

**PEMANFAATAN ABU LIMBAH KAYU SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA
CAMPURAN BETON NORMAL**
The Utilization of Wood Waste Ash as Additive Material to the Normal Concrete Mixture

Ngudiyono*, Tri Sulistyowati*
*Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram
Email : ngudiyono@unram.ac.id, trisulistyowati@unram.ac.id

Abstrak

Abu limbah kayu merupakan salah satu bahan limbah yang dihasilkan industri pengolahan kayu atau sisa pembakaran batu bata merah yang banyak terdapat di Indonesia, sehingga abu limbah kayu (wood waste ash) relatif murah dan mudah mendapatkannya. Pemanfaatan abu limbah kayu sebagai bahan tambah campuran beton terutama pada beton normal belum banyak dilakukan, sehubungan dengan sifat kimia abu limbah kayu yang mengandung silica dan aluminat, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan abu limbah kayu terhadap kekuatan beton (kuat tekan dan modulus elastisitas). Pada penelitian ini kuat tekan rencana beton normal adalah 20 MPa. Selanjutnya pada campuran beton normal ditambahkan abu limbah kayu dengan presentase 0, 5, 10, 15 dan 20% dari berat semen. Abu limbah kayu yang dipakai merupakan hasil pembakaran batu bata merah. Benda uji silinder diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm dibuat untuk mengetahui kuat tekan dan modulus elastisitas. Uji kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan setelah benda uji mencapai umur 28, 60 dan 90 hari mengacu standar ASTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu limbah kayu pada campuran beton menyebabkan peningkatan kuat tekan dan modulus elastisitas dibandingkan dengan beton normal (tanpa abu limbah kayu). Kuat tekan dan modulus elastisitas maksimum tercapai pada umur 90 hari ini masing-masing sebesar 31,843 MPa dan 31389,086 Mpa atau meningkat sebesar 36,683% dan 21,751% pada presentase abu limbah kayu 5%.

Kata kunci : Abu limbah kayu, Bahan tambah, Kuat tekan, Modulus elastisitas.

PENDAHULUAN

Seiring dengan menurunnya jumlah bahan bangunan yang tersedia, dewasa ini di Indonesia mulai dikembangkan pembangunan yang didasari azas *ecoeficiency* yaitu meminimalkan produksi limbah per satuan produk, yang artinya mulai dari penggunaan materi dan energi diupayakan seminimal mungkin sehingga prinsip 3R yaitu *recycle* (daur ulang), *reuse* (daur guna) dan *recovery* (perolehan kembali) sering kali digunakan dalam proses *ecoeficiency* tersebut. Pelaksanaan prinsip 3R ini antara lain melalui proses pemanfaatan kembali material limbah yang memenuhi standar yang berlaku sebagai bahan bangunan pada struktur beton.

Salah satu jenis sampah padat perkotaan yang ada di kota Mataram adalah limbah kayu (*wood waste*). Limbah kayu ini berupa potongan-potongan kayu, plat kayu, peti kayu, serbuk gergaji, cabang dan ranting pohon peneduh jalan dan taman kota (Anonim 2002), yang dihasilkan dari daerah niaga (bisnis), daerah permukiman penduduk, lokasi pembangunan gedung, lokasi pembongkaran gedung, lokasi pabrik furniture, jalan, pertamanan kota, dan lokasi penggrgajian kayu. Selama ini limbah kayu (*wood waste*) hanya menumpuk disekitar daerah yang menghasilkan limbah, saluran drainase dan sungai. Keadaan yang demikian akan menimbulkan suasana yang kumuh dan ketidaknyamanan, sebagai tempat berkembang biaknya penyakit dan pencemaran lingkungan (Anonim, 2009). Salah satu alternatif penyelesaian masalah limbah kayu ini adalah dengan cara dibakar yang menghasilkan sisa pembakaran berupa abu limbah kayu (*wood waste ash*), yang banyak mengandung silika (SiO_2) dan

alumina (Al_2O_3) yang relatif tinggi dimana dengan atau tanpa bahan lain dapat sebagai aktifator dalam proses *cementitious* dalam pembuatan beton (Abdullahi, 2006). Pemanfaatan abu limbah kayu sebagai bahan tambah campuran beton terutama pada beton normal belum banyak dilakukan, maka perlu dilakukan penelitian tentang sejauh mana pengaruh penambahan abu limbah kayu terhadap kekuatan beton (kuat tekan dan modulus elastisitas).

