

PENGARUH HUJAN ASAM TERHADAP KUAT TEKAN dan POLA RETAK BETON MUTU TINGGI YANG MENGGUNAKAN FLY ASH SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR

Amar Ma'ruf Hamri¹, Erniati Bachtiar^{2*}, Popy Indrayani³, Arbain Tata⁴

¹Mahasiswa Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Fajar

^{2*}Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Fajar

³Dosen Program Studi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Fajar

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun

amarmarufhamri@gmail.com, [*erni@unifa.ac.id](mailto:erni@unifa.ac.id), poppyindrayani@hotmail.co.jp

arbain.tata@unkhair.ac.id

Abstrak: Pembangunan konstruksi beton yang berada di lokasi yang memiliki air hujan yang mengandung asam dengan jumlah pH di bawah normal ($pH \pm 5,6$) membutuhkan material penyusun beton mutu tinggi untuk meningkatkan kinerja beton. Fly ash di PLTU Bosowa Energi Jeneponto menumpuk dari tahun ke tahun. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis perbandingan kuat tekan dan pola retak pada beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai pengganti pasir dengan perendaman air tawar dengan air hujan asam pada umur 28 hari serta menganalisis pola retak hubungan variasi fly ash pada beton mutu tinggi yang direndam di air hujan asam pada umur 28 hari. Material penyusun pada penelitian ini menggunakan variasi fly ash (0%, 10%, 20% dan 30%) sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash (0%, 10%, 20%, dan 30%) sebagai pengganti pasir kuat tekan yang dihasilkan pada perendaman air tawar lebih besar dari pada perendaman air hujan asam pada umur 28 hari. Hujan asam dapat menurunkan kuat tekan pada beton mutu tinggi substitusi fly ash sebagai pasir namun penurunan tersebut masih kecil sebesar kurang lebih 5%. Pola retak yang baik menurut nilai kuat tekan tertinggi adalah pola retak bentuk kehancuran kerucut dan belah yang menggunakan fly ash 30% sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi.

Kata kunci: Beton Mutu Tinggi, Fly Ash, Kuat Tekan, Hujan Asam.

I. PENDAHULUAN

Munculnya gas rumah kaca dimulai pada abad ke-18 ketika manusia menemukan teknologi industri yang menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batu bara untuk menghasilkan energi, meninggalkan gas rumah kaca kemudian semakin banyak terakumulasi di atmosfer melampaui batas kemampuan tumbuhan dan laut untuk menyerapnya [1].

Hujan asam dapat disebabkan oleh proses alam seperti emisi gas vulkanik dan aktivitas manusia. Pada umumnya, hujan asam disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industri, pembangkit listrik, mobil, dan pabrik pengolahan pupuk pertanian (terutama ammonia). Pencemaran udara sebagai hasil dari kegiatan industri seperti karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Nitrit (NO₂⁻), Ammonia (NH₃) SO_x dan klorida (Cl⁻). Udara yang tercemar ini menjadi menumpuk di atmosfer. Akumulasinya adalah bereaksi dengan uap air (H₂O) menghasilkan berbagai asam yang menyebabkan uap air menjadi asam. seperti SO_x dan NO_x di atmosfer bereaksi dengan uap air dalam asam sulfat (H₂SO₄) dan asam nitrat (HNO₃) yang merugikan ekosistem di bumi. Menurut penelitian Sudalman dan Purwanto (2012) Uap air

yang terkontaminasi membentuk awan di atmosfer akan mengalami kejenuhan sehingga menjatuhkan kandungan airnya sebagai hujan [2].

