Penggunaan Agregat Kasar Batu Gunung Salubue Terhadap Beton Mutu Tinggi

Deo Saldi Tanga*1, Frans Phengkarsa*2, Desi Sandy*3

- *1 Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar Email saldideo70@gmail.com
 - *2 Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar Email fphengkarsa@hotmail.com
 - *3 Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar Email sandy.mylife@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini untuk mengetahui karakteristik agregat kasar yang berasal dari gunung Salubue serta karakteristik beton mutu tinggi. Agregat yang digunakan berasal dari Desa Rantepuang, Kabupaten Mamasa, Provinsi Sulawesi Barat. Pengujian menggunakan benda uji silinder tinggi 30 cm dengan diameter 15 cm serta balok 60 x 15 x 15 cm, terhadap sifat mekanis beton. Jumlah benda uji adalah 20 buah benda uji silinder dan 4 buah benda uji balok. Rancangan komposisi material penyusun beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Dari hasil penelitian diperoleh untuk kuat tekan beton pada umur 7 hari nilainya 24,606 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton umur 21 hari nilainya 37.475 MPa, serta kuat tekan beton umur 28 hari yaitu 43.202 MPa, mengalami peningkatan sebesar 2,782 % dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 42 MPa. Nilai tarik belah beton yaitu 3,164 MPa. Nilai kekuatan lentur beton adalah 4,797 MPa. Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah sebesar 7,323% terhadap nilai kuat tekan, dan hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur sebesar 11,104% terhadap nilai kuat tekan. Dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar gunung Salubue memenuhi standar SNI sebagai bahan campuran beton dan berdasarkan sifat mekanik beton memenuhi kuat tekan rencana.

Kata Kunci: Agregat batu Gunung Salubue, Beton Mutu Tinggi, Sifat Mekanis Beton

ABSTRACT

Aims of this study is to determine the characteristics and high quality concrete of coarse aggregate originating from Mount Salubue. The test uses a cylindrical specimen with a height of 30 cm with a diameter of 15 cm and a beam of 60 x 15 x 15 cm, on the mechanical properties of the concrete. The number of specimens is 20 cylindrical specimens and 4 beam specimens. The design of the composition of the constituent materials of concrete uses the SNI 03-2834-2000 method. The results showed that the relationship between compressive strength and split tensile strength is 7.323% to the compressive strength value, and the relationship between compressive strength and flexural strength is 11.104% to the compressive strength value. The characteristics of the coarse aggregate of Mount Salubue meet the SNI standards as a concrete mixture and meets the compressive strength of the plan.

Keywords: Salubue mountain rock aggregate, compressive strength, split tensile strength, flexural strength, high quality concrete

PENDAHULUAN

Beton adalah bahan konstruksi yang bersifat kaku terbentuk dari pencampuran antara kerikil (Agregat kasar), pasir (Agregat halus), semen Portland (Bahan pengikat), air, dapat juga atau tanpa bahan tambah beton. Dalam campuran proporsional beton, baik itu agregat kasar maupun agregat halus menempati 60 – 70 % dari total volume beton sehingga menjadikan kualitas agregat sangat menentukan kualitas beton itu sendiri.[1] Pembangunan di Kabupaten Mamasa khususnya dalam bidang konstruksi beton baik itu bangunan

gedung maupun jalan atau jembatan, lebih banyak menggunakan agregat yang berasal dari sungai. Sehingga penggunaan agregat yang berasal dari batuan beku untuk bahan campuran beton masih belum banyak digunakan, Khususnya untuk campuran beton mutu tinggi. Sehingga penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian penggunaan batuan beku untuk digunakan sebagai agregat kasar untuk bahan campuran beton.

