

Sifat Mekanis Beton Beragregat Kasar Peluru Plastik

Yulius Rief Alkhaly

Jurusan Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Aceh Indonesia

Corresponding Author: yr.alkhaly@unimal.ac.id

ABSTRACT – The purpose of this research is to investigate the feasibility of using bullet plastic as coarse aggregate or as a substitute for air bubbles in the production of lightweight concrete. The mechanical properties of plastic bullet-aggregated concrete substituted with 25%, 50%, 75%, and 100% of the gravel volume were evaluated experimentally. The mechanical properties tested were compressive strength, split tensile strength, and flexural strength. The test results show the mixture of 75% and 100% plastic bullets yields an acceptable density value as a lightweight concrete, with compressive strengths of 15.56 MPa and 14.94 MPa. These findings suggest that using plastic bullets as coarse aggregate or as a replacement for air bubbles is feasible regarded to American Concrete Institute (ACI)

Keyword: Mechanical properties, Coarse aggregate, Plastic bullet, Lightweight concrete

ABSTRAK – Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemungkinan penggunaan plastik peluru sebagai agregat kasar atau pengganti gelembung udara pada pembuatan beton ringan. Penelitian eksperimental dilakukan guna mengevaluasi sifat mekanis dari beton beragregat peluru plastik yang disubstitusi dengan persentase 25%, 50%, 75%, dan 100% dari volume kerikil. Sifat mekanis yang dievaluasi berupa kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, campuran dengan volume 75% dan 100% peluru plastik memberikan nilai densitas yang dapat diterima sebagai beton ringan dan kekuatan tekan diperoleh sebesar 15,56 MPa dan 14,94 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan plastik peluru sebagai agregat kasar atau pengganti gelembung udara mampu memproduksi beton ringan dengan kelas moderate lightweight concrete sesuai standar American Concrete Institute (ACI).

Keywords: Sifat mekanis, agregat kasar, peluru plastik, beton ringan

1 Pendahuluan

Beton adalah material bangunan yang paling populer dan banyak digunakan di dunia. Oleh karena pemakaian yang luas, beton semakin dituntut untuk memiliki sifat-sifat ketingkat yang lebih lanjut seperti biaya rendah, densitas rendah, konduktivitas termal rendah, sifat mekanis yang baik, dan ramah lingkungan. Hal ini berhubungan dengan pembangunan berkelanjutan saat ini menjadi isu global utama dan berbagai industri berusaha untuk menghemat energi dan mengurangi dampak buruk bagi lingkungan.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa insulasi

termal dan kapasitas ketahanan api beton ringan (*lightweight concrete*, LWC) jauh lebih baik dibandingkan dengan beton normal (*normal concrete*, NC). LWC cocok untuk aplikasi struktural dan non-struktural [1]. Berdasarkan Chandra dan Berntsson, (2003) [2] secara umum metode utama produksi LWC dapat diringkas sebagai berikut:

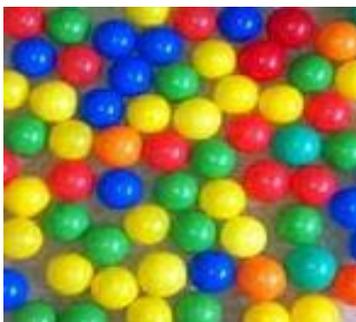
- 1) Penambahan agregat ringan (*lightweight aggregate*, LWA) pada campuran beton, pada sebagian atau seluruhnya sebagai pengganti agregat alami;
- 2) Penambahan bahan busa atau udara pada campuran untuk membentuk sejumlah rongga udara ke dalam matrik beton;

3) Tanpa penggunaan agregat halus pada campuran beton (beton non-pasir).

Dari berbagai LWA yang berbeda, bahan pembusa (*foaming agent*) dan metode produksinya, memiliki potensi untuk menghasilkan beragam sifat LWC (densitas, sifat mekanik, termal dan durabilitas) yang dikenal dengan beton busa. Beton busa didefinisikan sebagai beton seluler ringan yang dapat diklasifikasikan sebagai beton ringan (densitas 400-1850 kg/m³) dengan rongga udara acak [3].

