

Uji Mekanis Beton Dengan Menggunakan Agregat Sungai Tombang Kabupaten Luwu

Vinny Virginia ^{*1a}, Olan Jujun Sanggaria ^{*2}, Desi Sandy ^{*3}

Submit:
10 April 2024

Review:
20 April 2024

Revised:
30 September
2024

Published :
12 November
2024

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, vinnyvirginia40@gmail.com

^{*2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, olansanggaria@ukipaulus.ac.id

^{*3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, sandy.mylife@yahoo.co.id

^aCorresponding Author: vinnyvirginia40@gmail.com

Abstrak

Beton adalah material konstruksi yang terbuat dari air, semen, agregat kasar, dan agregat halus, yang memiliki ketahanan tinggi, tahan api, mudah dibentuk, serta ekonomis, sehingga banyak digunakan dalam konstruksi. Namun, komposisi beton dapat bervariasi tergantung daerah. Di Sungai Tombang, Kabupaten Luwu, terdapat sumber daya alam seperti pasir dan batu pecah yang digunakan sebagai agregat. Meskipun agregat ini telah dimanfaatkan oleh masyarakat, belum ada penelitian yang membuktikan kelayakannya untuk konstruksi struktural. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah melakukan uji laboratorium pada sampel yang menggunakan agregat Sungai Tombang untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Agregat dari Sungai Tombang dapat digunakan sebagai campuran beton struktural karena telah memenuhi mutu rencana kuat tekan 25 MPa dan 35 MPa, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas.

Kata kunci: Agregat, Kuat tekan, Kuat lentur, Kuat tarik belah, Modulus elastisitas.

Abstract

Concrete is a construction material made from water, cement, coarse aggregate, and fine aggregate, which possesses high durability, fire resistance, is easily moldable, and economical, making it widely used in construction. However, the composition of concrete can vary depending on the region. In the Tombang River area of Luwu Regency, natural resources such as sand and crushed stone are used as aggregates. Although these aggregates have been utilized by the local community, no research has yet proven their suitability for structural construction. Therefore, the purpose of this study is to conduct laboratory tests on samples using Tombang River aggregates to determine their compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity. The aggregates from the Tombang River can be used in structural concrete mixes as they meet the planned compressive strength standards of 25 MPa and 35 MPa, as well as the requirements for splitting tensile strength, flexural strength, and modulus of elasticity.

Keywords: Aggregate, Compressive strength, Flexural strength, Split tensile strength, Modulus of elasticity.

PENDAHULUAN

Beton adalah material konstruksi yang terbuat dari air, semen, agregat kasar, dan agregat halus, dengan keunggulan seperti tahan tekanan tinggi, tahan api, mudah dibentuk, serta bahan-bahannya mudah didapat dan murah. Oleh karena itu, beton banyak digunakan dalam konstruksi. Komposisi campuran beton dapat berbeda di setiap daerah sesuai kebutuhan mutu. Sungai Tombang di Kabupaten Luwu memiliki sumber daya alam yang baik berupa pasir dan batu pecah yang digunakan sebagai agregat oleh masyarakat setempat. Meskipun agregat dari Sungai Tombang telah digunakan dalam konstruksi, belum ada penelitian yang membuktikan kelayakannya untuk konstruksi struktural.

