

PERBANDINGAN MIX DESIGN SNI 03-2834-2000 DAN SNI 7656:2012 DITINJAU DARI PROSES PENGECORAN BETON NORMAL

Joerda Foulhudan¹, Dwi Nurtanto² dan Krisnamurti³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto Jember
Email: joerdaf25@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto Jember
Email: dwinurtanto.teknik@unej.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto Jember
Email: murti_krisna.teknik@unej.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan beton sebagai material dalam pekerjaan konstruksi mendekati 60%. Agregat halus, agregat kasar, semen, dan air merupakan material penyusun beton. Setiap komponen material penyusun beton mempunyai pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik beton, sehingga diperlukan *mix design* untuk memperoleh mutu beton yang optimum. Proses pengecoran beton dapat berpengaruh terhadap mutu beton. Sesuai teori kepadatan partikel (*Particle packing*), semakin optimum kepadatan material, akan menghasilkan mutu beton yang optimum. Durasi pengecoran selama sekitar 12 menit untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan *mix design* serta proses pengecoran dengan durasi 11 menit agar menghasilkan kuat tekan optimum. Dua *mix design* digunakan dalam penelitian ini yaitu berdasar SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. Proses pengecoran beton dilaksanakan berdasarkan urutan pemasukan material (agregat halus, agregat kasar, dan semen) serta dua cara penambahan air yaitu, di akhir proses pencampuran (*dry mixing*) dan pada setiap proses pencampuran (*wet mixing*). Total terdapat 12 variasi proses pencampuran Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum beton yang dihasilkan adalah 43,52 MPa pada proses pengecoran dengan penambahan air pada akhir proses (*dry mixing*) dan *mix design* berdasar SNI 7656:2012. Namun, nilai kuat tarik beton yang dicapai tidak optimum yaitu sebesar 3,29 MPa dan nilai modulus elastisitasnya adalah 10991,89 MPa. Disimpulkan bahwa kuat tekan optimum beton diperoleh menggunakan *mix design* SNI 7656:2012 melalui proses pengecoran kerikil dan semen dalam waktu 4 menit, kemudia ditambahkan pasir selama 4 menit, dan ditambahkan air pada akhir langkah (*dry mixing*) dengan durasi 3 menit.

Kata kunci: Kepadatan partikel, Kuat tekan beton, Kuat tarik beton, Modulus elastisitas beton

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang hampir 60% digunakan dalam pekerjaan konstruksi dan dipadukan dengan baja (Santoso *et al*, 2017). Agregat halus, agregat kasar, semen, dan air merupakan material dari beton (Nwofor *et al*, 2015). Setiap komponen dari material beton mempunyai efek yang signifikan terhadap sifat mekanik beton (Krisnamurti *et al*, 2018). *Mix design* dan proses pengecoran sangat menentukan mutu beton agar didapatkan hasil uji kuat tekan yang optimum.

Di Indonesia terdapat dua standar dalam merancang campuran beton, yaitu SNI 7656:2012 yang mengacu pada *DOE* dan SNI 03-2834-2000 yang mengacu pada *ACI* (Hunggurami *et al*, 2017). Berdasarkan penelitian terdahulu, SNI 03-2834-2000 memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada SNI 7656:2012 (Hunggurami *et al*, 2017; Kuntari *et al*, 2019; Santoso *et al*, 2017). Namun, jika ditinjau dari penelitian terdahulu mengenai perbandingan *DOE* dan *ACI*, perencanaan beton menggunakan metode *ACI* lebih tinggi daripada menggunakan metode *DOE* (Ejiogu *et al*, 2018; Nwofor *et al*, 2015; Zanwar & Jamkar, 2016).

Selain *mix design*, menentukan mutu atau kuat tekan beton tergantung dari jenis *mixer* yang digunakan, durasi *mixing*, prosedur *mixing*, dan tenaga *mixing* (Ferraris, 2001). Terdapat dua metode pembuatan beton yaitu *ready mix* dan secara konvensional atau menggunakan mesin molen tapi pembuatan beton secara konvensional tidak terjamin mutunya karena pada proses pembuatannya hanya berdasarkan pengalaman pembuat (Kumar & Tegar, 2018; Simatupang *et al*, 2017).

Teori kepadatan partikel (*Particle packing*) menyebutkan bahwa partikel dari material berukuran kecil akan mengisi rongga-rongga material yang berukuran lebih besar sehingga semakin optimum kepadatan material didalam beton maka akan menghasilkan mutu yang optimum juga (Tilik F L & Sulianti I, 2012; Mangulkar & Jamkar, 2013; Tumingan *et al*, 2016; Wibowoputra *et al*, 2014). Oleh karena itu, dibutuhkan metode pencampuran material yang tepat dalam proses pengecoran secara konvensional agar menghasilkan beton dengan mutu optimum.

Corresponding Author

E-mail Address : dwinurtanto.teknik@unej.ac.id

Selain itu, berdasarkan penelitian terdahulu mengenai durasi *mixing*, pengecoran dengan durasi maksimal 12 menit dapat menghasilkan kuat tekan yang terbaik (Nuryati, 2018). Dalam penelitian ini digunakan durasi 11 menit supaya lebih cepat.

Berdasarkan beberapa hal tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode *mix design* serta proses pengecoran yang tepat dengan durasi 11 menit dapat menghasilkan kuat tekan optimum dan dapat diaplikasikan di lapangan khususnya di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton normal adalah campuran agregat kasar, agregat halus, air, dan semen hidraulik atau semen portland yang lain dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (Revisi SNI 03-3976-1995). Beton normal memiliki berat isi antara 2200 – 2500 Kg/m³ (SNI 03-2834-2000; SNI 7656:2012). *Mix design* dan proses pengecoran yang digunakan akan berpengaruh pada mutu beton yang dihasilkan. Di Indonesia terdapat dua standar dalam perencanaan campuran beton yaitu SNI 03-2834-2000 yang mengacu pada *The British Mix Design Method (DOE)* yang dikembangkan di Inggris tahun 1975 dan SNI 7656:2012 yang mengacu pada *Amerika Concrete Institute (ACI) 211.1-91* yang merupakan hasil revisi dari *ACI 211.1-89* (Hunggurami *et al*, 2017).