Beberapa lokasi di Indonesia memiliki air hujan yang mengandung asam dengan jumlah pH di bawah normal ($\text{pH} \pm 5,6$), rata-rata nilai pH air hujan pada periode 2008-2015 di daerah Maros, Bandung, Jakarta, Serpong dan Kototabang lebih rendah dari nilai pH normal [3]. Akibat dari hujan asam dapat mempercepat korosi pada beton dan mempengaruhi kekuatan dari beton itu sendiri. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai beton pada daerah agresif, bahwa kinerja beton dan kualitas suatu beton dapat menurun hal tersebut dipengaruhi oleh asam atau lingkungan yang mengandung asam [4], selain itu kuat tekan yang dihasilkan oleh perubahan air pada pH 5 dan pH 6 mengalami penurunan kuat tekan [5]. Selain permasalahan hujan asam, hasil dari pembakaran batu bara memicu permasalahan lingkungan dimana *fly ash* merupakan limbah yang dapat mencemari udara dan tanah. *Fly ash* terutama dihasilkan dari limbah pembangkit listrik tenaga batu bara. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah material lokal yang berasal dari PLTU di Sulawesi Selatan yaitu PT. Bosowa Energi Kabupaten Jeneponto. Menurut laporan ketenagakerjaan PT. Produksi batu bara Bosowa Energi Jeneponto diperkirakan sekitar satu juta ton per tahun, Pembakaran batubara menghasilkan sekitar 5% polutan padat berupa abu (*fly ash* dan *slag*), sekitar 10-20% merupakan slag dan sekitar 80-90% merupakan fly ash dari total produksi [6].

Beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*) merupakan metode untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi dengan perlakuan khusus. Biasanya beton mutu tinggi diperlukan pada bahan bangunan yaitu bangunan Gedung pencakar langit, bangunan jembatan yang membutuhkan beton dengan kuat Tekan lebih dari 40 MPa [7]. Penggunaan beton mutu tinggi, dimensi strukturnya bisa direduksi sehingga struktur menjadi lebih ringan. Dengan demikian beban yang diterima pondasi pada umumnya semakin kecil juga dan perspektif ekonomi akan lebih menguntungkan. Beton mutu tinggi menggunakan material alam yang cukup banyak sehingga perlu adanya inovasi baru untuk mengganti material penyusun yang ramah lingkungan, seperti *fly ash* sebagai pengganti agregat halus.

Penambahan *fly ash* pada campuran beton mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan, Pada variasi *fly ash* 0% memiliki kuat tekan tertinggi baik pada saat campuran serbuk kaca 5% dan 10%. Variasi *fly ash* 15% adalah kondisi optimum campuran beton dengan kuat tekan beton yaitu 43,31 Mpa, Kedua limbah ini dapat dikombinasikan dan dimanfaatkan dengan baik dan digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi [8]. Penelitian sebelumnya mengenai beton mutu tinggi bahwa analisis menggunakan regresi polinomial, diperoleh ukuran terbaik agregat kasar terbaik dalam pembuatan beton mutu tinggi adalah 15 mm dengan faktor air semen 0.24 dan pemanfaatan limbah las karbit sebesar 10%, benda uji beton mutu tinggi yang menggunakan 5% limbah las karbit yang memperoleh kuat tekan di bawah 40 MPa sehingga semua campuran selain 5% limbah las karbit dapat dikategorikan beton dengan mutu yang tinggi [9]. Penelitian sebelumnya mengenai substitusi *fly ash* sebagai agregat halus menunjukkan bahwa memperpanjang waktu pengawetan, bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan karbonasi, kedalaman karbonasi berkorelasi positif dengan rasio w/c, ketahanan karbonasi meningkat seiring bertambahnya waktu setelah 28 hari perendaman, kekompakan CFA (Cemen Fly Ash) ditingkatkan karena efek pozzolanic dari *fly ash* dan ketahanan karbonasinya meningkat dibandingkan dengan beton biasa [10]. Penelitian sebelumnya mengenai beton pada umur 28 terjadi kenaikan nilai kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya persentase kadar *fly ash* 30%, 35%, dan 40%, kemudian terjadi penurunan nilai kuat tekan beton pada persentase 45% dan 50% [11]. Tingkat pengurangan kekuatan memiliki hubungan linier biner dengan Tingkat kehilangan CaO dan rasio SO_3 isi dengan kandungan CaO dalam pasta semen yang mengeras. Jadi kerusakan asam Hujan pada benda uji beton disebabkan oleh pelarutan H^+ dan SO_4^{2-} ekspansi [12]. bahwa beton normal (BN) mengalami penurunan kuat tekan. yang bervariasi sebesar 24,79% setelah 1 bulan dan sebesar 30,58% setelah 2 bulan beton normal pada umur 28 hari, saat mengolah air asam pada beton fly ash (BFA) juga mengalami penurunan kuat tekan yaitu H. 1 bulan 2,61% dan 2 bulan 26,80%