Namun demikian beton busa memiliki kandungan pasta semen yang relatif tinggi dan tidak ada agregat kasar, sehingga beton ini akan menyusut lebih besar daripada beton normal. Susut kering beton ini cukup tinggi, dengan nilai umumnya antara 0,1% dan 0,35%. Semakin rendah densitas beton busa, semakin tinggi regangan susutnya [4]. Kelemahan lain dari beton busa adalah kekuatan tekannya lebih rendah daripada beton normal. Kuat tekan beton busa berkisar antara 0,2 hingga 18 MPa, sedangkan beton normal memiliki kuat tekan sekitar 15 hingga 40 MPa [4]. Begitu juga daya serap air beton busa hampir dua kali lipat dari beton normal pada faktor air semen yang sama [3], sehingga zat-zat agresif dapat keluar-masuk mengakibatkan degradasi mutu beton.

Beranjak dari masalah di atas, secara teoritis, penggunaan material ringan yang impermeabel, seperti plastik, guna menggantikan gelembung udara dalam beton busa akan memangkas daya serap airnya dan menghasilkan beton dengan permeabilitas rendah. Dalam studi ini telah dilakukan suatu penelitian eksperimental penggunaan peluru plastik 6 mm (**Gambar 1**) sebagai agregat kasar pengganti gelembung udara pada pembuatan beton busa. Rancangan campuran dibuat berpedoman pada SNI 7656:2012 [5] dengan kuat tekan rencana 20 MPa. Agregat kasar peluru plastik disubstitusikan pada kerikil berdasarkan metode volume absolut dengan persentase 25%, 50%, 75% dan 100%. Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari sifat mekanis berupa kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur dari beton beragregat kasar peluru plastik.



Gambar 1. Peluru plastik diameter 6 mm

2 Tinjauan Kepustakaan

2.1 Beton ringan

Dibandingkan dengan beton yang dibuat dari kerikil atau batu pecah, beton agregat ringan memiliki densitas yang jauh lebih rendah. Beton ringan memiliki densitas kering oven sekitar 300 hingga maksimum 2000 kg/m³ [6]. Secara umum, proses produksi beton ringan dilakukan dengan cara memasukkan gelembung udara ke dalam pasta semen/matriks mortar atau dengan menggunakan agregat ringan buatan/alami (**Gambar 2**).



Gambar 2. Metode produksi beton ringan
Sumber: Alkhalay, (2008) [7]

American Concrete Institute (ACI) Committee E-701 [8] mengklasifikasikan LWC berdasarkan densitas dan kekuatan tekan ke dalam 3 (tiga) kelas, yaitu:

- 1) *Low density concrete* atau *low strength lightweight concrete*, densitas tidak lebih dari 800 kg/m³ dan kuat tekan 0,7 sampai 7,0 MPa;
- 2) *Moderate lightweight concrete*, densitas antara 800 - 1360 kg/m³ dan kuat tekan berkisar 7,0 - 17 MPa;
- 3) *Structural lightweight Concrete*, densitas dalam rentang 1360 sampai 1920 kg/m³ dengan kuat tekan minimum 17 MPa.

2.2 Plastik sebagai agregat beton

Plastik dikenal sebagai material jenis polimer yang membentuk banyak unit molekul berulang dan berbobot ringan. Plastik tidak mudah terurai di alam dan memerlukan waktu yang sangat lama untuk terurai, penggunaan plastik yang berlebihan telah menjadi masalah lingkungan yang serius. Sampah plastik yang tidak terurai bisa mencemari air dan tanah, membahayakan hewan dan manusia, dan merusak ekosistem laut. Oleh karena itu, banyak upaya dilakukan untuk mengurangi penggunaan plastik dan meningkatkan daur ulang plastik, salah satunya adalah dengan menjadikan plastik sebagai agregat dalam pembuatan beton [9].

Ismail dan AL-Hashmi (2008) [10] menyatakan bahwa Pada semua umur perawatan, nilai kuat tekan, kuat lentur, dan densitas kering dari campuran beton limbah plastik cenderung berada di bawah nilai campuran beton kontrol. Hal ini dapat disebabkan oleh sifat hidrofobik

dari sampah plastik yang dapat membatasi hidrasi semen, dan ikatan rekat yang lebih lemah antara permukaan sampah plastik dan pasta semen. Pada umur 28 hari, campuran beton yang mengandung 20% sampah plastik memiliki kuat lentur terendah, yaitu 30,5% lebih rendah dari nilai campuran beton kontrol. Nilai kepadatan kering dari campuran beton yang terbuat dari plastik daur ulang masih memiliki nilai rata-rata yang sama dengan campuran beton kontrol.