Perbandingan *mix design*

Terdapat tiga penelitian terdahulu yang melakukan perbandingan antara SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. Berdasarkan penelitian terdahulu SNI 03-2834-2000 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada SNI 7656:2012.

Penelitian yang dilakukan Hunggurami dan kawan-kawan pada tahun 2017, membandingkan kebutuhan proporsi campuran beton untuk ukuran agregat 20 cm dan 40 cm menggunakan kedua *mix design*. Uji kuat tekan diterapkan pada mutu rencana (f_c') 25 MPa, 20 MPa, dan 15 MPa saat umur 28 hari. Hasil dari penelitiannya mengatakan bahwa kedua *mix design* menghasilkan kuat tekan sesuai mutu rencana namun SNI 7656:2012 menghasilkan kuat tekan lebih rendah daripada SNI 03-2834-2000 (Hunggurami *et al*, 2017).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Santoso dan kawan-kawan pada tahun 2017, pengujian kuat tekan dilakukan pada spesimen kuat tekan rencana sebesar 35 MPa, 30 MPa, dan 25 MPa. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton dengan rancangan SNI 03-2834-2000 lebih tinggi daripada SNI 7656:2012 untuk kuat tekan diatas 30 MPa (Santoso *et al*, 2017).

Penelitian lain dilakukan oleh Kuntari dan kawan-kawan pada tahun 2019, penelitian dilakukan agar didapatkan selisih antara SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 dalam hal modulus elastis, kuat tekan, dan jumlah kebutuhan bahan dengan menggunakan dua variasi nilai *slump* yaitu variasi I (*slump* 30-60 mm dan *slump* 25-20 mm) untuk variasi II (*slump* 60-180 mm dan *slump* 75-100 mm) untuk mutu rencana 30 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas dan kuat tekan tertinggi didapatkan dengan nilai *slump* 30-60 mm menggunakan SNI 03-2834-2000 (Kuntari *et al*, 2019).

Namun, jika ditinjau dari perbandingan *ACI* dan *DOE*, *ACI* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada *DOE*. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Ejiogu dan kawan-kawan pada tahun 2018, pada penelitiannya menggunakan tiga *mix design* yaitu *ACI*, *IS*, dan *DOE*. Hasil penelitian menyebutkan bahwa kuat tekan *ACI* dan *IS* mencapai target kuat tekan rencana rata-rata sedangkan *DOE* tidak tercapai (Ejiogu *et al*, 2018).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Zanwar dan Jamkar pada tahun 2016, penelitian dilakukan untuk membandingkan dua *mix design* *DOE* dan *ACI* dengan FAS yang berbeda untuk merencanakan beton mutu tinggi. FAS yang digunakan adalah 0,35; 0,3; 0,25; dan 0,2. Hasil yang didapatkan adalah untuk FAS 0,3; 0,25; dan 0,2 mendapatkan kuat tekan tertinggi menggunakan *ACI* sedangkan untuk FAS 0,35 mendapatkan kuat tekan tertinggi jika menggunakan *DOE* (Zanwar & Jamkar, 2016).

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Nwofor dan kawan-kawan pada tahun 2015 juga membandingkan *mix design* *ACI* dan *DOE*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan batu pecah dan batu tidak pecah untuk kuat tekan rencana M20, M30, dan M50. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan untuk M20 lebih tinggi menggunakan *DOE* sedangkan untuk M30 dan M50 lebih tinggi menggunakan *ACI* (Nwofor *et al*, 2015).

Perbandingan urutan pengecoran

Selain *mix design*, proses pengecoran juga berpengaruh pada mutu beton yang akan dihasilkan. Beberapa penelitian melakukan perbandingan urutan pengecoran. Seperti yang dilakukan oleh Wang dan Hu pada tahun 2005, pada penelitiannya menggunakan 4 variasi urutan pengecoran dengan kondisi agregat yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pengecoran dengan urutan semen dan air dimasukkan terlebih dahulu kemudian pasir dan kerikil kondisi *Oven Dry (OD)* mendapatkan kuat tekan tertinggi (Wang & Hu, 2005).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Shihaba dan Arafa pada tahun 2010, pada penelitian ini menggunakan *silica fume*, bubuk kuarsa sebagai agregat sangat halus, dan urutan prosedur pencampuran untuk mengetahui pengaruh terhadap sifat utama dari *ultra high performance concrete*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengecoran dengan urutan mencampur semua material kering (semen, agregat halus, agregat kasar, agregat sangat halus, dan *silica fume*) kemudian ditambahkan air dengan 40% *superplastisizer* setelah itu didiamkan 3 menit lalu ditambahkan 60% *superplastisizer* mendapatkan hasil kuat tekan tertinggi (Shihada & Arafa, 2010).

Penelitian lain dilakukan oleh Pothisiri dan Soklin pada tahun 2014, penelitian ini bertujuan untuk eksperimen tentang daya tahan kekuatan beton normal dengan urutan pencampuran berbeda dari serat *polypropylene (PP)* yang terkena api. Berdasarkan hasil kuat tekan tertinggi, urutan yang paling baik adalah mencampur serat *polypropylene (PP)* dengan beton segar (Pothisiri & Soklin, 2014).