beton fly ash (BFA) pada umur 28 hari, rasio reduksi pada beton fly ash lebih baik dari pada beton bebas fly ash. Dari apa yang terlihat bahwa beton fly ash (BFA) lebih tahan terhadap serangan Asam sulfat dibandingkan dengan beton normal (BN) [13]. Kuat tekan beton terhadap air asam setelah pengawetan nilai pH 4 dari kuat tekan dan penurunan proporsi beton untuk beton setelah impregnasi adalah 1,4% dan persentase penurunan 28 + 10 hari, 28 + 15 hari adalah 0,4% dan nilai pH minimum yang dapat digunakan sebagai beton pasca-perendaman dalam air asam dengan perendaman normal dalam air, PDAM memiliki pH 6 [14].

Penelitian sebelumnya melakukan uji X-Ray Fluorescence (XRF) pada fly ash PLTU PT. Bosowa Energi dan menunjukkan bahwa empat komposisi kimia fly ash tertinggi adalah silikat (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kapur (CaO) [15]. Menurut ASTM C 618-96 [16], fly ash PLTU Energi Bosowa merupakan jenis kelas C dengan kandungan CaO sebesar 23,52% dalam setiap kasusnya. Fly ash PLTU PT. Bosowa Energi memiliki sifat pozzolan. Hal ini disebabkan tingginya kandungan CaO pada fly ash PLTU PT. Bosowa Energi.

Penelitian ini membahas pengaruh hujan asam terhadap kuat tekan dan pola retak mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai substitusi pasir. Untuk menganalisis perbandingan kuat tekan dan pola retak pada beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai pengganti pasir dengan perendaman air tawar dengan air hujan asam pada umur 28 hari serta menganalisis pola retak hubungan variasi fly ash pada beton mutu tinggi yang direndam di air hujan asam pada umur 28 hari.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental, sehingga perlu sistematika yang jelas dan teratur agar dapat memperoleh hasil yang diharapkan serta dapat dipertanggungjawabkan. Variabel yang harus diperhatikan dalam penelitian ini yaitu pada saat proses perencanaan komposisi *mix design* antara semen, agregat kasar, agregat halus, zat *admixture* dan air. Proses pemberian Abu Terbang (*Fly Ash*) pada campuran beton mutu tinggi. Hal lain yang harus diperhatikan dalam penelitian ini adalah proses *Curing* atau perawatan, karena beberapa benda uji akan direndam dengan simulasi hujan asam. Adapun langkah kerja dari penelitian ini yaitu:

1. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan dipersiapkan agar penelitian ini berjalan dengan lancar dan sesuai dengan yang direncanakan. Pada tahap ini juga cetakan benda uji dibuat.
2. Dilakukan uji karakteristik bahan penyusun beton yaitu agregat halus dan agregat kasar. Dari uji karakteristik agregat halus dan agregat kasar, semua hasil karakteristik telah memenuhi syarat spesifikasi berdasarkan standar SNI sebagai bahan penyusun beton.
3. Pada proses ini dilakukan pengujian sifat kimia sesuai dengan persyaratan SNI 2460-2014 [17]
4. Proses perencanaan *Mix Design*, pada proses ini dilakukan perencanaan pembuatan beton segar sesuai dengan persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6468-2000 [18] tentang metode *Mix Design* beton.
5. Pada tahap pembuatan benda uji proses pencampuran beton segar dilakukan sesuai hasil perhitungan dari perencanaan *Mix Design*, berikut beberapa hal dilakukan pada tahap ini adalah :
 - 1) Proses pencampuran antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air
 - 2) Proses pemberian zat *admixture/ Superplastizesier*
 - 3) Proses pengujian *Slump Test*
 - 4) Proses pemasukan beton segar ke cetakan
 - 5) Proses pelepasan benda uji dalam cetakan setelah berumur 1 hari (24 jam)
6. *Curing* atau perawatan pada beton, melakukan *Curing* atau perawatan pada air tawar dan air simulasi hujan asam. Untuk menghasilkan hujan asam, peneliti mensiasatinya dengan mencampurkan cairan sulfat (H_2SO_4) dengan cairan Nitrat (HNO_3) hingga mencapai pH 4. proses perawatan pada air simulasi hujan asam dilakukan untuk mengetahui infiltrasi asam

