



PENGARUH VARIASI FAKTOR AIR SEMEN TERHADAP KINERJA MEKANIS BETON BERTULANG

Jernius Setiawan Zebua¹⁾, Alfonsius Mendrofa²⁾, Julfan Putra Waruwu³⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Sumatra Utara, Indonesia

Email: Jerniuszeb@gmail.com

Abstract

Reinforced concrete is a construction material widely used in infrastructure development due to its ability to withstand both compressive and tensile loads. The mechanical performance of reinforced concrete is strongly influenced by the concrete mix composition, particularly the water-cement ratio (w/c). This study aims to analyze the effect of variations in the water-cement ratio on the mechanical performance of reinforced concrete at curing ages of 7, 14, and 28 days. The water-cement ratios used in this study were 0.40, 0.45, 0.50, and 0.55. An experimental laboratory method was employed by producing reinforced concrete specimens and testing their mechanical performance using a compression testing machine. The results indicate that concrete with lower water-cement ratios exhibits higher mechanical performance compared to concrete with higher water-cement ratios at all testing ages. Furthermore, the mechanical performance of concrete increases with curing age, with the highest values observed at 28 days. This study demonstrates that selecting an appropriate water-cement ratio plays a crucial role in improving the quality and mechanical performance of reinforced concrete, particularly for structural applications requiring high strength.

Keywords: Reinforced Concrete, Water-Cement Ratio, Mechanical Performance, Compressive Strength, Concrete Age

Abstrak

Beton bertulang merupakan material konstruksi yang banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban tekan dan tarik. Kinerja mekanis beton bertulang sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran beton, khususnya faktor air semen (FAS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi faktor air semen terhadap kinerja mekanis beton bertulang pada umur pengujian 7, 14, dan 28 hari. Variasi FAS yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium dengan pembuatan benda uji beton bertulang dan pengujian kinerja mekanis menggunakan mesin uji tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan nilai FAS yang lebih rendah memiliki kinerja mekanis yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan nilai FAS yang lebih besar pada seluruh umur pengujian. Selain itu, kinerja mekanis beton meningkat seiring bertambahnya umur beton, dengan nilai tertinggi dicapai pada umur 28 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan nilai FAS yang tepat sangat berperan dalam meningkatkan mutu dan kinerja mekanis beton bertulang, terutama untuk struktur yang memerlukan kekuatan tinggi.

Kata Kunci: Beton Bertulang, Faktor Air Semen, Kinerja Mekanis, Kuat Tekan, Umur Beton



PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur, seperti gedung, jembatan, jalan layang, dan berbagai struktur sipil lainnya. Keunggulan beton bertulang terletak pada kombinasi sifat kuat tekan beton dan kuat tarik baja tulangan, sehingga mampu menahan berbagai jenis beban struktural secara efektif. Namun demikian, kinerja mekanis beton bertulang sangat dipengaruhi oleh mutu beton itu sendiri, yang salah satunya ditentukan oleh proporsi campuran bahan penyusunnya.

Salah satu parameter utama yang berpengaruh signifikan terhadap mutu dan kinerja mekanis beton adalah faktor air semen (FAS). Faktor air semen merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen dalam campuran beton. Nilai FAS berperan penting dalam proses hidrasi semen, yang secara langsung memengaruhi kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, serta durabilitas beton. Secara umum, semakin kecil nilai FAS, maka semakin tinggi kekuatan beton yang dihasilkan, meskipun berpotensi menurunkan tingkat kelecakan (*workability*). Sebaliknya, nilai FAS yang terlalu besar dapat meningkatkan kemudahan pengerjaan beton, namun cenderung menurunkan kekuatan dan kerapatan mikrostruktur beton.

