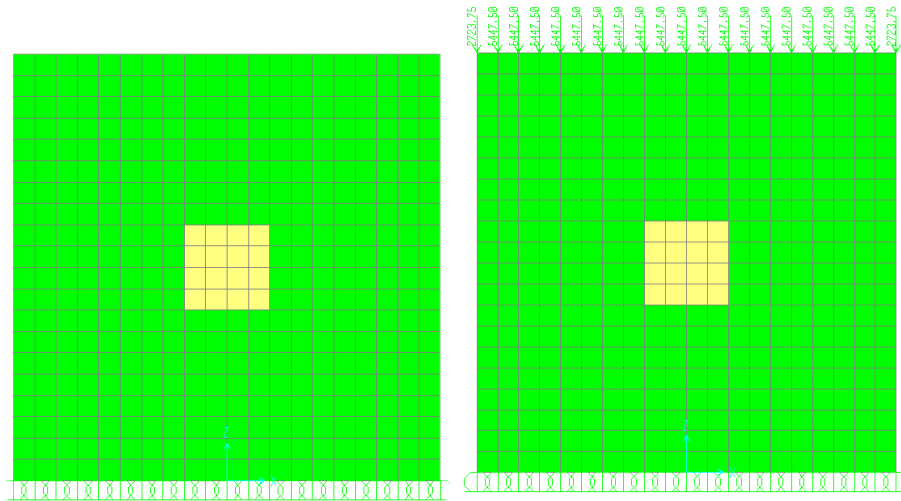


Gambar 4 Set Up Pengujian

#### 7. Validasi dengan SAP 2000

Pemodelan digunakan bentuk model dua dimensi (2D) dimana diberikan tumpuan berupa rol sebab mensimulasikan penggunaan teflon pada saat pengujian. Pada titik-titik bagian atas diberikan constrain equal untuk menghasilkan penurunan yang sama pada model akibat pembebanan. Analisa SAP 2000 dalam penelitian ini digunakan sebagai

bahan perbandingan hasil kuat tekan dari pengujian dan permodelan pola retak yang didapat dilihat dari distribusi tegangan dan displacement pada benda yang pada dasarnya dapat dilihat pada hasil tegangan maksimumnya ( $S_{max}$ ).



Gambar 5 Pemodelan Beban

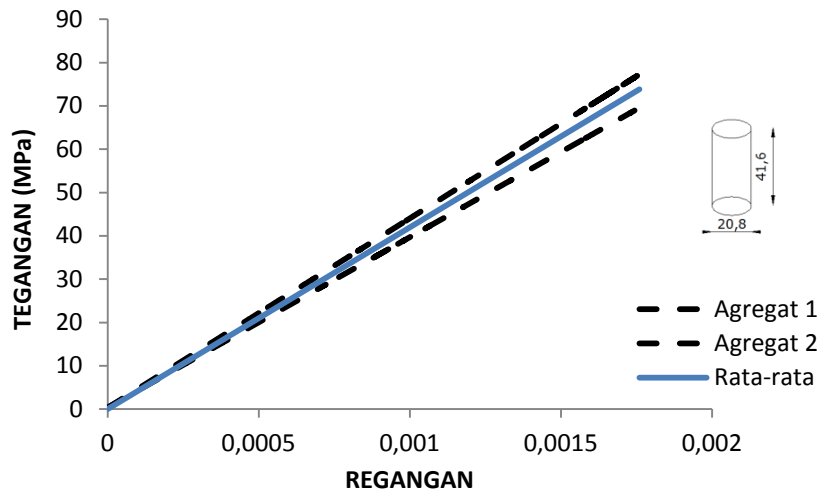
<p>General Data</p> <p>Material Name and Display Color mortar</p> <p>Material Type Concrete</p> <p>Material Notes Modify/Show Notes...</p>	<p>General Data</p> <p>Material Name and Display Color batu</p> <p>Material Type Concrete</p> <p>Material Notes Modify/Show Notes...</p>
<p>Weight and Mass</p> <p>Weight per Unit Volume 2.400E-05</p> <p>Mass per Unit Volume 2.447E-09</p> <p>Units N, mm, C</p>	<p>Weight and Mass</p> <p>Weight per Unit Volume 2.600E-05</p> <p>Mass per Unit Volume 2.651E-09</p> <p>Units N, mm, C</p>
<p>Isotropic Property Data</p> <p>Modulus of Elasticity, E 33484.95</p> <p>Poisson's Ratio, U 0.22</p> <p>Coefficient of Thermal Expansion, A 1.170E-05</p> <p>Shear Modulus, G 13723.34</p>	<p>Isotropic Property Data</p> <p>Modulus of Elasticity, E 42000</p> <p>Poisson's Ratio, U 0.25</p> <p>Coefficient of Thermal Expansion, A 1.170E-05</p> <p>Shear Modulus, G 16800.</p>
<p>Other Properties for Concrete Materials</p> <p>Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub> 43.58</p>	<p>Other Properties for Concrete Materials</p> <p>Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub> 73.16</p>