yang masuk kedalam beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti agregat halus, sedangkan pada proses perawatan pada air tawar dimaksudkan sebagai benda uji kontrol dengan beton yang direndam di air hujan asam. Perawatan beton ini dilakukan pada umur beton 28, 56 dan 91 hari. Namun pada benda uji yang akan direndam dalam hujan asam terlebih dahulu di rawat dalam air tawar selama 7 hari kemudian direndam dalam hujan asam.

7. Tahap pengujian benda uji. Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan, analisa pola retak, porositas dan pengujian infiltrasi asam pada beton. Pengujian kuat tekan, pengujian pola retak dan porositas di uji pada umur 28, 56 dan 91 hari dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar.
8. Tahap analisis dan pembahasan, pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang telah diuji, melakukan perhitungan dan analisis data hasil pengujian kuat tekan, pola retak, porositas dan infiltrasi asam pada beton.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1. Mix Design Beton

Rancangan Campuran beton dibuat dengan mengacu pada SNI. Mutu yang direncanakan yaitu $f'c$ 42 MPa. Komposisi campuran beton terdiri dari tiga yaitu komposisi campuran beton yang menggunakan *fly ash* 0% sebagai pengganti pasir dapat dilihat pada Tabel I, komposisi campuran beton yang menggunakan *fly ash* 10% sebagai pengganti pasir dapat dilihat pada Tabel II, komposisi campuran beton yang menggunakan *fly ash* 20% sebagai pengganti pasir dapat dilihat pada Tabel III, komposisi campuran beton yang menggunakan *fly ash* 30% sebagai pengganti pasir dapat dilihat pada Tabel IV.

Tabel I. Campuran Beton Yang Menggunakan *Fly Ash* 0%

Bahan Beton	Berat Bahan campuran 1m ² (kg/m ³)	Berat untuk 1 sampel Silinder 10x20 cm (kg)
Air	225	0,4243
Semen	608,108	1,146
Pasir	539,662	1,017
Kerikil	1002,229	1,889
<i>Viscocrete</i> 3115 N	18,243	0,034
Fly ash	0,000	0,000

Tabel I merupakan jumlah bahan campuran yang menggunakan 0% *fly ash* sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi untuk 1m³ dan 1 silender diameter 10 cm, tinggi 20 cm dengan perbandingan semen : pasir: kerikil: air : viscocrete: fly ash adalah 1 : 0.887: 1.648: 0.370 : 0.003: 0

Tabel II. Campuran Beton Yang Menggunakan *Fly Ash* 10%

Bahan Beton	Berat Bahan campuran 1m ² (kg/m ³)	Berat untuk 1 sampel Silinder 10x20 cm (kg)
Air	225	0,4243
Semen	608,108	1,146
Pasir	485,695	0,916
Kerikil	1002,229	1,889
<i>Fly ash</i>	53,453	0,101
Zat Adiktif	18,243	0,034

Tabel II merupakan jumlah bahan campuran yang menggunakan 10% *fly ash* sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi untuk 1m³ dan 1 silender diameter 10 cm, tinggi 20 cm dengan perbandingan semen : pasir: kerikil: air : viscocrete: fly ash adalah 1: 0,799 : 1,648 0,370: 0,003: 0,088.

Tabel III merupakan jumlah bahan campuran yang menggunakan 20% *fly ash* sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi untuk 1m³ dan 1 silender diameter 10 cm, tinggi 20

cm dengan perbandingan semen : pasir: kerikil: air : viscocrete: fly ash adalah 1: 0.710 : 1.648 : 0.370: 0.003: 0.176.