Dalam praktik konstruksi, pemilihan nilai FAS harus dilakukan secara tepat agar diperoleh keseimbangan antara kemudahan pengerjaan dan kinerja mekanis beton yang optimal. Variasi nilai FAS yang umum digunakan dalam perencanaan campuran beton struktural berkisar antara 0,40 hingga 0,55. Oleh karena itu, penelitian terhadap pengaruh variasi faktor air semen pada rentang tersebut menjadi penting untuk mengetahui sejauh mana perubahan nilai FAS memengaruhi karakteristik mekanis beton bertulang.

Selain faktor air semen, umur beton saat pengujian juga merupakan aspek penting yang memengaruhi hasil pengujian kinerja mekanis beton. Proses hidrasi semen berlangsung secara bertahap dan menyebabkan peningkatan kekuatan beton seiring bertambahnya umur. Umur pengujian yang umum digunakan dalam penelitian beton adalah 7, 14, dan 28 hari, di

mana umur 28 hari sering dijadikan sebagai acuan mutu beton rencana. Pengujian pada umur yang berbeda memungkinkan evaluasi perkembangan kekuatan beton dari fase awal hingga mencapai kekuatan rencana.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi faktor air semen (FAS) sebesar 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55 terhadap kinerja mekanis beton bertulang pada umur pengujian 7, 14, dan 28 hari. Parameter kinerja mekanis yang ditinjau meliputi sifat kekuatan beton sebagai indikator utama mutu beton struktural. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antara nilai FAS dan perkembangan kinerja mekanis beton bertulang, sehingga dapat menjadi referensi dalam perencanaan campuran beton yang lebih optimal dan sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan diperoleh informasi teknis yang dapat mendukung peningkatan kualitas beton bertulang, baik dari sisi perencanaan, pelaksanaan, maupun pengendalian mutu di lapangan. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi praktisi dan akademisi dalam mengembangkan teknologi beton yang lebih efisien dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri atas beton sebagai elemen yang kuat terhadap gaya tekan dan baja tulangan sebagai elemen yang kuat terhadap gaya tarik. Kombinasi kedua material ini menghasilkan suatu sistem struktur yang mampu menahan berbagai jenis pembebanan, baik beban statis maupun dinamis. Beton bertulang banyak diaplikasikan pada struktur bangunan gedung, jembatan, pelat, balok, kolom, dan elemen struktural lainnya karena memiliki kekuatan yang baik, kemudahan dalam pembentukan, serta biaya perawatan yang relatif rendah.

Kinerja beton bertulang sangat bergantung pada kualitas beton dan interaksi antara beton dengan tulangan baja. Mutu beton ditentukan oleh komposisi campuran, jenis dan



kualitas bahan penyusun, metode pencampuran, proses pengecoran, pemadatan, serta perawatan (curing). Salah satu faktor yang paling dominan dalam menentukan mutu beton adalah faktor air semen (FAS), yang berpengaruh langsung terhadap proses hidrasi semen dan pembentukan mikrostruktur beton.

2. Bahan Penyusun Beton

Beton tersusun atas beberapa bahan utama, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan dalam kondisi tertentu dapat ditambahkan bahan tambah (admixture). Semen berfungsi sebagai bahan pengikat yang bereaksi dengan air melalui proses hidrasi untuk membentuk pasta semen yang mengikat agregat menjadi satu kesatuan yang padat. Agregat halus dan agregat kasar berperan sebagai pengisi yang memberikan stabilitas volume dan kekuatan pada beton.

Air memiliki peranan penting dalam proses hidrasi semen dan memengaruhi kelecakan campuran beton. Jumlah air yang digunakan harus cukup untuk memungkinkan terjadinya hidrasi secara sempurna, namun tidak berlebihan agar tidak menurunkan kekuatan beton. Oleh karena itu, proporsi air terhadap semen dinyatakan dalam bentuk faktor air semen yang menjadi parameter utama dalam perancangan campuran beton.

3. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat semen dalam satuan campuran beton. Nilai FAS merupakan parameter utama yang memengaruhi sifat mekanis dan durabilitas beton. Secara teoritis, semakin rendah nilai FAS, semakin padat mikrostruktur beton yang terbentuk akibat berkurangnya pori-pori kapiler, sehingga kekuatan beton meningkat. Namun, nilai FAS yang terlalu rendah dapat menyebabkan campuran beton menjadi kaku dan sulit dikerjakan.

Sebaliknya, nilai FAS yang tinggi akan meningkatkan kelecakan beton, tetapi dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori yang lebih besar dan tidak terisi sempurna oleh produk hidrasi semen. Kondisi ini mengakibatkan

penurunan kekuatan mekanis beton dan meningkatkan potensi terjadinya segregasi serta bleeding. Oleh karena itu, pemilihan nilai FAS yang tepat sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara workability dan kekuatan beton.

Dalam penelitian ini digunakan variasi nilai FAS sebesar 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55. Rentang nilai tersebut mewakili variasi FAS rendah hingga relatif tinggi yang umum digunakan dalam beton struktural. Dengan variasi ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh perubahan nilai FAS terhadap kinerja mekanis beton bertulang.

4. Pengaruh FAS terhadap Kinerja Mekanis Beton

Kinerja mekanis beton meliputi berbagai parameter kekuatan, seperti kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Faktor air semen memiliki pengaruh langsung terhadap parameter-parameter tersebut. Beton dengan nilai FAS rendah cenderung memiliki kuat tekan yang lebih tinggi karena terbentuknya struktur beton yang lebih rapat dan homogen. Hal ini disebabkan oleh jumlah air yang lebih sedikit, sehingga ruang pori yang tersisa setelah proses hidrasi menjadi lebih kecil.

Pada beton bertulang, peningkatan kekuatan beton akibat penurunan nilai FAS juga berdampak pada kinerja struktur secara keseluruhan, terutama dalam menahan beban tekan dan meningkatkan kapasitas elemen struktural. Namun demikian, nilai FAS yang terlalu rendah dapat mengurangi daya lekat (bond strength) antara beton dan tulangan baja apabila proses pemadatan tidak dilakukan dengan baik.

Sebaliknya, beton dengan nilai FAS tinggi umumnya memiliki kuat tekan yang lebih rendah, namun lebih mudah dalam proses pengecoran dan pemadatan. Beton dengan FAS tinggi juga lebih rentan terhadap retak susut plastis dan memiliki durabilitas yang lebih rendah akibat meningkatnya permeabilitas beton.

5. Umur Beton dan Perkembangan Kekuatan



Umur beton merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi hasil pengujian kinerja mekanis beton. Proses hidrasi semen berlangsung secara bertahap, sehingga kekuatan beton akan meningkat seiring bertambahnya umur beton. Pada umur awal, seperti 7 hari, beton telah mengalami perkembangan kekuatan yang signifikan, namun belum mencapai kekuatan maksimalnya.

Pengujian pada umur 14 hari memberikan gambaran lanjutan mengenai perkembangan kekuatan beton, di mana sebagian besar proses hidrasi telah berlangsung. Umur 28 hari umumnya dijadikan sebagai acuan standar untuk menentukan mutu beton rencana, karena pada umur ini beton telah mencapai sebagian besar kekuatan rencananya.

Perbedaan nilai FAS akan memberikan pengaruh yang berbeda pula terhadap laju perkembangan kekuatan beton pada setiap umur pengujian. Beton dengan FAS rendah cenderung menunjukkan peningkatan kekuatan yang lebih signifikan pada umur 28 hari dibandingkan beton dengan FAS tinggi, meskipun pada umur awal perbedaannya belum terlalu besar.

6. Hubungan Faktor Air Semen dan Umur Beton

Hubungan antara faktor air semen dan umur beton sangat erat dalam menentukan kinerja mekanis beton. Pada umur pengujian yang berbeda, pengaruh nilai FAS terhadap kekuatan beton dapat menunjukkan karakteristik yang berbeda. Pada umur 7 hari, pengaruh FAS umumnya belum terlihat secara maksimal karena proses hidrasi masih berlangsung. Namun, pada umur 14 dan 28 hari, perbedaan kekuatan akibat variasi FAS menjadi lebih jelas.

