

KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON MUTU TINGGI UMUR 3 HARI MENGGUNAKAN MATERIAL HASIL PEMBAKARAN SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN

Margeritha Agustina Morib¹, Aktor Juang Laowo², Refor Mey Jonathan Hulu³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel

Jl. Solo Km 11,1, Kalasan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

margerithaagustina@ukrimuniversity.ac.id

Abstrak

Penggunaan beton sebagai material utama konstruksi berbanding lurus dengan penggunaan semen. Upaya mengurangi semen dilakukan dengan mengganti sebagian semen dengan material hasil pembakaran seperti Fly Ash (FA), Abu Pecahan Gerabah (APG), dan Abu Daun Bambu (ADB). Penggunaan material hasil pembakaran pada beton mutu tinggi terutama pada beton usia muda perlu diteliti. Perancangan campuran beton mengacu pada design of high strength concrete mixes oleh Khrisna Raju N (1983) dengan target kuat tekan rencana 52 MPa pada umur 28 hari. Penggunaan FA, APG dan ADB sebanyak 5%, 7%, 9% dan 11% dihitung dari total volume semen yang dikonversi menjadi berat berdasarkan berat jenis masing-masing bahan. Penggunaan bahan tambah superplasticizer SikaCim sebanyak 0,7% dari berat semen mengurangi penggunaan air 15%. Pengujian kuat tekan, modulus elastis dan kuat tarik belah dilakukan saat beton berumur 3 hari. APG 5% memberikan kuat tekan tertinggi sebesar 31,20 MPa. Penggunaan ADB menunjukkan kuat tekan tertinggi terjadi pada komposisi 7% dengan kuat tekan mencapai 31,14 MPa. Peningkatan kuat tekan tidak linier dengan peningkatan modulus elastis karena dilakukan pada beton muda. Kuat tarik belah rata-rata sebesar 20,33% dari kuat tekannya dan mengkonfirmasi poisson ratio beton 0,2.

Kata kunci: Beton mutu tinggi, abu pecahan gerabah, fly ash, abu daun bambu, kuat tekan

PENDAHULUAN

Penggunaan beton sebagai material utama konstruksi berbanding lurus dengan penggunaan semen. Untuk mencapai kuat tekan tinggi dibutuhkan jumlah semen cukup banyak dengan fas kecil. Produksi semen berkontribusi pada pemanasan global dengan melepaskan gas CO ke udara. Pengurangan jumlah semen dan penggantian dengan material yang bisa menghasilkan sifat mengikat seperti semen berupa pozzolan sisa pembakaran penting diteliti. Upaya mengurangi semen dilakukan dengan mengganti sebagian semen dengan material hasil pembakaran seperti Fly Ash (FA), Abu Pecahan Gerabah (APG), dan Abu Daun Bambu (ADB). FA terbentuk dari hasil pembakaran serbuk batubara dari tungku pembangkit tenaga uap yang terbawa gas buang cerobong asap dan sifat kimianya yang mengandung silika dan alumina. APG terbentuk dari hasil pembakaran keramik dengan suhu 700°C yang dihaluskan dan menghasilkan silika yang merupakan senyawa kimia yang paling penting dalam semen setelah kapur. ADB terbentuk dari hasil pembakaran daun bambu kering dengan suhu 400 – 900°C yang dapat menghasilkan pozzolan. Penggunaan material hasil pembakaran pada Beton Mutu Tinggi (BMT) terutama pada beton usia muda perlu diteliti.

(Thoengsal, 2017) menjelaskan bahwa Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*) merupakan beton yang memiliki kekuatan yang relatif cukup besar dengan kuat tekan minimal > 41,4 Mpa (SNI 03-6468-2000). BMT biasanya digunakan untuk elemen struktur yang memikul beban yang besar misalnya girder jembatan, pier, poer, spun pile pondasi, sheet pile, elemen struktur bangunan tingkat tinggi dll. BMT selain memiliki kuat tekan tinggi juga memiliki kelemahan yaitu getas (*Brittle*), oleh karena itu BMT dimodifikasi dengan material serat/batang fiber untuk meningkatkan tingkat daktilitasnya. BMT dalam proses pembuatannya selalu menjaga kadar air – semen (*Water/Cement Ratio*) yaitu berkisar 0,2-0,3 agar tingkat porositas dalam beton dapat berkurang, tetapi tidak menghilangkan sifat *workability* saat proses pelaksanaannya yaitu dengan penambahan *superplastisizer*. Penggunaan BMT dapat mereduksi dimensi beton sehingga dapat mengurangi bobot massa struktur bangunan. Beberapa penelitian menyatakan bahwa BMT cenderung mengurangi penggunaan ukuran agregat kasar yang besar tetapi lebih dititik beratkan pada tingkat kehalusan, kekerasan dari agregat yang digunakan.

