

PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN AGREGAT SUNGAI BENDUNGAN MARILALENG BACUKIKI PARE-PARE ALAMI TERHADAP PENINGKATAN KUAT TEKAN BETON

Iin Santika¹, Hamsyah², Muh. Jabir Muhammadiyah³

iinsantika39@gmail.com¹, hamsyah.vertical@gmail.com², jabirdiah@gmail.com³

Universitas Muhammadiyah Parepare

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan karena memiliki kuat tekan tinggi, dan memiliki daya tahan yang baik. Penggunaan semen dalam jumlah besar dapat meningkatkan biaya konstruksi serta memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan semen adalah dengan memanfaatkan limbah fly ash sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dihasilkan serta pengaruh penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen laboratorium dengan benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi fly ash yang digunakan adalah 0%, 1%, 2,5%, dan 5% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fly ash memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton. Pada umur 28 hari, beton normal menghasilkan kuat tekan sebesar 25,05 MPa, sedangkan beton dengan penambahan fly ash 1%, 2,5%, dan 5% masing-masing menghasilkan kuat tekan sebesar 25,19 MPa, 256 MPa, dan 27,03 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 5% fly ash dengan peningkatan sebesar 1,98 MPa atau 7,90% dibandingkan beton normal. Peningkatan kuat tekan tersebut disebabkan oleh reaksi pozzolanik fly ash yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan kuat. Hasil penelitian disimpulkan penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen mampu meningkatkan kuat tekan beton dan berpotensi menjadi alternatif material ramah lingkungan serta mendukung pemanfaatan limbah industri secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Beton, Fly Ash, Substitusi Semen, Kuat Tekan Beton, Limbah Industri.

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used construction materials due to its high compressive strength, ease of application, and good durability. However, the extensive use of cement in concrete production can increase construction costs and contribute to environmental problems. One effort to reduce cement consumption is the utilization of fly ash waste as a partial replacement for cement in concrete mixtures. This study aims to determine the compressive strength of concrete produced and to evaluate the effect of fly ash as a partial cement replacement on concrete compressive strength. The research employed an experimental laboratory method using cylindrical concrete specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. Fly ash was used as a partial cement replacement at proportions of 0%, 1%, 2.5%, and 5% by weight of cement. Compressive strength tests were conducted at the ages of 7 days and 28 days using a Compression Testing Machine (CTM). The results showed that the use of fly ash had a positive effect on the compressive strength of concrete. At the age of 28 days, normal concrete achieved a compressive strength of 25.05 MPa, while concrete containing 1%, 2.5%, and 5% fly ash achieved compressive strengths of 25.19 MPa, 25.76 MPa, and 27.03 MPa, respectively. The highest compressive strength was obtained with 5% fly ash, showing an increase of 1.98 MPa or 7.90% compared to normal concrete. The improvement in compressive strength was attributed to the pozzolanic reaction of fly ash, which produced additional calcium silicate hydrate (C-S-H) compounds, resulting in a denser and stronger concrete structure. Based on the findings, it can be concluded that the use of fly ash as a partial cement replacement can enhance the compressive strength of concrete and has the potential to serve as an environmentally friendly alternative material while supporting sustainable industrial waste

utilization.

Keywords: Concrete, Fly Ash, Cement Replacement, Compressive Strength, Industrial Waste.

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur seperti gedung, jalan, jembatan, bendungan, pelabuhan, dan berbagai bangunan sipil lainnya (Muhammad Idris, Trishnawathy, Hisbullah, 2023). Menurut (Mawikere et al., 2022), penggunaan beton terus meningkat seiring dengan perkembangan pembangunan dan kebutuhan masyarakat terhadap sarana serta prasarana yang memadai. Beton tersusun atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang setelah mengalami proses hidrasi akan membentuk massa padat dengan kemampuan menahan beban tekan yang tinggi (Alfian Hendri Umboh Marthin D. J. Sumajouw, 2024). (Ghozaly et al., 2022) menjelaskan bahwa beton memiliki berbagai keunggulan, antara lain mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi, memiliki kuat tekan yang tinggi, daya tahan yang baik, serta biaya perawatan yang relatif rendah dibandingkan material konstruksi lainnya.

