

PERBANDINGAN KINERJA *MIX DESIGN* MENGGUNAKAN METODE DMDA (*DENSIFIED MIXTURE DESIGN ALGORITHM*) DAN METODE ACI (*AMERICAN CONCRETE INSTITUTE*)

Florenca Inge Wibowoputri¹, Giovanni Euodia², Handoko Sugiharto³, Doddy Prayogo⁴

ABSTRAK : Beton merupakan material yang sering digunakan pada proyek konstruksi. Komposisi beton dapat diperoleh dengan beberapa cara, salah satunya yaitu perhitungan komposisi beton konvensional dengan metode *American Concrete Institute (ACI)*. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen untuk mengurangi penggunaan semen yang proses produksinya menghasilkan emisi CO₂ yang besar. Salah satu metode perhitungan komposisi beton menggunakan *fly ash* adalah dengan metode *Densified Mixture Design Algorithm (DMDA)*. Metode DMDA ini memiliki target desain yaitu, *strength, workability, durability, economy, dan ecology*. Dalam DMDA, *fly ash* berperan untuk mengisi rongga yang ada diantara agregat dengan pasta semen dan bertujuan untuk mendapatkan rongga minimum. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisa perbedaan kinerja beton dengan metode DMDA dan metode ACI ditinjau dari durabilitas, kuat tekan, *workability*, dan biaya pembuatan beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan beton dengan metode DMDA memiliki durabilitas yang lebih baik terlihat dari selisih hasil tes *water absorption* yaitu sebesar 55,82%, selisih hasil tes *porosity* sebesar 40,52% dan selisih kuat tekan beton sebesar 53,28%. Beton dengan metode DMDA menghasilkan beton dengan kualitas yang lebih baik serta jika dilihat dari segi ekonomi, beton dengan metode DMDA memerlukan biaya yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan beton metode ACI.

KATA KUNCI: DMDA, ACI, durabilitas, *workability*, kuat tekan, *fly ash*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material penting yang digunakan dalam suatu kegiatan konstruksi (Wadud dan Ahmad, 2001). Seiring berjalannya waktu inovasi-inovasi di bidang konstruksi mulai bermunculan, salah satunya inovasi pada beton. Inovasi yang terus bermunculan ini memiliki banyak tujuan, salah satunya adalah mewujudkan konsep *sustainable green building*. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk memperoleh *green concrete* adalah mengurangi penggunaan semen dengan menggunakan bahan tambahan atau pengganti ke dalam campuran beton. Semakin tinggi produksi semen menyebabkan semakin tinggi juga CO₂ yang dihasilkan, sehingga hal ini berdampak buruk bagi lingkungan (Hwang, *et al.*, 2011). Alternatif untuk mengurangi emisi CO₂ pada produksi semen yaitu dapat digunakan material pengganti semen seperti *fly ash, ground granulated blast furnace slag, micro silica, pozzolanic materials, dan limestone powder* (Suhendro, 2014). Untuk mendapatkan komposisi campuran beton perlu dilakukan perhitungan *mix design*.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415084@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415125@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hands@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, prayogo@petra.ac.id

Komposisi *mix design* dapat diperoleh dari beberapa metode, salah satu metode yang paling umum yaitu metode perhitungan komposisi beton konvensional yang diperkenalkan oleh *American Concrete Institute* (ACI) (Wadud dan Ahmad, 2001). Selain itu terdapat pula metode *mix design* lainnya, seperti *Densified Mixture Design Algorithm* (DMDA) yang ditemukan oleh Hwang (Hwang dan Hung, 2005). Metode DMDA ini memiliki tujuan untuk memecahkan masalah rendahnya kualitas beton dengan meningkatkan durabilitas dari minimalnya rongga yang ada pada beton (Hwang dan Hung, 2005). Selain itu, metode DMDA memiliki target desain yaitu, *strength, workability, durability, economy, dan ecology*.