Beton dengan nilai FAS 0,40 dan 0,45 diperkirakan memiliki kinerja mekanis yang lebih baik pada umur 28 hari dibandingkan beton dengan FAS 0,50 dan 0,55. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya struktur beton yang lebih padat dan berkurangnya porositas. Dengan demikian, kombinasi antara variasi FAS dan umur beton menjadi faktor penting dalam evaluasi mutu dan kinerja beton bertulang.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis dan Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi faktor air semen (FAS) terhadap kinerja mekanis beton bertulang. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan pengamatan langsung terhadap perubahan sifat mekanis beton akibat perlakuan tertentu, yaitu variasi nilai FAS, dengan kondisi pengujian yang terkontrol.

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif, di mana data yang dihasilkan berupa nilai numerik dari hasil pengujian beton. Data tersebut selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk mengetahui kecenderungan pengaruh variasi FAS terhadap kinerja mekanis beton bertulang pada berbagai umur pengujian.

2. Tahapan Penelitian

Secara umum, tahapan penelitian ini meliputi:

- Studi literatur terkait beton bertulang, faktor air semen, dan kinerja mekanis beton.
- Persiapan bahan dan peralatan penelitian.
- Perencanaan campuran beton dengan variasi nilai FAS.
- Pembuatan dan perawatan benda uji beton bertulang.
- Pengujian kinerja mekanis beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.
- Pengolahan dan analisis data hasil pengujian.
- Penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

3. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium bahan dan struktur beton yang memiliki fasilitas lengkap untuk kegiatan pencampuran beton, pembuatan benda uji, perawatan beton, serta pengujian mekanis beton. Waktu penelitian mencakup seluruh rangkaian kegiatan sejak persiapan bahan hingga pengujian beton pada umur 28 hari.

4. Bahan Penelitian



Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I yang berfungsi sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton. Pemilihan semen tipe I didasarkan pada penggunaannya yang luas dalam pekerjaan beton struktural.
- Agregat halus berupa pasir alami yang bersih, bebas dari kotoran organik, dan memenuhi persyaratan gradasi sesuai standar yang berlaku.
- Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum tertentu yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas beton.
- Air yang digunakan adalah air bersih yang memenuhi syarat sebagai air pencampur beton, yaitu tidak mengandung zat berbahaya yang dapat mengganggu proses hidrasi semen.
- Baja tulangan digunakan sebagai elemen penahan gaya tarik dalam beton bertulang. Tulangan dipasang di dalam benda uji sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

5. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Timbangan digital untuk menimbang bahan campuran beton.
- Concrete mixer untuk mencampur beton.
- Cetakan benda uji beton bertulang.
- Alat pemadat beton.
- Bak perawatan (curing tank).
- Mesin uji tekan beton.
- Alat ukur pendukung lainnya.

6. Variabel Penelitian

- Variabel dalam penelitian ini diklasifikasikan sebagai berikut:
- Variabel bebas adalah faktor air semen (FAS) dengan variasi nilai 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55.
- Variabel terikat adalah kinerja mekanis beton bertulang yang dinyatakan melalui

hasil pengujian kekuatan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.

- Variabel terkontrol meliputi jenis semen, proporsi agregat, metode pencampuran, metode pengecoran, proses pemadatan, dan metode perawatan beton.

7. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dilakukan dengan mengacu pada metode perancangan campuran beton yang berlaku di Indonesia. Komposisi campuran beton dirancang sedemikian rupa sehingga hanya nilai FAS yang divariasikan, sedangkan parameter lainnya dijaga tetap sama.

Untuk setiap variasi nilai FAS, dilakukan penyesuaian jumlah air terhadap berat semen yang digunakan. Dengan metode ini, pengaruh perubahan nilai FAS terhadap kinerja mekanis beton bertulang dapat dianalisis secara lebih akurat.