TINJAUAN PUSTAKA

Abu limbah kayu (*wood waste ash*) merupakan sisa hasil pembakaran limbah kayu. Rata-rata pembakaran kayu menghasilkan sekitar 6-10% abu. Sifat fisik dan kimia dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya oleh jenis/spesies kayu, temperatur pembakaran, tipe alat bakar. Abu ini dapat digunakan sebagai bahan tambah tambah (aditif), karena mengandung silika dan alumina yang relatif tinggi dimana dengan atau tanpa bahan lain sebagai aktifator dalam proses *cementitious* (Abdullahi, 2006). Menurut Tarun dkk. (2003) komposisi kimia abu kayu adalah silikat (SiO_2) sebesar (4% - 60%) dan aluminat (Al_2O_3) sebesar (5% - 20%) serta Fe_2O_3 sebesar (10% - 90%), CaO sebesar (2% - 37%), MgO (0,7% - 5%), TiO_2 sebesar (0% - 1,5%), K_2O sebesar (0,4% - 14%), SO_3 sebesar (0,15% - 15%) dan LOI sebesar (0,1% - 33%).

Naik dkk. (2002) meneliti kuat tekan campuran beton yang dibuat dengan abu kayu sebagai bahan pengganti semen sampai umur 365 hari. Persentase abu kayu adalah 5, 8, dan 12% dari total bahan semen. Hasil penelitian disimpulkan bahwa: (i) campuran kontrol (tanpa abu kayu) mencapai kekuatan 34 MPa pada 28 hari dan 44 MPa pada 365 hari; (ii) kekuatan campuran beton yang mengandung abu kayu berkisar antara 33 MPa pada umur 28 hari dan antara 42 dan 46 MPa pada 365 hari.

Udoeyo dkk. (2006) menentukan kuat tekan beton yang dibuat dengan persentase yang bervariasi (5, 10, 15, 20, 25, dan 30% terhadap berat semen) dari abu kayu bekas (WWA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata pada 5, 10, 15, dan 20% antara kekuatan beton pada umur 28 hari dan 90 hari. Namun ketika kadar abu meningkat melebihi 20%, tidak ada perbedaan signifikan, hal ini disebabkan oleh air yang tidak memadai di campuran untuk melanjutkan aktivitas pozzolan dalam campuran beton karena pengeringan terjadi jauh lebih awal.

Abdullahi (2006) melaporkan hasil uji kuat tekan abu kayu (WA), sebagai pengganti sebagian semen dalam persentase yang bervariasi (0, 10, 20, 30, dan 40%) dalam proporsi campuran beton 1:2:4. Uji tekan dilakukan pada umur 28 dan 60 hari. Hasil menunjukkan bahwa benda uji yang mengandung abu kayu 0% memiliki nilai tekan tertinggi. Campuran yang mengandung 20% abu kayu memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada yang mengandung 10% abu kayu pada umur 28 dan 60 hari. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa silika disediakan oleh 10% abu kayu tidak cukup untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida dihasilkan oleh hidrasi semen. Peningkatan kadar abu kayu melebihi 20% mengakibatkan penurunan kekuatan pada 28 dan 60 hari. Dalam hal ini, silika hadir dalam campuran itu melebihi jumlah yang dibutuhkan untuk menggabungkan dengan kalsium hidroksida dari semen yang menghidrasi. Kelebihan silika tidak memiliki nilai pozzolan tetapi hanya berfungsi sebagai pengisi (*filler*). Pada periode hidrasi 60 hari, kuat tekan beton mengandung 20% abu kayu meningkat secara signifikan menunjukkan bahwa kekuatan yang lebih besar dapat diperoleh pada usia lanjut. Penggantian semen yang optimal dengan abu kayu adalah 20%.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Semen Portland tipe I, Agregat halus berupa pasir sungai dengan lolos ayakan 4,75 mm yang diambil dari sungai Gebong, Narmada, Lombok Barat, Agregat kasar berupa batu pecah dengan diameter maksimum 20 mm yang diambil dari Tanak Beaq, Narmada, Lombok Barat, Abu limbah kayu jenis randu dan jambu dari hasil pembakaran batu bata merah dan Air bersih dari jaringan air di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik, Universitas Mataram

Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah peralatan untuk pembuatan benda uji silinder dan peralatan untuk pengujian material-material penyusun beton, peralatan tersebut adalah ayakan/saringan untuk analisa gradasi agregat halus dan agregat kasar, timbangan untuk mengukur berat bahan dan benda uji, gelas ukur untuk menakar air, piknometer untuk menguji berat jenis pasir, mesin siever sebagai pengayak mekanik cetakan silinder beton untuk mencetak campuran beton, molen (mesin pengaduk beton) untuk mencampur adukan beton, tongkat penumbuk untuk memadatkan benda uji, bak air untuk merendam benda uji selama perawatan, alat caping dan mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*) dilengkapi dengan *extensometer* untuk menguji kuat tekan dan modulus elastisitas.

Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan adukan beton dalam pengujian ini, menggunakan Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal yang dimuat dalam SNI 03-2834-2000, dimana kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah 20 MPa dengan water binder ratio (W/B) 0,4. Presentase abu limbah kayu sebagai bahan tambah adalah 0, 5, 10, 15 dan 20%. Hasil perencanaan campuran beton disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Proporsi campuran beton 1 m³

Abu limbah kayu (%)	W/B	Kebutuhan Bahan				
		Semen (kg)	Abu limbah kayu (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)
0	0.4	468,75	0,00	583,19	1083,06	187,50
5		468,75	23,44	583,19	1083,06	196,88
10		468,75	46,88	583,19	1083,06	206,25
15		468,75	70,31	583,19	1083,06	215,63
20		468,75	93,75	583,19	1083,06	225,00

Keterangan : W = air ; B = Semen + Abu Limbah Kayu

Kebutuhan Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Kebutuhan benda uji untuk masing-masing variasi presentase abu limbah kayu dan umur beton disajikan pada Tabel 2.

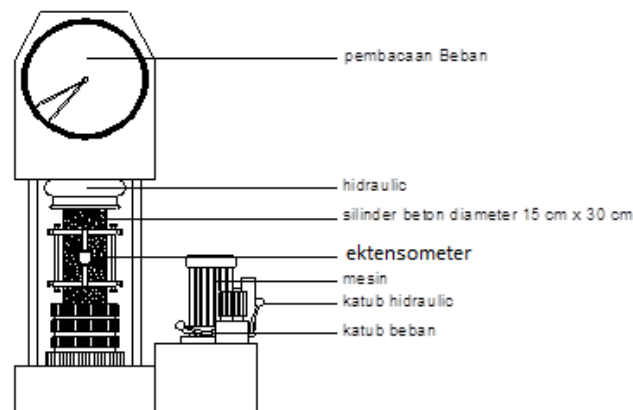
Tabel 2. Kebutuhan sampel untuk uji kuat tekan dan modulus elastisitas

No	Campuran	Umur Beton (hari)			Total
		30	60	90	
1	S+0%AK+P+K	3	3	3	12
2	S+5%AK+P+K	3	3	3	12
3	S+10%AK+P+K	3	3	3	12
4	S+15%AK+P+K	3	3	3	12
5	S+20%AK+P+K	3	3	3	12
Total					60

Ket : S : Semen, AK : Abu Limbah Kayu, P : Pasir, K : Batu Pecah

Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan secara bersamaan dengan pengujian modulus elastisitas beton. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 39-99 dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)* dilengkapi dengan *ektensometer*. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan *gypsum*. Alat *ektensometer* diatur dengan cara memutar baut pada alat sedemikian rupa agar lingkaran yang mengelilingi silinder sejajar dengan permukaan samping silinder dan tepat berada ditengah-tengah terhadap tinggi silinder. Selanjutnya benda uji diletakan pada alas pembebanan mesin uji tekan beton *Compression Testing Machine (CTM)* jarak permukaan silinder dengan bagian atas mesin kurang dari 5 cm. Kemudian jarum penunjuk diatur pada angka nol. Pembebanan diberikan secara bertahap sambil dicatat perubahan panjang atau pemendekan tiap skala pembebanan tertentu. Besar perubahan perpemendekan pada alat *ektensometer* dicatat pada setiap kenaikan tertentu sampai mencapai pembebanan maksimum.