Perkembangan teknologi beton saat ini tidak hanya berfokus pada peningkatan kekuatan dan durabilitas beton, tetapi juga pada upaya mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan semen Portland dalam jumlah besar. Produksi semen diketahui menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang cukup tinggi sehingga diperlukan material alternatif yang dapat menggantikan sebagian penggunaan semen tanpa mengurangi kualitas beton yang dihasilkan (Mawikere et al., 2022). Salah satu material yang banyak diteliti sebagai bahan substitusi sebagian semen adalah fly ash, yaitu limbah hasil pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Muharram et al., 2021). Pemanfaatan fly ash dalam campuran beton tidak hanya mengurangi penggunaan semen tetapi juga membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat penumpukan limbah industri pembangkit listrik.

Menurut (Muharram et al., 2021), fly ash mengandung senyawa silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang bersifat pozzolanik sehingga dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen. Reaksi pozzolanik tersebut menghasilkan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) tambahan yang mampu meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton dan memperbaiki kuat tekan beton. (Rosi Mutiara Sya, Bani Sumarna, 2021) menyatakan bahwa penggunaan fly ash dapat memengaruhi karakteristik beton baik dari segi kekuatan maupun permeabilitas tergantung pada persentase penggunaannya. Selain itu, (Anggara et al., 2022) menjelaskan bahwa pemanfaatan fly ash dalam beton High Volume Fly Ash (HVFA) mampu meningkatkan performa material konstruksi sekaligus mengurangi penggunaan semen Portland.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebagai substitusi sebagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton pada kadar tertentu. (Setiawati et al., n.d.) melaporkan bahwa penggunaan fly ash sebesar 12,5% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal pada umur 28 hari. (Ari Nely Mak'sudah, Yayan Adi Saputro, 2023) menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebesar 15% mampu meningkatkan kuat tekan beton sebesar 11,95% dibandingkan beton normal. (Madanta, 2023) juga menyatakan bahwa penggunaan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan beton apabila digunakan pada proporsi yang tepat.

Penelitian lainnya menunjukkan bahwa peningkatan kadar fly ash yang melebihi batas optimum dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton, terutama pada umur awal. (Rusyandi, 2022) menjelaskan bahwa reaksi pozzolanik fly ash berlangsung lebih lambat dibandingkan proses hidrasi semen sehingga kuat tekan awal beton cenderung lebih rendah. (Rosi Mutiara Sya, Bani Sumarna, 2021) juga menemukan bahwa penggunaan fly ash dalam kadar tinggi tidak selalu menghasilkan peningkatan kuat tekan beton karena dipengaruhi oleh karakteristik campuran dan umur perawatan beton. Oleh karena itu, penentuan kadar optimum fly ash menjadi faktor penting dalam menghasilkan beton dengan mutu yang baik dan sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

Selain penggunaan fly ash, kualitas agregat juga sangat berpengaruh terhadap mutu beton yang dihasilkan. Agregat merupakan komponen terbesar dalam campuran beton dengan proporsi sekitar 60–75% dari volume total beton sehingga sifat fisik agregat akan memengaruhi workability, kekuatan, dan durabilitas beton. Menurut (Muhammad Idris, Trishnawathy, Hisbullah, 2023), karakteristik agregat seperti gradasi, berat jenis, kadar lumpur, dan daya serap air harus memenuhi persyaratan standar agar beton yang dihasilkan memiliki mutu yang baik. Oleh karena itu, pemanfaatan agregat lokal perlu diteliti untuk mengetahui kesesuaiannya sebagai bahan penyusun beton struktural.

Dalam penelitian ini digunakan agregat alami yang berasal dari Sungai Bendungan Marilaleng Bacukiki Parepare sebagai bahan penyusun beton. Penggunaan agregat lokal diharapkan dapat memanfaatkan sumber daya daerah secara optimal serta mengurangi biaya transportasi material. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan fly ash sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi campuran 0%, 1%, 2,5%, dan 5% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton.

Berdasarkan berbagai hasil penelitian sebelumnya, masih terdapat perbedaan hasil mengenai persentase optimum penggunaan fly ash yang mampu menghasilkan kuat tekan maksimum. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Penggunaan Fly Ash dan Agregat Sungai Bendungan Marilaleng Bacukiki Parepare Alami Terhadap Peningkatan Kuat Tekan Beton" untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dihasilkan serta pengaruh penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap peningkatan kuat tekan beton. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemanfaatan limbah fly ash dan agregat lokal sebagai material konstruksi yang lebih ekonomis, berkualitas, dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton dengan menggunakan agregat alami Sungai Bendungan Marilaleng Bacukiki Parepare. Bahan yang digunakan terdiri atas semen Portland Composite Cement (PCC), agregat halus, agregat kasar, fly ash, dan air.