Beberapa penelitian sejenis terdahulu yaitu, penggunaan *bottom ash* sebesar 35% menghasilkan kinerja terbaik, dengan kuat tekan 33,764 MPa, kuat tarik belah 3,253 MPa, dan modulus elastisitas 27.332,0255 MPa pada umur 28 hari. Persentase hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan untuk variasi *bottom ash* 0%, 25%, dan 35% berturut-turut sebesar 8,007%, 8,983%, dan 9,635%, sesuai dengan standar yang berkisar antara 7% hingga 11%. *Bottom ash* 35% juga mencapai $f'c$ 30 MPa dan dapat digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus.[1]. Karakteristik agregat alami yang digabungkan dapat memenuhi persyaratan sebagai agregat bahan untuk produksi beton polos dan beton struktural. Selain itu, kuat tekan beton pun diperoleh 11,16 MPa, 18,07 MPa, dan 22,07 untuk sampel FAS masing-masing 0,6, 0,5, dan 0,4.[2]. Agregat dari Sungai Battang memenuhi Standar Nasional dan mencapai nilai kuat tekan yang direncanakan.[3]. Karakteristik yang dihasilkan dari Sungai Mata Allo memenuhi standar spesifikasi SNI untuk digunakan sebagai bahan campuran beton.[4]. Penelitian menunjukkan kuat tekan beton rata-rata pada usia 7, 14, 21, dan 28 hari berturut-turut adalah 9,903 MPa, 15,468 MPa, 18,203 MPa, dan 21,126 MPa. Pada umur 28 hari, kuat tarik belah mencapai 2,028 MPa, kuat lentur 2,756 MPa, dan modulus elastisitas 21.252,778 MPa. Disimpulkan bahwa nilai-nilai tersebut memenuhi mutu rencana, sehingga agregat tersebut layak digunakan dalam konstruksi beton.[5]. Penggunaan kerikil alam sebagai agregat kasar pada beton menghasilkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan kerikil pecah.[6]. Benda uji yang diberi *silica fume* juga mengalami peningkatan modulus elastisitas rata-rata sebesar 23,79%. Kuat tarik belah pada benda uji dengan *silica fume* naik rata-rata sebesar 18,91%, dan terdapat penurunan rata-rata 9,90% dalam serapan air.[7]. Pemanfaatan Agregat Sungai To Puang Kabupaten Tana Toraja Sebagai Bahan Campuran Beton". Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, beton memiliki nilai kuat tekan sebesar 30,290 MPa, yang mengalami peningkatan sebesar 8,176%. Nilai kuat tarik belahnya mencapai 2,902 MPa, kuat lenturnya 3,376 MPa, dan modulus elastisitasnya 20.820,747 MPa. Agregat dari sungai ini dapat digunakan dalam pembuatan campuran beton normal.[8]. Substitusi sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% serta penambahan sabut kelapa 4%, diperoleh kuat tekan masing-masing sebesar 25,64 MPa, 25,93 MPa, 26,11 MPa, dan 26,40 MPa. Kuat tarik belah yang dihasilkan berturut-turut adalah 2,59 MPa, 2,97 MPa, 3,11 MPa, dan 3,23 MPa.[9]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang menggunakan batu pecah mencapai 31,139 MPa, sehingga lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang menggunakan batu alami (bulat). Selain itu, beton yang menggunakan batu pecah menghasilkan kuat tarik belah sebesar 3,586 MPa, sedangkan beton yang menggunakan batu alami hanya mencapai 2,878 MPa.[10]. Menambahkan variasi dalam karakteristik beton dan mengoptimalkan campuran dapat menghasilkan kinerja struktural yang lebih baik, ketahanan yang lebih baik terhadap gaya seismik, dan meningkatkan keselamatan dan daya tahan bangunan di wilayah tersebut[11][12]. Sifat mekanik struktur beton hidrolik di daerah dingin dipengaruhi oleh suhu rendah dan siklus beku-cair, dan sifat mekaniknya sangat berbeda dibandingkan dengan keadaan suhu ruangan[13][14]. Suhu yang lebih tinggi menyebabkan kerusakan yang lebih parah pada beton, dan perbedaan suhu yang disebabkan oleh kejutan termal memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik beton selama proses pendinginan[15].

METODOLOGI

A. Material

1. Semen
2. Agregat kasar dan agregat halus bersal dari sungai Tombang, Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan.
3. Air bersih yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar.