Beton mutu tinggi merupakan beton yang memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton mutu normal. Beton mutu tinggi juga bisa diartikan beton

yang mengarah pada kekuatan yang tinggi (*High Strength Concrete*), yang memperhatikan ketahanan (*durability*) beton serta kemudahan saat mengerjakan beton (*workability*). Berdasarkan kekuatannya, pengklasifikasian beton dibagi menjadi tiga kelas yaitu Beton dengan kuat tekan 200-500 kg/cm² disebut beton *Normal Strength Concrete*, Beton dengan kuat tekan 500-800 kg/cm² disebut beton Mutu tinggi *High Strength Concrete*, dan Beton dengan kuat tekan lebih tinggi dari 800 kg/cm² disebut beton mutu sangat tinggi *Very High Strength Concrete*.

Beton merekat karena semen yang dicampur dengan air akan mengikat agregat kasar dengan agregat halus. merekatnya pasta semen pada agregat terjadi dengan cara mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga agregat saling mengikat. Pengikatan agregat dengan semen menjadikan beton bersifat kaku dan memiliki kekuatan tekan besar namun lemah terhadap tarik dan menurut perhitungan kasar, kekuatan tarik beton sekitar 5% - 9% dari kuat tekannya.[2]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat kasar gunung Salubue sebagai bahan campur beton mutu tinggi dan untuk memperoleh hasil pengujian menggunakan benda uji silinder dan balok terhadap sifat mekanik beton yang menggunakan agregat batu gunung Salubue sebagai bahan agregat kasar pada campuran beton mutu tinggi.

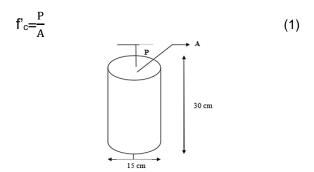
1. Bahan Penyusun Beton

- a. Semen Portland Komposit (PCC) adalah bahan pengikat yang merupakan hasil penggilingan terak semen dengan gips bahan anorganik. Bahan anorganik biasanya antara lain terak tanur tinggi, pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dan kadar bahan anorganik sebanyak 6% - 35% dari berat semen portland komposit.
- b. Agregat Kasar. Ukuran butir agregat juga akan sangat mempengaruhi mutu beton yang dibuat. Hasil penelitian Larrard (1990) mengemukakan bahwa butir maksimum untuk membuat beton mutu tinggi baiknya tidak lebih dari 15 mm, namun agregat dengan ukuran 25 mm akan masih memungkinkan didapatkan mutu beton tinggi.[3]
- c. Agregat Halus. Menurut SNI 03-2847-2002, agregat halus merupakan disintegrasi secara 'alami' dari batuan dan pasir yang dihasilkan dari mesin pemecah batu dan mempunyai besar butir terkecil 0,074 mm dan terbesar 5 mm.
- d. Air adalah bahan dasar campuran beton yang sangat penting. Air digunakan untuk bereaksi dengan semen, serta sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Air yang digunakan harus bebas dari bahan perusak yang mengandung minyak, alkali, garam, bahan

- organik, dan bahan lain yang mengurangi daya rekat beton.
- e. Bahan Tambah (*Superplasticizer*) digunakan agar tidak mengurangi kadar semen dan nilai *slump* untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau faktor air semen yang rendah. Dengan bahan tambah seperti *Superplasticizer* diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan jumlah air yang sedikit, akan tetapi kemudahan pekerjan juga lebih mudah.[4]

2. Sifat Mekanik Beton

a. Kuat Tekan Beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan.[5]

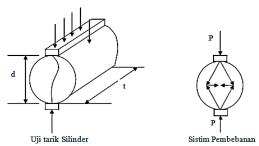


Gambar 1. Pengujian kuat tekan beton

b. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah adalah kuat tarik belah beton yang diperoleh berdasarkan beban yang mampu diterima beton pada sisi panjangnya sampai terjadi belah pada beton.[6]





Gambar 2. Pengujian kuat tarik belah beton

c. Kuat Lentur Beton

Kekuatan tarik di dalam lentur yang dikenal dengan modulus runtuh (modulus of rupture) merupakan sifat yang penting di dalam menentukan retak dan lendutan.[7] Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Pada saat beban luar

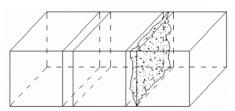
mencapai taraf pembebanan demikian disebut keadaan batas keruntuhan karena lentur.[8]

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2} \tag{3}$$

$$\sigma = \frac{P \times a}{b \times h^2} \tag{4}$$



Gambar 3. Pengujian kuat lentur dimana keruntuhan terjadi di tengah bentang



Gambar 4. Pengujian kuat lentur dimana keruntuhan terjadi di luar tengah bentang

METODE

Tempat pengambilan material yang digunakan berada di Desa Rantepuang, Kabupaten Mamasa, Provinsi Sulawesi Barat. Material diambil pada tanggal 14 Mei 2020. Lokasi pengambilan dapat lihat pada gambar 5.