Durasi pengecoran

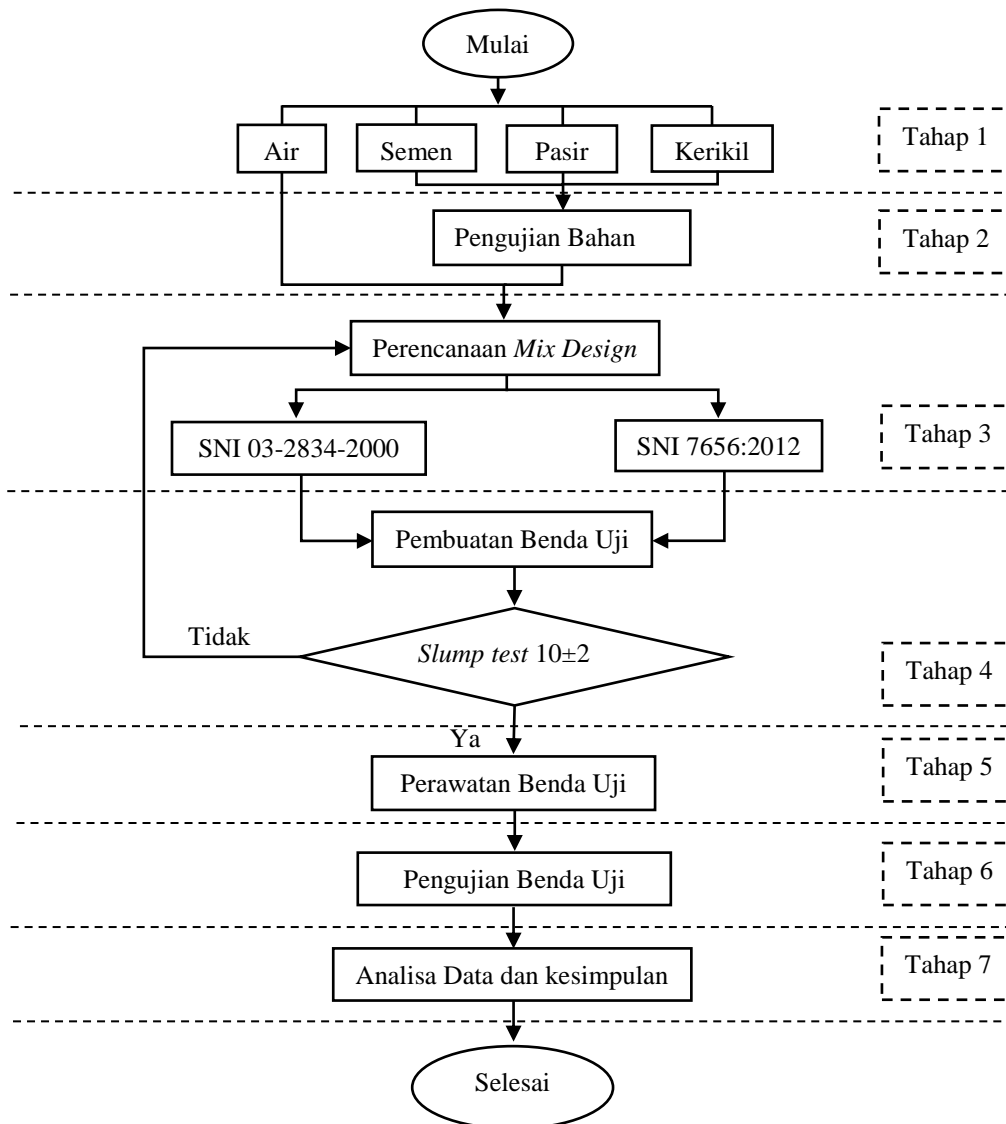
Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nuryati pada tahun 2018 tentang analisis waktu pencampuran dan perendaman terhadap kuat tekan mortar beton pada perkerasan jalan. Dalam penelitiannya dilakukan variasi durasi waktu yang digunakan pencampuran adalah 3, 6, 9, 12, dan 15 menit. Berdasarkan hasil pengujian, durasi pengecoran yang optimal adalah 12 menit untuk menghasilkan kuat tekan mortar beton yang tinggi (Nuryati, 2018).

3. METODOLOGI

Metode perencanaan campuran beton pada penelitian ini menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. Adapun 6 variasi pengecoran yang mana terdapat dua kondisi pengecoran yaitu *dry mixing* (kondisi kering) atau penambahan air di akhir dan *wet mixing* (kondisi basah) atau penambahan air di setiap pemasukan material. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Secara detail disajikan pada Tabel 1 untuk variasi penelitian yang akan dilakukan. Adapun tahapan penelitian secara skematis disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1.

Tabel 1. Variasi penelitian

No.	Langkah			Mix design	Label benda uji
	1	2	3		
	Waktu				
	4 menit	4 menit	3 menit		
1	Kerikil+pasir	Semen	Air	SNI 03-2834-2000	P1M00
2				SNI 7656:2012	P1M12
3	Kerikil+semen	Pasir	Air	SNI 03-2834-2000	P2M00
4				SNI 7656:2012	P2M12
5	Pasir+semen	Kerikil	Air	SNI 03-2834-2000	P3M00
6				SNI 7656:2012	P3M12
7	Kerikil+1/3air	Pasir+1/3air	Semen+1/3air	SNI 03-2834-2000	P4M00
8				SNI 7656:2012	P4M12
9	Kerikil+1/3air	Semen+1/3air	Pasir+1/3air	SNI 03-2834-2000	P5M00
10				SNI 7656:2012	P5M12
11	Pasir+1/3air	Semen+1/3air	Kerikil+1/3air	SNI 03-2834-2000	P6M00
12				SNI 7656:2012	P6M12



Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa uji terhadap agregat kasar, agregat halus, dan semen. Data yang didapatkan dari pengujian bahan akan digunakan untuk merencanakan mutu beton. Hasil pengujian bahan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian Bahan