B. Persamaan

Kuat tekan beton:

$$f'c = P/A \tag{1}$$

Kuat tarik belah beton:

$$ft = 2.P/\pi .L.d \tag{2}$$

Kuat lentur beton:

$$fr = P.L/b.h^2 \tag{3}$$

Kuat lentur beton:

$$Ec = s_2-s_1/ \varepsilon_2 - 0,00005 \tag{4}$$

C. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

1. Agregat Kasar

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian Karateristik Agregat Kasar

Agregat Kasar				
NO.	KARAKTERISTIK	HASIL	INTERVAL ASTM	KETERANGAN
1	Kadar Air	0,846 %	0.5% - 2.0%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0,420 %	0.2% - 1.0%	Memenuhi
3	Berat Jenis SSD	2,643	1.60 - 3.20	Memenuhi
4	Absorpsi (Penyerapan)	0,887 %	0.20% - 2.00%	Memenuhi
5	Berat Volume Padat	1621,05 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
6	Berat Volume Gembur	1553,80 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	7,235	5,50 - 8,50	Memenuhi

Berdasarkan tabel di atas, karakteristik agregat kasar memenuhi rentang yang disyaratkan, sehingga agregat kasar ini layak digunakan dalam produksi beton.

2. Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik agregat halus bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Karateristik Agregat Halus

AGREGAT HALUS				
NO.	KARAKTERISTIK	HASIL	INTERVAL ASTM	KETERANGAN
1	Kadar Air	3,415 %	3.0% - 5.0%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	1,408 %	0.2% - 6.0%	Memenuhi
3	Berat Jenis SSD	2,593	1.60 - 3.20	Memenuhi
4	Absorpsi (Penyerapan)	0,688 %	0.20% - 2.00%	Memenuhi
5	Berat Volume Padat	1504,95 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi

6	Berat Volume Gembur	1488,30 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	2,736	2,20 - 3,10	Memenuhi
8	Zat Organik	No. 2	< No.3	Memenuhi

Berdasarkan tabel di atas, karakteristik agregat halus memenuhi rentang yang disyaratkan, sehingga agregat kasar ini layak digunakan dalam produksi beton.

D. Perencanaan Campuran Beton

Tabel 3. Perencanaan Campuran Beton Dengan Mutu Rencana 25 MPa

Proporsi campuran	Mix design
Semen <i>Portland</i>	376,671 kg/m ³
Air	186,000 kg/m ³
Agregat Kasar	1096,478 kg/m ³
Agregat Halus	720,851 kg/m ³

Berdasarkan tabel di atas didapatkan hasil dari *mix design* pada campuran beton dengan mutu rencana 25 MPa menggunakan SNI-7656–2012.

Tabel 4. Perencanaan Campuran Beton Dengan Mutu Rencana 35 MPa

Proporsi campuran	Mix design
Semen <i>Portland</i>	432,558 kg/m ³
Air	186,000 kg/m ³
Agregat Kasar	1096,478 kg/m ³
Agregat Halus	664,964 kg/m ³

Berdasarkan tabel di atas didapatkan hasil dari *mix design* pada campuran beton dengan mutu rencana 35 MPa menggunakan SNI-7656–2012.

E. Benda Uji

Tabel 5. Jumlah Benda Uji Untuk Kuat Tekan

No	Mutu f'c (Mpa)	Kode	Agregat	Jenis Pengujian	Bentuk Benda Uji	Jumlah dan Umur Benda Uji		
						7 hari	21 hari	28 hari
1	25	PKT	100%	Kuat Tekan	Silinder Ukuran 15 x 30 cm	3	3	3
2	35	PKT	100%	Kuat Tekan	Silinder Ukuran 15 x 30 cm	3	3	3

Berdasarkan tabel di atas, penggunaan tiga benda uji memungkinkan perhitungan nilai rata-rata dari hasil pengujian.