Merujuk pada Alqahtani dkk (2020) [11], diketahui bahwa agregat plastik daur ulang dari plastik LLDPE (*linear low-density polyethylene*) menunjukkan densitas dan penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan dengan LWA konvensional. Daya hancur LWA konvensional sangat jelas, sedangkan agregat plastik LLDPE tidak dapat dihancurkan karena sifat plastis matriksnya. Agregat plastik LLDPE dapat digunakan pada beton sebagai pengganti total LWA konvensional. Namun, terjadi pengurangan kuat tekan akibat penggabungan agregat plastik LLDPE adalah antara 40% dan 53%, dan pengurangan kuat lentur antara 27% dan 21% dibandingkan dengan beton LWA konvensional. Pengurangan kekuatan lentur beton agregat plastik LLDPE kurang terlihat dibandingkan dengan pengurangan kekuatan tekan karena perilaku elastis dan ulet dari matriks plastik.

3 Metodologi

3.1 Material

Semen portland tipe I yang produksi oleh PT. Semen Andalas dengan berat jenis 3,12 diaplikasikan sebagai perekat dalam penelitian ini. Pasir dan kerikil sungai masing-masing dipakai sebagai agregat halus dan agregat kasar untuk desain campuran beton normal. Kedua agregat tersebut berasal dari Krueng Mane, Kabupaten Aceh Utara. Sebagai substitusi agregat kasar pada beton normal, diterapkan peluru plastik berdiameter 6 mm. Selanjutnya, dibutuhkan air pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan dalam campuran beton diperoleh dari sumber yang tersedia di gedung Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh, dengan kondisi bersih dan tidak mengandung materi yang dapat merusak beton seperti bahan alkali, minyak, lumpur serta garam. Hasil analisa saringan dan sifat fisis agregat masing-masing diperlihatkan dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Hasil analisa saringan agregat

Ukuran Saringan (mm)	% Lolos kumulatif	
	Pasir	Kerikil
38,10	-	100
19,00	-	100
12,7	-	70,40
9,50	100	48,80
4,75	100	-
2,36	93,45	-
1,18	87,15	-
0,6	74,80	-
0,3	40,00	-
0,15	11,70	-

Tabel 2. Sifat fisis agregat

Uraian	Pasir	Kerikil	Plastik
Ukuran maksimum (mm)	4,75	19,00	6,00
Berat Jenis kering jenuh permukaan	2,587	2,593	1,034
Berat Jenis kering oven	2,566	2,560	0,975
Absorpsi (%)	1,660	1,280	0,061
Kadar lengas (%)	2,232	1,340	0,001

3.2 Komposisi campuran beton

Desain campuran harus menghasilkan beton yang memenuhi beberapa kriteria, yaitu: viskositas (kekentalan) untuk kemudahan pengerjaan (pengangkutan, penuangan, pemadatan, dan finishing); mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara sama (homogen); durabilitas; kekuatan tekan; dan ekonomis [12]. Tabel 3 menyajikan proporsi campuran material yang didesain berdasarkan SNI 7656:2012 [5]. Kuat tekan rencana (f_c') beton Normal (BN) 20 MPa. Proporsi material peluru plastik untuk masing-masing beton plastik (BP) diperoleh dengan metode volume absolut berdasarkan persentase substitusi sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap volume kerikil dari campuran BN.