Gambar 5. Lokasi pengambilan material

1. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini, agregat yang digunakan sebagai bahan campuran beton, diperiksa karakteristiknya untuk menjamin kualitas agregat yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi karakteristik agregat halus

Interval Batas	Pedoman
0,2-6	SNI 03-4142:1996
>3	SNI 2816:2014
3-5	SNI 03-1971:2011
1400-1900	SNI 03-4804:1998
200-2000	SNI 03-4804:1998
0,20-2,00	SNI 1970:2008
1,6-3,2	SNI 1970:2008
2,20 - 3,10	SNI 03-1968-1990
	0,2 - 6 >3 3-5 1400-1900 200-2000 0,20-2,00 1,6 - 3,2

Tabel 2. Spesifikasi karakteristik agregat kasar

Karakteristik Agregat Kasar	Interval Batas	Pedoman
Kadar lumpur, %	0,2 - 1,0	SNI 03-4142-1996
Kadar air, %	0,5-2,0	SNI 03-1971-1990
Berat volume padat, kg/ m ³	1400-1900	SNI 03-4804-1998
Berat volume gembur, kg/ m ³	1400-1900	SNI 03-4804-1998
Penyerapan, %	0,20-2,00	SNI 1969-2008
Berat jenis	1,6 - 3,2	SNI 1969-2008
Keausan Agregat, %	<40	SNI 2417-2008

2. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan komposisi bahan campuran untuk membuat benda uji mengacu pada metode SNI 03-2384-2000.

3. Identifikasi Sampel Uji

Sampel uji yang digunakan yaitu: berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dan

berbentuk balok dengan ukuran 60 x 15 x 15 cm pada pengujian kuat lentur.

Tabel 3. Identifikasi sampel uji kuat tekan

Kode	Jenis Pengujian	Umur Sampel Uji	Bentuk Benda Uji (mm)	Jumlah Benda Uji
DST 1	Kuat Tekan	7 hari	Silinder 150 x 300	4
DST 2	Kuat Tekan	21 hari	Silinder 150 x 300	4
DST 3	Kuat Tekan	28 hari	Silinder 150 x 300	4

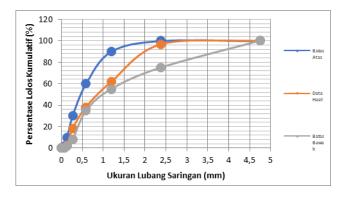
Tabel 4. Identifikasi sampel uji kuat tarik belah dan kuat

Kode	Jenis Pengujian	Umur Benda Uji	Bentuk Benda Uji (mm)	Jumlah Benda Uji
DSTB	Kuat Tarik Belah	28 hari	Silinder	4
			150 x 300	
DSKL	Kuat Lentur	28 hari	Balok	4
			600 x 150 x 150	

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Agregat Halus

Pemeriksaan karakteristik agregat halus didasarkan pada spesifikasi standar SNI. Hasil pemeriksaan diperoleh setelah dilakukan pengujian dan analisis sehingga diperoleh data seperti yang terlihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus maka diperoleh grafik pebagian butir agregat halus , seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pembagian butir agregat halus

Tabel 5. Pemeriksaan karakteristik agregat halus

Karakteristik Agregat Halus	Hasil	Interval Batas
Kadar lumpur, %	1,30 %	0,2 - 6
Kadar organik, warna	No. 2	<no.3< td=""></no.3<>
Kadar air, %	3,735	3-5
Berat volume padat, kg/ m ³	1433	1400-1900
Berat volume gembur, kg/ m ³	1310	200-2000
Penyerapan,%	1,834	0,20-2,00
Berat jenis (SSD)	2,513	1,6 – 3,2
Modulus kehalusan	2,829	2,20 - 3,10