2. DETAIL PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* tipe F yang diambil dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Air yang digunakan adalah air dari Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra. Pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang, kerikil, dan *superplasticizer* yang digunakan adalah Viscocrete 1003 dari PT. Sika Indonesia. Karakteristik material yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Material

Item	Semen	Fly Ash	Pasir	Kerikil	SP
<i>Specific Gravity</i>	3,15	2,26	2,50	2,79	1,065
<i>Fineness Modulus</i>	-		2,30	-	-

Mix design yang dilakukan pada penelitian ini dihitung berdasarkan dua metode yaitu dengan metode *Densified Mixture Design Algorithm* (DMDA) dan metode *American Concrete Institute* (ACI). Pada metode DMDA digunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dengan presentase yang berbeda-beda. Pada metode DMDA terdapat 3 perbedaan komposisi *fly ash* yang digunakan sedangkan pada metode ACI tidak digunakan *fly ash* sebagai pengganti semen. Pada penelitian ini kuat tekan rencana yang ditargetkan pada metode DMDA dan ACI sama yaitu sebesar 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. *Superplasticizer* yang digunakan pada kedua metode adalah sebesar 1% dari jumlah semen yang digunakan.

Pencampuran beton metode DMDA dimulai dengan menyiapkan semua bahan-bahan dalam kondisi kering dan alat-alat yang akan digunakan. Bahan-bahan kering yang sudah disiapkan kemudian dicampur dalam kondisi kering. Setelah campuran merata, air dan SP dimasukkan. Kemudian campuran dicetak dalam bekisting silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. *Curing* sampel dilakukan dengan merendam sampel kedalam air hingga sehari sebelum dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian *water absorption*, porositas, dan uji kuat tekan. Pengujian *water absorption*, *porosity*, dan kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7, 14, dan 28 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Komposisi *Mix Design*

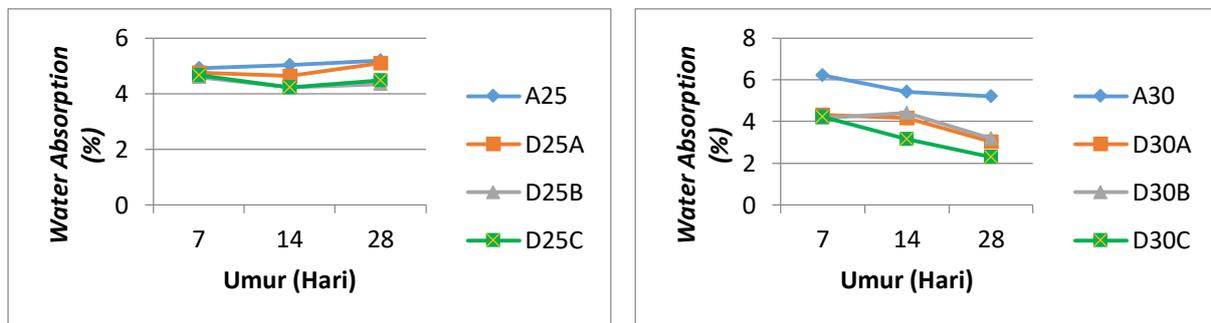
Pada penelitian ini jumlah air yang digunakan berbeda dengan jumlah air yang direncanakan pada awal perhitungan komposisi beton. Hal ini dikarenakan adanya penggunaan *superplasticizer* sebesar 1% dari jumlah semen yang digunakan. Perbedaan jumlah air yang digunakan mengakibatkan nilai *water to cement ratio* berubah berdasarkan jumlah air yang digunakan. Komposisi beton dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Komposisi Mix Design

Kode Sampel	Semen (kg)	Fly Ash (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	SP (kg)	Rencana		Eksperimen	
						Air (kg)	w/c	Air (kg)	w/c
A25	327,87	0,00	771,44	1082,72	3,28	200,00	0,61	162,32	0,50
A30	370,37	0,00	737,65	1082,72	3,70	200,00	0,54	162,32	0,44
A35	425,53	0,00	693,79	1082,72	4,26	200,00	0,47	162,32	0,38
D25A	266,98	92,57	726,03	1018,99	2,67	219,33	0,61	181,65	0,51
D25B	248,25	121,05	712,06	999,38	2,48	225,28	0,61	187,6	0,51
D25C	230,23	148,46	698,62	980,52	2,30	231,00	0,61	192,55	0,51
D30A	305,10	103,64	688,08	1009,96	3,05	220,72	0,54	181,65	0,44
D30B	285,25	135,16	673,00	987,83	2,85	227,02	0,54	189,34	0,45
D30C	266,25	165,33	658,57	966,65	2,66	233,05	0,54	195,38	0,45
D35A	355,30	117,66	639,47	997,94	3,55	222,29	0,47	184,62	0,39
D35B	334,28	152,89	623,20	972,56	3,34	228,97	0,47	191,29	0,39
D35C	314,29	186,38	607,74	948,43	3,14	235,31	0,47	197,64	0,39