Tabel 6. Jumlah Benda Uji Untuk Kuat Tarik Belah

No	Mutu f'c (Mpa)	Kode	Agregat	Jenis Pengujian	Bentuk Benda Uji	Jumlah dan Umur Benda Uji 28 Hari
1	25	PKTB	100%	Kuat Tarik Belah	Silinder Ukuran 15 x 30 cm	3
2	35	PKTB	100%		Silinder Ukuran 15 x 30 cm	3

**Kuat Tarik
Belah**

Tabel 7. Jumlah Benda Uji Untuk Kuat Lentur

No	Mutu f'c (Mpa)	Kode	Agregat	Jenis Pengujian	Bentuk Benda Uji	Jumlah dan Umur Benda Uji 28 Hari
1	25	BKL	100%	Kuat Lentur	Balok Ukuran 60x15x15 cm	3
2	35	BKL	100%	Kuat Lentur	Balok Ukuran 60x15x15 cm	3

Tabel 8. Jumlah Benda Uji Untuk Modulus Elastisitas

No	Mutu f'c (Mpa)	Kode	Agregat	Jenis Pengujian	Bentuk Benda Uji	Jumlah dan Umur Benda Uji 28 Hari
1	25	ME	100%	Modulus Elastisitas	Balok Ukuran 60x15x15 cm	3
2	35	ME	100%	Modulus Elastisitas	Balok Ukuran 60x15x15 cm	3



Gambar 1. Benda Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Mutu Rencana 25 MPa

Mutu Beton	Umur	Beban Maksimum (Kn)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 hari (Mpa)	Rata-rata (MPa)
25 Mpa	7 hari	310	17.535	16,593	26.977	25,527
		270	15.273		23.497	
		300	16.970		26.107	
	21 hari	430	24.323	24,323	25.603	25,603
		440	24.889		26.199	
		420	23.758		25.008	
		450	25.455		25.455	
	28 hari	440	24.889	25,643	24.889	25,643
		470	26.586		26.586	

Dilihat dari tabel di atas rata-rata kuat tekan konversi 28 hari untuk beton mutu rencana 25 MPa memenuhi dan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Mutu Rencana 35 MPa

Mutu Beton	Umur	Beban Maksimum (Kn)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Rata-rata (MPa)	Kuat Tekan Konversi 28 hari (MPa)	Rata-rata (MPa)
35 Mpa	7 hari	405	22.909	23,003	35.245	35,390
		400	22.626		34.810	
		415	23.475		36.115	
	21 hari	595	33.657	33,657	35.428	35,428
		585	33.091		34.833	
		605	34.222		36.023	
		630	35.636		35.636	
	28 hari	625	35.354	35,636	35.354	35,636
		635	35.919		35.919	

Dilihat dari tabel di atas rata-rata kuat tekan 28 hari untuk beton mutu rencana 35 MPa memenuhi dan sesuai dengan spesifikasi.

B. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Tabel 11. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Mutu Beton	Umur	Beban Maksimum (Kn)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata Kuat Tarik Belah (MPa)
25 Mpa	28 hari	12.43	195	2.758	2,734
		12.42	185	2.616	
		12.45	200	2.828	
35 Mpa	28 hari	12.39	250	3.535	3,559
		12.67	260	3.677	
		12.53	245	3.465	

Berdasarkan tabel di atas beton dengan mutu lebih tinggi (35 MPa) memiliki rata-rata kuat tarik belah lebih tinggi dibandingkan beton mutu lebih rendah (25 MPa) dengan kuat tarik belah menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton meningkatkan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik.

C. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Tabel 12. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Mutu Beton	Umur	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Beban Maksimum (Kn)	Kuat Lentur (MPa)	Rata-rata (MPa)
25 Mpa	28 hari	600	150	150	19123.065	3.400	3,429
					18142.395	3.225	
					20594.070	3.661	
35 Mpa	28 hari	600	150	150	27458.760	4.882	4,853
					26478.090	4.707	
					27949.095	4.969	

Berdasarkan tabel di atas beton dengan mutu yang lebih tinggi (35 MPa) memiliki nilai rata-rata kuat lentur yang lebih tinggi (4,853 MPa) dibandingkan dengan beton mutu lebih rendah (25 MPa) yang memiliki kuat lentur sebesar 3,429 MPa. Ini menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan mutu beton, kemampuan beton untuk menahan gaya lentur juga meningkat.

