

## Tinjauan Karakteristik Material *Fly Ash* dan Limbah *Sandblasting* untuk Pembuatan *Paving Block*

Oka Syaputra<sup>1</sup>, Ayu Nindyapuspa<sup>1\*</sup>, Luqman Cahyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [ayunindyapuspa@ppns.ac.id](mailto:ayunindyapuspa@ppns.ac.id)

### Abstrak

Pemanfaatan limbah *sandblasting* belum juga optimal sehingga menjadi tumpukan limbah yang berbahaya bagi lingkungan. Jumlah timbulan limbah *sandblasting* yang dihasilkan dari galangan kapal sekitar 36.300 kg/bulan. Indonesia merupakan negara dengan penghasil batu bara terbesar di dunia yang mencapai 419 juta ton dan tiap satu ton menghasilkan *fly ash* sebesar 15-17%. Salah satu bentuk pemanfaatan limbah *sandblasting* dan *fly ash* adalah *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi *fly ash* dan limbah *sandblasting* terhadap kuat tekan *paving block*. Metode yang digunakan adalah eksperimen. *Paving block* yang digunakan berukuran 20x10x6 cm. Variasi substitusi *fly ash* yang digunakan yaitu 5%, 7,5%, dan 10%. Variasi *sandblasting* yang digunakan yaitu 80%. Variasi *paving block* antara lain 1C4SB, 1C4SB-25FA, 1C4SB-37,5FA, dan 1C4SB-50FA. Metode perawatan yang digunakan adalah metode penutup basah. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, variasi dengan nilai terbaik adalah variasi 1C4SB-25FA dengan substitusi *fly ash* 5% yang memiliki nilai kuat tekan sebesar 30,12 Megapascal (MPa) dan termasuk ke dalam mutu B. *Paving* mutu B memiliki nilai rata-rata kuat tekan sebesar 20 MPa dan dapat digunakan sebagai pelataran parkir mobil.

**Keywords:** *fly ash*, kuat tekan, limbah *sandblasting*, *paving block*

### 1. PENDAHULUAN

Semakin maraknya aktivitas maritim seperti perdagangan dalam maupun luar negeri membuat penggunaan kapal semakin banyak yang menyebabkan potensi limbah dari proses *sandblasting* juga semakin besar. *Sandblasting* merupakan salah satu metode perawatan kapal dengan cara membersihkan permukaan material kapal yang terkontaminasi oleh karat, cat, oli, dan lain sebagainya (Wijayanto & Purwanti, 2023). Proses *sandblasting* dengan pasir silika menghasilkan limbah berupa padatan pasir silika kurang lebih 70% (Sukmana dkk., 2017). Limbah *sandblasting* mengandung beberapa unsur logam berat seperti Cr, Cu, Pb, dan Zn sehingga dikategorikan sebagai limbah B3 (Qi dkk., 2021). Limbah *sandblasting* yang dihasilkan dari perusahaan galangan kapal dalam kurun waktu 3 bulan sekitar 36.300 kg/bulan (Dewantara dkk., 2017). Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batu bara terbesar di dunia, produksi batu bara Indonesia pada tahun 2016 mencapai 419 juta ton. Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH) menyebutkan dari batu bara yang dibakar tiap satu ton akan menghasilkan abu batu bara (*fly ash*) sekitar 15%-17% (Nursilawati, 2018). Penambahan mutu *paving block* dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan bahan tambah yang dapat meningkatkan kuat tekan seperti *fly ash* karena *fly ash* termasuk bahan *pozzolan* yang memiliki senyawa silika dan alumina sebesar 58,75% dan 25,82% (Wijaya dkk., 2021).

Melihat permasalahan dan potensi diatas, maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan *paving block* ramah lingkungan dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dan limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan *fly ash* dan limbah *sandblasting* terhadap kuat tekan yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

### 2. METODE

Penelitian ini adalah penelitian bersifat eksperimen. Bahan-bahan yang digunakan disiapkan terlebih dahulu, bahan-bahan tersebut meliputi *fly ash* dan limbah *sandblasting*. Lalu dilakukan uji karakterisasi material terhadap limbah *sandblasting*. Uji karakterisasi meliputi uji gradasi, uji berat jenis, serta uji daya serap air. Setelah melakukan uji karakterisasi, membuat perencanaan *mix design* yang akan digunakan pada setiap variasi lalu lakukan pengujian pada setiap variasi. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan.

