

## Analisis Gradasi Butiran Limbah Rubber Deposit Runway (LRDR) sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran Beton

Viktor Suryan<sup>1\*</sup>, Virma Septiani<sup>2</sup>, Dwi Cahyono<sup>3</sup>, Ria Maya Sari<sup>3</sup>,  
Amira Erinda Khoirunisa Lesmana<sup>4</sup>, Karina Nabila Maharani<sup>5</sup>, Anggi Nidya Sari<sup>6</sup>  
Politeknik Penerbangan Palembang, Palembang-30154, Indonesia<sup>1,2,3,4,5</sup>  
Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang-30128, Indonesia<sup>6</sup>

### ARTICLE INFO

#### Kata Kunci:

Limbah *Rubber Deposit Runway* (LRDR); Agregat Halus; Analisa Saringan; Gradasi Butiran; Beton Ramah Lingkungan.

#### \*Correspondence email:

[viktor@poltekbangplg.ac.id](mailto:viktor@poltekbangplg.ac.id)

Submitted: 24 Juli 2026

Revised: 04 Agustus 2026

Accepted: 04 Agustus 2026

Published: 05 Agustus 2026

### ABSTRAK

Limbah *Rubber Deposit Runway* (selanjutnya disingkat LRDR) yang dihasilkan dari pengikisan ban pesawat pada runway bandar udara berpotensi dimanfaatkan sebagai material pengganti agregat halus pada campuran beton, sejalan dengan kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada agregat alam yang eksploitasinya dapat merusak ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik butiran LRDR dibandingkan dengan pasir sebagai agregat halus konvensional, sebagai kajian awal kelayakan pemanfaatannya pada campuran beton. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen melalui pengujian *sieve analysis* menggunakan alat *Sieve Shaker*, dengan tiga kali pengulangan untuk masing-masing material, kemudian dianalisis secara komparatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara visual LRDR tampak lebih gelap dibandingkan dengan pasir akibat kandungan material yang sebagian besar berasal dari pengikisan ban karet pesawat. Hasil analisis saringan menunjukkan LRDR memiliki butiran yang secara umum lebih halus dibandingkan pasir, ditandai dengan persentase lolos saringan 0,425 mm sebesar 66,91% berbanding 26,72% pada pasir, serta kandungan butiran sangat halus (lolos saringan 0,075 mm) yang jauh lebih tinggi, yaitu 11,01% berbanding 0,49% pada pasir. Perbedaan gradasi ini mengindikasikan bahwa LRDR berpotensi digunakan sebagai substitusi sebagian agregat halus, namun kandungan butiran halus yang tinggi perlu diperhitungkan lebih lanjut terhadap kebutuhan air dan workabilitas campuran beton. Penelitian ini menjadi dasar bagi penelitian lanjutan mengenai pengaruh substitusi LRDR terhadap sifat fisik dan mekanik beton.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Rubber Deposit Waste; Fine Aggregate; Sieve Analysis; Grain Size Distribution; Sustainable Concrete.

Rubber deposit waste generated from aircraft tire abrasion on airport runways has potential as a substitute material for fine aggregate in concrete mixtures, in line with the need to reduce dependence on natural aggregates whose extraction can damage ecosystems. This study aims to analyze the grain characteristics of rubber deposit waste compared to sand as a conventional fine aggregate, as a preliminary feasibility study for its use in concrete mixtures. The research employed a quantitative method with an experimental approach through sieve analysis testing using a Sieve Shaker, with three repetitions for each material, followed by comparative analysis. The results show that, visually, rubber deposit waste appears darker than sand due to its material content, which mostly originates from the abrasion of aircraft rubber tires. The sieve analysis results indicate that rubber deposit waste generally has finer grains than sand, marked by a passing percentage on the 0.425 mm sieve of 66.91% compared to 26.72% for sand, and a much higher content of very fine particles (passing the 0.075 mm sieve), namely 11.01% compared to 0.49% for sand. This gradation difference indicates that rubber deposit waste has potential as a partial substitute for fine aggregate, although its high fine-particle content needs to be further considered in relation to water demand and the workability of the concrete mixture. This study provides a basis for further research on the effect of rubber deposit waste substitution on the physical and mechanical properties of concrete.