Gambar 6 Material Properties

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kuat Tekan Agregat

Pengujian kuat tekan agregat menggunakan agregat hasil *core* dengan diameter 20,8 mm dan tinggi  $\pm 41,6$  mm. Didapat kuat tekan rata-rata dari agregat sebesar 73,16 MPa.



Gambar 7 Grafik Tegangan Regangan Agregat

### Kuat Tekan Mortar

Dalam setiap pembuatan benda uji atau mixing mortar diambil 3 buah sampel silinder mortar ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian kuat tekan mortar.

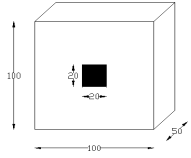
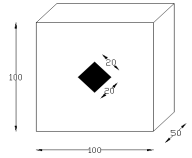
Tabel 1 Hasil Kuat Tekan Mortar

No	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
1	43,97	43,58
2	43,08	
3	43,71	

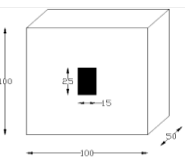
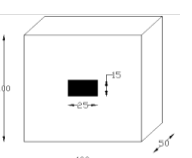
### Kuat Tekan Beton

Digunakan 6 data pengujian dari 8 sampel untuk tiap-tiap benda uji dengan menggunakan uji statistik. Dari hasil pengujian didapatkan besar beban tekan yang dapat ditahan oleh masing-masing benda uji, selanjutnya dari beban maksimal yang terjadi dapat dihitung besar kuat tekan masing-masing benda uji yaitu dengan membagi beban maksimal dengan besar luas permukaan benda uji yang tertekan ( $5000 \text{ mm}^2$ ).

Tabel 2 Hasil Kuat Tekan Benda Uji

Hasil Pengujian Benda Uji 1				Hasil Pengujian Benda Uji 2			
No	Beban Maksimal (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Bentuk Benda Uji	No	Beban Maksimal (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Bentuk Benda Uji
1	116,655	23,33		1	100,650	20,13	
2	147,510	29,50		2	111,870	22,37	
3	148,005	29,60		3	103,125	20,62	
4	141,570	28,31		4	107,745	21,55	
5	131,010	26,20		5	89,100	17,82	
6	154,605	30,92		6	88,935	17,79	