Gambar 1. Setting up uji kuat tekan dan modulus elastisitas

Kuat tekan beton (f_c) dihitung dengan rumus :

$$f_c' = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dengan : f_c : tegangan tekan maksimum (N/mm² atau MPa), P_{maks} : beban maksimum (N), A : luas bidang tekan (mm²)

rumus berikut :

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)} \dots\dots\dots (2)$$

dengan E_c : modulus elastisitas beton (MPa), S_1 : tegangan saat $\varepsilon_1 = 0,00005$ (MPa), S_2 : tegangan pada $0,4 f'c$ (MPa), ε_2 : regangan pada saat $0,4 f'c$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan Penyusun Beton

Hasil pengujian pemeriksaan terhadap berat satuan agregat, pemeriksaan gradasi agregat kasar, pemeriksaan gradasi agregat halus, pemeriksaan kandungan lumpur, berat jenis agregat, dan Pengujian ketahanan aus agregat dengan mesin Los Angeles disajikan pada Tabel 3 sebagai berikut ini :

Tabel 3. Hasil pemeriksaan sifat fisik bahan

Bahan	Berat satuan (gr/ cm ³)		Berat jenis		Kadar lumpur (%)	Keausan agregat	
	Padat	Lepas	Kering	SSD		100 putaran	500 putaran
Agregat halus (pasir)	1,49	1,21	2,54	2,65	1,94	-	-
Agregat kasar (batu pecah)	1,42	1,30	2,66	2,68	-	4,88	26,90

Hasil pengujian berat satuan untuk agregat kasar berat satuan lepas rata-rata 1,30 gr/cm³ dan berat satuan padat rata-rata 1,42 gr/cm³, sedangkan hasil pemeriksaan untuk agregat halus berat satuan lepas rata-rata 1,21 gr/cm³ dan berat satuan padat rata-rata 1,49 gr/cm³. Dengan demikian, dengan demikian kedua material tersebut termasuk dalam jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara 1,2-1,6 (Tjokrodimuljo, 2007).

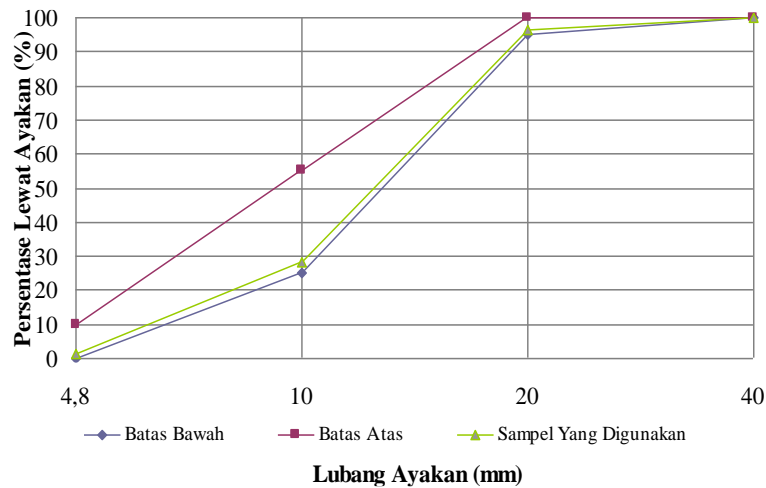
Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus (pasir) dalam kondisi jenuh kering muka sebesar 2,65 gr/cm³, sedangkan berat jenis kering rata-rata 2,54 gr/cm³ dan berat jenis agregat kasar (batu pecah) dalam kondisi jenuh kering muka sebesar 2,68 gr/cm³, sedangkan berat jenis kering rata-rata 2,66 gr/cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa agregat yang dipakai termasuk jenis agregat normal dengan berat jenis berkisar antara 2,5 – 2,7 gr/cm³ (Tjokrodimuljo, 2007).

Kandungan lumpur pasir sebesar 1,94%, dengan demikian pasir tersebut dapat dipakai sebagai bahan penyusun beton dan tidak perlu dilakukan pencucian karena kandungan lumpurnya lebih rendah dari standar yang disyaratkan yaitu kurang dari 5% (Tjokrodimuljo, 2007).