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi juga diiringi dengan perkembangan infrastruktur. Perkembangan infrastruktur menyebabkan kebutuhan akan material pembentuk menjadi masif. Penggunaan material alam akan menggerus bahkan merusak ekosistem. Oleh karena itu, pengembangan material daur ulang (*recycled materials*) menjadi semakin penting untuk mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan. Material-material tersebut merupakan buangan dari sisa konstruksi ataupun limbah padat. Kebutuhan material pengganti meningkat seiring dengan berkembangnya

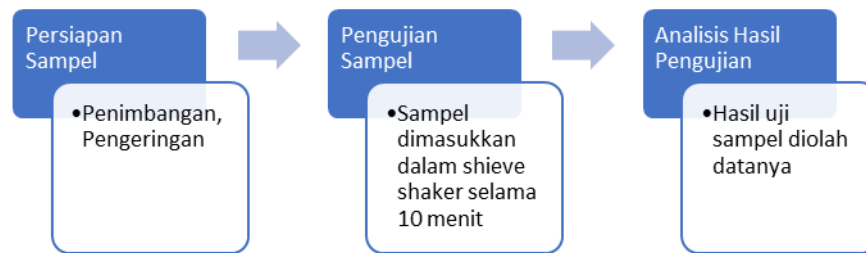
pengetahuan tentang lingkungan. Berbagai jenis limbah padat telah diteliti sebagai material alternatif pada campuran beton, seperti limbah kaca, fly ash, slag, limbah plastik, dan limbah ban bekas. Di antara berbagai material tersebut, limbah ban menjadi salah satu material yang paling banyak dikaji karena mampu meningkatkan sifat daktilitas beton serta memberikan manfaat lingkungan melalui pengurangan limbah padat. Meskipun demikian, pemanfaatannya masih menghadapi tantangan berupa penurunan kuat tekan, modulus elastisitas, dan workabilitas beton sehingga diperlukan optimasi proporsi campuran dan karakterisasi material yang baik (Shu & Huang, 2014; Siddique & Naik, 2004).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa agregat alam pada campuran beton dapat disubstitusi sebagian maupun seluruhnya dengan material daur ulang, salah satunya limbah karet (*crumb rubber*) (Kilani et al., 2025). Siddique & Naik (2004) menunjukkan bahwa penggunaan limbah karet ban pada campuran beton dapat meningkatkan daktilitas serta ketahanan terhadap retak. Thomas et al. (2014) menunjukkan bahwa substitusi agregat halus dengan limbah karet memengaruhi kekuatan, ketahanan abrasi, dan permeabilitas beton. Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah karet sebagai pengganti agregat halus umumnya menyebabkan penurunan workabilitas, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton akibat sifat elastis dan hidrofobik partikel karet (Ren et al., 2022; Shu & Huang, 2014; Siddique & Naik, 2004; Thomas et al., 2014). Walaupun penelitian mengenai *crumb rubber* sebagai pengganti agregat halus telah berkembang, kajian yang secara khusus mengevaluasi karakteristik fisik limbah *rubber deposit runway* (LRDR) masih sangat terbatas. LRDR merupakan limbah hasil pengikisan ban pesawat yang menempel pada permukaan runway akibat proses pendaratan (Adathodi et al., 2018). Hingga saat ini, karakterisasi gradasi butiran LRDR sebagai dasar pemanfaatannya pada campuran beton masih jarang dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan sebagai tahap awal untuk mengidentifikasi karakteristik gradasi butiran LRDR sebelum dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus.