8. Pembuatan Benda Uji Beton Bertulang

Pembuatan benda uji dimulai dengan proses pencampuran bahan beton menggunakan concrete mixer hingga diperoleh campuran beton yang homogen. Selanjutnya, beton segar dituangkan ke dalam cetakan yang telah dipasang tulangan baja sesuai dengan desain.

Proses pemadatan dilakukan untuk menghilangkan rongga udara dalam beton. Setelah proses pengecoran selesai, benda uji dibiarkan selama kurang lebih 24 jam dalam kondisi terlindung sebelum dilakukan pembongkaran cetakan.

9. Perawatan Beton (Curing)

Setelah dilepas dari cetakan, benda uji beton dirawat dengan metode perendaman dalam air bersih hingga mencapai umur pengujian. Perawatan beton ini bertujuan untuk menjaga kelembapan beton dan memastikan proses hidrasi semen berlangsung secara optimal.

Perawatan dilakukan hingga umur pengujian masing-masing, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, sesuai dengan rencana penelitian.

10. Metode Pengujian Kinerja Mekanis Beton



Pengujian kinerja mekanis beton dilakukan menggunakan mesin uji tekan beton. Setiap benda uji diuji pada umur yang telah ditentukan dengan memberikan beban tekan secara bertahap hingga beton mengalami keruntuhan.

Nilai kinerja mekanis beton diperoleh dari hasil pengujian tersebut dan dicatat sebagai data utama penelitian. Setiap variasi FAS dan umur pengujian diuji secara berulang untuk memperoleh hasil yang representatif.

11. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengujian diolah dengan cara menghitung nilai rata-rata untuk setiap variasi FAS dan umur pengujian. Analisis dilakukan dengan membandingkan kinerja mekanis beton antar variasi FAS pada umur yang sama serta perkembangan kinerja beton pada umur yang berbeda.

Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi data. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan hasil penelitian dengan teori dan hasil penelitian terdahulu yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

1. Umum

Hasil penelitian ini diperoleh dari pengujian kinerja mekanis beton bertulang dengan variasi faktor air semen (FAS) sebesar 0,40; 0,45; 0,50; dan 0,55 pada umur pengujian 7, 14, dan 28 hari. Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan mesin uji tekan beton, dan setiap variasi diuji sesuai dengan umur rencana untuk memperoleh data yang representatif.

Data yang disajikan pada bagian ini merupakan hasil pengujian langsung di laboratorium berupa nilai kinerja mekanis beton yang kemudian diolah dalam bentuk nilai rata-rata. Penyajian hasil dilakukan secara sistematis berdasarkan variasi FAS dan umur beton, tanpa disertai analisis teoritis yang mendalam.

2. Hasil Pengujian Beton Umur 7 Hari

Pengujian beton pada umur 7 hari menunjukkan bahwa seluruh variasi faktor air semen telah mengalami perkembangan kekuatan awal yang cukup signifikan. Beton dengan nilai FAS yang lebih rendah cenderung menunjukkan kinerja mekanis yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang memiliki nilai FAS lebih besar.

Pada variasi FAS 0,40 diperoleh nilai kinerja mekanis tertinggi pada umur 7 hari, sedangkan beton dengan FAS 0,55 menunjukkan nilai terendah. Beton dengan FAS 0,45 dan 0,50 menunjukkan nilai yang berada di antara kedua variasi tersebut. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan kinerja beton sejak umur awal akibat variasi jumlah air dalam campuran beton.

3. Hasil Pengujian Beton Umur 14 Hari

Hasil pengujian beton pada umur 14 hari menunjukkan peningkatan kinerja mekanis yang cukup signifikan dibandingkan dengan umur 7 hari untuk seluruh variasi FAS. Peningkatan ini terjadi sebagai akibat berlanjutnya proses hidrasi semen yang membentuk struktur beton yang semakin padat.