#### 2.1 Uji Gradasi Limbah *Sandblasting*

Pengujian gradasi bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran atau gradasi butiran dari limbah *sandblasting*. Tingkat gradasi merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan karena mempengaruhi terhadap total volume pori *paving*. Standar ukuran butiran gradasi agregat halus terdapat pada ASTM C-136. Hasil analisis gradasi akan dibandingkan dengan SNI 03-2834-2000. Pengujian dilakukan di Laboratorium Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**2.2 Uji Berat Jenis Limbah Sandblasting**

Berat jenis adalah perbandingan antara massa dan volume dari bahan yang diuji. Pengujian berat jenis digunakan untuk mengetahui kepadatan dari suatu agregat. Berat jenis yang kecil akan memiliki volume yang besar sehingga dengan berat yang sama akan dibutuhkan agregat yang banyak dan sebaliknya. Analisis berat jenis dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Pengujian dilakukan di Laboratorium Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**2.3 Uji Daya Serap Air Limbah Sandblasting**

Uji daya serap air bertujuan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Daya serap agregat mempengaruhi daya lekat antara agregat dan pasta semen. Nilai daya serap perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran adukan *paving*. Analisis daya serap air dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Pengujian dilakukan di Laboratorium Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

**2.4 Alat dan Bahan**

Alat yang diperlukan untuk penelitian ini adalah timbangan digital, sekop, cetakan *paving* 20 cm x 10 cm x 6 cm, karung goni, *mixer*, gelas ukur 1000 mL, palet kayu, mesin *press paving block*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air, semen PCC, *fly ash*, dan limbah *sandblasting*.

**2.5 Mix Design**

Perencanaan campuran *paving block* dilakukan agar mendapatkan mutu *paving* yang sesuai dengan yang direncanakan, maka dilakukan perencanaan ini untuk menentukan komposisi campuran pembentuk *paving block* agar memenuhi persyaratan.

**2.6 Pengujian Kuat Tekan**

Kuat tekan merupakan nilai beban yang mampu ditahan dalam suatu luasan bidang benda uji hingga benda uji tersebut hancur (Rama, 2022). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan *paving block* ketika terkena beban tertentu. Nilai kuat tekan berhubungan dengan mutu *paving block*, semakin besar nilai kuat tekan *paving* maka semakin bagus juga mutu *paving* tersebut. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan SNI 03-0691-1996. Pengujian dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Rumus untuk menghitung kuat tekan sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

P = beban tekan (N)

L = luas bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Hasil Uji Gradasi Limbah Sandblasting**

Pengujian bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran pada limbah *sandblasting* berdasarkan ASTM C-136. Hasil pengujian gradasi limbah *sandblasting* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data hasil ayakan

No. Ayakan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (g)	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
8	2,36	37,7	4,18	4,18	95,82
16	1,18	41,3	4,58	8,76	91,24
30	0,60	100	11,09	19,58	80,15
50	0,30	223,5	24,78	44,63	55,37
100	0,15	480	53,22	97,58	2,15
Pan	0	19,4	2,15	100,00	0,00
Jumlah		901,9		175,26	
Modulus Kehalusan (Fm)					1,75

Berdasarkan Tabel 1., proses uji gradasi dilakukan pada ayakan no. 8 hingga no. 100. Hal ini dilakukan menurut ASTM C-136, jika ingin melakukan pengujian gradasi pada pasir atau agregat halus dimulai dari ayakan diameter 2,3 mm (No. 8) hingga ayakan diameter 0 mm (No, 100). Tingkat gradasi merupakan hal yang perlu diperhatikan karena mempengaruhi terhadap total volume pori beton. Jenis gradasi yang baik dalam pembuatan beton pada umumnya adalah gradasi menerus karena untuk mendapatkan kepadatan beton yang maksimal serta campuran beton masih *workable* maka agregat dalam campuran beton harus terdistribusi dalam berbagai ukuran (Yakti & Saelan, 2016).