D. Modulus Elastisitas

Tabel 13. Hasil Pengujian Elastisitas Beton Dengan Mutu Rencana 25 MPa

No Sampel	P (Kn)	strain Vertikal	Tegangan	S2 (MPa)	S1 (MPa)	ϵ	E	Rata-rata
1	0	0.0000000	0.000	10,182	2,020	0,0003867	24242,424	
	50	0.0000700	2.828					
	100	0.0001667	5.657					
	150	0.0002667	8.485					
	200	0.0004667	11.313					
	250	0.0006000	14.141					
	300	0.0007667	16.970					
	350	0.0009000	19.798					
	400	0.0010000	22.626					
	450	0.0011333	25.455					
	400	0.0012667	22.626					
350	0.0014333	19.798						
2	0	0.0000000	0.000	9,956	1,515	0,0004040	23842,949	24045,335
	50	0.0000933	2.828					
	100	0.0002333	5.657					
	150	0.0003000	8.485					
	200	0.0005000	11.313					
	250	0.0006333	14.141					
	300	0.0008000	16.970					
	350	0.0009333	19.798					
	400	0.0010667	22.626					
	440	0.0012333	24.889					
	400	0.0013667	22.626					
350	0.0014667	19.798						
3	0	0.0000000	0.000	10,634	1,768	0,0004187	24050,633	
	50	0.0000800	2.828					
	100	0.0002000	5.657					
	150	0.0002667	8.485					
	200	0.0004667	11.313					
	250	0.0006000	14.141					
	300	0.0007333	16.970					
	350	0.0009000	19.798					
	400	0.0011000	22.626					
	450	0.0012333	25.455					
	470	0.0013667	26.586					
450	0.0014333	25.455						
400	0.0015000	22.626						

Berdasarkan tabel di atas modulus elastisitas lebih tinggi pada beton mutu 35 MPa dibandingkan dengan beton mutu yang lebih rendah, seperti 25 MPa, peningkatan kemampuan beton dalam menahan deformasi elastis seiring dengan peningkatan mutu betonnya.

Tabel 14. Hasil Pengujian Elastisitas Beton Dengan Mutu Rencana 35 MPa

P (Kn)	strain
--------	--------

No Sampel	vertikal	Tegangan	S2 (MPa)	S1 (MPa)	ϵ	E	Rata-rata
1	0	0.0000000	0.000	14,255	1,212	0,0005353	28643,684
	50	0.0001167	2.828				
	100	0.0002333	5.657				
	150	0.0003000	8.485				
	200	0.0004333	11.313				
	250	0.0005000	14.141				
	300	0.0006333	16.970				
	350	0.0007667	19.798				
	400	0.0009000	22.626				
	450	0.0010333	25.455				
	500	0.0011333	28.283				
	550	0.0012667	31.111				
	600	0.0014333	33.939				
	630	0.0015667	35.636				
	600	0.0017667	33.939				
550	0.0019000	31.111					
2	0	0.0000000	0.000	14,141	0,786	0,0005333	28332,209
	50	0.0001800	2.828				
	100	0.0002333	5.657				
	150	0.0003333	8.485				
	200	0.0004000	11.313				
	250	0.0005333	14.141				
	300	0.0006333	16.970				
	350	0.0007667	19.798				
	400	0.0008667	22.626				
	450	0.0010000	25.455				
	500	0.0011667	28.283				
	550	0.0013000	31.111				
	600	0.0014333	33.939				
	625	0.0016000	35.354				
	600	0.0017667	33.939				
550	0.0018667	31.111					
3	0	0.0000000	0.000	14,368	1,061	0,0005133	28720,296
	50	0.0001333	2.828				
	100	0.0002333	5.657				
	150	0.0003000	8.485				
	200	0.0004333	11.313				
	250	0.0005000	14.141				
	300	0.0006667	16.970				
	350	0.0008000	19.798				
	400	0.0009000	22.626				

Berdasarkan tabel di atas modulus elastisitas lebih tinggi pada beton mutu 35 MPa dibandingkan dengan beton mutu yang lebih rendah, seperti 25 MPa, peningkatan kemampuan beton dalam menahan deformasi elastis seiring dengan peningkatan mutu betonnya.

