Sifat Beton Ringan Struktural dengan Agregat Ringan Buatan dari Tanah Diatomae di bawah Beban Tekan

Nurul Husna¹Muttaqin²Taufiq Saidi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

Email: nurulhusnaar81@gmail.com

Abstract

The development of lightweight concrete usage is increasing. One method to obtain lightweight concrete is by using lightweight aggregates as a lightweight concrete mixture. Diatomaceous earth is an alternative that can be used as a lightweight aggregates in concrete mixture. The artificial lightweight coarse aggregates made from diatomaceous earth as varied into 2 types, the artificial lightweight coarse aggregates from diatomaceous earth and the artificial lightweight coarse aggregate from diatomaceous earth mixture and 5% sawdust. The objective of this study is to determine the value of concrete compressive strength the relationship of stress-strain, the modulus of elasticity, and crack patterns in structural lightweight concrete by using artificial lightweight coarse aggregates from diatomaceous earth. According to the results of the study, the highest average compressive strength was obtain in lightweight concrete with an artificial coarse aggregates from diatomaceous earth which amounted to 17,599 MPa therefore it met the requirements as structural lightweight concrete. The highest average modulus of elasticity was also in the lightweight concrete with artificial coarse aggregate from diatomaceous earth of 12110,11 MPa. The pattern of concrete destruction that occurs is the pattern of shear, cone and shear, and cone and split.

Keywords: *Structural Lightweight Concrete, Lightweight Aggregates, Diatomaceous Earth, Compressive Strength, Modulus of Elasticity.*

Abstrak

Perkembangan penggunaan beton ringan semakin meningkat. Salah satu cara mendapatkan beton ringan yaitu menggunakan agregat ringan sebagai campuran beton ringan. Tanah diatomae merupakan alternatif yang dapat digunakan sebagai agregat ringan dalam campuran beton. Agregat kasar ringan buatan yang dibuat dari tanah diatomae divariasikan menjadi 2 macam, yaitu agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae serta agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan, hubungan tegangan regangan, modulus elastisitas dan pola retak beton ringan struktural dengan agregat ringan buatan dari tanah diatomae. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata terbesar terdapat pada beton ringan dengan agregat kasar buatan dari tanah diatomae yaitu sebesar 17,599 MPa sehingga memenuhi persyaratan sebagai beton ringan struktural. Nilai modulus elastisitas rata-rata terbesar juga pada beton ringan dengan agregat kasar buatan dari tanah diatomae yaitu sebesar 12110,11 MPa. Pola kehancuran beton yang terjadi yaitu pola kehancuran geser, kerucut dan geser, serta kerucut dan belah.

Kata Kunci: *Beton Ringan Struktural, Agregat Ringan, Tanah Diatomae, Beban Tekan, Modulus Elastisitas.*

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi kini pembangunan proyek konstruksi yang terjadi di Indonesia semakin intens. Hal ini pasti akan menambah kebutuhan material yang digunakan dalam pembangunan struktur, seperti agregat. Agregat yaitu material yang digunakan dalam campuran beton.

Dalam dunia konstruksi sekarang sudah banyak menggunakan beton ringan, karena penggunaan beton ringan dalam suatu konstruksi dapat mengurangi beban mati suatu struktur bangunan. Beton ringan yang digunakan dalam konstruksi yaitu beton ringan struktural. Salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan beton ringan yaitu dengan menggunakan agregat ringan dalam campuran beton. Salah satu jenis agregat ringan yang dapat digunakan dalam pembuatan

beton ringan struktural yaitu agregat ringan yang berasal dari tanah diatomae.

Pada penelitian ini akan dikembangkan beton ringan struktural dengan cara membuat agregat ringan yang berasal dari tanah diatomae yang lebih kuat. Metode untuk memperoleh kuat tekan beton yang lebih tinggi dapat dipelajari dari penelitian sebelumnya yang relevan. Dalam penelitian ini akan digunakan metode pembuatan agregat ringan yang diajukan oleh Fragoulis et.al[1].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, hubungan tegangan-regangan, modulus elastisitas, dan pola kehancuran beton ringan struktural dengan menggunakan agregat ringan yang berbahan dasar dari tanah diatomae.