No.	Pengujian	Agregat kasar	Agregat halus	Semen
1	Berat jenis	2,61 gr/cm ³	2,53 gr/cm ³	3,01 gr/cm ³
2	Berat volume	1,44 Kg/m ³	1,82 Kg/m ³	
3	Kelembaban	0,96%	5,47%	
4	Air resapan	0,54%	2,78%	
5	Kadar lumpur	0,39%	3,07%	
6	Analisa saringan	Zona maksimum 20 cm	Zona 2	
7	Modulus kehalusan	6,38	2,15	

Setelah didapatkan data dari hasil pengujian dilakukan perencanaan mutu beton menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. Perbandingan proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan rencana proporsi campuran beton per m³

No	Material	Jumlah		Satuan
		SNI 03-2834-2000	SNI 7656:2012	
1	Semen	450	455,56	Kg/m ³
2	Air	225	182,08	Kg/m ³
3	Agregat halus	676,45	736,23	Kg/m ³
4	Agregat kasar	953,55	995,87	Kg/m ³
5	Massa beton	2305	2369,73	Kg/m ³

Pada semen terdapat selisih sebesar 5,56 Kg/m³, pada air terdapat selisih sebesar 42,92 Kg/m³, pada agregat halus memiliki selisih sebesar 59,78 Kg/m³, dan pada agregat kasar memiliki selisih sebesar 42,32 Kg/m³. Hal tersebut dikarenakan massa beton yang dihasilkan pada perhitungan menggunakan SNI 7656:2012 lebih besar yaitu 2369,73 Kg/m³.

Pengujian *slump* beton

Pengujian *slump* dilakukan untuk menentukan tingkat kelecakan beton segar karena berpengaruh terhadap *workability* atau kemudahan pengerjaan dilapangan. Hasil pengujian *slump* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian *slump* setiap variasi pengecoran

Label benda uji	Nilai <i>slump</i>
P1M00	8,50 cm
P1M12	8,50 cm
P2M00	9,00 cm
P2M12	9,25 cm
P3M00	9,00 cm
P3M12	8,50 cm
P4M00	8,50 cm
P4M12	9,75 cm
P5M00	8,00 cm
P5M12	8,50 cm
P6M00	8,75 cm
P6M12	8,75 cm

Interval nilai *slump* berdasarkan hasil pengujian adalah 8 cm sampai 9,75 cm dan rata-rata nilai *slump* yang didapatkan adalah 8,75 cm.

Pengujian kuat tekan beton

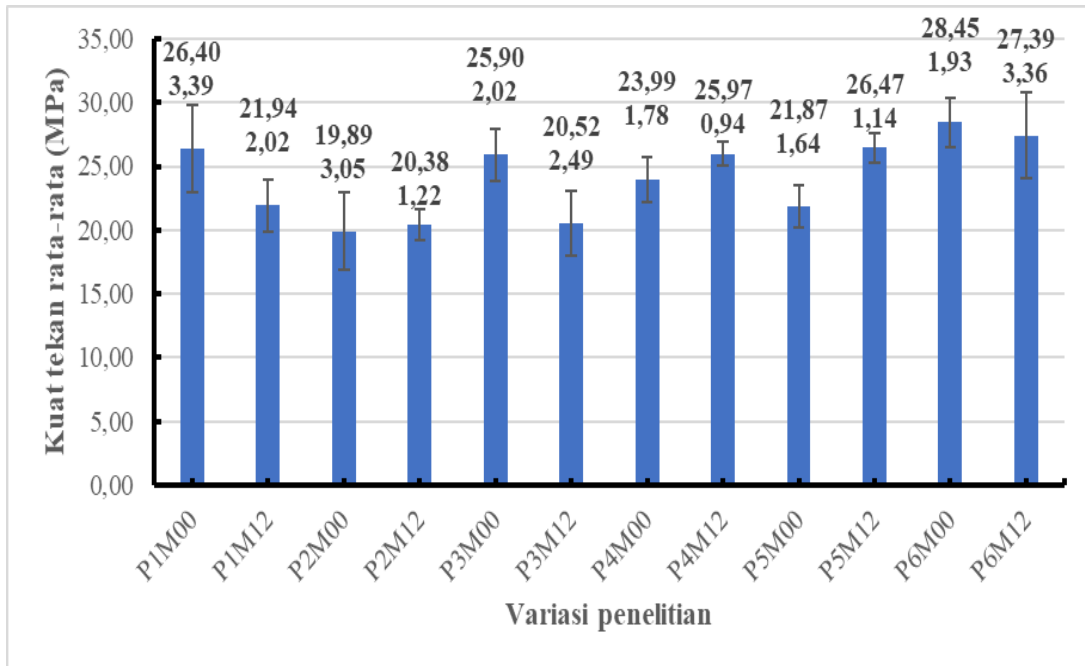
Setelah dilakukan perawatan beton maka dilakukan pengujian kuat tekan pada umur beton 7 dan 28 hari. Perhitungan kuat tekan beton menggunakan Persamaan 1 dari SNI 03-1974-1990. Hasil pengujian kuat tekan untuk umur 7 hari disajikan pada Gambar 2 dan saat umur 28 hari disajikan pada Gambar 3.