Tabel 3. Proporsi material per 1 m³ beton

Sampel	Berat Material (kg) per 1 m ³ beton				
	Semen	Air	Pasir	Kerikil	Plastik
BN	322,4	181,1	809,4	997,0	0,0
BP25	322,4	181,2	809,4	748,0	98,1
BP50	322,4	181,3	809,4	499,0	196,2
BP75	322,4	181,4	809,4	249,0	294,3
BP100	322,4	181,5	809,4	0,0	392,3

3.3 Penyiapan sampel beton dan perawatan

Sampel beton untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dan untuk pengujian kuat lentur digunakan balok ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. Sampel dipersiapkan sebanyak 3 buah pada tiap-tiap variasi beton. Mixer laboratorium digunakan untuk mencampur semua material yang sebelumnya telah ditimbang sesuai dengan proporsinya. Pengadukan dimulai dari campuran kering hingga campuran basah. Pengadukan dihentikan ketika

dipastikan bahwa campuran tersebut benar-benar seragam dan homogen. Menyusul pengujian *slump*, adukan beton dicor ke dalam cetakan dan dipadatkan per tiga lapisan sebanyak 25 penumbukan dengan batang besi. Tiga jam kemudian, lapisan tipis (± 50 mm) pasta semen direkatkan pada setiap permukaan sampel agar halus dan rata. Setelah mencapai durasi 24 jam, cetakan baja dilepas dan sampel direndam dalam air sampai umur 28 hari.

3.4 Pengukuran *slump* dan densitas beton

Tinggi jatuh *slump* menunjukkan kekentalan dari campuran beton segar. Semakin rendah nilai *slump*, semakin kental campuran beton sehingga rumit untuk dikerjakan, dan sebaliknya. Namun demikian, nilai *slump* tinggi dapat mengakibatkan *bleeding* dan segregasi yang menghasilkan rongga pada saat beton mengeras. Berdasarkan SNI 7656:2012 [5], kriteria batasan nilai *slump* yang dapat diterima adalah 75 – 100 mm yang diukur dengan menggunakan kerucut terpancung standar (kerucut Abram, **Gambar 3**). Pengujian *slump* dilaksanakan dengan cara: campuran beton segar dimasukkan ke dalam kerucut per 3 lapis dan dipadatkan dengan besi penumbuk sebanyak 25 kali setiap lapisnya. Kemudian kerucut diangkat dan beton dibiarkan sampai terjadi penurunan pada permukaan bagian atas beton. Jarak antara posisi permukaan semula dan posisi setelah penurunan pada pusat permukaan atas beton diukur dan dilaporkan sebagai nilai *slump* beton [13].

Penentuan densitas beton basah atau berat per volume beton segar (*BV*) dilakukan segera setelah pengujian *slump* dan dihitung dengan menggunakan rumus berikut [14]:

$$BV = M/V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

Pada rumus tersebut, *M* dan *V* masing-masing adalah masa dan volume sampel silinder beton.



Gambar 3. Pengukuran *slump* beton

3.5 Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur

Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur adalah tiga parameter penting dari sifat mekanis beton keras yang dilaksanakan pada umur 28 hari. Menurut SNI 03-2847-

2013 [15], uji tekan dilakukan dengan sampel beton silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sampel silinder beton ditekan menggunakan mesin uji tekan dengan beban yang meningkat secara bertahap sampai terjadi kegagalan pada sampel beton. Hasil uji tekan tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kuat tekan beton, f_c' yang dihitung dengan persamaan:

$$f_c' = P/A \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Dalam hal ini, *P* adalah beban maksimum yang dicapai saat uji tekan, dan *A* adalah luas penampang silinder beton.



Gambar 4. Setup pengujian kuat tarik belah dan belahan sampel BP100

Sama halnya dengan kuat tekan, uji kuat tarik belah juga menggunakan sampel silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Bila kuat tekan dilakukan pembebanan dalam arah penampang silinder, maka pada pengujian kuat tarik belah, sampel silinder diletakkan secara horizontal, dan gaya diterapkan pada sampel silinder secara radial di permukaan, yang menyebabkan terbentuknya retakan vertikal pada sampel silinder sepanjang diameternya (**Gambar 4**). Besarnya kuat tarik belah (f_t) dihitung sebagai [16]:

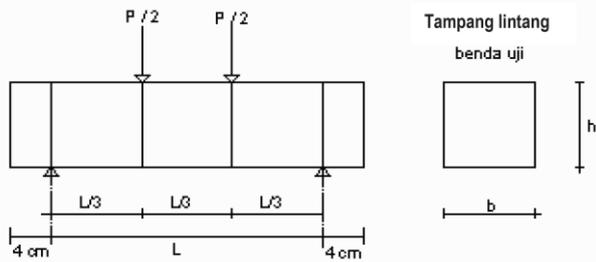
$$f_t = 2.P/\pi.D.L \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Dengan *P* adalah beban maksimum yang dicapai pada saat pengujian, *D* adalah diameter sampel silinder, dan *L* merupakan panjang sampel silinder.