Benda uji yang digunakan berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan variasi fly ash sebesar 0%, 1%, 2,5%, dan 5% dari berat semen. Sebelum proses pencampuran, seluruh material diperiksa karakteristiknya sesuai standar yang berlaku. Pembuatan benda uji meliputi penimbangan bahan, pencampuran, pengecoran, pemadatan, dan perawatan (curing).

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Seluruh prosedur pengujian mengacu pada SNI 1974:2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat Fly ash. Hasil rekapitulasi masing-masing pengujian ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Agregat Kasar

Tabel 1 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar (Kerikil)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,9%	0,78%	0,81%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	29,2%	31,8%	30,5%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	0,85%	0,90%	0,87%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,68	1,68	1,68	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,74	1,74	1,74	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	2,83%	4,34%	3,58%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,56	2,90	2,73	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,38	2,58	2,48	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,45	2,69	2,57	Memenuhi
7	Modulus kehakusan	6,0 - 8,0	7,40	6,95	7,18	Memenuhi

Agregat Halus

Tabel 2 Rekapitulasi pengujian agregat halus (Pasir Sungai)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	1,6%	2,4%	2,00%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 2	No. 2	No. 2	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4,17%	4,17%	4,17%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,42	1,43	1,43	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,50	1,51	1,50	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,77%	2,10%	1,94%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	3,05	1,75	2,40	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,89	1,69	2,29	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,94	1,72	2,33	Memenuhi
7	Modulus kehakusan	1,50 - 3,80	3,61	3,58	3,60	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik material yang telah dilakukan, seluruh bahan penyusun beton yang digunakan, meliputi semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan fly ash, telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai-nilai yang diperoleh masih berada dalam batas yang diizinkan, sehingga material tersebut layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton. Dengan terpenuhinya persyaratan SNI, maka campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini dapat menghasilkan mutu beton yang sesuai dengan standar dan aman untuk diaplikasikan pada pekerjaan konstruksi.

B. Pengujian Kuat Tekan

Beton Normal (0% Fly Ash)

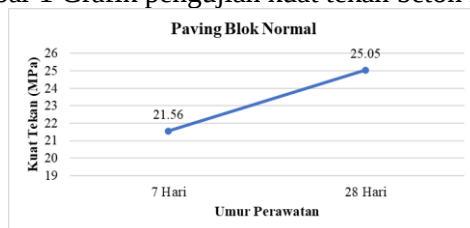
Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton normal yang didapat pada pengujian 7 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 3 Rekap hasil kuat tekan beton normal

No	Umur	Berat (kg)	Beban (KN)	Kuat tekan f_c (Mpa)
1	7 Hari	1,97	47,5	21,56
2	28 Hari	2,00	42,5	25,05

Tabel di atas menunjukkan bahwa beton semakin kuat seiring bertambahnya waktu, yang merupakan karakteristik umum dari beton yang sedang mengeras dan menguat seiring waktu, memenuhi kuat tekan yang diinginkan dengan grafik sebagai berikut:

Gambar 1 Grafik pengujian kuat tekan beton normal



Pada umur 7 hari, sampel beton normal memiliki berat sebesar 11,97 kg dan mampu menahan beban maksimum sebesar 247,5 kN sehingga diperoleh kuat tekan sebesar 21,56 MPa. Selanjutnya, pada umur 28 hari, berat sampel sedikit meningkat menjadi 12,00 kg dengan kemampuan menahan beban yang jauh lebih besar, yaitu 442,5 kN, sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 25,05 MPa. Dari umur 7 hari ke 28 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 3,49 MPa, yaitu dari 21,56 MPa menjadi 25,05 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen terus berlangsung secara optimal sehingga membentuk struktur beton yang semakin padat dan kuat seiring bertambahnya umur beton.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa beton normal mengalami perkembangan kekuatan yang baik hingga umur 28 hari. Kenaikan kuat tekan yang terjadi menunjukkan bahwa proses pengerasan beton berlangsung dengan baik dan beton telah mencapai kuat tekan yang diharapkan pada umur rencana 28 hari. Selain itu, hasil pengujian memperlihatkan tren peningkatan kuat tekan yang konsisten seiring bertambahnya umur beton, yang merupakan karakteristik umum beton normal dalam proses pematangan dan pengerasan.