$$F_c' = \frac{P}{A} \tag{1}$$

F_c' = nilai kuat tekan yang disyaratkan (MPa),

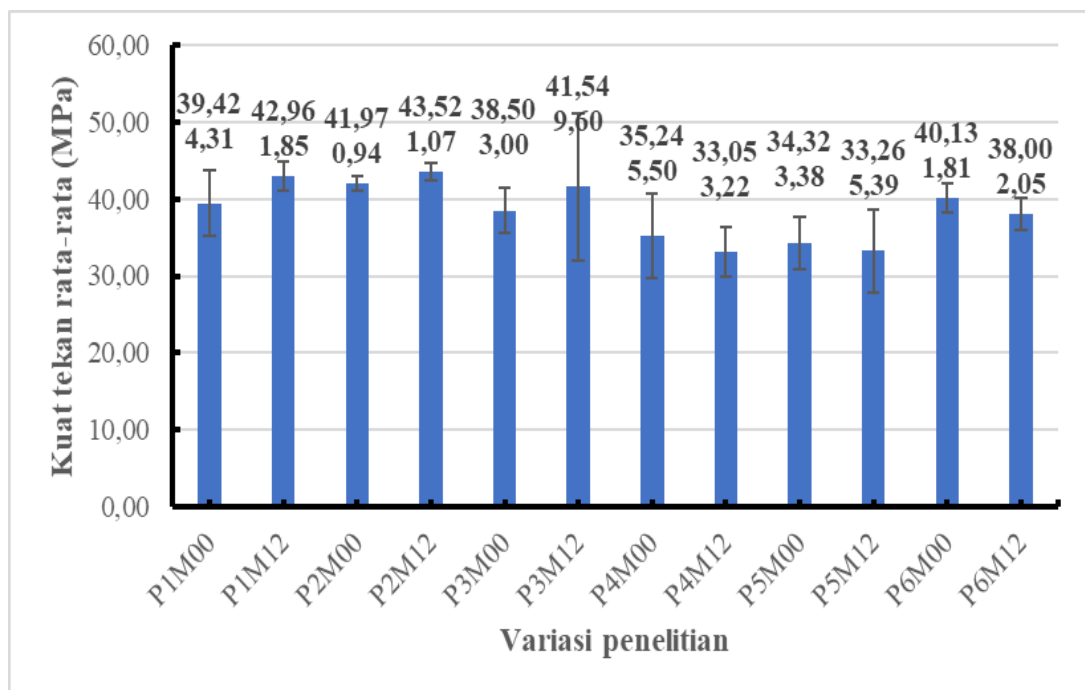
P = beban uji maksimum (kN),

A = luas penampang benda uji (cm).



Gambar 2. Hasil uji kuat tekan beton pada umur 7 hari

Dari hasil pengujian kuat tekan beton saat umur 7 hari ditunjukkan bahwa P6M00 dengan urutan pengecoran yaitu pasir+1/3air, semen+1/3air, kerikil+1/3air atau kondisi basah (*wet mixing*) menggunakan SNI 03-2834-2000 menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu 28,45 MPa. Dilihat dari nilai standar deviasi yang diperoleh terbilang kecil maka data yang didapatkan sudah sesuai dengan pengujian. Pada gambar tersebut terlihat data yang diperoleh fluktuatif dan belum dapat disimpulkan, hal tersebut dikarenakan pengujian pada umur 7 hari belum mendapatkan kuat tekan yang optimum melainkan masih kuat tekan awal.



Gambar 3. Hasil uji kuat tekan beton pada umur 28 hari

Namun, berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari ditunjukkan bahwa P2M12 dengan urutan pengecoran yaitu kerikil+semen, pasir, dan air ditambahkan terakhir atau kondisi kering (*dry mixing*) menggunakan

SNI 7656:2012 menghasilkan kuat tekan paling optimum yaitu 43,52 MPa. Sedangkan menggunakan *mix design* SNI 03-2834-2000, nilai tertinggi adalah 41,97 MPa pada P2M00 dengan urutan pengecoran yang sama. Jika dilihat dari nilai standar deviasi pada P2M00 sebesar 0,94 dan P2M12 sebesar 1,07 maka data yang didapatkan bisa terbilang valid.

Jika dilihat dari keseluruhan hasil kuat tekan pada umur 28 hari dapat disimpulkan bahwa proses pengecoran dengan penambahan air di akhir atau kondisi kering (*dry mixing*) menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada penambahan air pada setiap pemasukan material atau kondisi basah (*wet mixing*).

Secara teoritis, berdasarkan teori kepadatan partikel (*particle packing*) disebutkan bahwa agregat yang berukuran sangat kecil yaitu semen akan mengisi dan menyelimuti pori-pori agregat kasar yang berukuran kecil terlebih dahulu sebelum ditambahkan agregat yang berukuran lebih besar yaitu pasir untuk mengisi rongga-rongga yang lebih besar dapat meningkatkan kepadatan beton (Mangulkar & Jamkar, 2013; Wibowoputra *et al.*, 2014). Air ditambahkan di akhir tahap pengecoran (*dry mixing*) supaya temperatur pengecoran tidak terlalu tinggi yang disebabkan pelepasan panas hidrasi karena bisa menyebabkan keretakan pada beton dan kandungan air menguap (Endawati *et al.*, 2016). Dari urutan pengecoran tersebut bisa didapatkan kepadatan beton yang optimum dan menghasilkan kuat tekan beton yang optimum juga (Tilik L F & Sulianti I, 2012; Tumungan *et al.*, 2016).