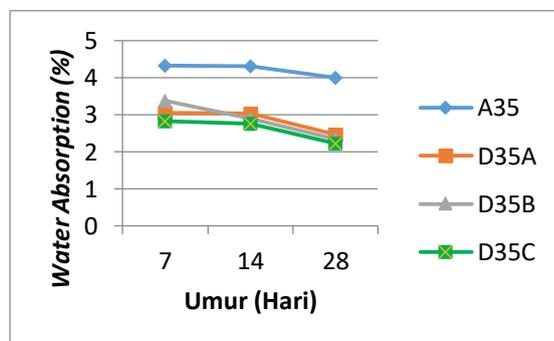
Angka “25”, “30”, dan “35” menunjukkan mutu beton yang ditargetkan yaitu sebesar 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Huruf “A” dan “D” di depan angka menunjukkan bahwa komposisi beton didapatkan dari metode ACI untuk huruf A dan DMDA untuk huruf D serta pada metode DMDA terdapat 3 perbedaan komposisi *fly ash* yang digunakan yaitu sebesar 25-26% yang ditulis dengan kode “A”, 31-33% dengan kode “B” dan 37-39% dengan kode “C”.

3.2 Perbandingan Water Absorption Beton



(a)

(b)

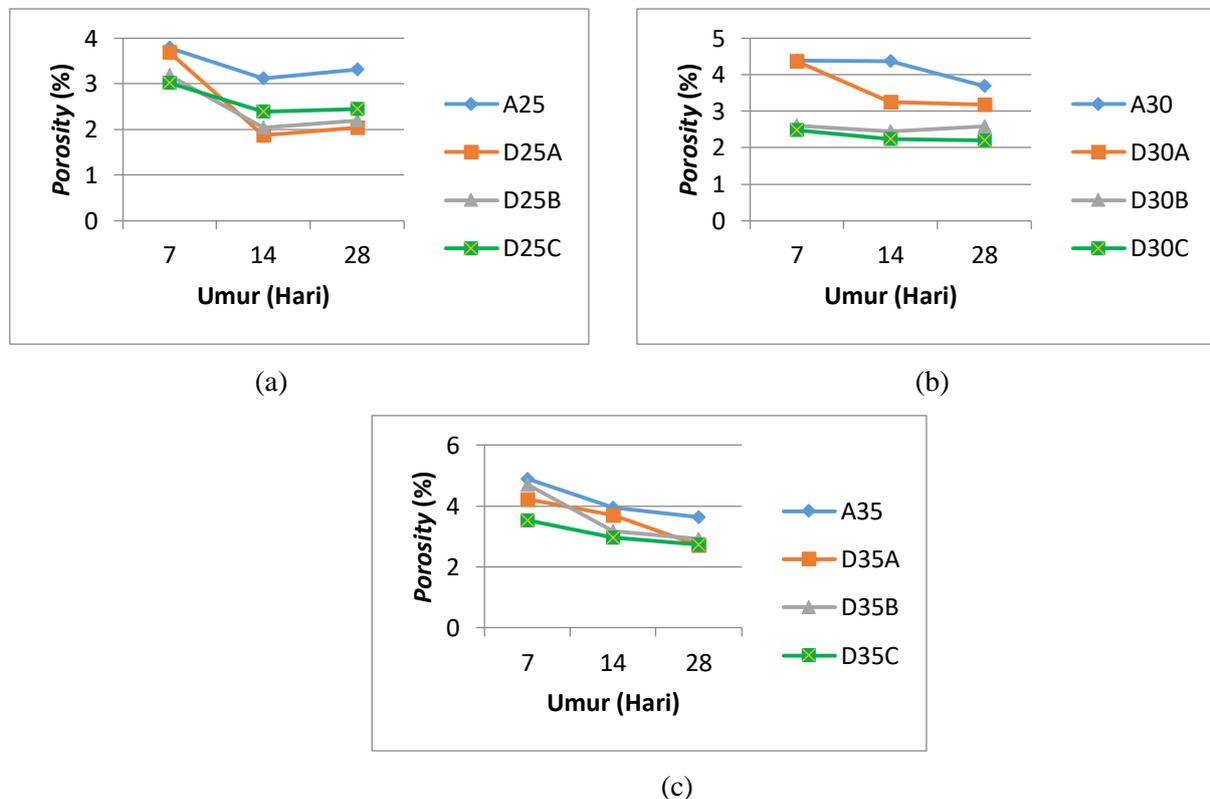


(c)

Gambar 1. Water Absorption Beton : (a) f_c' 25 MPa (b) f_c' 30 MPa (c) f_c' 35 MPa

Gambar 1 menunjukkan grafik *water absorption* beton. Pengujian *water absorption* dilakukan berdasarkan ASTM:C642-13 (ASTM International, 2013). Persentase *water absorption* terbesar beton dengan f_c' 25 MPa terdapat pada sampel A25 yaitu sebesar 4,92%, 5,03%, dan 5,20% dan persentase terkecil terdapat pada sampel D25B yaitu sebesar 4,59%, 4,23%, dan 4,33% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selisih persentase *water absorption* beton f_c' 25 MPa yaitu sekitar 16,63%. Sedangkan persentase terbesar beton f_c' 30 MPa terdapat pada sampel A30 yaitu sebesar 6,21%, 5,42%, dan 5,20% dan persentase terkecil ada pada sampel D30C yaitu sebesar 4,21%, 3,16%, dan 2,30% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selisih persentase *water absorption* beton f_c' 30 MPa cukup besar yaitu sekitar 55,82%. Untuk beton f_c' 35 MPa, persentase terbesarnya terdapat pada sampel A35 yaitu sebesar 5,63%, 4,31%, dan 4,00% dan persentase terkecilnya ada pada sampel D35C yaitu sebesar 2,83%, 2,75%, dan 2,22% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selisih persentasenya yaitu sekitar 44,55%. Dapat dilihat bahwa beton dengan metode DMDA memiliki persentase *water absorption* yang lebih kecil dibandingkan beton dengan metode ACI. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan metode DMDA memiliki tingkat kepadatan beton yang lebih baik dan penggunaan *fly ash* pada metode DMDA diduga menjadi faktor yang mempengaruhi tingkat kepadatan beton.

3.3 Perbandingan Porosity Beton Metode DMDA dengan ACI



Gambar 2. Porosity Beton : (a) f_c' 25 MPa (b) f_c' 30 MPa (c) f_c' 35 MPa

Gambar 2 menunjukkan grafik *porosity* beton. Pengujian *porosity* ini dilakukan berdasarkan ASTM:C1754/C1754M-12 (ASTM International, 2012). Persentase terbesar pada beton dengan f_c' 25 MPa terdapat pada sampel A25 yaitu sebesar 3,79%, 3,12%, dan 3,31% sedangkan persentase terkecil terdapat pada sampel D25A yaitu sebesar 3,69%, 1,88%, dan 2,04% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selisih persentase *water absorption* beton f_c' 25 MPa yaitu sekitar 38,46%. Persentase terbesar beton f_c' 30 MPa terdapat pada sampel A30 yaitu sebesar 4,39%, 4,36%, dan 3,69% dan persentase terkecil ada pada sampel D30C yaitu sebesar 2,48%, 2,23%, dan 2,20% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selisih persentase *water absorption* beton f_c' 30 MPa cukup besar yaitu 40,52%. Untuk beton f_c' 35 MPa, persentase terbesarnya terdapat pada sampel A35 yaitu sebesar 4,90%, 3,95%, dan 3,63% dan

persentase terkecilnya ada pada sampel D35C yaitu sebesar 3,53%, 2,96%, dan 2,74% pada umur 7, 14, dan 28 hari. Selisih persentasenya yaitu sekitar 24,56%. Dapat dilihat bahwa beton dengan metode DMDA memiliki persentase *porosity* yang lebih kecil dibandingkan beton dengan metode ACI. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan metode DMDA memiliki tingkat kepadatan beton yang lebih baik dan penggunaan *fly ash* pada metode DMDA diduga menjadi faktor yang mempengaruhi tingkat kepadatan beton.

