



PERENCANAAN RABAT BETON TAHAN RETAK UNTUK PENINGKATAN KUALITAS JALAN DI DESA LAOWO HILIMBARUZO

Jun Fajar Krisman Giawa¹⁾, Kevin Berkat Mendrofa²⁾, Friski Dermawan Zebua³⁾,
Dermawan Zebua⁴⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: jfgiawa15@gmail.com

²⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: kevinberkatm@gmail.com

³⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: zebuafriski@gmail.com

⁴⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: dermawanzebua@unias.ac.id

Abstract

The road conditions in Laowo Hilimbaruzo Village, Nias Regency, have significantly deteriorated, disrupting residents' mobility and agricultural product distribution. This community service program aimed to plan and construct a crack-resistant concrete pavement (rabat beton) to improve the quality and durability of rural roads. The implementation method included an initial field survey, the design of a concrete mix incorporating polypropylene fiber additives, technical training for local residents, and a participatory construction approach. The results showed that a 180-meter-long concrete road was successfully built, achieving an average compressive strength of 23.5 MPa and showing no surface cracks during the initial monitoring period. High community involvement and the establishment of a local infrastructure working group demonstrated the effectiveness of the empowerment approach. This program not only resulted in physical infrastructure improvement but also enhanced the technical capacity and institutional strength of the local community. With the right approach, similar initiatives can be replicated in other rural areas as a model for sustainable development based on collaboration and simple technology.

Keywords: Concrete Pavement, Crack-Resistant, Community Participation, Service Program, Rural Infrastructure.

Abstrak

Kondisi jalan di Desa Laowo Hilimbaruzo, Kabupaten Nias, mengalami kerusakan parah yang berdampak pada terganggunya mobilitas warga dan distribusi hasil pertanian. Melalui kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, dilakukan perencanaan dan pembangunan rabat beton dengan inovasi tahan retak guna meningkatkan kualitas dan daya tahan jalan desa. Metode pelaksanaan melibatkan survei kondisi eksisting, perencanaan desain campuran beton dengan aditif fiber polypropylene, pelatihan teknis kepada warga, serta pelaksanaan konstruksi secara partisipatif. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa jalan rabat beton sepanjang 180 meter yang dibangun memiliki kekuatan tekan rata-rata 23,5 MPa dan tidak menunjukkan retak permukaan selama periode pengamatan awal. Partisipasi masyarakat yang tinggi serta terbentuknya kelompok kerja desa menjadi indikator keberhasilan pendekatan pemberdayaan dalam pembangunan infrastruktur. Kegiatan ini tidak hanya menghasilkan perbaikan fisik jalan, tetapi juga peningkatan kapasitas teknis dan kelembagaan masyarakat lokal. Dengan pendekatan yang tepat, kegiatan pengabdian semacam ini dapat direplikasi di wilayah pedesaan lain sebagai model pembangunan berkelanjutan yang berbasis kolaborasi dan teknologi sederhana.

Kata Kunci: Rabat Beton, Tahan Retak, Partisipasi Masyarakat, Pengabdian, Infrastruktur Desa.



LATAR BELAKANG

Infrastruktur jalan merupakan salah satu elemen penting dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi daerah, terutama di wilayah pedesaan. Jalan yang berkualitas dan layak akan meningkatkan aksesibilitas, memperlancar distribusi barang dan jasa, serta menunjang berbagai aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat (Bappenas, 2020). Sayangnya, banyak desa di Indonesia, termasuk Desa Laowo Hilimbaruzo, masih menghadapi permasalahan jalan rusak dan berlubang yang menghambat aktivitas harian warga.

Permasalahan utama pada infrastruktur jalan desa seringkali berkaitan dengan mutu perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jalan. Salah satu solusi yang mulai banyak diterapkan adalah penggunaan rabat beton sebagai alternatif jalan yang tahan lama. Rabat beton memiliki keunggulan dalam kekuatan tekan, daya tahan terhadap cuaca, serta biaya perawatan yang rendah dibandingkan dengan jalan tanah atau jalan aspal di wilayah terpencil (Kementerian PUPR, 2021). Namun, tantangan dalam penggunaan rabat beton di lapangan adalah risiko terjadinya retak dini akibat perubahan suhu, penyusutan beton, atau kesalahan dalam proses pengerjaan. Retak yang terjadi pada permukaan beton tidak hanya mengurangi estetika, tetapi juga mempercepat kerusakan struktural dan menurunkan umur teknis jalan (Neville, 2011). Oleh karena itu, dibutuhkan perencanaan dan pelaksanaan rabat beton yang mempertimbangkan ketahanan terhadap retak.