Tabel III. Campuran Beton Yang Menggunakan *Fly Ash* 20%

Bahan Beton	Berat Bahan campuran 1m ² (kg/m ³)	Berat untuk 1 sampel Silinder 10x20 cm (kg)
Air	225	0,4243
Semen	608,108	1,146
Pasir	431,729	0,814
Kerikil	1002,229	1,889
<i>Fly ash</i>	106,906	0,202
Zat Adiktif	18,243	0,034

Tabel IV campuran Beton Yang Menggunakan *Fly Ash* 30%

Bahan Beton	Berat Bahan campuran 1m ² (kg/m ³)	Berat untuk 1 sampel Silinder 10x20 cm (kg)
Air	225	0,4243
Semen	608,108	1,146
Pasir	377,763	0,712
Kerikil	1002,229	1,889
<i>Fly ash</i>	160,360	0,302
Zat Adiktif	18,243	0,034

Tabel IV merupakan jumlah bahan campuran yang menggunakan 30% *fly ash* sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi untuk 1m³ dan 1 silender diameter 10 cm, tinggi 20 cm dengan perbandingan semen : pasir: kerikil: air : viscocrete: fly ash adalah : 1 : 0,621: 1,648: 0,370: 0,003: 0,264.

III.2. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan dua jenis benda uji yaitu kuat tekan benda uji yang direndam di air tawar sebagai benda uji kontrol dan kuat tekan benda uji yang direndam di air hujan asam. Benda uji yang di gunakan pada Pengujian kuat tekan berbentuk silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang berjumlah 3 dari setiap variasi fly ash. benda uji diletakkan pada alat UTM dengan posisi vertikal kemudian diberi pembebanan hingga jarum berwarna turun. Benda uji yang di rendam di air tawar dan hujan asam diuji pada umur beton 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata benda uji yang direndam di air tawar (N) dengan benda uji yang di rendam di air hujan asam (AHA) dapat di lihat pada Tabel V.

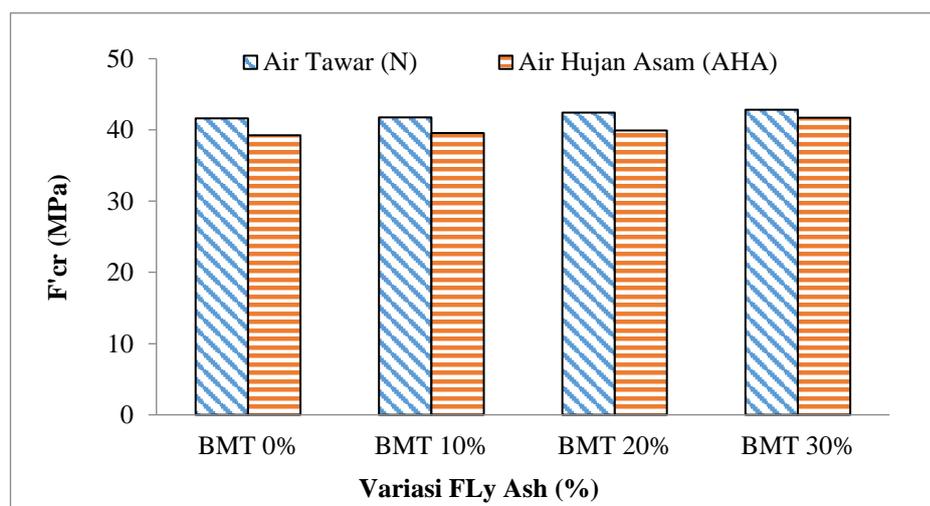
Pada Tabel V menunjukkan bahwa pada perendaman air tawar 28 hari dengan variasi *fly ash* 0%, 10%, 20%, dan 30% sebagai pengganti pasir pada beton mutu tinggi kuat tekan rata-rata memenuhi persyaratan beton mutu tinggi karena melebihi 41,4 MPa, namun pada kuat tekan variasi 0% *fly ash* dan 10% *fly ash* pada umur 28 hari tidak mencapai kuat tekan rencana, dengan persentase penurunan nilai kuat tekan rencana 28 hari ke kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 0% umur 28 hari sebesar 0,91% dan untuk kuat tekan rencana 28 hari ke kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 10% umur 28 hari sebesar 0,61%. Sedangkan pada kuat tekan variasi *fly ash* 20% dan 30% pada umur 28 hari melebihi kuat tekan rencana, dengan persentase kenaikan nilai kuat tekan rencana 28 hari ke kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 20% umur 28 hari sebesar 1,00% dan untuk kuat tekan rencana 28 hari ke kuat tekan rata-rata variasi *fly ash* 30% umur 28 hari sebesar 1,98%. Berikut grafik perbandingan porositas air laut dan kuat tekan air tawar untuk 28 hari.