Selanjutnya, uji kekuatan lentur adalah uji mekanis pada balok persegi panjang untuk menentukan kekuatan beton ketika mengalami beban lentur pada arah tegak lurus sumbu balok dengan pembebanan bertahap hingga balok patah atau gagal. Pengujian kekuatan lentur dengan metode uji empat titik dilakukan dengan cara meletakkan balok beton yang ditopang pada dua titik dan dibebani pada dua titik dengan jarak yang sama dari tumpuan (**Gambar 5**) [17]. Besarnya kuat lentur (f_f) balok dihitung dengan persamaan berikut:

$$f_f = P.L/b.h^2 \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Dalam persamaan ini, P adalah beban maksimum yang dicapai saat uji lentur, L adalah panjang balok beton, b dan h masing-masing lebar dan tinggi balok.



Gambar 5. Metode uji kuat lentur beton dengan dua titik pembebanan

Sumber: SNI 4431:2011 [17]

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Slump dan densitas beton

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran *slump* dan densitas untuk lima jenis sampel beton yang berbeda, yaitu BN (beton normal), BP25 (beton plastik 25% kandungan peluru plastik), BP50 (beton plastik 50% kandungan peluru plastik), BP75 (beton plastik 75% kandungan peluru plastik), dan BP100 (beton plastik 100% kandungan peluru plastik).

Berdasarkan hasil pengukuran *slump*, didapati bahwa sampel BN memiliki *slump* terendah yaitu 75 mm. Kemudian sampel BP25, BP50 dan BP75 memiliki nilai *slump* pada kisaran 80 mm, sedangkan sampel BP100 menunjukkan nilai *slump* yang tidak jauh berbeda dengan sampel BN. Hal ini mengidentifikasi bahwa agregat peluru plastik yang berbentuk bola dan permukaannya yang halus berpengaruh terhadap nilai *slump*. Dari pengamatan saat pengujian *slump*, pada sampel BP25, BP50 dan BP75 yang mengandung kombinasi agregat kerikil dan peluru plastik, terlihat bahwa agregat peluru plastik sedikit terpisah dari pasta semen akibat dari tekanan gravitasi dari kerikil yang lebih berat, dan sifat hidrofobik peluru plastik. Selain itu, permukaan yang halus dari agregat peluru plastik memiliki daya ikat yang lemah terhadap pasta semen. Fenomena ini menghasilkan nilai *slump* yang lebih tinggi dibanding sampel BN dan sampel BP100. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian oleh Lee dkk [18] yang menggunakan agregat plastik polyethylene terephthalate (PET). Sifat peluru plastik yang hidrofobik juga relatif sensitif terhadap pemadatan berlebihan menggunakan besi penumbuk sehingga dapat memicu segregasi dan *bleeding*. Secara keseluruhan, hasil nilai *slump* untuk semua sampel beton memenuhi rentang syarat 75 – 100 mm.

Lebih lanjut, densitas beton menurun secara bertahap ketika agregat peluru plastik disubstitusikan ke dalam

campuran beton normal. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa peluru plastik memiliki berat jenis lebih kecil dibanding dengan kerikil pada beton normal (Tabel 2), sehingga semakin banyak agregat peluru plastik yang digunakan, semakin rendah bobot campuran beton, dan akhirnya menghasilkan densitas beton menjadi lebih rendah. Densitas beton plastik (BP) menurun dalam ambang 6,52 – 26,04 % dan sampel BP75 dan BP100 dapat digolongkan sebagai beton ringan karena densitasnya berada di bawah 1920 kg/m³.