Kuat tekan aksial (f_c') merupakan karakteristik utama dan terpenting dari beton. Kuat tekan beton ditetapkan saat beton berumur 28 hari. Untuk keperluan industri dan kecepatan progres konstruksi, sering dibuat beton pracetak di lapangan yang harus bisa diangkat dan dipasang pada struktur saat umur beton masih muda. Kuat tekan dan modulus elastis beton muda sangat perlu dipahami oleh perencana struktur dan kontraktor. Selain itu beton juga berkontribusi memberikan kapasitas geser dari struktur. SNI 2847:2019 menyatakan perhitungan kapasitas geser beton normal menggunakan $\lambda = 1$. Sedangkan untuk beton ringan λ ditentukan berdasarkan nilai kuat tarik belah beton (f_{ct}). Kuat tarik belah digunakan dalam mendesain dan mengevaluasi kapasitas geser beton serta perhitungan panjang penyaluran tulangan dalam beton. Kuat tarik belah umumnya lebih besar dari kuat tarik langsung dan lebih rendah dari kekuatan tarik lentur (*modulus of rupture*). Kuat Tarik belah pada BMT tidak dinyatakan dalam SNI saat ini.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan semen Portland tipe I, agregat halus dan agregat kasar berasal dari Sungai Opak Yogyakarta dan air dari sumur di Laboratorium Teknologi Beton Teknik Sipil, UKRIM. *Fly ash* berasal dari PLTU Paiton, abu daun bambu dari limbah daun bambu kering di Kalasan dan abu pecahan gerabah diambil dari limbah pecahan gerabah di Kasongan, Bantul. *Superplasticizer* yang digunakan adalah *SikaCim Concrete Additive* produksi PT. Sika Indonesia.

Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan meliputi peralatan pengujian pendahuluan yaitu *tachimetri*, *piknometer*, set ayakan, *Sieve Shaker*, timbangan, *caliper*, *desikator*, oven, cawan, sekop dll. Peralatan cetak beton meliputi cetakan silinder beton, *concrete mixer* serta set pengujian slump. Peralatan pengujian kuat tekan, modulus elastis dan kuat tarik belah menggunakan *Digital Compression Machine* kapasitas 2000 kN. Untuk menguji modulus elastis beton digunakan *compressometer* dengan *dial gauge* ketelitian 0,01 mm. Pengujian kuat tarik belah menggunakan *Tc-525 Split Tensile Test*.

Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini adalah BMT, BMT dengan *superplasticizer* (BMTS), BMT dengan FA (BFA), BMT dengan APG (BAPG) dan BMT dengan ADB (BADB). Perbandingan komposisi bahan pengganti semen (FA, APG dan ADB) dengan semen adalah 5% : 95%, 7% : 93%, 9% : 91%, dan 11% : 89% dengan *superplasticizer* sebesar 0,7% dari berat semen sebanyak 6 buah benda uji untuk setiap perbandingan campuran. Perawatan benda uji dilakukan dengan menyelimuti dengan karung basah selama 3 hari dan kemudian dilakukan pemeriksaan berat satuan, kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah. Jumlah benda uji sebanyak 84 buah disajikan pada Tabel 1.

Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanik dari bahan sebagai dasar dalam perancangan campuran (*mix design*). Pengujian pendahuluan meliputi pemeriksaan kadar lumpur, gradasi butiran, berat satuan dan berat jenis. Uji pendahuluan untuk FA, APG dan ADB adalah pemeriksaan berat jenis.

Perancangan Campuran Beton (mix design)

Perancangan campuran menggunakan metode perhitungan *design of high strength concrete mixes* (Khrisna Raju N, 1983).