Batasan penelitian, diantaranya yaitu agregat kasar ringan buatan yang dibuat dari tanah diatomae divariasikan menjadi 2 macam, yaitu agregat kasar

ringan buatan yang dibuat dari tanah diatomae tanpa tambahan serbuk gergaji, serta agregat kasar ringan buatan yang dibuat dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder yang berukuran 10 cm x 20 cm. Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi agregat kasar ringan buatan adalah sebanyak 5 benda uji sehingga total benda uji adalah 10 buah. Pengujian dilakukan saat benda uji berumur 28 hari.

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data penggunaan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae berpengaruh terhadap besarnya nilai kuat tekan beton ringan yang diperoleh. Dari nilai kuat tekan dan berat isi beton ringan menggunakan kedua variasi agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae yang diperoleh dapat dimasukkan kedalam spesifikasi menurut SNI 03-3449-2002. Dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh kuat tekan rata-rata terbesar untuk beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae yaitu sebesar 17,599 MPa dengan berat isi rata-rata 1872,90 kg/m³, sehingga beton ringan dengan variasi ini termasuk beton ringan struktural. Sedangkan nilai kuat tekan beton rata-rata dengan agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji yaitu sebesar 15,368 MPa, sehingga beton ringan yang dihasilkan untuk variasi ini termasuk beton ringan struktural ringan. Nilai modulus elastisitas rata-rata terbesar juga terdapat pada beton ringan dengan agregat ringan buatan dari tanah diatomae yaitu sebesar 12110,11 MPa. Pola kehancuran beton yang terjadi cukup bervariasi yaitu, pola kehancuran geser, kerucut dan geser, serta kerucut dan belah.

2. Tinjauan Kepustakaan

2.1 Agregat Ringan

Agregat adalah salah satu material inti yang digunakan dalam campuran beton yang saling diikat oleh bahan perekat semen. Berdasarkan SNI 2847:2013[2], agregat ringan (*lightweight aggregate*) adalah agregat yang memiliki berat volume (*density*) gumpalan (*bulk*) lepas sebesar 1120 kg/m³ atau kurang. Menurut Mulyono[3], kepadatan agregat ringan adalah pada jarak sekitar 300 sampai dengan 1850 kg/m³. Pada umumnya, agregat ringan adalah agregat yang memiliki berat jenis yang ringan, memiliki porositas yang tinggi, serta memiliki kemampuan penghantar panas yang rendah. Agregat dapat berupa agregat ringan alami dan agregat ringan buatan.

2.2 Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang pembuatannya berasal dari agregat ringan. Berdasarkan ACI 213R-03[4], beton ringan adalah beton yang mempunyai nilai *bulk* antara 1190 kg/m³ sampai 1920 kg/m³. Beton ringan struktural yaitu beton yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan struktural. Menurut SNI 03-3449-2002[5], beton ringan struktural adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui

berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ dan harus memenuhi ketentuan kuat tekanan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural.

Menurut SNI 03-3449-2002[5], jenis beton ringan diklasifikasikan berdasarkan nilai kuat tekan, nilai berat beton, dan agregat penyusunnya yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Jenis-Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (Kg/m ³)	
Struktural			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau abu terbang;
❖ Minimum	17,24	1400	
❖ Maksimum	41,36	1850	
Struktural ringan			Agregat ringan alami seperti skoria atau batu apung
❖ Minimum	6,89	800	
❖ Maksimum	17,24	1400	
Struktural sangat ringan sebagai isolasi	-	-	Perlit atau vermikulit
❖ Minimum	-	800	
❖ Maksimum			

2.3 Tanah Diatomae

Definisi tanah diatomae adalah tanah yang mempunyai komposisi kimiawi berupa silika amorf dengan kadar mencapai sekitar 55-70%, tergantung dengan lokasinya[6]. Kadar senyawa silika dalam struktur tanah diatomae sangat beragam. Keberagaman tersebut sangat bergantung pada lokasi tanah diatomae tersebut[7]. Menurut Hidayati (2007) yang dikutip oleh Abida[8], komposisi kimia tanah diatomae terdiri dari 86% silika, 5% natrium, 3% magnesium, dan 2% besi.