Kajian mengenai pemanfaatan *crumb rubber* sebagai pengganti agregat halus terus berkembang. Shu & Huang (2014) serta Ren et al. (2022) menjelaskan bahwa keberhasilan penggunaan *crumb rubber* sebagai agregat pengganti dipengaruhi oleh ukuran butiran, tekstur permukaan, sifat hidrofobik, serta kualitas ikatan pada zona transisi (*interfacial transition zone*). Berbagai perlakuan permukaan (*surface treatment*) kemudian dikembangkan untuk meningkatkan daya lekat partikel karet terhadap pasta semen. Azunna et al. (2024) dan Assaggaf et al. (2021) menambahkan bahwa berbagai metode perlakuan (*treatment*) pada butiran karet, baik secara mekanis, kimiawi, maupun termal, telah diteliti untuk memperbaiki daya lekat butiran karet terhadap matriks semen. Selain itu, Singh et al. (2022) menunjukkan bahwa kombinasi *crumb rubber* dengan bahan tambahan seperti silika fume dapat membantu mengompensasi penurunan kekuatan tekan akibat substitusi agregat halus dengan karet. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan pemanfaatan limbah karet sebagai agregat pengganti sangat bergantung pada pemahaman karakteristik fisik butiran karet itu sendiri sebagai dasar rekayasa campuran selanjutnya. Pemanfaatan LRDR sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton di lingkungan bandar udara masih belum banyak dikaji, khususnya pada tahap awal berupa karakterisasi gradasi butiran sebagai dasar kelayakan penggunaannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan karakteristik butiran LRDR dengan pasir melalui pengujian analisis saringan (*sieve analysis*), sebagai kajian awal potensi pemanfaatan LRDR sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Adapun pengujian pada penelitian ini menggunakan pengujian *sieve analysis* yang kemudian akan digunakan sebagai teknik analisis data dengan pendekatan perbandingan. Analisis terhadap butiran ini dibagi menjadi tiga tahap: tahap persiapan sampel, pengujian sampel, dan analisis hasil data seperti tertera pada Gambar 1. Sampel LRDR diperoleh dari tempat pembuangan akhir hasil pembersihan runway Bandar Udara Internasional Bandara Juanda pada bulan Januari 2026. Sebelum dilakukan pengujian, material dibersihkan dari kotoran yang terlihat, dikeringkan hingga berat tetap, kemudian diambil sebagai sampel uji. Pengujian analisis saringan dilaksanakan mengacu pada SNI 03-1968-1990 yang setara dengan ASTM C136. Masing-masing benda uji, yaitu LRDR dan pasir, terlebih dahulu dikeringkan dalam oven pada suhu  $110 \pm 5$  °C hingga mencapai berat tetap, kemudian ditimbang sebanyak 500 gram sebagai berat awal benda uji. Benda uji selanjutnya disaring menggunakan satu set saringan standar (4,75 mm; 2 mm; 0,85 mm; 0,425 mm; 0,25 mm; 0,18 mm; 0,15 mm; 0,075 mm dan pan) yang dipasang pada mesin penggetar saringan (*sieve shaker*) selama 10 menit hingga tidak ada lagi butiran yang lolos secara signifikan. Berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan kemudian ditimbang dan dihitung persentase tertahan serta persentase lolos kumulatifnya. Pengujian dilakukan dengan tiga kali pengulangan untuk masing-masing material guna memperoleh nilai rata-rata yang representatif.

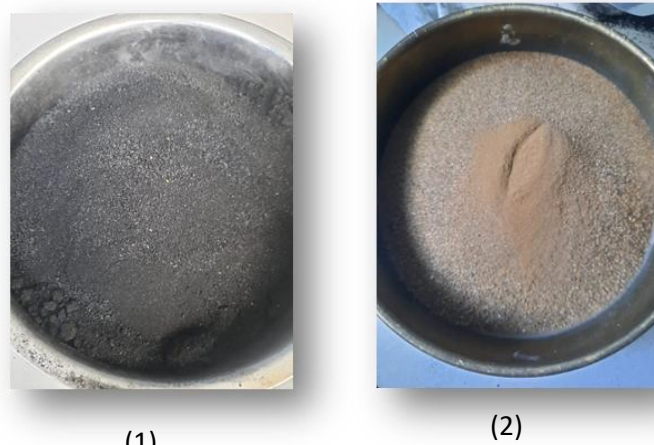


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Sumber: Olahan Data Penulis (2026)

## HASIL

Pada penelitian ini, secara visual material LRDR dan Pasir tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Material LRDR terlihat lebih gelap bila dibandingkan dengan pasir. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan material yang sebagian besar merupakan pengikisan ban karet pesawat, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel LRDR (1); Pasir (2)

Sumber: Dokumentasi Penulis (2026)

Penelitian ini menggunakan alat *Sieve Shaker* untuk mendapatkan ukuran butiran. Pada pengujian ini didapatkan data persentase seperti terlihat pada Tabel 1.