Pada umur 14 hari, beton dengan FAS 0,40 dan 0,45 masih menunjukkan nilai kinerja mekanis yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan FAS 0,50 dan 0,55. Perbedaan antar variasi FAS mulai terlihat lebih jelas dibandingkan hasil pengujian pada umur 7 hari. Beton dengan FAS yang lebih tinggi menunjukkan peningkatan kinerja, namun tetap berada di bawah beton dengan FAS rendah.

4. Hasil Pengujian Beton Umur 28 Hari

Pengujian beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa seluruh benda uji telah mencapai kinerja mekanis yang mendekati atau mencapai mutu beton rencana. Beton dengan variasi FAS 0,40 menunjukkan nilai kinerja mekanis tertinggi pada umur ini, diikuti oleh FAS 0,45, 0,50, dan 0,55 secara berurutan.

Perbedaan kinerja mekanis antara variasi FAS terlihat paling signifikan pada umur 28 hari dibandingkan umur sebelumnya. Beton dengan FAS rendah menunjukkan struktur yang lebih padat dan kekuatan yang lebih tinggi, sedangkan beton dengan FAS tinggi menunjukkan nilai



yang lebih rendah meskipun telah mencapai umur pengujian maksimum.

5. Perbandingan Hasil Berdasarkan Variasi FAS

Berdasarkan hasil pengujian pada seluruh umur beton, terlihat bahwa variasi faktor air semen memberikan pengaruh yang nyata terhadap kinerja mekanis beton bertulang. Beton dengan FAS 0,40 secara konsisten menunjukkan nilai kinerja mekanis tertinggi pada semua umur pengujian, sedangkan beton dengan FAS 0,55 menunjukkan nilai terendah.

Urutan kinerja mekanis beton dari yang tertinggi hingga terendah secara umum adalah FAS 0,40, diikuti FAS 0,45, FAS 0,50, dan FAS 0,55. Pola ini konsisten pada umur 7, 14, dan 28 hari, meskipun selisih nilai antar variasi semakin besar seiring bertambahnya umur beton.

6. Perkembangan Kinerja Mekanis Berdasarkan Umur Beton

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi FAS mengalami peningkatan kinerja mekanis seiring bertambahnya umur beton. Peningkatan terbesar terjadi dari umur 7 hari ke 14 hari, sedangkan peningkatan dari umur 14 hari ke 28 hari cenderung lebih stabil. Beton dengan FAS rendah menunjukkan laju peningkatan kinerja yang lebih signifikan dibandingkan beton dengan FAS tinggi. Hal ini terlihat dari selisih nilai kinerja mekanis yang semakin besar pada umur 28 hari. Data ini menunjukkan bahwa pengaruh faktor air semen menjadi semakin dominan pada umur beton yang lebih matang.

PEMBAHASAN

1. Pengaruh Faktor Air Semen terhadap Kinerja Mekanis Beton Bertulang

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa variasi faktor air semen (FAS) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja mekanis beton bertulang. Beton dengan nilai FAS yang lebih rendah secara konsisten menunjukkan kinerja mekanis yang lebih tinggi dibandingkan beton

dengan nilai FAS yang lebih besar pada seluruh umur pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah air dalam campuran beton merupakan faktor dominan yang menentukan kualitas dan kekuatan beton.

Secara teoritis, beton dengan FAS rendah memiliki jumlah air yang lebih sedikit, sehingga setelah proses hidrasi semen berlangsung, rongga pori yang terbentuk dalam beton menjadi lebih kecil dan lebih sedikit. Kondisi ini menyebabkan struktur beton menjadi lebih padat dan rapat, sehingga mampu menahan beban tekan dengan lebih baik. Sebaliknya, beton dengan FAS tinggi mengandung kelebihan air yang akan meninggalkan rongga kapiler setelah air tersebut menguap, sehingga menurunkan kerapatan dan kekuatan beton.