Menurut Kirk dan Othmer[9], silika amorf (SiO₂ nH₂O) terdiri atas atom silikon dan oksigen yang merupakan komposisi tanah diatomae yang tersusun secara tetrahedron hampir sama seperti silika kristal tetapi jaringannya tidak terulang secara periodik dan simetri seperti halnya pada kristal. Didalam tanah diatomae juga terkandung zat organik dan oksida logam yang dapat menghambat daya serap ion logam. Proses kalsinasi akan mengurangi zat organik dan oksida logam selain SiO₂ sehingga SiO₂ semakin dominan.

Fragoulis, et al[1], telah menganalisis uji mineral dan kimia untuk *diatomaceous earth* dari Ellassona. Diperoleh hasil bahwa *diatomaceous earth* dari Ellassona terdiri dari Opal-A, *clay mineral*, *feldspars*, dan *quartz*. Sehingga diatomit Samos kaya kalsium oksida dan silikon dioksida, untuk *diatomaceous earth* dari Ellassona kaya silikon dioksida, aluminium oksida, dan besi (III) oksida.

Gambar hasil uji SEM *diatomaceous earth* dari Ellasona, Yunani diperlihatkan pada Gambar 1.

Gambar 1 Struktur Tanah Diatomae

2.4 Serbuk Gergaji

Serbuk gergaji adalah ampas pengolahan dari penggergajian kayu dapat dijadikan bahan tambah di dalam agregat ringan buatan.

2.5 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974-1990[10], kuat tekan beton adalah beban yang diberikan per satuan luas yang mengakibatkan benda uji silinder hancur bila diberi beban tekan tertentu pada saat pengujian.

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 1)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton benda uji silinder (MPa);
 P = Besar beban maksimum yang bekerja (N); dan
 A = Luas penampang benda uji (mm^2).

2.6 Pola Kehancuran Beton

Pola kehancuran terbentuk karena adanya gaya tekan dari atas dan bawah pada benda uji silinder. Pola kehancuran beton terdiri dari lima jenis yaitu:

1. Bentuk kehancuran kerucut;
2. Bentuk kehancuran kerucut dan belah
3. Bentuk kehancuran kerucut dan geser;
4. Bentuk kehancuran geser; dan
5. Bentuk kehancuran kolumnar.

Gambar 2 Pola Kehancuran Beton

2.7 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarik atau tekan di bawah batas proporsional[11]. Menurut ASTM C469-02[12], persamaan untuk menghitung nilai *modulus of elasticit* diperlihatkan pada Persamaan 2:

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

Dimana :

E = *Modulus of elasticity* beton (MPa);

S_2 = Tegangan pada saat beban mencapai 40% dari beban maksimum;

S_1 = Tegangan yang terjadi ketika regangan longitudinal mencapai 0,000050;

ϵ_2 = Regangan longitudinal pada saat beban mencapai 40% dari beban maksimum

2.8 Hubungan Tegangan dan Regangan

Menurut Gere dan Timoshenko[12], menyatakan bahwa besarnya regangan yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots 3)$$

Dimana :

ϵ = Regangan;

ΔL = Besar Perpendekan yang terjadi (mm); dan

L = Panjang pengamatan awal (mm).

3. Metodologi Penelitian

Langkah dalam penelitian ini dimulai dengan persiapan material dan peralatan, pembuatan agregat ringan, pemeriksaan sifat fisis agregat, rancangan *mix design* beton ringan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji, dan pengolahan data.

3.1 Sumber Data

Data-data yang dikumpulkan untuk mendukung penelitian ini didapatkan dari pengujian yang dilakukan di laboratorium, hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan, dan referensi-referensi sebagai sumber data. Data yang dikumpulkan selama penelitian meliputi data pengujian sifat-sifat fisis agregat (*bulk density*, *specific gravity*, *absorption*, dan *fineness modulus*), hasil perencanaan proporsi campuran beton, hasil pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan hubungan tegangan-regangan.