3.4 Perbandingan *Workability* Beton Metode DMDA dengan ACI

Workability pada penelitian ini dilakukan dengan *slump test*. Beton segar sebelum dimasukkan ke dalam bekisting diuji terlebih dahulu dengan *slump test* berdasarkan SNI 1728:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008)

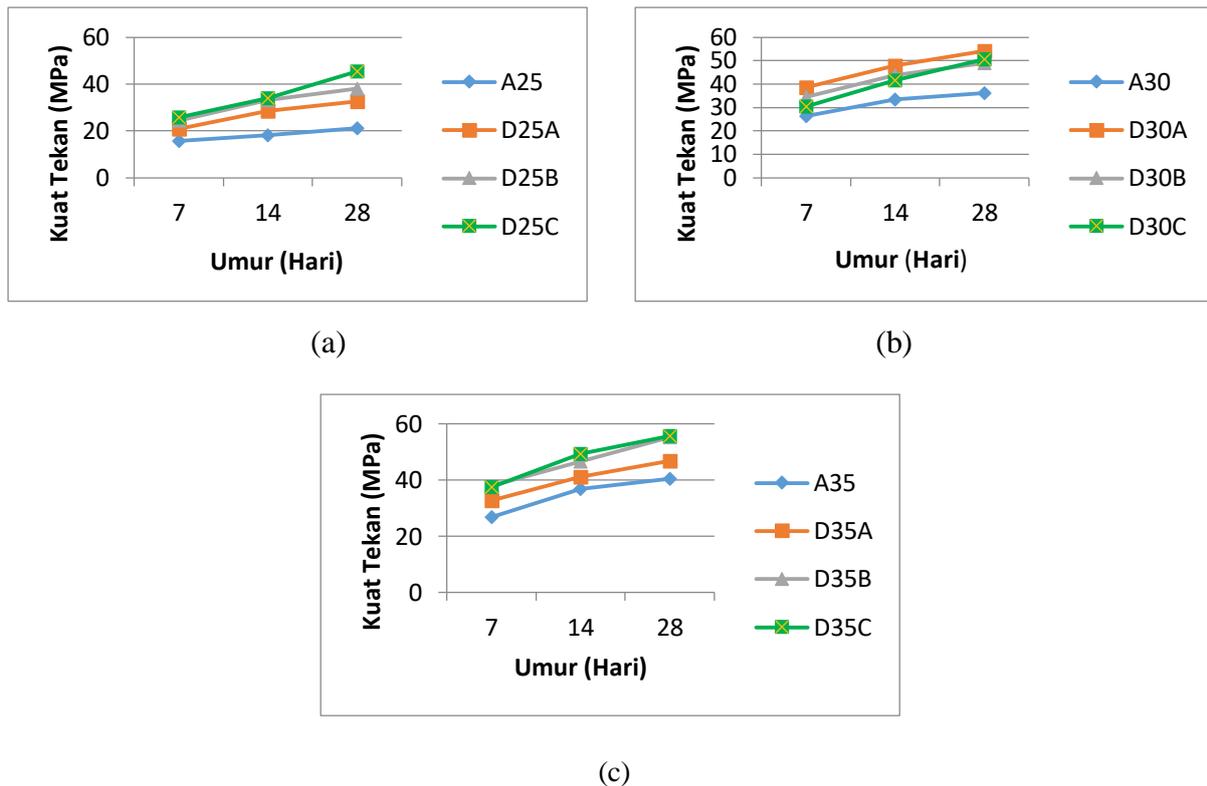
Tabel 3. Hasil *Slump Test*

Kode	w/c	Air (kg)	<i>Slump</i> (cm)
A25	0,50	162,32	13,5
D25A	0,44	162,32	12,5
D25B	0,38	162,32	12,5
D25C	0,51	181,65	12,5
A30	0,51	187,60	9
D30A	0,51	192,55	9
D30B	0,44	181,65	9,5
D30C	0,45	189,34	8
A35	0,45	195,38	14
D35A	0,39	184,62	12
D35B	0,39	191,29	14
D35C	0,39	197,64	14,5