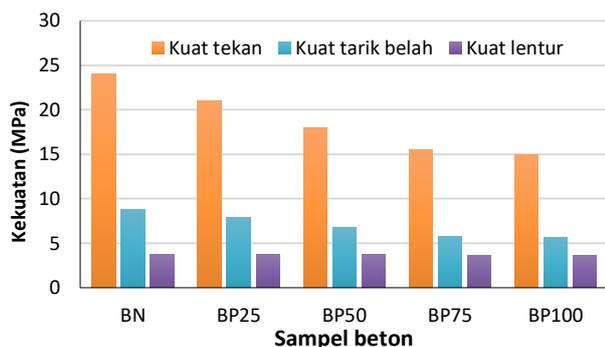
Tabel 4. Hasil pengukuran *slump* dan densitas beton

Sampel	<i>Slump</i> (mm)	Densitas (kg/m ³)
BN	75	2304,4
BP25	81	2154,1
BP50	83	2000,7
BP75	80	1853,3
BP100	77	1704,4

4.2 Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur

Gambar 6 mempresentasikan hasil pengujian sifat mekanis seluruh sampel beton yang terdiri atas pengujian: kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur.

Sample beton normal (BN) yang diuji memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada yang direncanakan, dengan nilai kuat tekan mencapai 23,99 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan campuran beton normal yang berpedoman SNI 7656:2012 [5] telah memenuhi persyaratan kuat tekan yang ditargetkan sebesar 20 MPa. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa terjadi penurunan kuat tekan sejalan dengan bertambahnya volume agregat peluru plastik dalam campuran beton. Hal ini sesuai dengan penelitian Ismail dan AL-Hashmi (2008) [10] yang menyatakan bahwa sifat hidrofobik plastik membatasi ikatan dengan pasta semen sehingga menurunkan nilai kuat tekan. Sampel beton plastik, BP25 dan BP50, mencapai kuat tekan masing-masing sebesar 21,05 MPa dan 17,94 MPa masih tergolong sebagai beton normal struktural walau terjadi penurunan kuat tekan sebesar 12,3% dan 25,2% dari sampel BN. Berikutnya, sampel BP75 dan BP100 mencapai kuat tekan berturut-turut sebesar 15,56 MPa dan 14,94 MPa dengan penurunan kuat tekan sebesar 35,1% dan 37,7% dibanding sampel BN. Dari hasil capaian kuat tekan, sampel BP75 dan BP100 dapat digolongkan dalam *moderate lightweight concrete* sesuai *American Concrete Institute (ACI) Committee E-701* [8].



Gambar 6. Hasil uji sifat mekanis beton pada umur 28 hari

Menyusul kuat tekan, sifat mekanis yang kedua adalah kuat tarik belah. Seperti halnya kuat tekan, kuat tarik belah sampel BP juga menurun tatkala jumlah kandungan agregat plastik dalam campuran beton meningkat. Penurunan kuat tarik belah sampel BP dalam interval 10,2% sampai 35,6% dibanding sampel BN. Hal ini dapat dikaitkan dengan efek negatif dari tekstur permukaan yang halus dari agregat peluru plastik yang berpengaruh pada lemahnya kekuatan ikatan dengan pasta semen.

Terakhir, hasil pengujian kuat lentur pada umur sampel 28 hari berkisar antara 3,64 sampai 3,77 MPa. Hasil ini tidak konsisten dengan penurunan kuat tekan. Penurunan kuat lentur pada sampel BP berkisar 1,1% - 3,4% dibanding sampel BN. Hal ini menunjukkan bahwa persentase perbedaan kuat lentur pada semua sampel BP kurang signifikan dibandingkan dengan perbedaan kuat tekan. Peristiwa ini kemungkinan karena perilaku elastis dan ulet dari matriks beton plastik sebagaimana disampaikan Alqahtani dkk (2020) [11]. Perlu juga digarisbawahi bahwa pengaruh agregat plastik terhadap sifat beton dapat bergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis dan ukuran agregat plastik, proporsi plastik terhadap agregat lain, dan sifat spesifik campuran beton. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mungkin diperlukan untuk sepenuhnya memahami mekanisme dibalik kekuatan lentur yang dihasilkan.