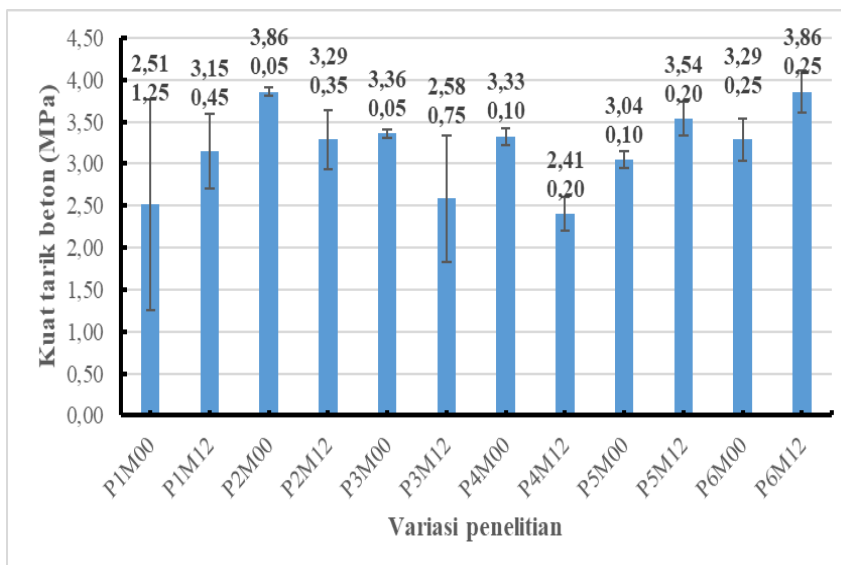
Hasil kuat tekan pada penelitian ini berbeda dengan tiga penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa SNI 03-2834-2000 memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada SNI 7656:2012 (Hunggurami *et al.*, 2017; Kuntari *et al.*, 2019; Santoso *et al.*, 2017). Pada penelitian ini didapatkan, SNI 7656:2012 menghasilkan kuat tekan paling optimum yaitu 43,52 MPa sedangkan SNI 03-2834-2000 menghasilkan nilai tertinggi adalah 41,97 Mpa dengan urutan pengecoran yang sama yaitu, kerikil+semen, pasir, dan air ditambahkan terakhir atau kondisi kering (*dry mixing*). Urutan pengecoran tersebut berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh wang & Hu (2005). Pada penelitiannya, urutan pengecoran yang menghasilkan kuat tekan tertinggi adalah semen+air, kemudian ditambah pasir dan kerikil kondisi *Oven Dry (wet mixing)*.

Pengujian kuat tarik beton

Pengujian kuat tarik beton dilakukan untuk mendapatkan nilai tarik beton normal. Pengujian dilakukan pada saat umur benda uji 28 hari. Persamaan 2 digunakan untuk menghitung nilai kuat tarik beton berdasarkan SNI 2491-2014. Hasil pengujian disajikan dalam Gambar 4.

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \tag{2}$$

- F_{ct} = nilai kuat tarik beton (MPa)
- P = beban uji maksimum (kN)
- L = panjang benda uji (cm)
- D = diameter benda uji (cm)