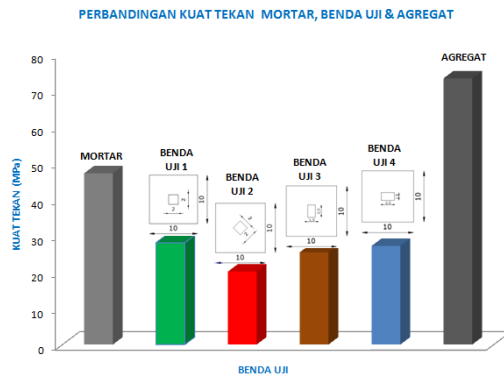
Hasil Pengujian Benda Uji 3				Hasil Pengujian Benda Uji 4			
No	Beban Maksimal (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Bentuk Benda Uji	No	Beban Maksimal (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Bentuk Benda Uji
1	135,300	27,06		1	140,085	28,02	
2	132,000	26,40		2	139,755	27,95	
3	121,440	24,29		3	131,505	26,30	
4	137,115	27,42		4	141,57	28,31	
5	118,635	23,73		5	144,375	28,87	
6	115,995	23,20		6	116,16	23,23	

**Analisis Hasil Pengujian**

**Perbandingan Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Kuat Tekan**

Tabel 3 Perbandingan Hasil Kuat Tekan Rata-rata

Kode	Nilai Kuat Tekan (MPa)
Mortar Only	47,08
Benda Uji 1	27,98
Benda Uji 2	20,05
Benda Uji 3	25,35
Benda Uji 4	27,11



Gambar 8 Perbandingan Kuat Tekan Mortar, Benda Uji dan Agregat

Dari diagram perbandingan diatas dapat dilihat benda uji yang dapat menahan beban terbesar dan memiliki kuat tekan terbesar adalah benda uji 1 sedangkan yang dapat menahan beban terkecil dan memiliki kuat tekan terkecil adalah benda uji 2.

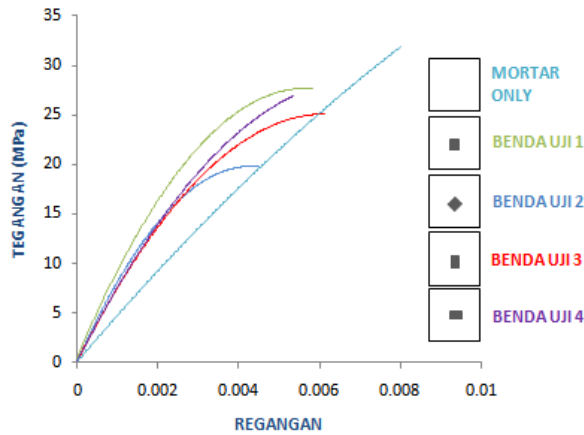
**Tegangan Regangan**

Setelah data berupa *load* dan *displacement* yang didapat dari pegujian diolah, maka didapatkan grafik tegangan regangan untuk masing-masing benda uji. Masing-masing grafik diatas merupakan regangan yang terjadi pada saat beban maksimum (*P ultimate*). Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai regangannya maka didapat benda uji yang daktail dengan kata lain keruntuhan benda uji semakin lama namun disisi lain kekuatannya rendah.

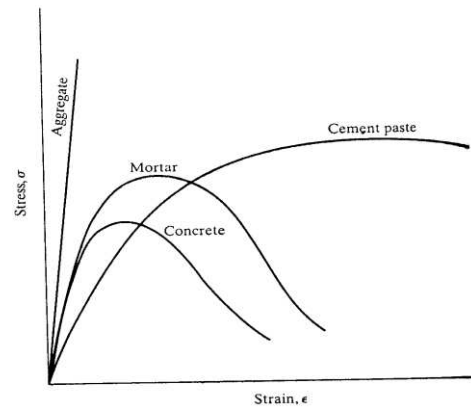
\*) Penulis korespondensi, Email: hanaylie@indosat.net.id



Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa benda uji tanpa agregat memiliki kuat tekan yang lebih besar dari benda uji yang memiliki agregat pada bagian tengahnya. Hal ini sesuai dengan A.M.Neville (2003) dalam buku *Properties of Concrete* tentang perilaku beton, agregat dan mortar saat ditekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 9 Grafik Tegangan Regangan pada Masing-masing Benda uji