3.2 Material dan Peralatan

Material yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah Semen *Portland*, agregat halus, tanah diatomae, serbuk gergaji, dan air. Pada penelitian ini menggunakan semen *portland* tipe I yang merupakan produksi dari PT. Semen Andalas Indonesia (SAI). Peralatan yang dipakai adalah oven, mesin pengaduk beton (*concrete mixer*), cetakan benda uji silinder 10 cm x 20 cm, mesin uji kuat tekan beton, LVDT, mesin *los angeles*, dan peralatan penunjang lainnya.

3.3 Pembuatan Agregat Kasar Ringan

Agregat kasar ringan yang digunakan dalam campuran beton dibuat menjadi dua variasi. Sebelum digunakan dalam campuran, bongkahan tanah diatomae terlebih dahulu dihancurkan dengan menggunakan palu, kemudian tanah dioven pada suhu 100 °C selama 24 jam, lalu tanah diatomae yang telah dioven dihancurkan dengan menggunakan mesin Los Angeles hingga menjadi debu, setelah dihancurkan dengan mesin Los

Angeles tanah diatomae diayak dengan menggunakan ayakan no. 200. Kemudian tanah diatomae yang telah diayak dicampur dengan air (variasi 1); serta dicampur dengan 5% serbuk gergaji dengan ukuran partikel kurang dari 1 mm dan air (variasi 2). Setelah menjadi campuran, tanah diatomae dibuat menjadi bulat-bulatan kecil (dipelet) dengan ukuran 5-20 mm untuk dijadikan sebagai agregat kasar. Setelah dipelet, agregat dikeringkan dalam oven selama 24 jam. Kemudian agregat dibakar pada tungku pembakaran batu bata di Desa Lamreung, Kabupaten Aceh Besar. Selain dibuat menjadi bulat-bulatan berukuran 5-19 mm, juga dibuat benda uji berbentuk kubus dengan sisi 5 cm untuk diuji kuat tekan agregat.

3.4 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Silinder

Pencampuran beton ringan dibuat dengan cara memasukkan campuran pemetok beton ringan secara berturut-turut ke dalam molen yaitu agregat kasar ringan buatan, agregat halus, semen, dan air. Setelah pengadukan homogen maka dilakukan pengujian slump. Setelah itu campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Setelah benda uji berumur 2-4 jam, permukaannya diratakan dengan menggunakan pasta semen (*capping*). Perawatan (*curing*) beton dilakukan setelah campuran beton mengeras, kemudian beton dikeluarkan dari cetakan dan diberikan kode pada setiap benda uji sesuai dengan yang direncanakan. Perawatan (*curing*) dilakukan dengan merendam beton ke dalam air selama umur beton yang telah ditetapkan.

3.5 Pengujian Kuat Tekan, Hubungan Tegangan-Regangan, dan Modulus Elastisitas

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan mesin uji kuat tekan (*compressive loading machine*). Benda uji yang diuji yaitu benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm x tinggi 20 cm. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji ditimbang beratnya dan diukur dimensinya. Pembebanan kuat tekan dilakukan hingga benda uji hancur. Pada saat pengujian tekan ini, juga diukur perpindahan benda uji untuk tiap-tiap pertambahan beban hingga benda uji silinder hancur. Perpindahan benda uji diukur dengan menggunakan LVDT. Berdasarkan data yang diperoleh dihitung tegangan regangan kemudian setelah diperoleh nilai tegangan dan regangan dapat dihitung nilai modulus elastisitas.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

4.1.1 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Hasil pemeriksaan sifat fisis menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi syarat sebagai pembentuk beton. Adapun nilai sifat fisis dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 2 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat Kasar dari Tanah Diatomae

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Penelitian	Nilai Batas
1	Berat Volume	0,724 kg/l	0,650-0,900 Naville, 2011
2	Berat Jenis (SSD)	1,645	<2,0 Teknologi Bahan
3	Berat Jenis (OD)	1,461	1,2-1,5 Naville, 2011
4	Absorpsi	13,253 %	<15% Naville, 2011
5	Fineness Modulus	6,665	5,5-8,0 Naville, 2011

Tabel 3 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat Kasar dari Tanah Diatomae

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Penelitian	Nilai Batas
1	Berat Volume	0,623 kg/l	0,650-0,900 Naville, 2011
2	Berat Jenis (SSD)	1,516	<2,0 Teknologi Bahan
3	Berat Jenis (OD)	1,360	1,2-1,5 Naville, 2011
4	Absorpsi	11,499 %	<15% Naville, 2011
5	Fineness Modulus	6,874	5,5-8,0 Naville, 2011