Pengujian Kuat Tekan

Uji tekan dilakukan dengan kecepatan pembebanan 2 kg/cm² s/d 4 kg/cm² (SNI 03-1974-1990) sampai benda uji hancur. Beban maksimum yang dihasilkan dicatat dan digambarkan sketsa atau didokumentasikan keruntuhan benda uji. Kuat tekan beton dihitung menggunakan persamaan

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan:

- f_c' = kuat tekan beton salah satu benda uji (MPa)
- P = beban tekan maksimum (N)
- A = luas permukaan benda uji tertekan (mm²)

Tabel 1. Komposisi campuran benda uji

No	Kode Benda Uji	Semen Portland	Fly Ash	Abu Pecahan Gerabah	Abu Daun Bambu	Superplasticizer (SikaCim Concrete Additive)	Jumlah Sampel
1	BMT	100%	-	-	-	-	6
2	BMTS	100%	-	-	-	0,7%	6
3	BFA 5	95%	5%	-	-	0,7%	6
4	BFA 7	93%	7%	-	-	0,7%	6
5	BFA 9	91%	9%	-	-	0,7%	6
6	BFA 11	89%	11%	-	-	0,7%	6
7	BAPG 5	95%	-	5%	-	0,7%	6
8	BAPG 7	93%	-	7%	-	0,7%	6
9	BAPG 9	91%	-	9%	-	0,7%	6
10	BAPG 11	89%	-	11%	-	0,7%	6
11	BADB 5	95%	-	-	5%	0,7%	6
12	BADB 7	93%	-	-	7%	0,7%	6
13	BADB 9	91%	-	-	9%	0,7%	6
14	BADB 11	89%	-	-	11%	0,7%	6
Jumlah Total							84

Pengujian Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastis beton bervariasi menurut kekuatannya, hal ini disebabkan oleh sifat agregat, sifat semen, umur beton, kecepatan pembebanan dan ukuran benda uji yang berbeda-beda. Pengujian modulus elastisitas dilaksanakan bersamaan dengan pengujian kuat tekan. Untuk pengujian modulus elastisitas, besarnya beban maksimum yang diberikan kepada benda uji ± 40 - 60% beban minimum dari uji kuat tekan. Deformasi pada dial dibaca dan dicatat untuk setiap kenaikan pembebanan sesuai dengan interval yang ditentukan, sampai mencapai beban maksimum. Pembebanan dikembalikan ke posisi nol dan dilakukan kembali langkah pertama untuk kedua kalinya dengan pembebanan maksimum sampai benda uji hancur. Data pengujian digunakan untuk menghitung tegangan tekan dan regangan untuk setiap kenaikan beban kemudian digambarkan kurva tegangan dan regangan. Modulus elastisitas beton hasil pengujian (E_c) dihitung berdasarkan kurva diagram tegangan regangan dengan persamaan :

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \tag{2}$$

Dimana:

$$\sigma = \frac{P_{elastis}}{A} \tag{3}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{4}$$

Dengan:

- P = Beban elastis (kN)
- A = Luas penampang (mm²)
- L₀ = Tinggi alat ukur modulus elastisitas /panjang awal (mm)
- ΔL = Defleksi/perpendekan (mm)
- σ₁ = Tegangan pada regangan 0,00005 (MPa)

- σ_2 = Tegangan pada beban elastis 40% dari beban maksimum dari uji kuat tekan
 ε_1 = Regangan sebesar 0,00005 (koreksi pembebanan)
 ε_2 = Regangan pada P elastis

Nilai E_c dibandingkan dengan perhitungan modulus elastisitas menggunakan rumus pendekatan yang terdapat pada SNI 2847:2019 sesuai persamaan :

- a. Untuk berat satuan (W_c) di antara 1440 dan 2560 kg/m^3 .

$$E_{c1} = W_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f_c'} \quad (5)$$