Dari grafik pembagian butir agregat halus diatas, nilai persentase lolos kumulatif untuk setiap ukuran saringan memenuhi standar batas atas dan batas bawah yaitu pada saringan 4,75 mm diperoleh nilai 100% dengan batas bawah 100% dan batas atas 100%, pada saringan 2,38 mm diperoleh nilai

96,649% dengan batas bawah 80% dan batas atas 100%, pada saringan 1,19 mm diperoleh nilai 61,662% dengan batas bawah 50% dan batas atas 85%, pada saringan 0,59 mm diperoleh nilai 38,208% dengan batas bawah 25% dan batas atas 60%, pada saringan 0,27 mm diperoleh nilai 18,064% dengan batas bawah 10% dan batas atas 30%, pada saringan 0,14 mm diperoleh nilai 2,511% dengan batas bawah 2% dan batas atas 10%, pada

saringan 0,074 mm diperoleh nilai 0,460% dengan batas bawah 0% dan batas atas 2%.

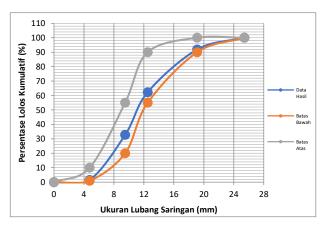
2. Karakteristik Agregat Kasar

Pemeriksaan karakteristik agregat kasar didasarkan pada spesifikasi standar SNI. Hasil pemeriksaan diperoleh setelah dilakukan pengujian dan analisis sehingga diperoleh data seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemeriksaan karakteristik agregat kasar

Karakteristik Agregat Halus	Hasil	Interval Batas
Kadar lumpur, %	0,92 %	0,2 - 6
Kadar air, %	0,564	3-5
Berat volume padat, kg/ m³	1569	1400-1900
Berat volume gembur, kg/ m ³	1442	1400-1900
Penyerapan,%	1,154	0,20-2,00
Berat jenis (SSD)	2,628	1,6 - 3,2
Keausan Agregat	19,3	< 40 %

Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar maka diperoleh grafik pebagian butir agregat kasar, seperti tersajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pembagian butir agregat kasar

Berdasarkan grafik pembagian butir agregat kasar diatas, nilai persentase lolos kumulatif untuk setiap ukuran saringan memenuhi standar batas atas dan batas bawah yaitu pada saringan 25,4 mm diperoleh nilai 100% dengan batas bawah 100% dan batas atas 100%, pada saringan 19,10 mm diperoleh nilai 91,852% dengan batas bawah 90% dan batas atas 100%, pada saringan 12,50 mm diperoleh nilai 62,284% dengan batas bawah 55% dan batas atas 90%, pada saringan 9,50 mm diperoleh nilai 32,716% dengan batas bawah 20% dan batas atas 55%, pada saringan 4,75 mm diperoleh nilai 1,528% dengan batas bawah 0% dan batas atas 10%.

3. Perencanaan Campuran

Berdasarkan pemeriksaan karakteristik agregat yang telah diperoleh dan hasil perhitungan komposisi campuran menggunakan metode SNI 03-2834-2000 diperoleh komposisi campuran beton seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton

Material	Semen (kg)	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air	Superplasticizer (kg)
		(kg)	(kg)	(liter)	
1 m ³	550	591,6	965,3	220	5,5
1 Silinder	2,92	3,13	5,12	1,17	0,03
1 Balok	7,43	7,99	13,03	2,97	0,07
Perbandingan	1	1,1	1,8	0,4	0,01

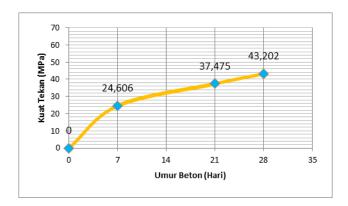
4. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian tekan beton dilakukan setelah mencapai umur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari, di laboratorium. Diperoleh hasil pengujian kuat tekan beton.