Tabel 4 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat Kasar dari Tanah Diatomae

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Penelitian	Nilai Batas
1	Berat Volume	1,684	>1,2 Mulyono, 2004
2	Berat Jenis (SSD)	2,575	2,0-2,7 Naville, 2011
3	Berat Jenis (OD)	2,518	2,0-2,7 Naville, 2011
4	Absorpsi	2,272	0,4-1,9 Orchard
5	Fineness Modulus	2,879	2,3-3,1 ASTM C33

4.1.2 Perencanaan Proporsi Campuran Beton

Hasil perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Proporsi Campuran Beton Ringan Struktural dengan Agregat Kasar Ringan Buatan per m³

Variasi Agregat Kasar Ringan Buatan	Material			
	Agregat Kasar (kg)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (kg)
KTD	623,163	718,961	448,271	201,722
KTDSG	536,230	778,309	448,271	201,722

4.1.3 Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Hasil Pengujian Slump

Variasi Agregat Kasar Ringan Buatan	KTD	KTDSG
Semen (kg)	20,009	20,009
Air (kg)	9,004	9,004
Penambahan Air (kg)	11	10,5
Jumlah Air (kg)	20,004	19,504
Nilai Slump (cm)	3	2,5

4.1.4 Berat Isi

Hasil pengukuran berat isi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Pengukuran Berat Isi Benda Uji Silinder

Variasi	Nama Benda Uji	Berat Benda Uji 28 Hari (kg)	Berat Isi Benda Uji Silinder (kg/m ³)	Berat Isi Rata-Rata (kg/m ³)
KTD	KTD ₁₁	2,98	1882,89	1872,90
	KTD ₁₂	2,97	1864,91	
	KTD ₁₃	3,07	1876,22	
	KTD ₁₄	3,04	1888,40	
	KTD ₁₅	2,96	1852,10	
KTDSG	KTDSG ₁₁	2,96	1854,54	1856,16
	KTDSG ₁₂	2,96	1873,27	
	KTDSG ₁₃	2,97	1865,23	
	KTDSG ₁₄	2,90	1832,53	
	KTDSG ₁₅	2,88	1855,21	

4.1.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi	Nama Benda Uji	Kuat Tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
KTD	KTD ₁₁	18,203	17,599
	KTD ₁₂	18,693	
	KTD ₁₃	16,420	
	KTD ₁₄	16,497	
	KTD ₁₅	18,184	
KTDSG	KTDSG ₂₁	16,145	15,368
	KTDSG ₂₂	11,613	
	KTDSG ₂₃	18,808	
	KTDSG ₂₄	15,144	
	KTDSG ₂₅	15,129	

4.1.6 Penggolongan Kelas Beton Ringan dengan Agregat Ringan dari Tanah Diatomae

Penggolongan beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae diperlihatkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Penggolongan Beton Ringan berdasarkan SNI 03-3449-2002

Variasi	Kuat Tekan Rata-Rata (N/mm ²)	Berat Isi Benda Uji Rata-Rata (kg/m ³)	Penggolongan Kelas Beton Ringan
KTD	17,599	1872,90	Beton Ringan Struktural
KTDSG	15,368	1856,16	Beton Ringan Struktural Ringan

4.1.7 Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

Data hubungan tegangan-regangan beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae didapatkan saat melakukan pengujian kuat tekan beton ringan. Berdasarkan data yang didapatkan, dibuat grafik hubungan tegangan-regangan beton ringan dengan menghitung besarnya nilai tegangan-regangan untuk tiap-tiap pertambahan beban 500 kg hingga benda uji silinder hancur. Berikut ini adalah grafik hubungan tegangan regangan beton untuk KTD dan KTDSG.