- b. Untuk beton normal

$$E_{c2} = 4700 \sqrt{f_c'} \quad (6)$$

Pengujian Kuat Tarik Belah

Kuat tarik-belah adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji. Kuat tarik belah adalah salah satu parameter penting kekuatan beton. Nilai kuat tekan dan kuat tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Salah satu kelemahan beton adalah mempunyai kuat tarik yang rendah dibandingkan dengan kuat tekannya yaitu sekitar 10 % - 15 %, kadang-kadang 20% dari kuat tekannya. Kuat tarik belah beton didapat melalui persamaan :

$$f_{ct} = \frac{2P}{L.D} \quad (7)$$

Dengan:

- f_{ct} = kuat tarik belah (MPa)
 P = beban tekan maksimum saat silinder beton terbelah/runtuh (N)
 L = panjang/tinggi benda uji (mm)
 D = diameter benda uji dalam (mm)

Analisis dan Pengolahan Data

Hasil pengamatan dan pengukuran di laboratorium dibandingkan dan dianalisis dengan hasil yang diperoleh secara teoritis untuk penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Pendahuluan

Hasil pengujian pendahuluan digunakan sebagai dasar perancangan *mix design* beton. Hasil uji pendahuluan agregat disajikan pada Tabel 2. Hasil uji berat jenis bahan pengganti semen disajikan pada Tabel 3.

Mix Design

Perancangan campuran menggunakan metode perhitungan *design of high strength concrete mixes* (Khrisna Raju N, 1983). Kuat tekan rencana beton 28 hari adalah 52 MPa sedangkan untuk pengujian 3 hari maka kuat tekan dikalikan dengan faktor koreksi 0,4 sehingga kuat tekan rencana 3 hari yaitu 20,8 MPa. Kebutuhan bahan susun hasil rancangan campuran beton disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Hasil uji Pendahuluan Agregat

Parameter Uji	Hasil Uji	
	Agregat Halus	Agregat Kasar
Kadar lumpur (%)	2,4	0,8
Modulus Halus Butir	3,56	7,593
Daerah gradasi agregat	II	

Berat satuan (g/cm ³)	1,55	1,34
Berat jenis SSD	2,69	2,4

Tabel 3. Hasil uji berat jenis bahan pengganti semen

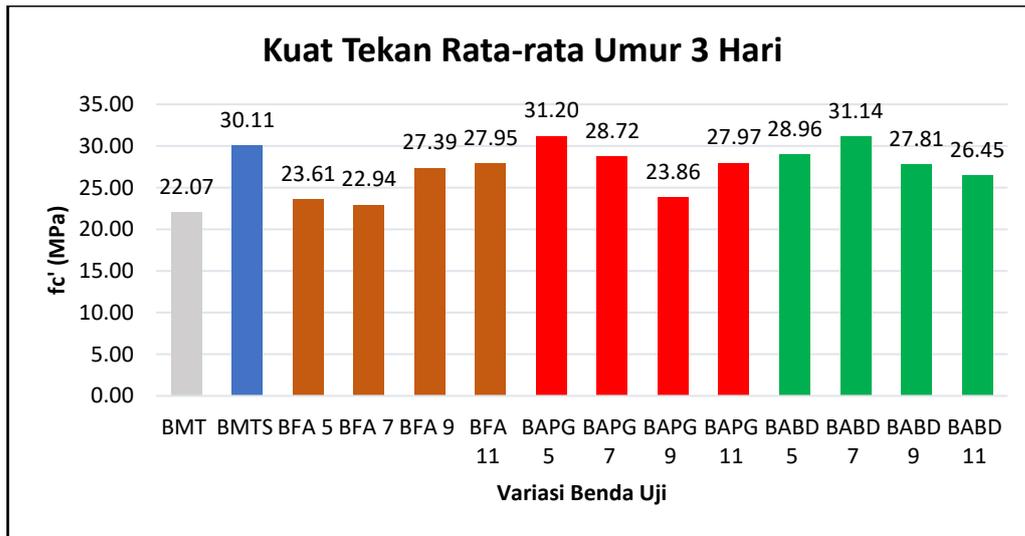
Parameter	Hasil
Berat jenis <i>fly ash</i>	2,86
Berat jenis abu pecahan gerabah	2,56
Berat jenis abu daun bambu	2,23