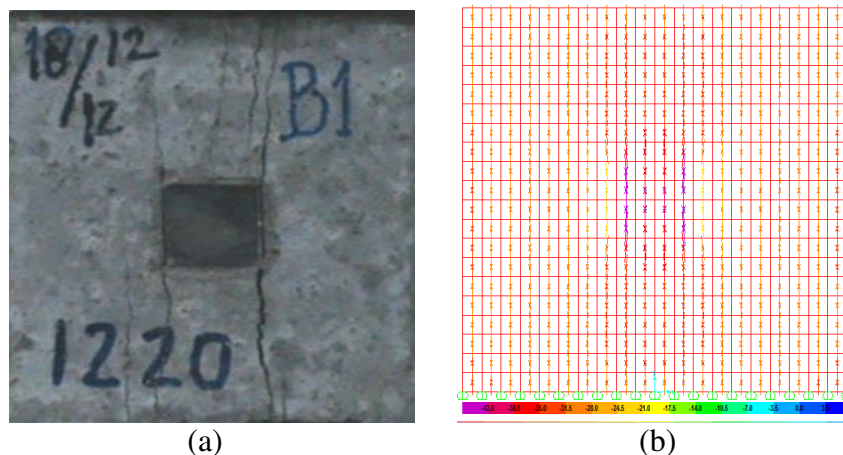


Gambar 10 Kurva stress-strain untuk kondisi tekan pada agregat, pasta semen (A.M.Neville, 2003)

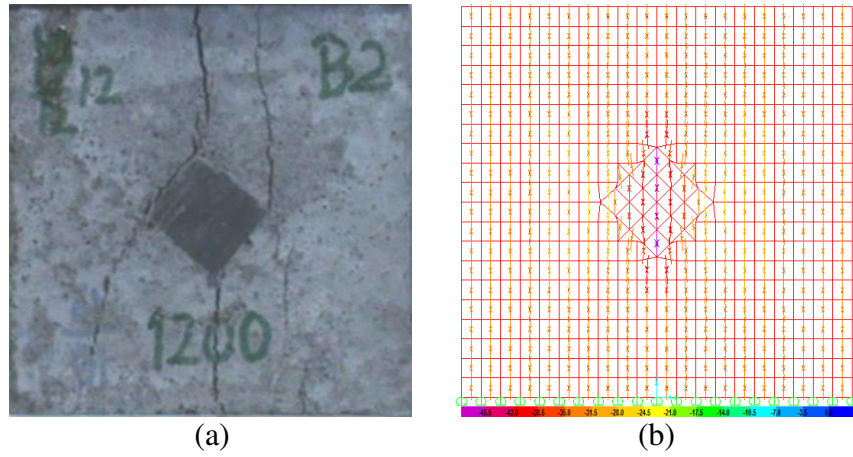
### Pola Retak

Pada saat pengujian dapat diamati pola retak yang terjadi pada masing-masing benda uji. Pola retak yang terjadi pada masing-masing benda uji berbeda karena dipengaruhi oleh bentuk agregat masing-masing benda uji. Seharusnya pola retak pada benda uji 1,3, dan 4 sama seperti mortar only tetapi terjadi pembelokan pola retak pada letak lekatan antara mortar dengan agregat. Hal ini terjadi karena lekatan antara mortar dan agregat lebih lemah dari pada agregat serta mortar disekitarnya. Dimana bila melihat hasil tegangan pada SAP 2000 tegangan pada sekitar agregat atau lekatan terjadi transisi dari tegangan rendah pada mortar ke tegangan tinggi pada agregat.