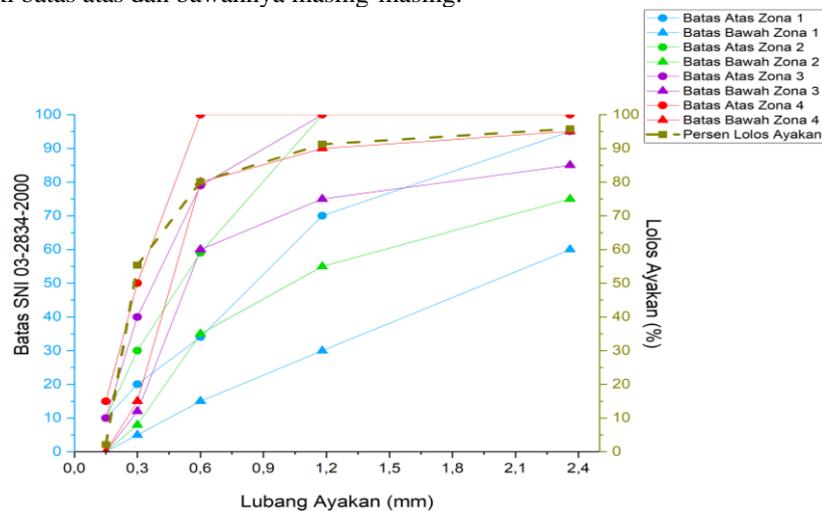
Pada Tabel 1. juga terdapat *fineness Modulus* (modulus kehalusan atau FM). Modulus kehalusan adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Modulus kehalusan didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal diatas ayakan kemudian nilai tersebut dibagi dengan 100 (Ibrahim, 2021). Berdasarkan perhitungan di atas, nilai FM sebesar 1,75. Jika nilai modulus kehalusan berada di luar rentang batasan yang disyaratkan, maka akan berakibat berkurangnya nilai kuat tekan beton dan mengalami perubahan pada kelecakan campuran beton segar (Wahyu & Saelan, 2021).

Jika sudah mendapat nilai persen lolos kumulatif, selanjutnya masukkan nilai tersebut ke dalam Tabel 2. daerah gradasi pasir untuk menentukan ukuran butiran dari limbah *sandblasting*. Tabel tersebut didapatkan berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, daerah gradasi digolongkan menjadi empat yaitu daerah gradasi no. 1, daerah gradasi no. 2, daerah gradasi no. 3, dan daerah gradasi no. 4. Setiap daerah gradasi menggambarkan jenis kelompok pasir, Daerah gradasi no. 1 untuk kelompok pasir butiran kasar, daerah gradasi no. 2 untuk kelompok pasir butiran sedang, daerah gradasi no. 3 untuk kelompok pasir butiran agak halus, dan daerah gradasi no. 4 untuk kelompok pasir butiran halus.

**Tabel 2.** Daerah Gradasi Pasir

Lubang Ayakan	ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4	
	Batas		Batas		Batas		Batas	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
2.36	95	60	100	75	100	85	100	95
1.18	70	30	100	55	100	75	100	90
0.60	34	15	59	35	79	60	100	80
0.30	20	5	30	8	40	12	50	15
0.15	10	0	10	0	10	0	15	0

Hal yang perlu diperhatikan dari Tabel 2. adalah apabila terdapat nilai persen lolos kumulatif dari setiap lubang ayakan yang memenuhi atau termasuk ke dalam rentang batas atas dan batas bawah dari setiap daerah gradasi. Jika dari setiap daerah gradasi terdapat nilai persen lolos kumulatif yang termasuk ke dalam rentang batas atas dan batas bawah maka perlu diperhatikan dengan cara membandingkan dari setiap grafik daerah gradasi, nilai persen lolos kumulatif dari daerah mana yang paling banyak memenuhi nilai rentang batas atas dan batas bawahnya. Pada Tabel 2. terdapat empat zona yang menunjukkan distribusi ukuran agregat halus dan setiap zona memiliki batas atas dan bawahnya masing-masing.