Tabel 4. Kebutuhan bahan susun untuk setiap proporsi campuran

Kode Benda Uji	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	FA (kg)	APG (kg)	ADB (kg)	Superplasticizer (%)
BMT	18,488	14,420	41,043	6,129	0	0	0	0
BMTS	18,488	14,420	41,043	6,129	0	0	0	0,7
BFA 5	15,967	14,420	41,043	6,129	0,839			0,7
BFA 7	15,630	14,420	41,043	6,129	1,175			0,7
BFA 9	15,294	14,420	41,043	6,129	1,511			0,7
BFA 11	14,958	14,420	41,043	6,129	1,846			0,7
BAPG 5	15,967	14,420	41,043	6,129		0,751		0,7
BAPG 7	15,630	14,420	41,043	6,129		1,052		0,7
BAPG 9	15,294	14,420	41,043	6,129		1,352		0,7
BAPG 11	14,958	14,420	41,043	6,129		1,653		0,7
BABD 5	15,967	14,420	41,043	6,129			0,654	0,7
BADB 7	15,630	14,420	41,043	6,129			0,916	0,7
BADB 9	15,294	14,420	41,043	6,129			1,178	0,7
BADB 11	14,958	14,420	41,043	6,129			1,440	0,7

Hasil Uji Tekan

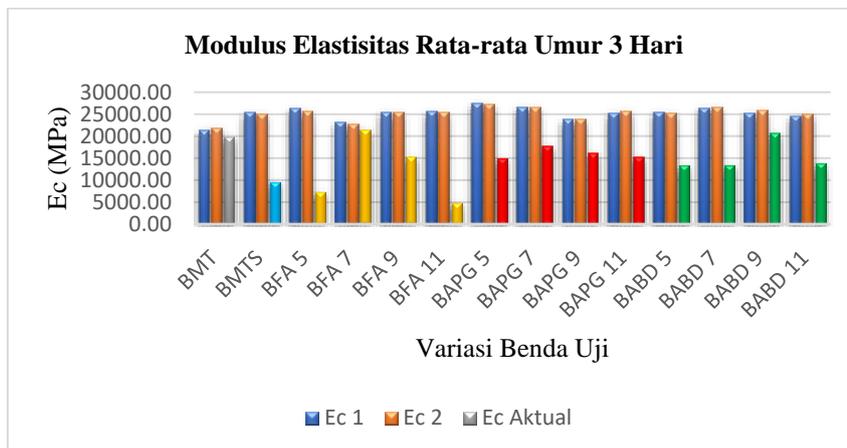
Pengujian tekan dilakukan saat beton berusia 3 hari. Hasil pengujian tekan disajikan ada Gambar 1. Hasil uji tekan menunjukkan bahwa BMT mencapai hasil yang sesuai dengan target rencananya yaitu sebesar 22,07 MPa dengan perkiraan kekuatan pada umur 28 hari mencapai 55 MPa sehingga memenuhi target perencanaan awal yaitu 52 MPa. Penambahan *superplasticizer* meningkatkan kuat tekan sebesar 41,63% menjadi 30,11 MPa pada umur 3 hari. Penggantian sebagian semen dengan FA, APG dan ADB memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton. BMT dengan pecahan gerabah 5% (BAPG5) memberikan kuat tekan tertinggi sebesar 31,20 MPa. Kuat tekan rata-rata semua variasi benda uji pada umur 3 hari berada di atas BMT. Penggunaan FA sampai 11% masih menunjukkan peningkatan kuat tekan. Penggunaan APG menunjukkan kecenderungan penurunan kuat tekan seiring bertambahnya presentase APG, sementara penggunaan ADB memberikan kuat tekan tertinggi pada komposisi 7% yaitu 31,14 MPa. Semua bahan sisa pembakaran bisa digunakan sebagai material pengganti semen pada BMT dengan komposisi yang tepat.



Gambar 1 Hasil uji kuat tekan beton umur 3 hari

Hasil Uji Modulus Elastis Beton

Hasil uji modulus elastis disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 2. E_{c1} dan E_{c2} digunakan sebagai parameter target modulus elastis yang harus dicapai sesuai umur beton sementara E_c menunjukkan nilai di bawah target acuannya. Beton dengan FA, APG dan ADB menunjukkan kenaikan kuat tekan pada umur 3 hari tetapi modulus elastisnya masih di bawah seharusnya sementara BMT tanpa bahan pengganti hasil modulus elastisnya mendekati acuan. BMT dengan bahan pengganti abu sisa pembakaran menunjukkan peningkatan kuat tekan yang tidak beriringan dengan peningkatan modulus elastis. Kemungkinan peningkatan modulus elastis berlangsung lebih lambat dan akan maksimal saat beton berumur 28 hari. Untuk membuktikan hal tersebut diperlukan pengujian yang sama pada beton dengan umur yang lebih lama sampai umur 28 hari.