Variasi 1% Fly Ash

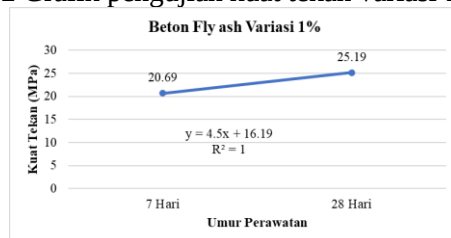
Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton 1% fly ash yang didapat pada pengujian 7 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4 Rekap hasil kuat tekan beton variasi 1% fly ash

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12,250	237,5	20,69
2	28 Hari	12,140	445,00	25,19

Dari data ini, terlihat bahwa kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton, menunjukkan proses pengerasan dan penguatan yang berlangsung dengan baik, memenuhi kuat tekan yang diinginkan dengan grafik sebagai berikut:

Gambar 2 Grafik pengujian kuat tekan variasi 1% fly ash



Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi 1% fly ash, diperoleh bahwa pada umur 7 hari beton memiliki berat sebesar 12,250 kg dan mampu menahan beban

maksimum sebesar 237,5 kN sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 20,69 MPa. Selanjutnya, pada umur 28 hari berat beton sedikit menurun menjadi 12,140 kg, namun kemampuan menahan beban meningkat secara signifikan menjadi 445 kN sehingga kuat tekan yang diperoleh mencapai 25,19 MPa. Dari umur 7 hari ke 28 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 4,50 MPa, yaitu dari 20,69 MPa menjadi 25,19 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan reaksi pozzolanik fly ash terus berlangsung sehingga membentuk struktur beton yang lebih padat dan meningkatkan kekuatan beton seiring bertambahnya umur. Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan fly ash sebesar 1% mampu memberikan perkembangan kuat tekan yang baik hingga umur 28 hari. Grafik hasil pengujian juga menunjukkan tren peningkatan kuat tekan yang konsisten dari umur 7 hari ke 28 hari, yang menandakan bahwa proses pengerasan beton berlangsung secara optimal dan beton telah mencapai kuat tekan yang diharapkan pada umur rencana.

Variasi 2,5% Fly Ash

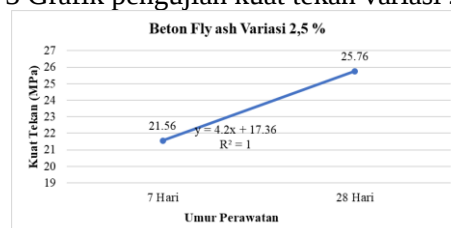
Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton variasi 10% fly ash yang didapat pada pengujian 7 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 5 Rekap hasil kuat tekan beton variasi 2,5% fly ash

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'_c (MPa)
1	7 Hari	11.965	247,5	21,56
2	28 Hari	11.855	455	25,6

Tabel di atas menunjukkan bahwa beton semakin kuat seiring bertambahnya umur, tidak memenuhi kuat tekan yang diinginkan dengan grafik sebagai berikut:

Gambar 3 Grafik pengujian kuat tekan variasi 2,5 fly ash



Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi 2,5% fly ash, diperoleh bahwa pada umur 7 hari beton memiliki berat sebesar 11,965 kg dan mampu menahan beban maksimum sebesar 247,5 kN sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 21,56 MPa. Selanjutnya, pada umur 28 hari berat beton sedikit menurun menjadi 11,855 kg, namun kemampuan menahan beban meningkat menjadi 455 kN sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 256 MPa. Dari umur 7 hari ke 28 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 4,20 MPa, yaitu dari 21,56 MPa menjadi 256 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan reaksi pozzolanik fly ash masih berlangsung secara berkelanjutan sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan mampu menahan beban yang lebih besar. Meskipun terjadi peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan, nilai kuat tekan yang diperoleh pada umur 28 hari belum memenuhi kuat tekan rencana yang diinginkan. Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan fly ash sebesar 2,5% tetap memberikan kontribusi terhadap perkembangan kekuatan beton seiring bertambahnya umur beton. Grafik hasil pengujian juga memperlihatkan tren peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke 28 hari, yang menandakan bahwa proses pengerasan dan pematangan beton berlangsung dengan baik.