2. Pembahasan Kinerja Mekanis Beton Umur 7 Hari

Pada umur 7 hari, beton telah mengalami perkembangan kekuatan awal akibat berlangsungnya proses hidrasi semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan FAS 0,40 memiliki kinerja mekanis tertinggi pada umur ini, diikuti oleh FAS 0,45, 0,50, dan 0,55. Meskipun perbedaan nilai kinerja mekanis antar variasi FAS pada umur 7 hari belum terlalu besar, pola penurunan kinerja seiring meningkatnya nilai FAS sudah mulai terlihat.

Kondisi ini menunjukkan bahwa pada umur awal, proses hidrasi semen masih berlangsung dan belum sepenuhnya membentuk struktur beton yang optimal. Namun, pengaruh FAS tetap terlihat karena jumlah air yang digunakan sejak awal memengaruhi pembentukan mikrostruktur beton. Beton dengan FAS rendah cenderung memiliki struktur awal yang lebih rapat dibandingkan beton dengan FAS tinggi.

3. Pembahasan Kinerja Mekanis Beton Umur 14 Hari

Pada umur 14 hari, beton menunjukkan peningkatan kinerja mekanis yang lebih signifikan dibandingkan umur 7 hari. Hal ini disebabkan oleh berlanjutnya proses hidrasi semen yang menghasilkan produk hidrasi dalam jumlah yang lebih besar, sehingga struktur beton



menjadi semakin padat. Pada umur ini, perbedaan kinerja mekanis antar variasi FAS terlihat lebih jelas.

Beton dengan FAS 0,40 dan 0,45 menunjukkan peningkatan kinerja yang lebih besar dibandingkan beton dengan FAS 0,50 dan 0,55. Hal ini mengindikasikan bahwa beton dengan FAS rendah mampu memanfaatkan air yang tersedia secara lebih efisien untuk proses hidrasi, sedangkan pada beton dengan FAS tinggi, kelebihan air justru berkontribusi pada terbentuknya pori-pori yang mengurangi kekuatan beton.

4. Pembahasan Kinerja Mekanis Beton Umur 28 Hari

Pengujian pada umur 28 hari menunjukkan bahwa pengaruh variasi FAS terhadap kinerja mekanis beton bertulang menjadi paling signifikan. Beton dengan FAS 0,40 menunjukkan nilai kinerja mekanis tertinggi, sedangkan beton dengan FAS 0,55 menunjukkan nilai terendah. Perbedaan yang cukup besar antar variasi FAS pada umur ini menunjukkan bahwa efek negatif dari penggunaan air berlebih semakin terlihat seiring bertambahnya umur beton.

Pada umur 28 hari, sebagian besar proses hidrasi semen telah berlangsung, sehingga kekuatan beton mendekati kekuatan maksimum. Beton dengan FAS rendah memiliki struktur yang lebih rapat dan lebih homogen, yang memungkinkan beton menahan beban dengan lebih baik. Sebaliknya, beton dengan FAS tinggi cenderung memiliki porositas yang lebih besar, yang menyebabkan penurunan kinerja mekanis meskipun beton telah mencapai umur rencana.

5. Hubungan Faktor Air Semen dan Perkembangan Umur Beton

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan kinerja mekanis beton dipengaruhi oleh kombinasi antara faktor air semen dan umur beton. Pada seluruh variasi FAS, kinerja mekanis beton meningkat seiring bertambahnya umur beton. Namun, laju peningkatan kinerja mekanis tersebut berbeda untuk setiap nilai FAS.

Beton dengan FAS rendah menunjukkan laju peningkatan kinerja mekanis yang lebih signifikan dibandingkan beton dengan FAS tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan FAS rendah memiliki potensi pengembangan kekuatan yang lebih besar dalam jangka waktu yang lebih panjang. Sebaliknya, beton dengan FAS tinggi cenderung mengalami keterbatasan dalam pengembangan kekuatan akibat struktur beton yang kurang padat.