Tabel 8. Pengujian kuat tekan beton

Umur (Hari)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Aktual (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)	Kuat Tekan Konversi 28 hari (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
	430000	24.323		37.420	
7	325000	18.384	24.606	28.283	37.855
,	520000	29.414	24.000	45.253	
	465000	26.303		40.466	
	715000	40.444	37.475	42.573	
21	610000	34.505		36.321	39.447
۷1	675000	38.182	37.473	40.191	
	650000	36.768		38.703	
	765000	43.273		43.273	
28	735000	41.576	40.000	41.576	40.000
	785000	44.404	43.202	44.404	43.202
	770000	43.556		43.556	

Proses pengerasan beton berdasarkan hubungan kuat tekan beton dan umur beton bisa dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton

Grafik di atas dapat dilihat hubungan antara kuat tekan beton terhadap umur beton dimana pada saat umur beton 7 hari kuat tekan yang diperoleh sebesar 24,606 Mpa, pada saat umur beton 21 hari kuat tekan yang diperoleh sebesar 37,475 MPa, kemudian pada umur 28 hari kuat tekan diperoleh sebesar 43.202 Mpa. Terjadi peningkatan kekuatan beton dari umur 7 hari ke 21 hari sebesar 34,340 %, dan peningkatan kekuatan beton dari umur 21 hari ke 28 hari sebesar 13,256 %.

5. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Uji kuat tarik belah dilakukan saat umur beton 28 hari. Pengujian tarik belah dilakukan untuk memperoleh beban maksimum yang dapat diterima beton sampai terjadi belah pada beton.

Tabel 9. Hasil pengujian kuat tarik belah beton

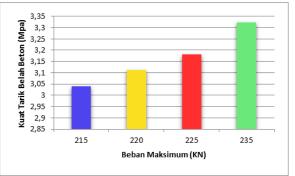
Umur (Hari)	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa)
28	300	150	215000 220000 225000 235000	3.040 3.111 3.182 3.323	3.164

Dari tabel hasil pengujian kuat tarik belah diatas dapat diketahui bahwa pada beban maksimum 215 KN diperoleh kuat tarik belah sebesar 3,040 MPa, pada beban maksimum 220 KN diperoleh kuat tarik belah sebesar 3,111 MPa, pada beban maksimum 225 KN diperoleh kuat tarik belah sebesar 3,182

MPa, dan pada beban maksimum 235 KN diperoleh kuat tarik belah sebesar 3,323 MPa.

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara kuat tarik belah beton terhadap beban maksimum dimana hubungannya berbanding lurus dan kuat tarik belah

beton tertinggi yaitu 3,323 MPa diperoleh pada beban maksimum tertinggi yaitu 235 KN.



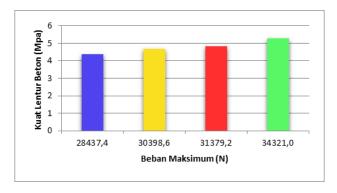
Gambar 9. Pengaruh beban maksimum terhadap kuat tarik belah beton

6. Penujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur didasarkan pada SNI 4431-2011 yaitu pengujian untuk mengetahui kemampuan beton menahan beban yang tegak lurus sumbu sampel uji sampai sampel uji patah saat sampel uji diletakkan di dua perletakan. Berikut hasil uji kuat lentur beton pada tabel 10. Dari tabel hasil pengujian kuat lentur diatas diperoleh kuat lentur masingmasing sebesar 4,381 MPa, 4,684 MPa, 4,835 MPa, dan 5,288 MPa dimana rata-rata kuat lentur yang diperoleh adalah sebesar 4,797 MPa.

Tabel 10. Hasil pengujian kuat lentur beton

L (mm)	b (mm)	h (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Lentur (Mpa)	Rata-rata Kuat Lentur (Mpa)
520	150	150	28437.4 30398.6 31379.2 34321.0	4.381 4.684 4.835 5.288	4.797



Gambar 10. Hubungan antara beban maksimum dan kuat lentur beton

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara kuat lentur beton terhadap beban maksimum dimana hubungannya berbanding lurus dan kuat lentur beton tertinggi yaitu 5,288 MPa diperoleh pada beban maksimum tertinggi yaitu 34321 N.

7. Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan untuk mengetahui nilai persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton. Didapatkan nilai kuat tekan beton umur 28 hari yaitu 43.202 MPa. Kuat tarik belah saat umur 28 hari yaitu 3,164 MPa.

Persentase hubungan =
$$\frac{T}{f/c}$$
 x 100% (5)

$$= \frac{3,164}{43,202} \times 100\%$$

$$= 7,323 \%$$
Koefisien:
$$T = x \sqrt{f'c}$$

$$x = \frac{T}{\sqrt{f'c}}$$

$$= \frac{3,164}{\sqrt{43,202}}$$

$$= 0.48$$

Nilai tersebut memenuhi atau sesuai dengan yang ditentukan yaitu nilai tarik belah rata-rata berkisar sekitar 7% sampai 11% dari kuat tekan.[9] Nilai koefisien antara kuat tekan dengan kuat tarik belah beton diperoleh sebesar 0,48 sehingga hubungan kuat tekan dan tarik belah didapat dengan persamaan $T=0.48\sqrt{f'c}$.[10] Dari persamaan tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai kuat tarik belah beton secara teoritis yang menggunakan agregat batu Gunung Salubue.

8. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Hubungan kuat tekan dengan kuat lentur beton dilakukan untuk mengetahui nilai persentase kuat lentur terhadap kuat tekan beton dan untuk mengetahui nilai koefisien korelasi antara kuat tekan dengan kekuatan lentur beton. Pada penelitian ini nilai kuat tekan pada umur 28 hari yaitu 43,202 MPa dan diperoleh nilai kuat lentur beton sebesar 4,797 Mpa. Persentase hubungan (menggunakan persamaan (5)), diperoleh 11,104% dan koefisien (menggunakan persamaan (6)) 0,73.

Nilai koefisien antara kuat tekan dengan kuat lentur beton diperoleh sebesar 0,73 sehingga hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton didapat dengan persamaan $\sigma = 0,73\sqrt{f'c}$. Dari persamaan tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur beton secara teoritis yang menggunakan agregat batu Gunung Salubue.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik beton didapatkan kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari adalah sebesar 43,202 Mpa dan mengalami peningkatan sebesar 2,782 % dari kuat tekan rencana yaitu sebesar 42 MPa. Nilai tarik belah beton rata-rata umur 28 hari diperoleh 3,164 Mpa dengan nilai persentase sebesar 7,323 % terhadap kuat tekan beton. Sedangkan nilai kuat lentur beton rata-rata umur 28 hari diperoleh sebesar 4,797 MPa dengan nilai persentase sebesar 11,104 % terhadap kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antoni dan P. Nugraha, 2007, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- [2] T. Mulyono, 2004, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI

- [3] P. Mehta dan F. de Larrard, "A Method for Proportioning High-Strength Concrete Mixtures," *Cem. Concr. Aggreg.*, vol. 12, no. 1, hlm. 47, 1990, doi: 10.1520/CCA10388J.
- [4] A. Pujianto, 2011, "Beton Mutu Tinggi dengan Admixture Superplastisizer dan Aditif Silicafume," J. Ilm. Semesta Tek., vol. 14, no. 2, hlm. 177–185.
- [5] SNI 1974 2011, "Metode Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder." Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- [6] SNI 2491 2014, "Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder." Badan Standarisasi Nasional, 2014.
- [7] SNI-4431-2011, "Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan." Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- [8] G. Edward dan Nawy, 1997, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar. Bandung: PT. ERESCO OFFSET.
- [9] A. Setiawan, 2016, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847-2013)*. Jakarta: Erlangga
- [10] D. M. Putra dan D. Widjaja, 2015, "Hubungan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton Ringan dengan *Crumb Rubber* dan Pecahan Genteng," *Rekayasa Sipil*, vol. 4, no. 2, hlm. 76–88.