Tabel 3 Dari pengujian *slump* yang dilakukan didapatkan hasil yang bervariasi yaitu pada beton dengan f_c' 25 MPa adalah sekitar 12,5-13,5 cm. Pada beton dengan f_c' 30 MPa didapatkan *slump* sekitar 8-9 cm. Pada beton dengan f_c' 35 Mpa didapatkan hasil *slump* sekitar 12-14,5 cm. Dari hasil *slump* yang didapatkan pada saat penelitian beberapa hasil memiliki nilai *slump* yang melebihi target yang seharusnya dicapai yaitu sebesar 10 ± 2 cm hal ini dikarenakan penggunaan *superplasticizer* sebesar 1% dari jumlah semen yang digunakan.

3.5 Perbandingan Kuat Tekan Beton Metode DMDA dengan ACI

Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan ASTM:C39/C39M-18M (ASTM International, 2018) di Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra Surabaya. Benda uji dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter sebesar 100 mm dan tinggi 200 mm. Uji kuat tekan dilakukan pada saat umur beton 7, 14, dan 28 hari. Hasil kuat tekan pada masing-masing hari didapat dari rata-rata pengujian 3 benda uji.

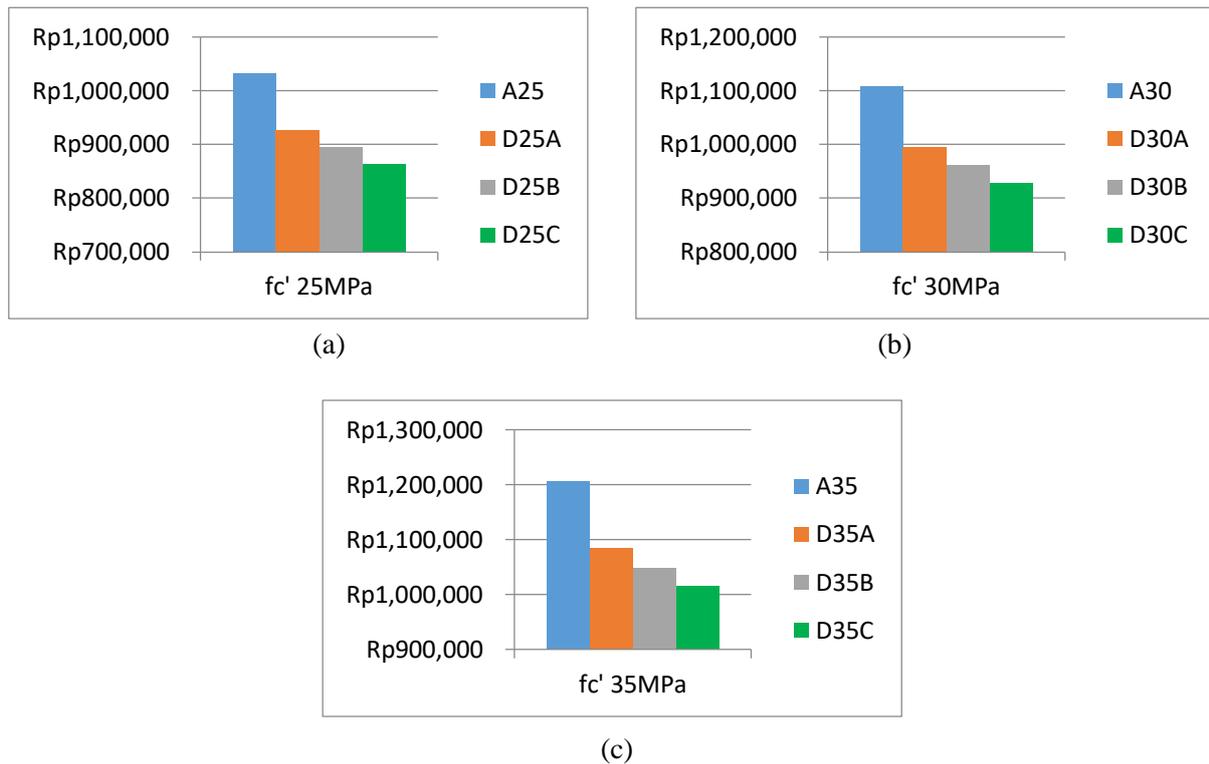


Gambar 3. Kuat Tekan Beton : (a) $f_c' 25$ MPa (b) $f_c' 30$ MPa (c) $f_c' 35$ MPa