Hasil pengujian ketahanan aus untuk batu pecah dengan jenis gradasi B setelah 100 kali putaran sebesar 4,88% dan setelah putaran ke 500 sebesar 26,9%. Dilihat dari keausan batu pecah dengan jenis gradasi B pada putaran 100 kurang dari 10% dan pada putaran ke 500 kurang dari 27%, sehingga batu pecah tersebut dapat digunakan untuk membuat beton dengan kelas kuat III (kuat tekan diatas 20 MPa). Dan sesuai dengan persyaratan kekerasan agregat kasar mutu beton kelas III (Tjokrodimuljo,2007). Dari penjelasan hasil pengujian sifat-sifat fisik agregat halus dan kasar diatas dapat disimpulkan bahwa bahan tersebut dapat dipakai dalam perencanaan campuran adukan beton.

Gradasi agregat kasar

Hasil pengujian gradasi agregat kasar (batu pecah) yang berasal dari Desa Tanak Beak, Gebong, Narmada, Lombok Barat. Disajikan pada Gambar 2.

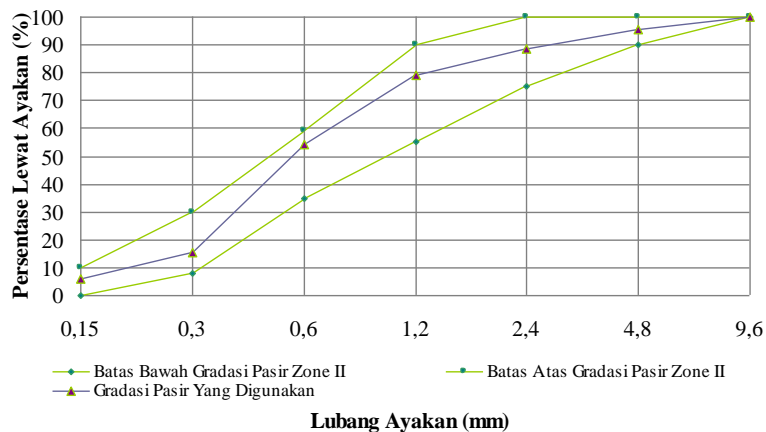


Gambar 2. Grafik gradasi kasar

Dari Gambar 2 di atas, dapat diketahui bahwa persentase lolos ayakan gradasi dari agregat yang digunakan pada penelitian ini berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi agregat kasar yang disyaratkan. Hasil pemeriksaan kerikil menunjukkan modulus kehalusan butiran sebesar 7,26. Berdasarkan Tjokrodimuljo (2007), pada umumnya kerikil mempunyai modulus halus butir antara 5 sampai 8. Dengan demikian agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

Gradasi agregat halus

Hasil pengujian gradasi agregat halus (pasir) yang berasal dari Desa Tanak Beak, Gebong, Narmada, Lombok Barat. Disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik gradasi pasir

Dari Gambar 3 terlihat bahwa bahan pasir yang digunakan termasuk pada zone II yaitu pasir agak kasar, dengan modulus halus butirnya sebesar 3,61. Ini menunjukkan pasir mempunyai modulus halus butir sesuai standar yaitu antara 1,5–3,8 (Tjokrodimuljo, 2007), artinya pasir yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

Abu Limbah Kayu

Abu limbah kayu diambil dari hasil pembakaran batu bata merah, dari jenis limbah kayu yang paling randu dan jambu. Kandungan abu limbah kayu diuji di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Mataram.

Adapun hasil pengujian kimia senyawa silika (SiO_2) sebesar 4,2% dan kapur (CaO) sebesar 22,76%. Hasil pengujian silika (SiO_2) ini sama dengan hasil penelitian Tarun dkk. (2003) dimana komposisi kimia abu kayu silikat (SiO_2) adalah sebesar (4% - 60%). Mengacu pada SNI 2460 (2014) dan ASTM C618 (2003), fly ash atau pozzolan tipe C yaitu fly ash yang mengandung $\text{CaO} > 10\%$, sehingga dapat disimpulkan abu limbah kayu (wood waste ash) termasuk pozzolan tipe C.