Variasi 5% Fly Ash

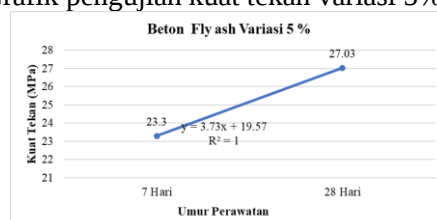
Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan rata-rata pada beton variasi 10% Biji Enau yang didapat pada pengujian 7 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 6 Rekap hasil kuat tekan beton variasi 5 % fly ash

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'_c (MPa)
1	7 Hari	11,85	267,5	23,30
2	28 Hari	12,13	477,5	27,03

Data di atas menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya umur pengujian, yang dapat diinterpretasikan sebagai indikasi bahwa variasi 5% fly ash memiliki pengaruh yang negatif terhadap sifat mekanis beton dalam hal kuat tekan pada umur yang berbeda-beda tersebut, tidak memenuhi kuat tekan yang diinginkan dengan grafik sebagai berikut:

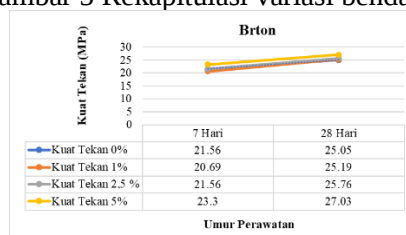
Gambar 4 Grafik pengujian kuat tekan variasi 5% fly ash



Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi 5% fly ash, diperoleh bahwa pada umur 7 hari beton memiliki berat rata-rata sebesar 11,85 kg dan mampu menahan beban maksimum sebesar 267,5 kN sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 23,30 MPa. Selanjutnya, pada umur 28 hari berat rata-rata beton meningkat menjadi 12,13 kg dengan kemampuan menahan beban maksimum yang lebih besar, yaitu 477,5 kN, sehingga menghasilkan kuat tekan sebesar 27,03 MPa. Dari umur 7 hari ke 28 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 3,73 MPa, yaitu dari 23,30 MPa menjadi 27,03 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen dan reaksi pozzolanik fly ash berlangsung dengan baik sehingga membentuk struktur beton yang semakin padat dan kuat seiring bertambahnya umur beton. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, penggunaan fly ash sebesar 5% mampu meningkatkan perkembangan kuat tekan beton hingga mencapai nilai yang lebih tinggi pada umur 28 hari. Grafik hasil pengujian juga menunjukkan tren peningkatan kuat tekan yang konsisten dari umur 7 hari ke 28 hari, yang menandakan bahwa proses pengerasan beton berlangsung secara optimal dan memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kualitas beton.

Berikut adalah grafik hubungan persentase campuran Biji Enau terhadap kuat tekan beton :

Gambar 5 Rekapitulasi variasi benda uji



Studi ini menyajikan hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi persentase fly ash sebesar 0%, 1%, 2,5%, dan 5% pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa seluruh variasi beton mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur perawatan. Pada umur 7 hari, beton normal (0% fly ash) memiliki kuat tekan sebesar 21,56 MPa, beton dengan 1% fly ash sebesar 20,69 MPa, beton dengan 2,5% fly ash sebesar 21,56 MPa, dan beton dengan 5% fly ash sebesar 23,30 MPa. Selanjutnya, pada umur 28 hari terjadi peningkatan kuat tekan pada seluruh variasi, yaitu menjadi 25,05 MPa untuk beton normal, 25,19 MPa untuk beton dengan 1% fly ash , 25,76 MPa untuk beton dengan 2,5% fly ash , dan 27,03 MPa untuk beton dengan 5% fly ash . Grafik menunjukkan bahwa variasi 5% fly ash menghasilkan kuat tekan tertinggi baik pada umur 7 hari maupun 28 hari dibandingkan variasi lainnya.