KESIMPULAN

Agregat dari Sungai Tombang dapat digunakan sebagai campuran beton struktural karena telah memenuhi mutu rencana kuat tekan 25 MPa dan 35 MPa, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas.

REFERENSI

- [1] A. C. Posedung, F. Phengkarsa, dan D. Sandy, "Pemanfaatan Bottom Ash Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kekuatan Beton," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 3, hlm. 187–195, 2020.
- [2] A. Adiwijaya, K. Khairil, H. Hasriana, N. Haeruddin, dan D. J. Fahirah, "Evaluasi Pemanfaatan Gabungan Agregat Alami Sungai Karebbe Pada Produksi Beton," *Semin. Nas. Has. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy. SNP2M*, vol. 6, no. 1, hlm. 151–155, 2021.
- [3] D. N. Mantja, D. Sandy, dan T. A. Gunadi, "Pengaruh Agregat Sungai Battang Terhadap Kekuatan Beton," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 4, hlm. 233–241, 2020.
- [4] E. K. Pangloli, H. Parung, dan J. Mara, "Pemanfaatan Agregat Sungai Mata Allo Enrekang Sebagai Bahan Campuran Beton," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 4, no. 1, hlm. 33–43, 2022.
- [5] F. I. Alnaldi, H. Parung, dan B. Kusuma, "Pemanfaatan Agregat Sungai Aralle Kecamatan Buntu Malangka sebagai Bahan Campuran Beton," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 4, no. 1, hlm. 97–109, 2022.
- [6] F. V. Supit, R. Pandaleke, dan S. O. Dapas, "Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Agregat yang Berasal Dari Beberapa Tempat di Sulawesi Utara," *J. Ilm. Media Engineering*, vol. 6, no. 2, hlm. 476–484, 2016.
- [7] J. J. Sudjati, A. E. Atmaja, dan G. A. L. Suwignyo, "Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus Dengan Serbuk Kaca Dan Silica Fume Terhadap Sifat Mekanik Beton," *J. Tek. Sipi*, vol. 13, no. 2, 2015.
- [8] M. B. Allo, H. Parung, dan J. Mara, "Pemanfaatan Agregat Sungai To Puang Kabupaten Tana Toraja Sebagai Bahan Campuran Beton," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 4, hlm. 577–586, 2021.
- [9] M. D. Prasetya, A. Setiawan, dan F. Lebang, "Pemanfaatan Agregat Sungai Buri' Kecamatan Rembon Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Sabut Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton," *J. Penelit. Tek. Sipil Konsolidasi*, vol. 1, no. 2, hlm. 123–130, 2023.
- [10] M. Mustakim, H. Hairil, dan Y. Yanas, "Karakteristik Beton Menggunakan Agregat Kasar Sungai Karawa Kabupaten Pinrang," *J. Karajata Eng.*, vol. 1, no. 1, hlm. 32–38, 2021.
- [11] O. Bozdogan, "Determination of mechanical properties of concrete and steel materials taken from buildings in Antakya after the Kahramanmaraş earthquakes," *Case Studies in Material Construction.*, vol. 21, 2024.
- [12] R. C. Silva, "Mechanical Properties of Concrete Produced with Coarse Aggregates from Different Mineralogical Origins Using Ultrasonic Tests," *International Journal of Concrete Structures and Materials.*, vol. 17, no. 66, 2023.
- [13] L. Gan, et.al, "Dynamic mechanical properties of concrete with freeze-thaw damage under different low-temperature conditions" *Journal of Building Engineering.*, vol. 80, 2023.
- [14] P. Yu, et.al, "Pore structure and prediction of mechanical properties by ANN of concrete mixed MK and SF under hydrochloric acid corrosion," *Construction and Building Materials.*, vol. 409, 2023.
- [15] J. Miao, et.al, "Experimental research on heat transfer and mechanical properties of concrete subjected to elevated temperature during the water-cooling process," *Journal of Building Engineering.*, vol. 80, no. 1, 2023.