5 Kesimpulan

Sebuah studi eksperimental mengenai sifat mekanis dari campuran beton yang menggunakan peluru plastik telah dilaksanakan. Berdasarkan hasil eksperimen yang diperoleh dalam penelitian ini, diketahui bahwa peluru plastik 6 mm dapat digunakan sebagai pengganti gelembung udara atau agregat kasar dalam pembuatan beton ringan. Kesimpulan utama yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

1. Nilai *slump* dari campuran beton peluru plastik menunjukkan kecenderungan meningkat di atas *slump* campuran beton normal dan memenuhi persyaratan kemudahan pengerjaan;
2. Nilai densitas dari campuran beton peluru plastik cenderung berada di bawah rata-rata campuran

beton normal. Substitusi peluru plastik sebesar 75% dan 100% terhadap kerikil dalam beton normal mampu menghasilkan beton ringan;

3. Nilai kuat tekan dari semua campuran beton peluru plastik cenderung menurun di bawah nilai campuran beton normal sejalan dengan meningkatnya persentase peluru plastik. Hal ini disebabkan oleh kurangnya kekuatan rekat antara permukaan peluru plastik yang halus dan pasta semen. Kemudian daripada itu, peluru plastik merupakan material yang bersifat hidrofobik yang dapat membatasi hidrasi semen;
4. Nilai kuat tarik belah campuran beton peluru plastik cenderung menurun dibanding campuran beton normal seiring bertambahnya persentase peluru plastik. Campuran beton yang terbuat dari 100% peluru plastik memiliki kuat lentur terendah, yaitu 35,6% di bawah nilai campuran beton normal;
5. Penurunan nilai kuat lentur beton peluru plastik tidak signifikan, hanya sebesar 1,1% sampai 3,4% dibanding beton normal, hal ini kemungkinan karena perilaku elastis dan ulet dari matriks beton peluru plastik.

Referensi

- [1] M.-H. Zhang, X. Liu, L.-S. Chia, High-Strength High-Performance Lightweight Concrete- A Review, Proc. 9th Int. Symp. High Perform. Concr. (2011) 16.
- [2] S. Chandra, L. Berntsson, *Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology, and Applications*, (2003). New York: William Andrew Publishing, 2003.
- [3] Y. H. M. Amran, N. Farzadnia, A. A. A. Ali, Properties and applications of foamed concrete ; a review, Constr. Build. Mater. 101 (2015) 990–1005. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112.
- [4] V. Bindiganavile, M. Hoseini, Foamed concrete, Dev. Formul. Reinf. Concr. (Jan. 2008) 231–255. doi: 10.1533/9781845694685.231.
- [5] SNI 7656:2012, Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [6] J. Newman, B. S. Choo, *Advanced Concrete Technology - Processes*, (1998). Burlington: Elsevier Ltd, 1998.
- [7] Y. R. Alkhaly, Development of lightweight concrete using hollow spheres, Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
- [8] ACI Committee E-701, Aggregates for concrete (ACI Education Bulletin E1-07), Farmington Hills. doi: 10.4324/9780203478981.ch16.
- [9] A. M. Hameed, B. A. F. Ahmed, Employment the plastic waste to produce the light weight concrete, Energy Procedia 157 (2019) 30–38. doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.160.
- [10] F. Casanova-del-Angel, J. L. Vázquez-Ruiz, Manufacturing Light Concrete with PET Aggregate, ISRN Civ. Eng. 2012 (2012) 1–10. doi: 10.5402/2012/287323.
- [11] F. K. Alqahtani, M. I. Khan, M. ASCE, G. Ghataora, S. Dirar., Production of Recycled Plastic Coarse Aggregates and its Utilization in Concrete, Int. J. Emerg. Trends Eng. Res. 8 (2020) 4118–4122. doi: 10.30534/ijeter/2020/14882020.
- [12] SNI 2847:2013, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [13] SNI 1972:2008, Cara uji slump beton, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [14] SNI 1973:2016, Metode uji densitas, volume produksi

- campuran dan kadar udara (gravimetrik) beton, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [15] SNI 03-2847-2013, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, Jakarta.
- [16] SNI 03-2491-2002, Metode pengujian kuat tarik belah beton, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [17] SNI 4431-2011, Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- [18] Z. H. Lee, S. C. Paul, S. Y. Kong, S. Susilawati, X. Yang, Modification of Waste Aggregate PET for Improving the Concrete Properties, *Adv. Civ. Eng.* 2019 (2019). doi: 10.1155/2019/6942052.