Slump

Pengujian slump pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kelecakan (*workability*) adukan beton. Nilai slump yang baik menurut Tjokrodinuljo (2007) ialah berkisar antara 5 cm - 12,5 cm. Adapun hasil pengujian slump dapat di lihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian nilai *slump*

Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Persentase Penurunan nilai <i>slump</i> (%)
0%	10,5	0
AK 5%	8	23,81
AK 10%	7,5	28,57
AK 15%	6	42,85
AK 20%	5,5	47,62

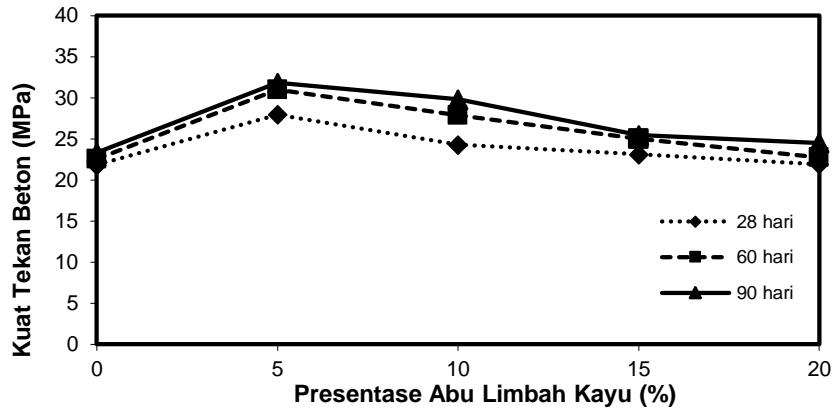
Dari hasil pengujian nilai *slump* pada Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa penambahan abu limbah kayu sebesar 5% sampai 20% pada adukan beton menyebabkan nilai *slump* turun, sehingga *workability* menjadi berkurang. Penurunan nilai *slump* dikarenakan sifat abu limbah kayu yang menyerap air, akan tetapi meskipun mengalami penurunan nilai *slump* masih dapat dikerjakan karena nilai *slump* yang didapatkan masuk dalam kriteria *slump* yang baik yang berkisar antara 5 - 12,5 cm.

Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan pada beton normal dan beton dengan bahan tambah abu limbah kayu pada umur 28, 60 dan 90 hari disajikan pada pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton

Umur (hari)	Presentase Abu Limbah kayu (%)	Berat (gr)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Peningkatan (%)
28	0	12893	390000	21.814	0
	5	12753	540000	27.949	28,124
	10	12675	475000	24.275	11,282
	15	12643	425000	23.099	5,891
	20	12729	410000	21.929	0,527
60	0	12617	428333.33	22,572	0
	5	12763	551666.67	31,006	37,364
	10	12580	491666.67	27,891	23,564
	15	12755	455000	25,005	10,778
	20	12682	433333.33	22,576	0,017
90	0	475000	12903.33	23,297	0
	5	566667	12915	31,843	36,683
	10	521667	12655	29,822	28,007
	15	493333	12580	25,445	9,220
	20	475000	12541.67	24,516	5,232

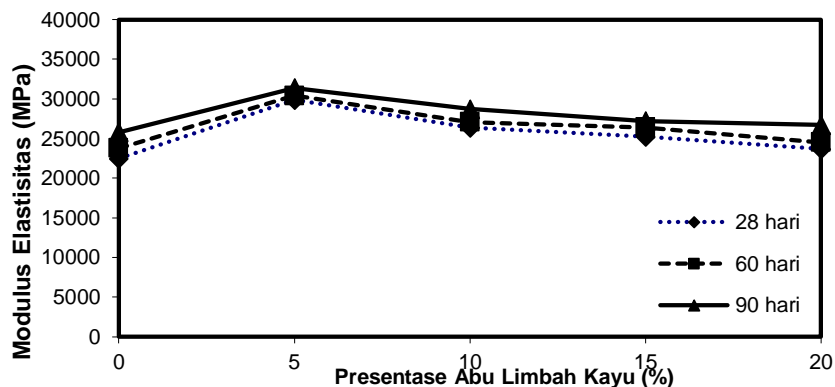


Gambar 4. Hubungan kuat tekan beton dengan presentase abu limbah kayu pada umur 28, 60 dan 90 hari

Dari Tabel 5 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa beton dengan campuran abu limbah kayu memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dari pada beton normal. Pada umur 28, 60, dan 90 hari kuat tekan maksimum pada presentase abu limbah kayu 5% berturut-turut sebesar 27.949, 31,006, dan 31,843 MPa atau meningkat sebesar 28,124, 37,364, dan 36,683%. Peningkatan ini disebabkan karena senyawa SiO_2 dalam *abu limbah kayu* yang bersifat pozzolan akan bereaksi dengan dengan senyawa kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan sisa hasil proses hidrasi menghasilkan senyawa baru $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (*tobermorite*) berupa gel yang akan mengisi pori-pori pada beton dan menambah rekatan antara butiran agregat semakin baik, yang akan meningkatkan kekuatan beton. Sisa SiO_2 yang tidak terikat dalam proses pembentukan gel berfungsi sebagai pengisi (*filler*). Proses reaksi ini serupa dengan bahan pozzolan seperti *fly ash* yang telah dibuktikan Ngudiyono dkk. (2022).