Gambar 4 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton KTD

Gambar 5 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton KTDSG

4.1.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Hasil perhitungan modulus elastisitas beton dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Modulus Elastisitas Beton

Variasi	Nama Benda Uji	Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas Rata-Rata
		(MPa)	(MPa)
KTD	KTD ₁₁	13002,23	12110,11
	KTD ₁₂	13155,03	
	KTD ₁₃	10525,46	
	KTD ₁₄	10477,74	
	KTD ₁₅	13390,07	
KTDSG	KTDSG ₂₁	10863,88	11844,46
	KTDSG ₂₂	13503,22	
	KTDSG ₂₃	13734,07	
	KTDSG ₂₄	10973,82	
	KTDSG ₂₅	11806,07	

4.1.9 Pola Kehancuran Beton

Pola kehancuran terbentuk karena adanya gaya tekan dari atas dan bawah pada benda uji silinder. Retak yang timbul pada benda uji beton ringan mulai terjadi pada saat beban 40% dari beban maksimumnya. Pola retak yang banyak terjadi pada pengujian ini cukup bervariasi yaitu pola kehancuran geser, kerucut dan geser, serta kerucut dan belah.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan data pengujian sifat-sifat fisis agregat kasar buatan menunjukkan bahwa nilai *bulk density* dan *specific gravity* dalam kondisi OD dan SSD agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae serta agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji lebih kecil daripada agregat normal pada umumnya. Jadi agregat kasar yang dibuat ini dapat dijadikan sebagai agregat ringan. Nilai berat volume rata-rata yang diperoleh yaitu 0,724 kg/l untuk agregat kasar dari tanah diatomae dan 0,623 kg/l untuk agregat kasar dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji. Nilai berat volume yang diperoleh untuk agregat halus yaitu 1,684 kg/l. Nilai berat jenis OD dan SSD rata-rata yang diperoleh yaitu 1,461 dan 1,645 untuk agregat kasar dari tanah diatomae serta 1,360 dan 1,516 untuk agregat kasar dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji. Nilai berat jenis dalam kondisi OD dan SSD yang diperoleh untuk agregat halus adalah 2,518 dan 2,575. Nilai absorpsi yang diperoleh yaitu 13,253% untuk agregat kasar dari tanah diatomae dan 11,499% untuk agregat kasar dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji. Nilai absorpsi yang diperoleh untuk agregat halus yaitu 2,272%. Hasil Pemeriksaan *fineness modulus* yang diperoleh yaitu 6,665 untuk agregat kasar dari tanah diatomae dan 6,874 untuk agregat kasar dari campuran tanah diatomae dan

5% serbuk gergaji. Nilai *fineness modulus* yang diperoleh untuk agregat halus yaitu 2,879.

Data pengujian kuat tekan yang diperoleh menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata untuk beton ringan dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae yaitu sebesar 17,599 MPa, sedangkan nilai kuat tekan rata-rata untuk beton ringan dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji yaitu sebesar 15,368 MPa. Berdasarkan nilai kuat tekan beton ringan yang diperoleh menunjukkan bahwa beton ringan dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi daripada dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji. Hal ini disebabkan karena agregat kasar yang berasal dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji bersifat lebih lemah sehingga lebih mudah hancur. Berdasarkan nilai kuat tekan beton ringan rata-rata menunjukkan bahwa beton ringan dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-3449-2002, yaitu digolongkan ke dalam kelas beton ringan struktural. Sedangkan nilai kuat tekan beton ringan rata-rata dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-3449-2002, dalam kelas beton ringan struktural ringan.

Dari hasil penelitian, diperoleh nilai modulus elastisitas rata-rata untuk beton ringan dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae yaitu sebesar 12110,11 MPa. Dan modulus elastisitas rata-rata untuk beton ringan dengan variasi agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji yaitu sebesar 11844,46 MPa. Dari kedua variasi tersebut nilai modulus elastisitas rata-rata terbesar terdapat pada beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae. Hal ini terjadi karena apabila semakin tinggi nilai kekuatan tekan beton, maka nilai modulus elastisitas akan semakin tinggi pula. Berdasarkan hasil kuat tekan beton ringan dan *modulus of elasticity* yang didapatkan dibuat grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan seperti pada Gambar 6. Pada gambar tersebut juga diperlihatkan perbandingan hasil penelitian ini dengan modulus elastisitas menggunakan persamaan menurut SNI 2847:2013, yaitu $E_c = W_c^{1.5} * 0,043 \sqrt{f'_c}$; persamaan menurut Morales (1982), yaitu $E_c = (3322 \sqrt{f'_c} + 6895) (W_c / 2323)^{1.5}$; persamaan menurut Tachibana et al. (1994), yaitu $E_c = (2750 \sqrt{f'_c} + 1600)$; dan persamaan yang diusulkan oleh Muttaqin (1998) yaitu, $E_c = 0,0358 * W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c}$. Dari beberapa persamaan tersebut diperoleh hasil yang mendekati dengan hasil penelitian ini adalah persamaan yang diusulkan oleh Tachibana et al. (1994) dan Muttaqin (1998). Sedangkan modulus elastisitas yang dihitung berdasarkan persamaan SNI 2847:2013 dan Morales (1982) mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian ini.