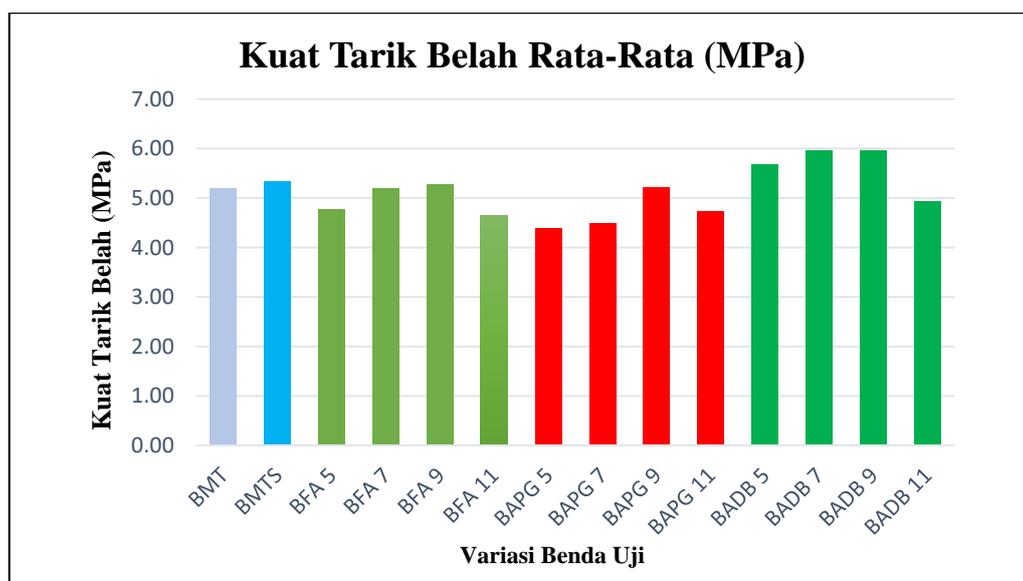
Gambar 2 Modulus elastis beton umur 3 hari