Berdasarkan gambar I, benda uji yang direndam 28 hari di air tawar yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti pasir dengan variasi *fly Ash* 0%, 10%, 20%, dan 30% mengalami

peningkatan kuat tekan setiap penambahan persentase *fly ash*. Persentase peningkatan BMT 0% *fly ash* ke BMT 10% *fly ash* sebesar 0,30%, BMT 0% *fly ash* ke BMT 20% *fly ash* sebesar 1,90%, dan BMT 0% *fly ash* ke BMT 30% *fly ash* sebesar 2,87%.

Tabel V. Hasil Kuat Tekan Air Tawar (BMT_N) dan Air Hujan Asam (BMT_AHA)

Nama Sampel	Berat (Kg)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BMT_N 0%	3635	200	100	321000	40,855	41,618
	3861	200	100	329000	41,873	
	3869	200	100	331000	42,127	
BMT_N 10%	3588	200	100	328000	41,745	41,745
	3653	200	100	325000	41,364	
	3850	200	100	331000	42,127	
BMT_N 20%	3632	200	100	323000	41,109	42,424
	3975	200	100	345000	43,909	
	3848	200	100	332000	42,255	
BMT_N 30%	3930	200	100	380000	48,364	42,848
	3604	200	100	320000	40,727	
	3753	200	100	310000	39,455	
BMT_AHA 0%	3735	200	100	295000	37,55	39,242
	3803	200	100	310000	39,45	
	3773	200	100	320000	40,73	
BMT_AHA 10%	3600	200	100	321000	40,85	39,582
	3596	200	100	312000	39,71	
	3744	200	100	300000	38,18	
BMT_AHA 20%	3598	200	100	320000	40,73	39,921
	3874	200	100	321000	40,85	
	3816	200	100	300000	38,18	
BMT_AHA 30%	3663	200	100	323000	41,11	41,703
	3570	200	100	332000	42,25	
	3918	200	100	328000	41,75	



Gambar 1. Diagram Perbandingan Porosotas Air Laut dan Kuat Tekan Tawar 28 Hari

Benda uji yang direndam 28 hari direndam di air hujan asam yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti pasir dengan variasi *fly Ash* 0%, 10%, 20%, dan 30% mengalami peningkatan setiap penambahan persentase *fly ash*. mengalami peningkatan setiap

penambahan persentase *fly ash*. Persentase peningkatan BMT 0% *fly ash* ke BMT 10% *fly ash* sebesar 0,86%, BMT 0% *fly ash* ke BMT 20% *fly ash* sebesar 1,70%, dan BMT 0% *fly ash* ke BMT 30% *fly ash* sebesar 5,90%. Efek hujan asam menurunkan kuat tekan beton mutu tinggi substitusi 10%, 20%, dan 30% *fly ash* berturut turut sebesar 5,71%, 5,18%, 5,90% dan 2,67%. Penelitian sebelumnya bahwa kuat tekan beton normal yang terendam dengan pH 7 adalah 25,96 MPa, sedangkan kuat tekan yang dihasilkan oleh perubahan pH air 4 adalah 20,32 MPa, berkurang 21,71% sedangkan Kuat tekan yang dibuat dengan perubahan air pada pH 5 adalah 20,87 MPa, berkurang 19,58%, dan kuat tekan yang dibuat dengan perubahan air pada pH 6 adalah 22,01 MPa berkurang 15,21% [19]. Dengan melihat penelitian yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi pasir dapat mempertahankan kuat tekan beton akibat efek hujan asam, dibandingkan tanpa *fly ash* yang dapat mengurangi kuat tekan diatas 15% sebagaimana penelitian sebelumnya [19].