Gambar 6 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Beton

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae dan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam beton ringan dikarenakan penggunaan agregat kasar ringan buatan ini dapat mengurangi berat volume beton.
2. Nilai kuat tekan beton rata-rata dengan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae saja yaitu sebesar 17,599 MPa, dan nilai kuat tekan beton rata-rata dengan agregat kasar ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji yaitu sebesar 15,368 MPa.
3. Berdasarkan SNI 03-3449-2002 maka beton ringan dengan agregat ringan buatan dari tanah diatomae saja dapat dikelompokkan sebagai beton ringan struktural, sedangkan beton ringan dengan agregat ringan buatan dari campuran tanah diatomae dan 5% serbuk gergaji dapat dikelompokkan sebagai beton ringan struktural ringan.
4. Nilai modulus elastisitas rata-rata terbesar terdapat pada beton ringan dengan agregat kasar ringan buatan dari tanah diatomae saja yaitu sebesar 12110,11 MPa.
5. Berdasarkan pengamatan penulis, pola kehancuran beton yang terjadi cukup bervariasi yaitu pola kehancuran geser, kerucut dan geser, serta kerucut dan belah.

5.2 Saran

1. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai beton ringan struktural dengan agregat ringan buatan dari tanah diatomae, khususnya dalam pembuatan agregat kasar ringan buatan dimana diharapkan pada penelitian selanjutnya

diperoleh agregat kasar ringan buatan yang lebih kuat dan keras dengan cara membakar agregatnya di dalam rotary kiln pada suhu mencapai 1100°C sehingga diperoleh kekuatan tekan yang lebih tinggi untuk beton ringan struktural.

2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan agar dapat menambah variasi FAS dan variasi persentase serbuk gergaji dalam agregat yang dibuat. Juga disarankan untuk membuat agregat ringan dari campuran tanah diatomae dan abu terbang.

6. Daftar Kepustakaan

- [1] Fragoulis, D., Stamatakis M.G., Chaniotakis, E., dan Colombus, G., Characterization of Lightweight Aggregates Produced with Clayey Diatomite Rocks Originating from Greece, *Journal of Materials Characterization*, 53:307-316, 2004.
- [2] SNI 2847:2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2013.
- [3] Mulyono, T., *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2004.
- [4] ACI Committee 213R-03, *Guide for Structural Lightweight-Aggregate*, ACI Manual of Concrete Practice, 2003.
- [5] SNI 03-3449-2002, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung, 2002.
- [6] Khan, *Pesticides in The Soil Environment*, Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam, 1980.
- [7] Kristianingrum, S., dan Sulastri, S., Pengaruh Berbagai Asam terhadap Daya Absorpsi Ion Kromium (III) dan Kromium (VI) pada Tanah Diatomae, *Jurnal Penelitian Saintek*, V(13): No. 1, 77-94, 2008.
- [8] Abida, D., *Pengaruh Penggunaan Tanah Diatomae Sebagai Substitusi Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Mortar 1:4*, Tugas Sarjana, Teknik Sipil, FT Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2018.
- [9] Kirk and Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley and Sons, Fifth Edition, New York, 1979.
- [10] SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung, 1990.
- [11] Gere, J. M., dan Timoshenko, S. P., *Mekanika Bahan*, terjemahan Hans J. Wospakrik Institut Teknologi Bandung, Edisi Kedua Versi SI., Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [12] ASTM C469-02, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, International Standards-Worldwide, 2002.