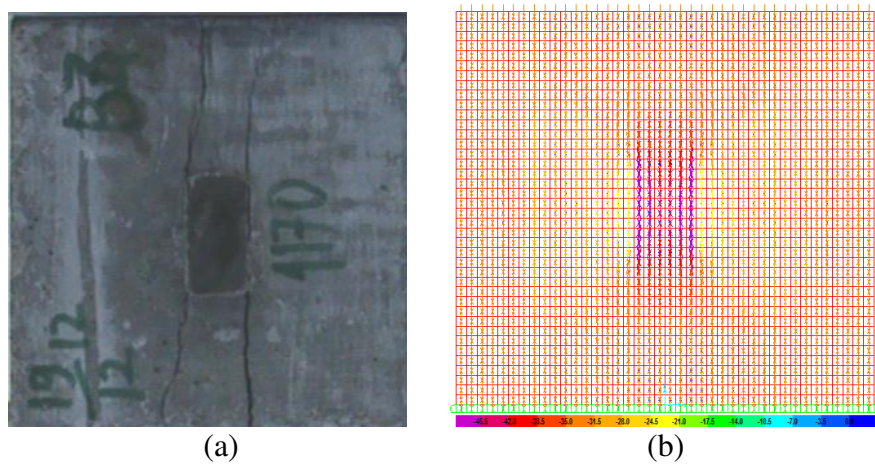
Berbeda dengan benda uji 2 karena memiliki bidang kontak yang mengarah ke arah datangnya gaya tekan berupa titik maka hanya terjadi satu bidang pola retak dari permukaan atas ke agregat lalu pecah pada lekatan dan turun ke permukaan bawah benda uji.



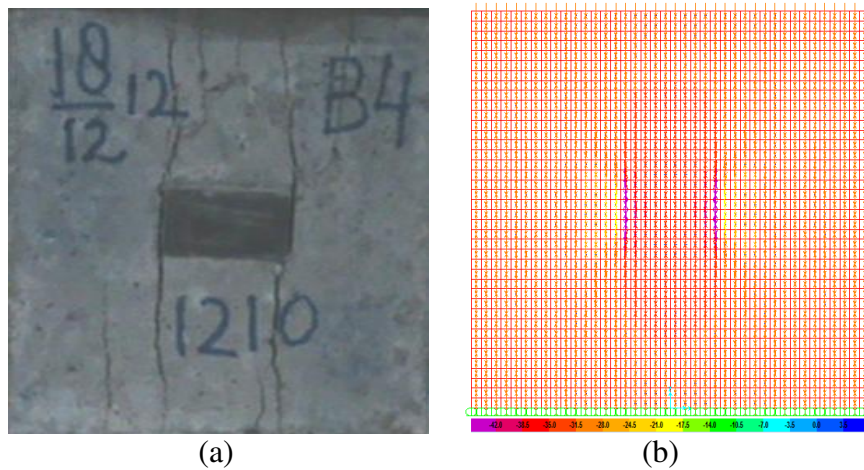
Gambar 11 (a) Pola Retak pada Benda Uji 1, (b) Pola Arah Tegangan Utama Benda Uji 1



Gambar 12 (a) Pola Retak pada Benda Uji 2, (b) Pola Arah Tegangan Utama Benda Uji 2



Gambar 13 (a) Pola Retak pada Benda Uji 3, (b) Pola Arah Tegangan Utama Benda Uji 3



Gambar 14 (a) Pola Retak pada Benda Uji 4, (b) Pola Arah Tegangan Utama Benda Uji 4

## KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian benda uji didapatkan berturut-turut benda uji yang menghasilkan kuat tekan terbesar sampai terkecil adalah benda uji 1 (agregat berbentuk persegi ukuran 2cm x 2cm), benda uji 4 (agregat berbentuk persegi panjang ukuran 1,5cm x 2,5cm dengan posisi sisi 1,5cm dibawah), benda uji 3 (agregat berbentuk persegi panjang ukuran 1,5cm x 2,5cm dengan posisi sisi 2,5cm dibawah), benda uji 2 (agregat berbentuk persegi ukuran 2cm x 2cm yang diputar 45°).
2. Dari hasil point kesatu dapat disimpulkan bahwa agregat yang berbentuk kubikal yang searah gaya memberikan nilai kuat tekan terbesar. Sebaliknya agregat berbentuk kubikal yang menyerong arah gaya memberikan nilai kuat tekan terkecil. Sedangkan agregat yang berbentuk pipih dengan posisi berdiri memberikan nilai kuat tekan lebih kecil dibandingkan agregat pipih dengan posisi tidur.
3. Pola retak yang terjadi pada masing-masing benda uji berbentuk columnar yaitu retak terjadi dari permukaan atas merambat ke permukaan bawah. Namun pada benda uji 2 terjadi penyimpangan karena memiliki bidang kontak yang mengarah kearah datangnya gaya tekan berupa titik maka hanya terjadi satu bidang pola retak dari permukaan atas ke agregat lalu pecah pada lekatan dan turun ke permukaan bawah benda uji.
4. Dari hasil analisa SAP didapatkan benda uji yang memiliki tegangan tekan dan tarik secara bersamaan terbesar adalah benda uji 3 (agregat berbentuk persegi panjang ukuran 1,5cm x 2,5cm dengan posisi sisi 2,5cm dibawah). Dari hasil analisa program SAP2000 juga didapatkan bahwa semakin dekat jarak agregat ke permukaan yang ditekan semakin besar tegangan yang terjadi pada benda uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aitcin P.C., Mehta.P.K., 1990. *“Effect of Coarse-Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete”*. ACI Material Journal.
- Akcaoglu, T., dkk., 2004. *“Effect of coarse aggregate size and matrix quality on ITZ and failure behavior of concrete under uniaxial compression”*. ACI Material Journal.
- Alexander, K.M., 1959. *“Strength of The Cement-Aggregate Bond”*. ACI Material Journal.
- ASTM C 33/03, 2003, *“Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 39/C 39M-05, 2005, *“Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”*. Annual Books of ASTM Standards, USA.
- Bremner, T.W., Holm, T.A., 1986. *“Elastic Compatibility and The Behavior of Concrete”*. ACI Material Journal.
- Buyukozturk, O., dkk., 1971. *“Stress-Strain Response and Fracture of A Concrete Model in Biaxial loading”*. ACI Material Journal.
- Darwin, D., 1999. *“Concrete in Compression”*. ACI Material Journal.
- Nawy, E.G.1985. *“Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar, Terjemahan Bambang Suryoatmono”*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Kupfer, H., dkk., 1969. *“Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses”* ACI Material Journal.
- Maher, A., Darwin, D., 1977. *“Microscopic Finite Element Model of Concrete”*. ACI Material Journal.
- Mordock, L. J. dan Brook, K. M. 1999. *Bahan dan Praktek Beton; diterjemahkan oleh Ir. Stephanus Hendarko*. Jakarta : Erlangga.
- Mulyono, Tri, 2004, *Teknologi Beton*, Andi: Yogyakarta.
- Neville, A.M. 2003. *Properties of Concrete*. Fourth Edition. New Jersey : Prentice Hall.

- PBBI 1971 NI-2, 1971, Bab.3 Pasal 3.3 *Agregat Halus (Pasir)*, Bandung : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Bandung.
- Perry, C., Gillot, J.E., 1977. "*The Influence of Mortar-Aggregate Bond Strength on The Behaviour of Concrete in Uniaxial Compression*". ACI Material Journal.
- Tjokrodinuljo, K, 1996, "*Teknologi Beton*", Nafitri: Yogyakarta.
- Wang, C.K., Salmon, C.G. 1986. "*Desain Beton Bertulang Jilid 1*". Jakarta: Erlangga.
- Winter, G. 1993. "*Perencanaan Struktur Beton Bertulang*". Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Zimbelmann, R., 1987. "*A Methode for Strengthening the Bond Between Cement Stone and Aggregates*". ACI Material Journal.