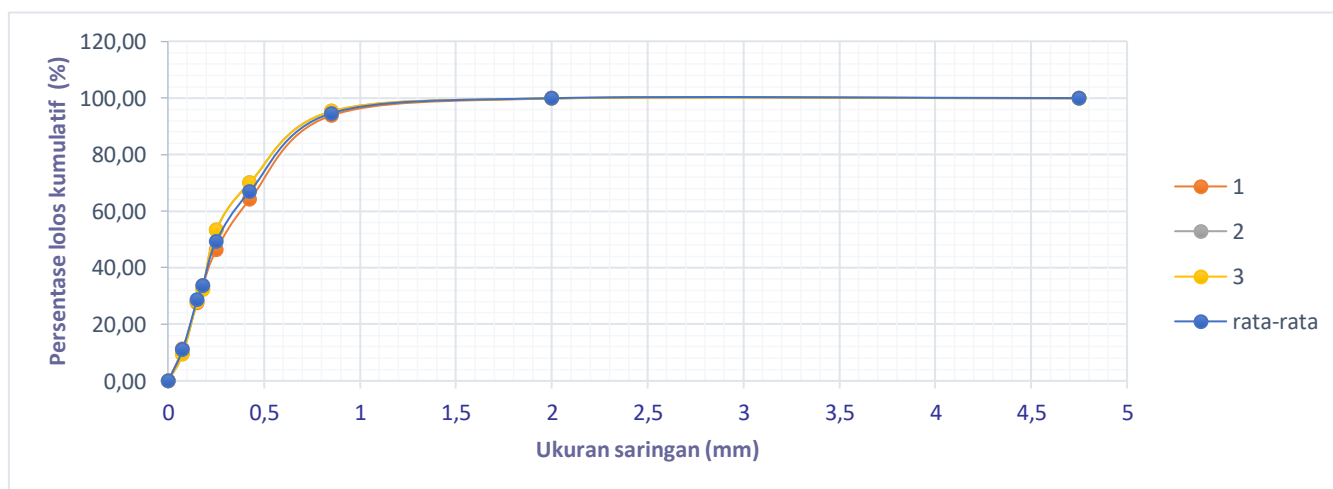
Tabel 1. Persentase Lolos Kumulatif LRDR dan Pasir

| Ukuran Saringan (mm) | Persentase lolos kumulatif (%) |        |        |           |        |        |        |           |
|----------------------|--------------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|-----------|
|                      | LRDR                           |        |        |           | Pasir  |        |        |           |
|                      | 1                              | 2      | 3      | Rata-rata | 1      | 2      | 3      | Rata-rata |
| 4,75                 | 100,00                         | 100,00 | 100,00 | 100,00    | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00    |
| 2                    | 100,00                         | 99,94  | 99,93  | 99,96     | 99,65  | 99,63  | 99,54  | 99,61     |
| 0,85                 | 94,51                          | 93,90  | 95,32  | 94,58     | 94,13  | 92,07  | 93,21  | 93,14     |
| 0,425                | 66,57                          | 64,09  | 70,06  | 66,91     | 28,52  | 30,19  | 21,46  | 26,72     |
| 0,25                 | 48,27                          | 46,24  | 53,28  | 49,27     | 5,77   | 4,03   | 4,83   | 4,88      |
| 0,18                 | 35,29                          | 33,65  | 32,21  | 33,72     | 3,58   | 2,09   | 2,87   | 2,85      |
| 0,15                 | 30,24                          | 27,52  | 27,98  | 28,58     | 2,72   | 1,38   | 2,21   | 2,10      |
| 0,075                | 12,26                          | 11,38  | 9,40   | 11,01     | 0,54   | 0,27   | 0,66   | 0,49      |
| Pan                  | 0,00                           | 0,00   | 0,00   | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00      |