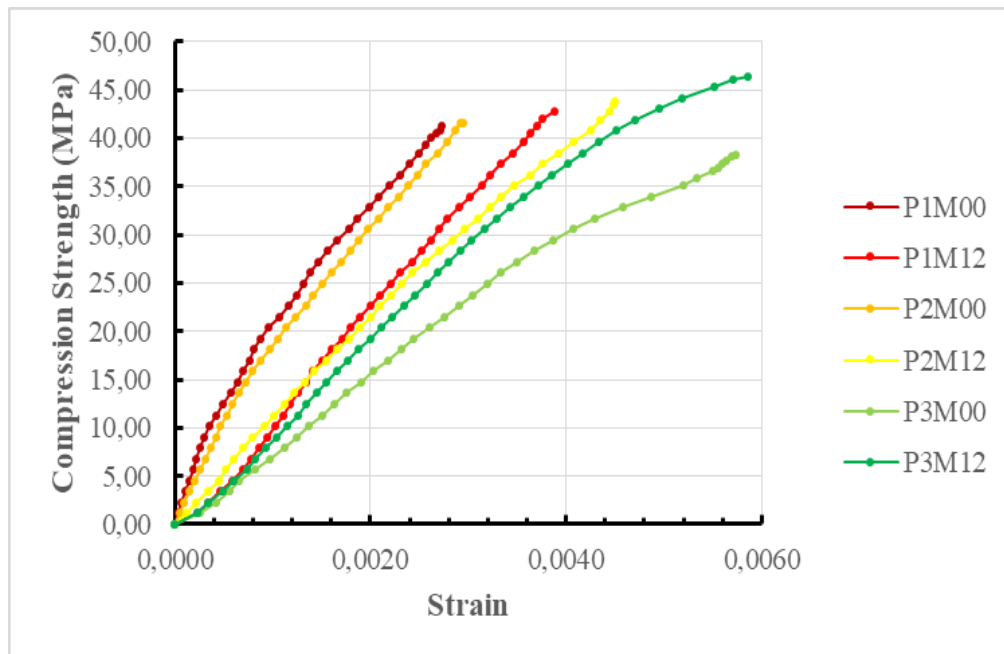


Gambar 4. Hasil pengujian kuat tarik beton umur 28 hari

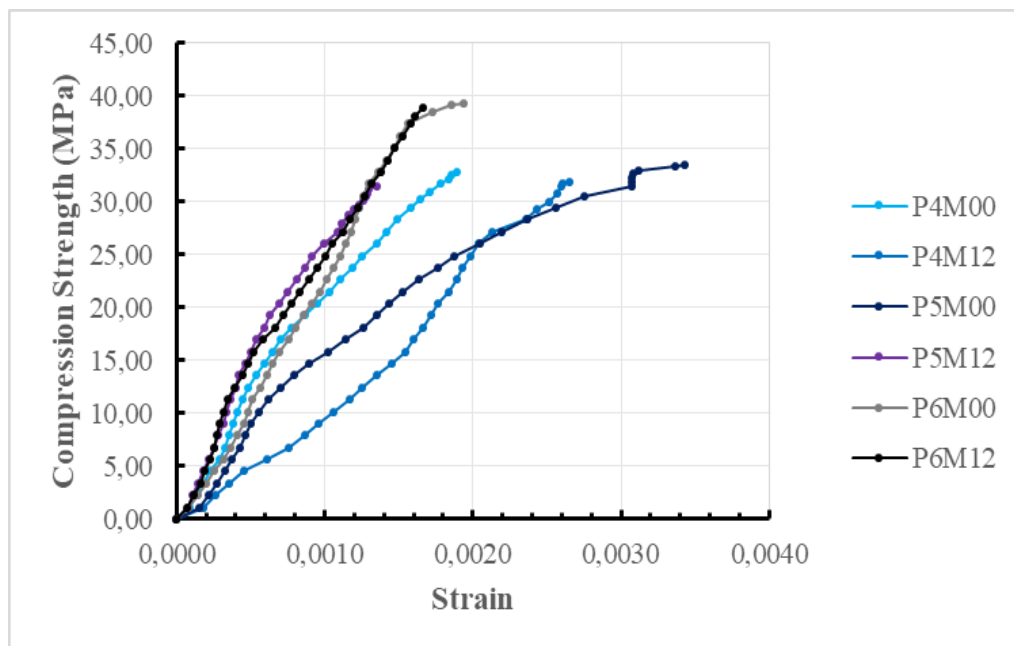
Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik beton diatas menunjukkan bahwa data kuat tarik fluktuatif sehingga tidak sejajar dengan kuat tekan karena tidak berpengaruh secara langsung dan beton lemah terhadap lentur. Terdapat dua variasi yang memiliki kuat tekan tertinggi yaitu P2M00 dan P6M12 sebesar 3,86 MPa sedangkan variasi yang memiliki kuat tarik terendah adalah P4M12 sebesar 2,41 MPa. Jika ditinjau dari nilai standar deviasi, data yang didapatkan sudah sesuai dengan pengujian karena nilai standar deviasi masih terbilang kecil.

Pengujian modulus elastisitas beton

Pengujian modulus elastis dilakukan untuk mendapatkan nilai ketahanan beton terhadap deformasi. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk hubungan tegangan dan regangan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Hasil perhitungan rerata modulus elastisitas untuk setiap variasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 7 sedangkan untuk hasil perhitungan modulus elastisitas tertinggi disajikan pada Gambar 8.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dan regangan untuk variasi penelitian 1 sampai 6

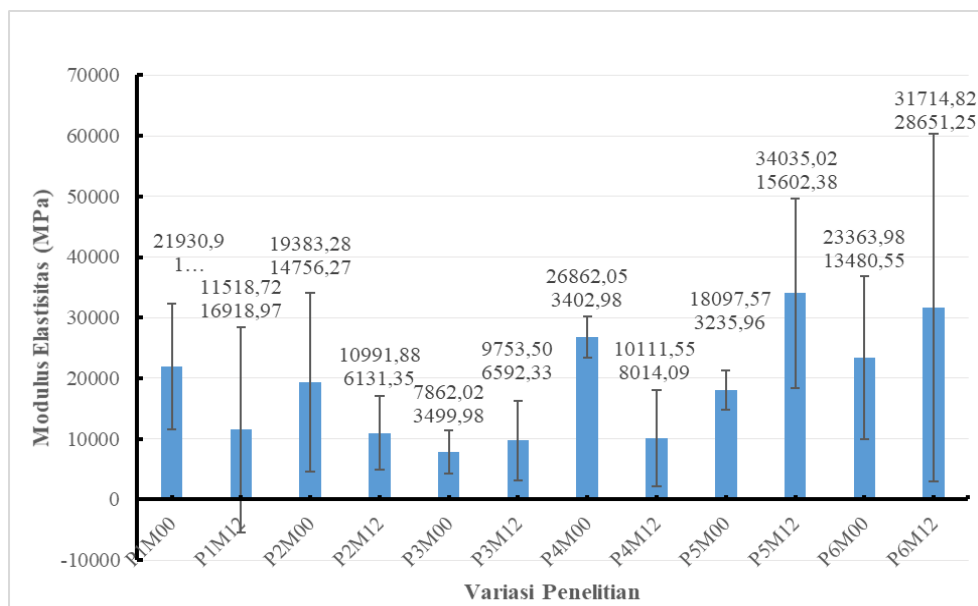


Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dan regangan untuk variasi penelitian 7 sampai 12

Dari hasil tegangan dan regangan dapat dilakukan perhitungan nilai modulus elastis menggunakan persamaan 3 dari ASTM C 469. Berikut contoh perhitungan modulus elastis pada P1M20.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3)$$

E_c	= Modulus elastis beton (MPa)	ε_2	= 0,00005 (ketetapan nilai regangan)
S_2	= 16,49 MPa (40% dari f_c')	E_c	= $\frac{16,45 - 1,56}{0,00073 - 0,00005}$
S_1	= 1,56 MPa (tegangan akibat ε_2)	E_c	= 21930,91 MPa
ε_1	= 0,00073 (regangan akibat S_2)		



Gambar 7. Hasil perhitungan rerata modulus elastisitas beton umur 28 hari

Dari gambar dapat dilihat bahwa data fluktuatif dikarenakan nilai modulus elastisitas pada pengujian hanya berlaku untuk satu benda uji tetapi pada data tersebut peneliti menggunakan data rerata dari beberapa benda uji sehingga didapatkan nilai standar deviasi cukup tinggi.