Untuk pengujian kuat tekan pada beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* (0%, 20%, 10%, dan 30%) sebagai pengganti pasir dengan perendaman air tawar dan air hujan asam mengalami peningkatan setiap penambahan persentase *fly ash* sebagai pengganti pasir. Namun jika dilihat nilai kuat tekan benda uji yang direndam di air tawar memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan benda uji yang direndam di air hujan. Hal ini menandakan bahwa Asam Sulfat (H_2SO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3) pada air hujan asam telah terinfiltrsi ke beton.

III.3. Pola Retak

Analisis pola retak dilihat dari hasil kuat tekan merujuk dari ASTM standar 2002[20]. benda uji yang digunakan berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Proses analisa dapat dilihat dengan kasat mata, benda uji dipilih salah satu dari variasi persentase *fly ash* sebagai pengganti pasir yang di rendam di air hujan asam (AHA) setiap umur yang memiliki kuat tekan tertinggi. Pola retak dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 2. Pola Retak AHA 0% Fly Ash 28 Hari



Gambar 3. Pola Retak AHA 10% Fly Ash 28 Hari



Gambar 4. Pola Retak AHA 20% Fly Ash 28 Hari



Gambar 5. Pola Retak AHA 30% Fly Ash 28 Hari

Gambar 2 merupakan benda BMT-0% *fly Ash* sebagai pengganti pasir yang direndam di air hujan asam selama 28 hari (Sampel III) dengan nilai kuat tekan 40,73 MPa paling tinggi dari tiga sampel dan pola retak yang dihasilkan adalah pola retak bentuk kehancuran kerucut dan geser (3). Gambar 3 merupakan benda BMT 10% *fly Ash* sebagai pengganti pasir yang direndam di air hujan asam selama 28 hari dengan nilai kuat tekan 40,85 MPa paling tinggi dari tiga sampel dan pola retak yang dihasilkan adalah Pola retak bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (5). Gambar 4 merupakan benda BMT 20% *fly Ash* sebagai pengganti pasir yang direndam di air hujan asam selama 28 hari dengan nilai kuat tekan 40,85 MPa paling tinggi dari tiga sampel dan pola retak yang dihasilkan adalah Pola retak bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (5). Gambar 5 Merupakan Benda BMT_ 30% *fly Ash* sebagai pengganti pasir yang direndam di air hujan asam selama 28 hari dengan nilai kuat tekan 42,25 MPa paling tinggi dari tiga sampel dan pola retak yang dihasilkan adalah pola retak bentuk kehancuran kerucut dan belah (2). Nilai kuat tekan setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 5.

Pola retak pada beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* (0%, 20%, 10%, dan 30%) sebagai pengganti pasir pada Benton mutu tinggi dengan perendaman air hujan asam memiliki pola retak yang berbeda-beda, jika dilihat dari nilai kuat tekan tertinggi dari setiap umur dan variasi *fly ash* pola retak yang baik adalah pola retak bentuk kehancuran kerucut dan belah dengan variasi *fly ash* 30% dengan nilai kuat tekan 42,848 MPa.

IV. KESIMPULAN

Beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* (0%, 10%,20%, dan 30%) sebagai pengganti pasir dengan perendaman air tawar nilai kuat tekan yang dihasilkan lebih besar dari beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* (0%, 10%,20%, dan 30%) sebagai pengganti pasir dengan perendam air hujan asam. Hujan asam dapat menurunkan kuat tekan beton mutu tinggi substitusi *fly ash* sebagai pasir namun penurunan tersebut masih kecil sebesar kurang lebih 5%, jika dibandingkan tanpa *fly ash* dapat menurunkan kuat tekan beton sampai diatas 15%. Pola retak yang dihasilkan beton mutu tinggi yang menggunakan *fly ash* (0%, 10%,20%, dan 30%) sebagai pengganti pasir dengan perendam air hujan asam, nilai kuat tekan tertinggi dari setiap umur dan variasi *fly ash* pola retak yang baik adalah pola retak bentuk kehancuran kerucut dan belah dengan variasi *fly ash* 30% dengan nilai kuat tekan 41,703 MPa.