Gambar 3 menunjukkan grafik kuat tekan beton. Beton dengan $f_c' 25$ MPa metode ACI memiliki kuat tekan sebesar 21,19 MPa pada umur 28 hari sedangkan beton metode DMDA sampel D25C memiliki kuat tekan paling tinggi sebesar 45,35 MPa pada umur 28 hari. Selisih kuat tekan pada beton $f_c' 25$ MPa yaitu sebesar 53,28%. Beton dengan $f_c' 35$ MPa metode ACI memiliki kuat tekan sebesar 36,24 MPa pada umur 28 hari beton metode DMDA sampel D30A memiliki kuat tekan sebesar 50,72 MPa pada umur 28 hari. Selisih kuat tekan pada beton $f_c' 30$ MPa yaitu sebesar 28,55%. Kuat tekan beton dengan $f_c' 35$ MPa terendah terdapat pada sampel A35 yaitu beton dengan metode ACI sebesar 40,59 pada umur 28 hari, sedangkan kuat tekan terbesar terdapat pada beton metode DMDA sampel D35C sebesar 55,88 pada umur 28 hari. Selisih kuat tekan pada beton $f_c' 35$ MPa yaitu sebesar 27,37%.

3.6 Perbandingan Biaya Beton Metode DMDA dengan ACI

Dalam pembuatan beton diperlukan biaya untuk membeli material yang akan digunakan. Pada penelitian ini beton yang diamati tidak hanya dari aspek kualitas beton namun juga dari segi biaya. Pada penelitian ini biaya total yang diamati adalah biaya total dari material per m^3 yang digunakan terdiri dari semen, *fly ash*, pasir, dan kerikil. Semen yang digunakan adalah Semen Gresik dengan harga beli sebesar Rp. 51.000,00 per 40 kg. Pasir yang digunakan adalah pasir lumajang dengan harga beli sebesar Rp. 350.000,00 per $1 m^3$. Kerikil dibeli dengan harga Rp. 260.000,00 per $1 m^3$. *Fly ash* tipe F dari PLTU Paiton yang dibeli dengan harga Rp. 10.000,00 per 25 kg. *Superplasticizer* Viscocrete 1003 yang didapatkan dari PT. Sika Indonesia dengan harga jual sebesar Rp. 1.425.800,00 per 20 liter. Biaya total dari setiap *mix design* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Biaya Beton : (a) fc' 25 MPa (b) fc' 30 MPa (c) fc' 35 MPa

Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini, biaya terendah beton fc' 25 MPa terdapat pada beton metode DMDA sampel D25C yaitu sebesar Rp. 863.260,00 per m³. Biaya total beton terbesar adalah pada beton dengan metode ACI yaitu sebesar Rp. 1.032.707,00 per m³. Selisih biaya total beton D25C dan A25 adalah sebesar Rp. 169.447,00 per m³ atau sebesar 16,4%. Pada beton fc' 30 MPa biaya total terbesar adalah pada beton sampel A30 atau beton dengan metode ACI yaitu sebesar Rp. 1.107.958,00. Biaya total terendah adalah pada beton sampel D30C yaitu sebesar Rp. 928.455,00. Selisih biaya beton sampel A30 dan D30C adalah sebesar Rp. 179.503,00 atau sebesar 16,2%. Sedangkan pada beton fc' 35 MPa sampel D35C memiliki biaya total terendah yaitu sebesar Rp. 1.015.512,00. Sampel A35 memiliki biaya total tertinggi yaitu sebesar Rp. 1.205.625,00. Selisih biaya total beton D35C dan A35 adalah sebesar Rp. 190.113,00 per m³ atau sebesar 15,7%.