Modulus Elastisitas Beton

Hasil pengujian modulus elastisitas beton normal dan beton dengan bahan tambah abu limbah kayu pada pada umur 28, 60 dan 90 hari disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan modulus elastisitas beton dengan presentase abu limbah kayu pada umur 28, 60 dan 90 hari

Hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan bahan tambah abu limbah terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Pada umur 28, 60, dan 90 hari modulus elastisitas maksimum pada presentase abu limbah kayu 5% berturut-turut sebesar 29863,033, 30402,533, dan 31389,086 MPa atau meningkat sebesar 32,962, 27,888, dan 21,751 %. Hal ini berarti dengan penambahan abu limbah kayu pada campuran dapat meningkatkan kekuatan beton. Ini juga membuktikan bahwa nilai modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekan beton (Nawy, 1990).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan bahan tambah abu limbah kayu dengan prosentase abu limbah kayu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Penambahan abu limbah kayu pada campuran beton mampu meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton.
2. Kuat tekan maksimum terjadi pada umur 90 hari pada presentase optimum abu limbah kayu 5% sebesar 31,843 MPa atau meningkat sebesar 36,683% daripada beton normal.
3. Modulus elastisitas maksimu terjadi pada umur 90 hari pada presentase optimum abu limbah kayu 5% sebesar 31389,086 MPa atau meningkat sebesar 21,751% daripada beton normal.

Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melihat hasil penelitian di atas adalah sebagai berikut :

1. Perlu dikaji lebih lanjut pengaruh variasi *water binder ratio* terhadap sifat mekanik beton dengan abu limbah kayu.
2. Hasil penelitian ini perlu diaplikasikan pada struktur balok, kolom dan pelat pada skala penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C39-99. (1999). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C 469-87. (2002). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International, West Conshohochen
- ASTM C 618. (2003). *Standard specification for fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in portland cement concrete*. Philadelphia, United States: Annual Book of ASTM Standard.
- Anonim. (2002) *Sumber Daya Spasial Propinsi Nusa Tenggara Barat*, badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Propinsi Nusa Tenggara Barat, Mataram.
- Abdullahi, M. (2006). *Characteristics Of Wood Ash / OPC Concrete*, Civil Eng. Dept, Federal Univ. Of Technology, P.M.B Gs Minna, Niger.
- Anonim. (2009). *Laporan Pemantauan Sampah Harian Kota Mataram*, Pemerintah Kota Mataram.
- Nawy, E. G., (1990). *Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Dasar*, Rafika Aditama, Bandung.
- Naik, T. R., Kraus, R. N., Siddique, R. (2002). *Demonstration of manufacturing technology for concrete and CLSM utilizing wood ash from Wisconsin*. Report No. CBU-2002-30, Report for Year 1 activities submitted to the Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, WI, for Project # 01-06 UWM Center for By-Products Utilization, Department of Civil Engineering and Mechanics, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee.
- Ngudiyono, N., Kencanawati, N. N., Prakarsa, R. (2022). *Pemanfaatan Fly Ash sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen pada Beton Memadat Sendiri: The Utilization of Fly Ash as Partial Substitution of Cement to the Self Compacting Concrete*, Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 23 No 1. BPPT, <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i1.5130>.
- SNI 03-2834. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standarnisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- SNI 2460. (2014). *Spesifikasi abu terbang batu bara dan pozzolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*. Badan Standarnisasi Nasional (BSN). Jakarta.

Tarun R.N, Rudolph N. K dan Rafat S., (2003). *Use Of Wood Ash In Cement – Based Materials*, A CBU Report, CBU-2003-19.

Tjokrodimuljo, K., (2007). *Teknologi Beton*, Biro Penerbit, Yogyakarta.

Udoeyo, F. F., Inyang, H., Young, D.T., Oparadu, E. E. (2006). *Potential of wood waste ash as an additive in concrete*. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 18 (4).