Tabel 5. Hasil pengujian modulus elastis beton umur 3 hari

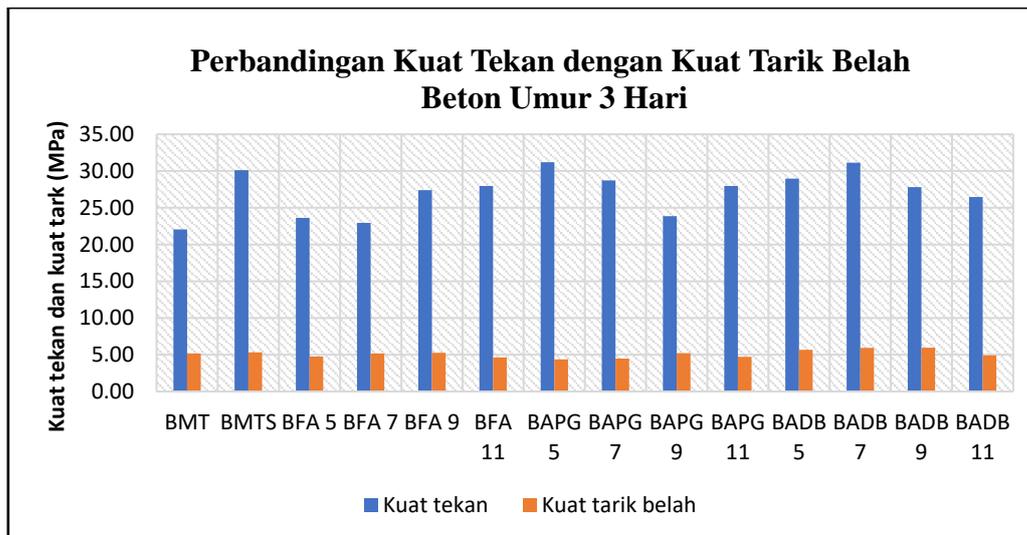
Kode Benda Uji	Lo (mm)	P Elastis (kN)	P Maks. (kN)	Berat Satuan Beton (gr/cm ³)	Modulus Elastis 1 Ec1 (MPa)	Modulus Elastis 2 Ec2 (MPa)	Modulus Elastis Aktual Ec (MPa)
BMT	198,3	159	382	2,26	21368,85	21835,95	19738,89
BMTS	192,05	225,2	500,5	2,30	25326,01	25014,47	9508,89
BFA 5	200,6	123,8	524,5	2,31	26252,42	25596,53	7345,48
BFA 7	197,1	159,2	412,5	2,31	23182,72	22701,75	21309,63
BFA 9	200,85	180,8	515,5	2,30	25418,23	25367,66	15243,39
BFA 11	197,5	189,4	514	2,30	25553,72	25353,20	4855,43
BAPG 5	198	204,4	591	2,30	27421,38	27166,64	14987,41
BAPG 7	199,4	181,6	560,5	2,29	26610,93	26471,57	17693,99
BAPG 9	199,6	154	458	2,29	23931,83	23868,95	16185,68
BAPG 11	199	185,6	524	2,28	25282,93	25591,97	15293,62
BADB 5	199,3	204,4	512	2,30	25486,34	25302,98	13354,08
BADB 7	199,25	214,8	563	2,28	26350,57	26534,57	13511,34
BADB 9	199,25	180,8	530,5	2,26	25221,72	25756,35	20589,33
BADB 11	198,4	175,2	496,5	2,26	24526,85	24918,33	13770,82

Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton pada umur 3 hari memberikan hasil seperti yang disajikan pada Gambar 3 sedangkan perbandingan kuat tekan dan kuat tarik belah disajikan pada Gambar 4. Gambar 3 menunjukkan kuat tarik belah pada beton dengan ADB berkinerja lebih baik dari pada bahan pengganti lainnya. Kuat Tarik belah tertinggi sebesar 5,96 MPa terjadi pada BADB 9. Kuat tarik belah terendah terjadi pada BAPG5 yaitu 4,38 MPa. Gambar 4 menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tarik belah. Kuat tarik belah rata-rata sebesar 20,33% dari kuat tekannya. Hal ini mengkonfirmasi nilai *poisson ratio* beton sebesar 0,2.



Gambar 3 Kuat Tarik Belah Beton Umur 3 hari



Gambar 4. Perbandingan kuat tekan dan kuat Tarik belah beton umur 3 hari

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini disarikan sebagai berikut :

1. Hasil uji tekan menunjukkan bahwa BMT yang direncanakan mencapai hasil yang sesuai dengan target rencananya yaitu sebesar 22,07 MPa dengan perkiraan kekuatan pada umur 28 hari mencapai 55 MPa.
2. Penggantian sebagian semen dengan FA, APG dan ADB memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton. Semua bahan sisa pembakaran bisa digunakan sebagai material pengganti semen pada BMT dengan komposisi yang tepat.
3. BMT dengan bahan pengganti sisa pembakaran menunjukkan peningkatan kuat tekan yang tidak beriringan dengan modulus elastis. Kemungkinan peningkatan modulus elastis berlangsung lebih lambat dan akan maksimal saat beton berumur 28 hari.
4. Kuat Tarik belah tertinggi sebesar 5,96 MPa terjadi pada BADB 9. Kuat tarik belah terendah terjadi pada BAPG5 yaitu 4,38 MPa. Kuat tarik belah rata-rata sebesar 20,33% dari kuat tekannya. Hal ini mengkonfirmasi nilai *poisson ratio* beton sebesar 0,2.

DAFTAR PUSTAKA

- Raju N. K. dkk.1983. design of high strength concrete mixes. Srinivasnagar: CBS
- SNI 2847-2013. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Toengsal, J., ST, MT, Dr., 2017, Kategori Jenis Beton, URL: http://jamesthoengsal.blogspot.com/p/blog-page_46.html. Diakses tanggal 18 Maret 2021