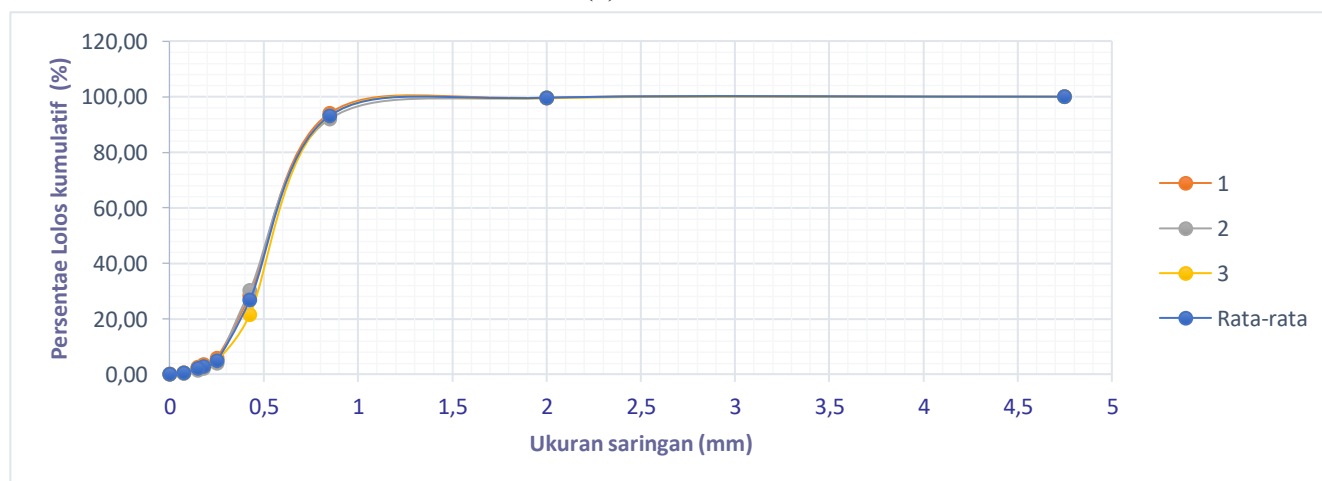
Sumber: Olahan Data Penulis (2026)

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa persentase butiran yang lolos saringan pada LRDR secara konsisten lebih tinggi dibandingkan pasir untuk seluruh ukuran saringan di bawah 0,85 mm. Pada saringan 0,425 mm, rata-rata persentase lolos LRDR tercatat sebesar 66,91% dengan simpangan baku  $\pm 3,00\%$  (koefisien variasi 4,48%), sedangkan pasir sebesar 26,72% dengan simpangan baku  $\pm 4,63\%$  (koefisien variasi 17,34%). Pada saringan 0,075 mm, rata-rata persentase lolos LRDR sebesar 11,01% (simpangan baku  $\pm 1,46\%$ ; koefisien variasi 13,30%), sementara pasir hanya 0,49% (simpangan baku  $\pm 0,20\%$ ; koefisien variasi 40,77%). Secara umum, hasil tiga kali pengulangan pengujian pada masing-masing material menunjukkan tingkat *repeatability* yang cukup baik, dengan koefisien variasi di bawah 20%

pada sebagian besar ukuran saringan. Koefisien variasi yang relatif tinggi pada pengujian pasir di saringan 0,075 mm disebabkan oleh nilai persentase yang sangat kecil, sehingga selisih pembacaan berat antar pengulangan berpengaruh lebih besar secara proporsional.



(1) Material LRDR



(2) Material Pasir

**Gambar 3.** Grafik persentase butiran yang lolos terhadap ukuran saringan

Sumber: Olahan Data Penulis (2026)

Kurva gradasi pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa kedua material memiliki bentuk kurva *sigmoid*, namun dengan pola peningkatan yang berbeda. Kurva LRDR meningkat secara lebih landai dan menyebar pada rentang ukuran saringan 0,075 mm hingga 0,85 mm, sedangkan kurva pasir menunjukkan peningkatan yang jauh lebih tajam pada rentang saringan 0,25 mm hingga 0,85 mm, dengan persentase lolos yang menurun drastis di bawah ukuran 0,25 mm. Pola ini menunjukkan bahwa distribusi ukuran butiran LRDR lebih menyebar pada rentang ukuran halus, sedangkan sebagian besar butiran pasir terkonsentrasi pada rentang ukuran menengah (0,425-0,85 mm).