**Gambar 1.** Grafik Daerah Gradasi Sandblasting Dibandingkan dengan Gradasi Pasir Zona 1, 2, 3, dan 4.

Berdasarkan Gambar 1., nilai persen lolos kumulatif pada zona 4 yang memenuhi rentang batas atas dan batas bawah terdapat pada lubang ayakan 2,36 mm dengan nilai persen lolos kumulatif sebesar 95,82% dan rentang batas atas, batas bawah sebesar 100 dan 95, lubang ayakan 1,18 mm dengan nilai persen lolos kumulatif sebesar 91,24% dan rentang batas atas, batas bawah sebesar 100 dan 90, lubang ayakan 0,60 mm dengan nilai persen lolos kumulatif sebesar 80,15% dan rentang batas atas, batas bawah sebesar 100 dan 80 serta lubang ayakan 0,15 mm dengan nilai persen lolos kumulatif sebesar 2,15% dan rentang batas atas serta batas bawah sebesar 10 dan 0. Berdasarkan hasil pengujian gradasi, terdapat empat nilai persen lolos kumulatif pada empat lubang ayakan dari limbah *sandblasting* yang memenuhi atau termasuk ke dalam rentang batas atas dan batas bawah dari daerah gradasi no. 4. Jumlah tersebut adalah yang paling banyak jika dibandingkan dengan daerah gradasi lainnya sehingga dapat disimpulkan jika *sandblasting* yang digunakan pada penelitian ini tergolong sebagai zona 4 atau butiran halus. Terdapat kemiripan antara limbah *sandblasting* dengan pasir, hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sulaiman dkk., 2022). Pasir yang digunakan adalah pasir pantai, hasil gradasi menunjukkan bahwa pasir termasuk ke dalam zona 4 atau butiran halus sehingga limbah *sandblasting* berpotensi menggantikan pasir sebagai agregat halus.

### 3.2 Hasil Uji Berat Jenis Limbah Sandblasting

Pengujian berat jenis digunakan untuk mengetahui kepadatan dari suatu agregat. Pengujian berat jenis dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Nilai standar untuk berat jenis pasir atau agregat halus yang baik terdapat pada pada PUBI (1982), yaitu 2,4-2,9. Hasil pengujian berat jenis dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil uji berat jenis limbah *sandblasting*

Pengujian Berat Jenis		
Uraian	Berat	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	500	gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	495	gram
Berat piknometer diisi air (B)	1240	gram
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (Bt)	1552	gram
Berat jenis kering oven $Bk/(B+Bj-Bt)$	2,632	gram/cm <sup>3</sup>
Berat jenis SSD $Bj/(B+Bj-Bt)$	2,659	gram/cm <sup>3</sup>
Berat jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$	2,704	gram/cm <sup>3</sup>

Kepadatan atau *density* suatu agregat berfungsi untuk membantu dalam menentukan *mix design*, semakin besar nilai berat jenis dari suatu agregat maka semakin besar luas permukaan dari suatu agregat tersebut sehingga ketika agregat tersebut digunakan sebagai campuran, agregat tersebut tidak dapat mengisi sepenuhnya karena terdapat rongga-rongga kosong. Sebaliknya, apabila nilai berat jenis dari suatu agregat kecil, membuat luas permukaannya kecil sehingga ketika agregat digunakan sebagai campuran, agregat tersebut dapat mengisi tanpa menyebabkan adanya rongga-rongga kosong. Berdasarkan Tabel 2., berat jenis limbah *sandblasting* sebesar 2,632 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil tersebut telah memenuhi berat jenis agregat halus yang ditetapkan oleh Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI) Pasal 11 Tahun 1982 yaitu syarat berat jenis pasir atau agregat halus yang baik adalah 2,4-2,9. Limbah *sandblasting* memiliki kemiripan nilai berat jenis dengan pasir. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Puspitasari, 2023), dimana berat jenis pasir adalah 2,8 gram/cm<sup>3</sup>.