Peningkatan kuat tekan beton akibat penambahan fly ash dapat dijelaskan oleh sifat pozzolanik yang dimiliki fly ash . Fly ash mengandung silika reaktif yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan. Senyawa ini berperan penting dalam meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton, mengurangi pori-pori, serta memperbaiki ikatan antara pasta semen dan agregat. Akibatnya, beton menjadi lebih padat dan mampu menahan beban yang lebih besar. Selain itu, ukuran partikel fly ash yang sangat halus juga memberikan efek pengisian (filler effect) yang membantu mengisi rongga-rongga kecil dalam campuran beton sehingga meningkatkan kualitas beton secara keseluruhan.

Berdasarkan grafik, penggunaan fly ash hingga 5% memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton. Variasi 5% fly ash menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 27,03 MPa pada umur 28 hari, lebih tinggi dibandingkan beton normal yang hanya mencapai 25,05 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fly ash dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kinerja beton tanpa mengurangi kekuatannya. Dengan demikian, pemanfaatan fly ash tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan mutu beton, tetapi juga mendukung upaya pemanfaatan limbah industri secara lebih berkelanjutan. Namun demikian, penelitian lebih lanjut dengan variasi kadar fly ash yang lebih besar masih diperlukan untuk menentukan kadar optimum yang dapat menghasilkan kuat tekan maksimum tanpa menurunkan kualitas beton.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton normal sebesar 25,05 MPa meningkat menjadi 25,19 MPa, 25,76 MPa, dan 27,03 MPa pada variasi fly ash 1%, 2,5%, dan 5%. Hasil terbaik diperoleh pada variasi 5% fly ash dengan kuat tekan tertinggi sebesar 27,03 MPa.

Penggunaan fly ash memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan beton karena sifat pozzolaniknya yang membantu membentuk senyawa pengikat tambahan dan membuat struktur beton lebih padat. Variasi 5% fly ash direkomendasikan sebagai kadar optimum karena mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga 7,90% dibandingkan beton normal serta melampaui mutu beton rencana 25 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian Hendri Umboh Marthin D. J. Sumajouw, R. S. W. (2024). Pengaruh pemanfaatan abu terbang (fly ash) dari pltu ii sulawesi utara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton. 2(7), 352–358.
- Anggara, F., Sutresno, V., Sujoto, H., Christ, I. W., Herman, W., Astuti, W., Sumardi, S., Satria, I., Putra, R., Putra, A. D., Tri, H., & Murti, B. (2022). Pengaruh penambahan fly ash PLTU Cirebon dan temperatur pengeringan terhadap kuat tekan material konstruksi beton high

- volume fly ash (HFVA). 17, 172–178. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.77825>
- Ari Nely Mak'sudah, Yayan Adi Saputro, D. R. (2023). STABILISASI CAMPURAN FLY ASH, BOTTOM ASH, DAN SEMEN TERHADAP PENGARUH NILAI KUAT TEKAN BEBAS (UNCONFINED COMPRESSION TEST) Ari. XI(1), 1–8.
- Ghozaly, I. A., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2022). Studi Eksperimental Penggunaan Fly Ash dan Difa Soil Stabilizer pada Tanah Lempung untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Dasar. 01(11), 56–66.
- Madanta, U. N. (2023). Analisa Pengaruh Limbah Fly Ash Dan Battom Ash (Faba) Sebagai Pengganti Semen Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. 8, 21–26. <https://doi.org/10.35134/jcivil.v8i2.60>
- Mawikere, Y. K., Wallah, S. E., & Manalip, H. (2022). Pengaruh Penggunaan Bahan Tambahan Geopolimer Berbasis Fly Ash Sebagai Substitusi Parsial Bahan Pengikat Semen Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton. 20(April).
- Muhammad Idris, Trishnawathy, Hisbullah, I. Y. (2023). Kuat Tekan Beton dengan penambahan Fly Ash Batu Bara Sebagai Pengganti Sebagian Semen.
- Muharram, M. F., Walujodjati, E., & Ash, F. (2021). Pengaruh Penggunaan FLY ASH sebagai Substitusi Semen dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. 410–417.
- Rosi Mutiara Sya, Bani Sumarna, E. W. (2021). Pengaruh Fly Ash Terhadap Permeabilitas Beton.
- Rusyandi, K. (2022). Perancangan Beton Self Compacting Concrate.
- Setiawati, M., Imaduddin, M., Sipil, P. T., Palembang, U. M., & Belakang, L. (n.d.). Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton. 295–302.