## Pembahasan

Hasil pengujian analisis saringan yang mengacu pada metode SNI 03-1968-1990 menunjukkan adanya perbedaan gradasi butiran yang cukup jelas antara LRDR dan pasir sebagai agregat halus pembeding, sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Pada saringan 0,425 mm, persentase butiran LRDR yang lolos saringan mencapai 66,91%, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pasir yang hanya 26,72%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar butiran pasir tertahan pada ukuran saringan yang lebih besar (relatif kasar), sedangkan butiran LRDR didominasi oleh ukuran yang lebih halus. Perbedaan ini semakin terlihat jelas pada saringan 0,075 mm, di mana persentase butiran LRDR yang lolos mencapai 11,01%, sementara pasir hanya 0,49%, atau sekitar 22 kali lebih rendah. Tingginya kandungan butiran sangat halus (*fines*) pada LRDR ini perlu menjadi perhatian, karena kandungan butiran halus yang berlebihan pada agregat umumnya dapat memengaruhi kebutuhan air campuran, workabilitas, dan pada akhirnya

kekuatan beton yang dihasilkan. Temuan ini juga konsisten dengan Shu & Huang (2014) menyatakan bahwa karakteristik ukuran butiran dan tekstur permukaan limbah karet merupakan faktor utama yang memengaruhi kebutuhan air, workabilitas, dan performa mekanik beton. Temuan ini juga sejalan dengan Yalley & Sam (2018) menunjukkan bahwa peningkatan kadar butiran halus pada agregat halus memengaruhi kebutuhan air dan kekuatan beton pada berbagai rasio air-semen, serta Nedeljković et al. (2021) dan Hafez et al. (2020) menegaskan bahwa kandungan butiran halus berlebih pada agregat alternatif secara umum dapat meningkatkan kebutuhan air campuran, meskipun di sisi lain juga berpotensi meningkatkan kepadatan pengisian (*packing density*) apabila proporsinya dikendalikan dengan tepat. Hasil ini juga mendukung temuan Si et al. (2017) bahwa distribusi ukuran partikel karet dan kandungan butiran halus berpengaruh terhadap kebutuhan air, kepadatan campuran, serta kinerja jangka panjang beton. Selain itu, pemanfaatan material limbah sebagai substitusi agregat merupakan bagian dari konsep konstruksi berkelanjutan dan ekonomi sirkular (Bravo et al., 2015).

Secara visual, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, LRDR tampak lebih gelap dibandingkan dengan pasir. Hal ini konsisten dengan asal material LRDR yang merupakan hasil pengikisan ban karet pesawat pada permukaan runway akibat gesekan saat pendaratan (Adathodi et al., 2018), sehingga secara komposisi material ini berbeda dari agregat alam berbasis mineral seperti pasir. Perbedaan gradasi ini menunjukkan bahwa LRDR tidak dapat serta-merta menggantikan pasir secara langsung dalam proporsi yang sama, melainkan memerlukan penyesuaian proporsi campuran maupun kombinasi dengan agregat alam agar gradasi gabungan tetap memenuhi rentang gradasi agregat halus yang disyaratkan. Karakteristik butiran yang lebih halus pada LRDR berpotensi mengisi rongga antarbutir pasir sehingga dapat memperbaiki kepadatan campuran, namun di sisi lain juga berisiko meningkatkan kebutuhan air dan semen apabila proporsi substitusinya terlalu besar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa LRDR mempunyai distribusi ukuran butiran yang lebih halus dibandingkan pasir yang digunakan sebagai pembanding. Namun demikian, hasil tersebut masih merupakan karakterisasi awal sehingga belum dapat digunakan sebagai dasar untuk menyatakan bahwa LRDR telah memenuhi persyaratan agregat halus pada campuran beton. Pengujian lanjutan masih diperlukan untuk mengevaluasi parameter agregat lainnya sesuai standar yang berlaku.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis saringan, LRDR memiliki karakteristik gradasi butiran yang lebih halus dibandingkan pasir sebagai agregat halus konvensional, dengan persentase lolos saringan 0,425 mm sebesar 66,91% berbanding 26,72% pada pasir, serta kandungan butiran sangat halus (lolos saringan 0,075 mm) sebesar 11,01% berbanding 0,49% pada pasir. Secara visual, LRDR juga tampak lebih gelap dibandingkan pasir akibat kandungan materialnya yang berasal dari pengikisan ban karet pesawat. Berdasarkan hasil analisis saringan, LRDR mempunyai distribusi ukuran butiran yang lebih halus dibandingkan dengan pasir yang digunakan sebagai pembanding. Penelitian ini merupakan karakterisasi awal sehingga hasil yang diperoleh belum dapat digunakan untuk menyatakan kelayakan LRDR sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton. Pengujian karakteristik agregat dan pengujian sifat beton masih diperlukan sebelum material ini dapat direkomendasikan sebagai bahan substitusi, namun kandungan butiran halusnya yang tinggi perlu diperhitungkan secara cermat terhadap kebutuhan air, workabilitas, dan kekuatan beton yang dihasilkan. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji pengaruh berbagai persentase substitusi LRDR terhadap sifat fisik dan mekanik beton, seperti kuat tekan, kuat tarik belah, dan workabilitas, guna menentukan proporsi substitusi yang optimal. Selain itu, karakterisasi fisik LRDR perlu dilengkapi dengan parameter lain sesuai standar pengujian agregat yang berlaku, meliputi kadar air, berat jenis dan penyerapan air, berat isi, serta kadar lumpur, sebagaimana direncanakan pada penelitian karakterisasi LRDR yang lebih komprehensif, agar diperoleh gambaran kelayakan material yang lebih menyeluruh sebelum diaplikasikan pada campuran beton struktural maupun nonstruktural.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adathodi, L., Murugadoss, J. R., & Shanagam, N. K. (2018). Recycling of Waste Tyre Rubber Deposits in Airfield Runway: A Review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(2), 275–285.
- Assaggaf, R. A., Ali, M. R., Al-Dulaijan, S. U., & Maslehuddin, M. (2021). Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber – a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 1753–1798. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.085>
- Azunna, S. U., Aziz, F. N. A., Rashid, R. S. M., & Bakar, N. A. (2024). Review on the characteristic properties of crumb rubber concrete. *Clean Materials*, 11, 100237. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100237>
- Bravo, M., de Brito, J., Pontes, J., & Evangelista, L. (2015). Mechanical Performance of Concrete Made with Aggregates from Construction and Demolition Waste Recycling Plants. *Journal of Cleaner Production*, 99, 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2015). Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 94 Tahun