### 3.3 Hasil Uji Daya Serap Air Limbah Sandblasting

Pengujian daya serap air bertujuan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Berdasarkan *British Standard* (BS) 0087:1987, nilai daya serap pada agregat sebaiknya tidak melebihi 3% sedangkan menurut *British Standard* (BS) 6349-1:2000, penyerapan air pada agregat sebaiknya tidak melebihi 2-3%. Hasil pengujian daya serap air dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil uji daya serap air limbah *sandblasting*

Limbah Sandblasting		
Berat awal	500	gram

Berat akhir	495	gram
Daya serap air	1%	

Daya serap agregat mempengaruhi daya lekat antara agregat dan pasta semen. Nilai ini perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran (Vandhiyan dkk., 2020). Nilai daya serap air pada agregat halus juga mempengaruhi kuat tekan dari *paving block*. Semakin besar daya serap suatu agregat maka kebutuhan akan air pada *mix design* semakin sedikit. *Paving* yang memiliki komposisi air melebihi yang seharusnya akan menyebabkan *paving* menjadi tidak padat sehingga ketika *paving* diuji kuat tekannya, *paving* akan mudah retak (Vilpa, 2021). Berdasarkan Tabel 3., nilai daya serap air pada limbah *sandblasting* adalah 1%. Nilai tersebut memenuhi standar berdasarkan *Brittish Standard* (BS) 0087:1987 dan *British Standard* (BS) 6349-1:2000.

### 3.4 Mix Design

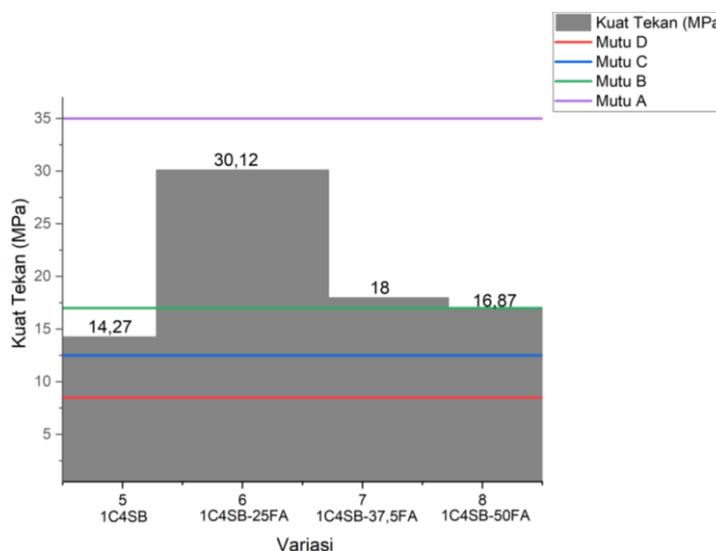
Perencanaan *mix design* dilakukan berdasarkan tinjauan karakterisasi yang telah dilakukan sehingga memudahkan dalam menentukan komposisi campuran pembentuk *paving block* agar mendapatkan mutu *paving* yang sesuai dengan yang direncanakan. Rincian komposisi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Mix design paving block*

Variasi benda uji	Rasio binder dan agregat	Komposisi		
		Binder		Agregat
		Semen	Fly ash	Limbah sandblasting
1C4SB	1:4	20%	0%	80%
1C4SB-25FA		15%	5%	80%
1C4SB-37,5FA		12,5%	7,5%	80%
1C4SB-50FA		10%	10%	80%

### 3.5 Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan kualitas dari *paving block* yang telah dibuat. Pengujian dilakukan setelah *paving block* melalui proses *curing* dan saat usia *paving block* mencapai 28 hari. Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil uji kuat tekan paving block

Berdasarkan Gambar 2., terlihat jika substitusi *fly ash* dalam campuran *paving block* dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada *paving*. Hal ini terjadi akibat dari zat silika ( $SiO_2$ ). Ketika *fly ash* dimasukkan ke dalam campuran, zat silika pada *fly ash* lebih banyak daripada kandungan semen yang membuat *paving* mengeras karena fungsi zat silika adalah untuk menambah kekuatan atau daya tahan dari suatu campuran (Syahputra dkk., 2023). Faktor lainnya yang menyebabkan kekuatan *paving block* meningkat karena *fly ash* yang tergolong sebagai butiran halus yang membuatnya dapat mengisi ke dalam rongga-rongga kecil dan mengisi pori-pori campuran *paving* sehingga kerapatan atau *density* dari campuran bagus (Cahyono dkk., 2022). Kandungan kalsium oksida ( $CaO$ ) dapat meningkatkan nilai kuat tekan *paving block* karena senyawa tersebut merupakan senyawa penyusun semen yang mempengaruhi kekuatan (Cahyono dkk., 2023)