REFERENSI

- [1] R. Pratama and L. Parinduri, "Penanggulangan Pemanasan Global," *Bul. Utama Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 91–95, 2019.
- [2] P. Sudalma, "Analisis Sifat Hujan Asam di Kota Semarang," *CORE*, 2012.
- [3] R. P. Lestari, E. Rachmawati, T. Budiwati, A. Indrawati, and R. I. Nasution, "Status Deposisi Basah Di Beberapa Wilayah Pemantauan Di Indonesia Periode 2008-2015," *Ecolab*, vol. 12, no. 2, pp. 71–82, 2018.
- [4] K. J. Taku, D. Y. Amartey, and T. Kassir, "Effect of acidic curing environment on the strength and durability of concrete," *Civ. Environ. Res.*, vol. 7, no. 12, pp. 8–13, 2015, Accessed: Oct. 26, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/292983621_Effect_of_Acidic_Curing_Environment_on_the_Strength_and_Durability_of_Concrete.
- [5] S. Meidiani, A. Rajela, M. F. . Hartawan, and A. Fartawijaya, "Studi Eksperimen Penggunaan Variasi pH Air Pada Kuat Tekan Beton Normal f'c 25 MPa," vol. 5, no. 2, pp. 88–94, 2017, doi: 10.21063/spi3.1017.88-94.
- [6] I. Desianti, Rahmaniah, and S. Zelviani, "Karakterisasi Nanosilika Dari Abu Terbang Menggunakan Metode Ultrasonic," *Jft*, vol. 5, no. 2, pp. 101–108, 2018.
- [7] E. Luga and C. D. Atiş, "Strength properties of slag/fly ash blends activated with sodium metasilicate and sodium hydroxide+silica fume," *Period. Polytech. Civ. Eng.*,

- vol. 60, no. 2, pp. 223–228, 2016, doi: 10.3311/PPci.8270.
- [8] S. Apriwelni and N. Bintang Wirawan, “Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Fly Ash dan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengisi,” *J. SAINTIS*, vol. 20, no. 01, pp. 61–68, Apr. 2020, doi: 10.25299/SAINTIS.2020.VOL20(01).4846.
- [9] H. Prayuda and A. Pujiyanto, “Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah Superplastisizer dan Limbah Las Karbit,” *Rekayasa Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 32–38, 2018, doi: 10.21776/ub.rekayasasipil/2018.012.01.5.
- [10] D. Zhang, Q. Yang, M. Mao, and J. Li, “Carbonation performance of concrete with fly ash as fine aggregate after stress damage and high temperature exposure,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 242, p. 118125, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118125.
- [11] N. R. Erfan Mohammad, Sriliani Surbakri, “Optimalisasi penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi,” 2019.
- [12] S. Xie, L. Qi, and D. Zhou, “Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory,” *Atmos. Environ.*, vol. 38, no. 27, pp. 4457–4466, 2004, doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.05.017.
- [13] M. A. Sultan, I. Imran, and M. Faujan, “Pengaruh Rendaman Asam Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Fly Ash,” *Teras J.*, vol. 11, no. 1, p. 61, 2021, doi: 10.29103/tj.v11i1.367.
- [14] T. Kuat, T. Beton, F. Teknik, U. Wiralodra, and J. Barat, “ISSN 1693-7945 Vol VIII No 1 April 2017,” vol. VIII, no. 1, pp. 42–51, 2017.
- [15] I. Marzuki, E. Bachtiar, Sinardi, M. Chaerul, and F. R., “The Development of Compressive Strength on Geopolymer Mortar Using Fly Ash as Based Material in Spouth Sulawesi,” *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 10, pp. 1465–1472, Oct. 2018, doi: 10.31219/OSF.IO/Z36JR.
- [16] A. C. 618-93, “Standard Test Method for Fly Ash and Row or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portlan Cement Concrete,” 1991.
- [17] S. 2460:2014, *SNI 2460:2014 Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*. 2014.
- [18] S. 03-6468-2000, *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*. .
- [19] M. F. Septa Hartawan and S. Meidiani, “Penggunaan Variasi Ph Air (Asam) Pada Kuat Tekan Beton Normal F??C 25 Mpa,” *Bentang*, vol. 5, no. 2, pp. 127–134, 2017.
- [20] 2002 Annual Book of ASTM Standards, *ASTM C39-86 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2002.

Halaman ini sengaja dikosongkan