- 2015 tentang pedoman program pemeliharaan konstruksi perkerasan bandar udara. Kementerian Perhubungan.
- Hafez, H., Kurda, R., Kurda, R., Al-Hadad, B., Mustafa, R., & Ali, B. (2020). A Critical Review on the Influence of Fine Recycled Aggregates on Technical Performance, Environmental Impact and Cost of Concrete. *Applied Sciences*, 10(3), 1018. <https://doi.org/10.3390/app10031018>
- Kilani, A. J., Ikotun, B. D., & Abdulwahab, R. (2025). Effect of Crumb Rubber on Concrete's and Mortar's Structural Properties: A Review. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 49, 1037–1067. <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01647-8>
- Nedeljković, M., Visser, J., Šavija, B., Valeke, S., & Schlangen, E. (2021). Use of fine recycled concrete aggregates in concrete: A critical review. *Journal of Building Engineering*, 38, 102196. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102196>
- Ren, F., Mo, J., Wang, Q., & Ho, J. C. M. (2022). Crumb rubber as partial replacement for fine aggregate in concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 343, 128049. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128049>
- Shu, X., & Huang, B. (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 67, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>
- Si, R., Guo, S., Dai, Q., & Wang, J. (2017). Durability Performance of Rubberized Concrete with Supplementary Cementitious Materials. *Construction and Building Materials*, 145, 504–515. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.040>
- Siddique, R., & Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber—An overview. *Waste Management*, 24(6), 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.01.006>
- Singh, G., Tiwary, A. K., Singh, S., Kumar, R., Chohan, J. S., Sharma, S., Li, C., Sharma, P., & Deifalla, A. F. (2022). Incorporation of silica fumes and waste glass powder on concrete properties containing crumb rubber as a partial replacement of fine aggregates. *Sustainability*, 14(21), 14453. <https://doi.org/10.3390/su142114453>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., Kalla, P., & Cseteneyi, L. (2014). Strength, abrasion and permeation characteristics of cement concrete containing discarded rubber fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 59, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.027>
- Yalley, P. P., & Sam, A. (2018). Effect of sand fines and water/cement ratio on concrete properties. *Civil Engineering Research Journal*, 4(3), 555636.