Secara keseluruhan, nilai kuat tekan tiap variasi berbeda-beda, terdapat variasi yang memiliki nilai kuat tekan rendah yaitu variasi 1C4SB dan 1C4SB-50FA. Hal ini terjadi karena pada saat proses pencampuran bahan tidak merata dan bahan yang tercampur pada cetakan *paving block* tidak sepenuhnya memadat sehingga terbentuk rongga yang mengakibatkan penurunan kuat tekan. Selain itu, bentuk fisik dari limbah *sandblasting* yang digunakan tidak beraturan dan terdapat rongga udara. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35%-38% sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen agar *paving* yang dihasilkan memiliki mutu yang baik (Tomayahu, 2016).

*Paving block* memiliki klasifikasi mutu tersendiri yang diatur dalam SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*. Untuk menentukan mutu *paving*, dapat dilihat dari nilai kuat tekannya. Pengelompokan mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Pengelompokan mutu *paving block*

Variasi	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Mutu
1C4SB	14,27	C
1C4SB-25FA	30,12	B
1C4B-37,5FA	18	B
1C4SB-50FA	16,87	C

Berdasarkan Tabel 6., mutu *paving* yang didapat adalah mutu B dan mutu C. Pada SNI 03-0691-1996, *paving* dikategorikan sebagai mutu B ketika nilai kuat tekannya minimal 17 MPa. Mutu B digunakan sebagai pelataran parkir mobil. *Paving* dikategorikan sebagai mutu C apabila memiliki nilai kuat tekan minimal 12 MPa. Mutu C digunakan sebagai tempat atau alas pejalan kaki. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Susatya, 2018), *paving block* dengan perbandingan berat semen dan pasir 1:4 dan bahan tambah *fly ash* 5% menghasilkan kuat tekan sebesar 25 MPa atau termasuk mutu B sehingga dapat digunakan sebagai pelataran parkir. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Rahim dkk., 2024), *paving block* variasi 10% *fly ash* menghasilkan kuat tekan sebesar 14,23 MPa atau termasuk mutu C sehingga dapat digunakan sebagai tempat pejalan kaki.

#### 4. KESIMPULAN

Komposisi *paving block* dengan variasi substitusi 5% *fly ash* dan campuran 80% limbah *sandblasting* (1C4SB-25FA) menghasilkan kuat tekan sebesar 30,12 MPa. Komposisi *paving block* dengan variasi substitusi 10% *fly ash* dan campuran 80% limbah *sandblasting* (1C4SB-50FA) menghasilkan kuat tekan sebesar 16,87 MPa. Penambahan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen ke dalam campuran dan limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus mempengaruhi kuat tekan *paving*. Berdasarkan SNI 03-0691-1996, *paving block* variasi substitusi 5% *fly ash* dan 80% limbah *sandblasting* tergolong mutu B yang dapat digunakan sebagai pelataran parkir sedangkan *paving block* variasi substitusi 10% *fly ash* dan 80% limbah *sandblasting* tergolong mutu C yang dapat digunakan sebagai tempat pejalan kaki.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Dr. Ir. Wiwik Dwi Pratiwi, MT.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- British Standard (BS) 0087:1987, Code of Practice for Design of Concrete Structures for Retaining Aqueous Liquids
- British Standard (BS) 6349-1:2000, Maritime Structures
- Cahyono, L., Nur, G. A., & Mayangsari, N. E. (2022). Pemanfaatan Abu Insinerator Rumah Sakit Dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot Sebagai Material Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Paving Block. 5(2623), 55–58.
- Cahyono, L., Sinta, Y., Jannah, N., Fikriyah, I., Anwar, P., Putri, D., & Utomo, A., (2023). Pemanfaatan Limbah Abu Cangkang Kemiri Industri Makanan Sebagai Substitusi Agregat Halus Paving Block. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. 6(3), 677-684.
- Puspitasari, I. (2023). Kajian Perbandingan Kuat Tekan dan Berat Jenis Beton dengan Pasir Mundu dan Pasir Malang. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 147-156.
- Rahim, M. R. A., Mustakim, & Misbahuddin. (2024). Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Paving Block. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik*, 2(2), 145-156.
- SNI 03-0691-1996, Bata Beton
- SNI 1970:2008, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.