3.7 Pembahasan

Dari hasil penelitian yang dilakukan beton metode *mix design* DMDA dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen memiliki hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan beton metode ACI. *Fly ash* yang digunakan dalam metode DMDA terbukti dapat meningkatkan kepadatan dari beton sehingga beton memiliki durabilitas yang lebih baik. *Fly ash* memiliki ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan semen sehingga dapat mengisi rongga yang ada di antara agregat beton dan dapat meminimalkan rongga beton. Beton dengan durabilitas yang baik menghasilkan beton dengan kuat tekan yang baik pula, hal ini terlihat dari hasil pengujian *water absorption*, *porosity* dan kuat tekan. Beton dengan persentase *water absorption* dan *porosity* yang kecil memiliki kuat tekan yang besar. Penggunaan *fly ash* pada metode DMDA dengan kadar 25-26%, 31-33% dan 37-39% pada penelitian ini telah mencapai kuat tekan yang ditargetkan pada awal perencanaan komposisi beton. Dari penelitian yang dilakukan pengaruh komposisi beton terhadap kualitas dan biaya beton dapat dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan dan juga biaya total yang diperlukan untuk pembuatan beton. Beton dengan komposisi semen yang lebih sedikit menghasilkan beton dengan kualitas yang baik jika dilihat dari hasil pengujian kuat *water absorption*, *porosity*, dan kuat tekan

selain itu juga biaya total pembuatan beton relatif lebih kecil karena adanya penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian perbandingan kinerja *mix design* beton dengan metode DMDA dan ACI, maka dapat ditarik kesimpulan diantaranya :

1. Pada penelitian ini komposisi beton metode DMDA menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen, sedangkan komposisi beton metode ACI hanya menggunakan semen. Persentase penggunaan *fly ash* pada metode DMDA sebesar 25-26%, 31-33%, dan 37-39%.
2. *Fly ash* yang digunakan dalam metode DMDA terbukti dapat meningkatkan kepadatan dari beton sehingga beton memiliki durabilitas yang lebih baik jika dilihat dari hasil penggetesan *water absorption* dan *porosity*.
3. *Workability* pada penelitian ini diukur dari pengujian *slump*, diperoleh hasil yang bervariasi yaitu pada beton dengan f_c' 25 MPa sebesar 12,5-13,5 cm, beton dengan f_c' 30 MPa sebesar 8-9,5 cm, dan beton dengan f_c' 35 MPa sebesar 12-14,4 cm.
4. Penggunaan *fly ash* pada metode DMDA pada penelitian ini membantu meningkatkan kuat tekan beton dari kuat tekan yang ditargetkan pada awal perencanaan komposisi beton jika dibandingkan dengan beton dengan metode ACI.
5. Penggunaan *fly ash* pada metode DMDA menghasilkan beton dengan kualitas yang baik jika dilihat dari hasil pengujian kuat *water absorption*, *porosity*, dan kuat tekan. Sehingga biaya total pembuatan beton metode DMDA relatif lebih rendah. Biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi beton dengan menggunakan metode DMDA tergolong lebih rendah sekitar 16,4% jika dibandingkan dengan beton metode ACI.

5. DAFTAR REFERENSI

- ASTM International. (2012). ASTM:C1754/C1754M-12. Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2013). ASTM:C642-13. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken, PA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1728:2008. *Cara Uji Slump Beton*.
- Hwang, C. L., & Hung, M. F. (2005). Durability Design and Performance of Self-consolidating Lightweight Concrete. *Construction and Building Materials*, 19(8), 619–626.
- Hwang, C. L., Sihotang, F. M. F., Bui, L. A. T., & Chen, C. T. (2011). Green Concrete for Sustainable Life-Cycle. *Applied Mechanics and Materials*, 99–100(September), 1113–1116.
- Suhendro, B. (2014). Toward Green Concrete for Better Sustainable Environment. *Procedia Engineering*, 95(SCESCM), 305–320.
- Wadud, Z., & Ahmad, S. (2001). ACI Method of Concrete Mix Design : A Parametric Study. *The Eighth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction 5-7 December 2001, Nanyang Technological University, Singapore*, (December).