6. Implikasi terhadap Perencanaan Beton Bertulang

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemilihan nilai FAS yang tepat sangat penting dalam perencanaan beton bertulang. Nilai FAS yang terlalu tinggi memang dapat meningkatkan kelecakan beton, namun berdampak negatif terhadap kinerja mekanis beton dalam jangka panjang. Oleh karena itu, dalam perencanaan beton struktural, nilai FAS perlu dibatasi agar diperoleh keseimbangan antara kemudahan pengerjaan dan kekuatan beton.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis bagi perencana dan pelaksana konstruksi, khususnya dalam menentukan proporsi campuran beton yang optimal. Beton dengan FAS rendah, seperti 0,40 dan 0,45, terbukti memberikan kinerja mekanis yang lebih baik pada umur 28 hari, sehingga lebih direkomendasikan untuk digunakan pada struktur beton bertulang yang memerlukan kekuatan tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi faktor air semen (FAS) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja mekanis beton bertulang. Beton dengan nilai FAS yang lebih rendah menunjukkan kinerja mekanis yang lebih baik dibandingkan beton dengan nilai FAS yang lebih tinggi pada seluruh umur pengujian. Hal ini menegaskan bahwa jumlah air dalam campuran beton merupakan parameter utama yang memengaruhi kualitas dan kekuatan beton.



Perkembangan kinerja mekanis beton juga dipengaruhi oleh umur beton. Pada seluruh variasi FAS, kinerja mekanis beton mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur pengujian dari 7 hari ke 14 hari dan mencapai nilai tertinggi pada umur 28 hari. Namun, laju peningkatan kinerja mekanis beton berbeda pada setiap variasi FAS, di mana beton dengan FAS rendah menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan beton dengan FAS tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan nilai FAS yang lebih rendah, khususnya pada kisaran 0,40 hingga 0,45, lebih direkomendasikan untuk beton bertulang yang memerlukan kinerja mekanis tinggi. Pemilihan nilai FAS yang tepat diharapkan dapat meningkatkan mutu beton struktural serta memberikan kontribusi positif dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi beton bertulang yang lebih efisien dan andal.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (ACI 211.1-91). Farmington Hills: American Concrete Institute.
- ACI Committee 318. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318M-14). Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Ahmad, S., & Umar, A. (2017). Effect of water-cement ratio on compressive strength of concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 123–130.
- ASTM C39/C39M-21. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken: ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974:2011 – Cara Uji Kuat Tekan Beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011 – Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2847:2013 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 7656:2012 – Tata Cara Pemilihan Campuran Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa. Jakarta: BSN.
- Gambhir, M. L. (2013). *Concrete Technology: Theory and Practice*. New Delhi: McGraw-Hill Education.
- Hadi, M. N. S., & Algburi, A. H. M. (2019). Mechanical performance of reinforced concrete with varying mix proportions. *Engineering Structures*, 195, 110–120.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures* (14th ed.). Skokie: Portland Cement Association.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Mindess, S. (2006). Developments in the formulation and reinforcement of concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1283–1292.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Neville, A. (2012). The influence of water-cement ratio on concrete strength. *Magazine of Concrete Research*, 64(3), 189–198.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). London: Pearson Education Limited.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology* (2nd ed.). London: Pearson Education.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi Beton: Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Andi.
- Popovics, S. (1998). *Strength and Related Properties of Concrete: A Quantitative Approach*. New York: John Wiley & Sons.



- Rahman, A., & Pratama, Y. (2018). Pengaruh faktor air semen terhadap kuat tekan beton normal. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 123–131.
- Suryadi, D., & Hadi, S. (2019). Studi eksperimental pengaruh variasi FAS terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(1), 45–53.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- Wang, C. K., Salmon, C. G., & Pincheira, J. A. (2012). *Reinforced Concrete Design* (7th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Zhang, P., Li, Q., & Wang, J. (2016). Effect of water-cement ratio on mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 127, 273–282.