Berdasarkan perhitungan modulus elastisitas, P5M12 menunjukkan nilai tertinggi yaitu sebesar 34035,02 MPa karena benda uji P5M12 hanya mampu memikul 40% dari rerata tegangan ultimate yaitu 12,57 MPa dan 40% dari regangan ultimate yang terjadi akibat beban tersebut kecil yaitu 0,00040. Sedangkan benda uji P2M12 yang mampu memikul 40% dari rerata tegangan ultimate yaitu 17,51 MPa tetapi 40% dari regangan ultimate yang diakibatkan beban tersebut juga besar yaitu 0,00160 maka didapatkan modulus elastisitas yang kurang optimum yaitu sebesar 10991,88 MPa meskipun memiliki kuat tekan paling optimum

5. KESIMPULAN

Setelah semua variasi penelitian dibandingkan, kuat tekan optimum yang dihasilkan adalah 43,52 MPa pada variasi penelitian P2M12 dengan proses pelaksanaan pengecoran yaitu, kerikil, semen, pasir, dan ditambahkan air pada akhir proses pengecoran (*dry mixing*) dan *mix design* yang digunakan adalah SNI 7656:2012. Jika dilihat dari nilai standar deviasi yang kecil maka dapat dikatakan hasil kuat tekan valid karena interval data tidak terlalu jauh. Namun, nilai kuat tarik yang dihasilkan tidak optimum yaitu sebesar 3,29 MPa meskipun nilai standar deviasinya kecil dan terbilang valid.

Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas adalah 10991,89 MPa dan nilai standar deviasinya tinggi. Hal tersebut dikarenakan nilai modulus elastisitas hanya berlaku untuk satu benda uji tapi pada data tersebut digunakan rerata dari beberapa benda uji yang memiliki interval cukup signifikan sehingga nilai standar deviasinya tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1995). *Tata Cara Penakaran, Pengadukan, Pengangkutan, dan pengecoran beton*. SNI 03-3976-1995. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–42.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–34.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal , beton berat dan beton massa*. *Badan Standardisasi Nasional*, 48.
- Ejiogu *et al.* (2018). "Comparative Study of Various Methods for Designing and Proportioning Normal Concrete Mixture". *The Pacific Journal of Science and Technology*, 19(1), 22–36. https://doi.org/www.akamaiuniversity.us/PJST19_1_12.pdf
- Endawati, J., Diasti, L., & Widuri, D. (2016). "Pengaruh Panas Hidrasi Beton Dengan Semen Type Ii Terhadap Ketebalan Elemen Beton". *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 16(2), 183–194. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v16i2.7231>
- Ferraris, C. F. (2001). "Concrete mixing methods and concrete mixers: State of the art". *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 106(2), 391–399. <https://doi.org/10.6028/jres.106.016>
- Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. (2017). "Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012". *Jurnal Teknik Sipil*, VI(2), 165–172.
- Krisnamurti, Soehardjono, A., Zacoeb, A., & Wibowo, A. (2018). "Development of Mix Design Method in Efforts to Increase Concrete Performance Using Portland Pozzolana Cement (PPC)". *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012016>
- Kumar, R., & Tegar, J. P. (2018). "Critical Analysis of Properties of Ready Mix Concrete with Site Mix Concrete of Smart Road Project". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05(06), 1734–1739. <https://www.irjet.net/archives/V5/i6/IRJET-V5I6327.pdf>
- Kuntari, H. D., Lingga, A. A., & Supriyadi, A. (2019). "Analisis Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656 : 2012 dengan Kuat Tekan 30 Mpa". *Jurnal Elektronik Laut, Sipil, Tambang (JeLAST)*, 6(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26418/jelast.v6i3.38813>
- Mangulkar. M. N., & Jamkar, S. S. (2013). "Review of Particle Packing Theories Used for Concrete Mix Proportioning". *Proceedings of The International Conference on Innovations In Civil Engineering, ICICE (157-163)*.
- Nuryati Sri. (2018). "Analisis Waktu Pencampuran dan Perencanaan Terhadap Kuat Tekan Mortar Beton pada Perkerasan Jalan". *Jurnal Teoritik dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. 6(2), 141–150.
- Nwofor, T. C., Sule, S., & Eme, D. B. (2015). "A Comparative Study of the Methods of Concrete Mix Design Using Crushed and Uncrushed Coarse Aggregates". *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(8), 1182–1194.
- Pothisiri, T., & Soklin, C. (2014). "Effects of Mixing Sequence of Polypropylene Fibers on Spalling Resistance of Normal Strength Concrete". *Engineering Journal*, 18(3), 55–64. <https://doi.org/10.4186/ej.2014.18.3.55>
- Santoso, A., Darmono., Ma'arif, F., Sumarjo, H. (2017). "Studi Perbandingan Rancang Campur Beton Normal Menurut SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012". *Inersia - Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 13(2), 105–115. <https://doi.org/10.21831/inersia.v13i2.17174>
- Shihada, S., & Arafa, M. (2010). "Effect of Silica Fume, Ultrafine, and Mixing Sequences on Properties of Ultra High Performance Concrete". *Asian Journal of Material Science* 2(3): 137-146.
- Tilik, L. F., & Sulianti, I. (2012). "Pengaruh Pemadatan Beton Segar Terhadap Kuat Tekan Beton". *Jurnal Pilar Jurusan Teknik Sipil*, 7(1).
- Tumingan, Tjaronge, M. W., Sampebulu, V., & Djamaluddin, R. (2016). "Penyerapan dan porositas pada beton menggunakan bahan pond ash sebagai pengganti pasir". *Jurnal Politeknologi*, 15(1).
- Wang, K., & Hu, J. (2005). "Use of a Moisture Sensor for Monitoring the Effect of Mixing Procedure on Uniformity of Concrete Mixtures". *Journal of Advanced Concrete Technology*, 3(3), 371–383. <https://doi.org/10.3151/jact.3.371>
- Wibowoputra, I. K., Wanandi, C., & Tanojo, E. (2014). "Sifat Rheology Semen Pasta Ditinjau Dari Campuran Material". *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 3(2), 1–8.
- Zanwar, A. B., & Jamkar, S. S. (2016). "Comparative Study of Mix Proportioning of High Strength Concrete using DOE and ACI Method". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4(30), 1–3.