Gambar 1. Melakukan Briefing Bersama Aparatur Desa Laowo Hilimbaruzo

Desa Laowo Hilimbaruzo merupakan salah satu desa yang tengah berupaya meningkatkan kualitas infrastruktur jalan sebagai bagian dari program pengembangan desa. Dengan topografi yang relatif bergelombang dan kondisi tanah yang labil, diperlukan solusi konstruksi jalan yang tidak hanya kokoh tetapi juga berumur panjang. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk memberikan kontribusi nyata dalam bentuk perencanaan

rabat beton yang tahan retak, sesuai dengan kondisi lokal desa. Pendekatan teknis dalam kegiatan ini meliputi identifikasi kebutuhan masyarakat, survei kondisi jalan eksisting, pemilihan material yang sesuai, serta perencanaan desain campuran beton dengan teknologi aditif tahan retak. Selain itu, edukasi kepada masyarakat dan aparat desa juga dilakukan agar mereka dapat memahami prinsip-prinsip konstruksi jalan yang baik dan dapat melanjutkan pembangunan secara mandiri (Widodo & Setiawan, 2022).

Kegiatan ini sejalan dengan misi perguruan tinggi dalam melaksanakan Tri Dharma, khususnya dalam bidang pengabdian kepada masyarakat. Transfer pengetahuan kepada masyarakat desa menjadi kunci penting untuk menciptakan keberlanjutan pembangunan infrastruktur yang berkualitas. Dalam konteks ini, keterlibatan akademisi dan mahasiswa teknik sipil memberikan sinergi antara ilmu pengetahuan dan praktik langsung di lapangan. Hasil dari kegiatan ini diharapkan dapat menjadi model replikasi bagi desa-desa lain dengan kondisi geografis dan sosial ekonomi yang serupa. Keberhasilan perencanaan rabat beton tahan retak tidak hanya terletak pada aspek teknis, tetapi juga pada partisipasi aktif masyarakat dan dukungan kebijakan dari pemerintah desa dan daerah. Oleh karena itu, kolaborasi semua pihak menjadi aspek penting dalam mendukung keberhasilan program ini.

Dengan adanya perencanaan yang matang dan implementasi berbasis kebutuhan lokal, diharapkan kualitas jalan di Desa Laowo Hilimbaruzo dapat meningkat secara signifikan. Peningkatan ini bukan hanya berdampak pada aspek mobilitas, tetapi juga mendorong produktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat desa secara keseluruhan.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian ini diawali dengan proses koordinasi antara tim pelaksana dari perguruan tinggi dengan pemerintah desa dan tokoh masyarakat Desa Laowo Hilimbaruzo. Koordinasi ini bertujuan untuk menyelaraskan rencana kegiatan dengan kebutuhan nyata masyarakat serta memperoleh dukungan sosial yang diperlukan selama proses pelaksanaan. Pada tahap ini juga dilakukan penyusunan jadwal kerja dan pembagian tugas tim. Langkah selanjutnya adalah pelaksanaan survei awal di lokasi jalan yang akan ditingkatkan. Survei ini mencakup pengukuran geometrik jalan, identifikasi jenis tanah dasar, serta dokumentasi kondisi kerusakan eksisting. Data dari survei ini menjadi dasar untuk menyusun desain teknis rabat beton yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat, termasuk elevasi jalan dan sistem drainase.



Gambar 2. Mengukur Permukaan Jalan

Tahapan berikutnya adalah analisis kondisi tanah dan pemilihan metode perbaikan dasar jalan (subbase). Berdasarkan hasil pengujian lapangan seperti CBR (California Bearing Ratio), diputuskan jenis lapisan perkerasan dan kebutuhan penebalan rabat beton. Pada wilayah dengan tanah yang memiliki daya dukung rendah, dilakukan perbaikan tanah dengan material granular atau geotekstil. Desain campuran beton (mix design) dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan kekuatan tekan minimal 20 MPa, daya tahan terhadap perubahan cuaca, serta kemampuan untuk mengurangi retak. Aditif khusus seperti fiber polypropylene dan superplasticizer digunakan dalam campuran beton guna meningkatkan ketahanan retak dan kemudahan pengerjaan. Desain campuran ini diuji coba di laboratorium terlebih dahulu sebelum digunakan di lapangan.

Pelatihan teknis kepada warga desa dan tukang lokal dilaksanakan sebelum pengerjaan lapangan dimulai. Materi pelatihan mencakup teknik pembuatan adukan beton tahan retak, metode pengecoran yang baik, serta teknik curing yang tepat untuk menjaga kelembaban selama proses pengerasan beton. Pelatihan ini sangat penting untuk memastikan kualitas hasil akhir sesuai standar teknis. Setelah pelatihan, dilakukan persiapan lokasi kerja, termasuk pembersihan jalur jalan, pemadatan tanah dasar, pemasangan bekisting, dan persiapan peralatan pengecoran. Seluruh proses ini melibatkan partisipasi aktif masyarakat setempat untuk mendorong rasa memiliki dan meningkatkan kapasitas teknis warga dalam pembangunan infrastruktur.

Proses pengecoran rabat beton dilakukan secara bertahap, dimulai dari bagian dengan elevasi terendah menuju ke atas untuk memudahkan aliran air. Beton dituangkan dalam cetakan dan diratakan menggunakan alat screed, kemudian dilakukan pemadatan manual atau dengan alat vibrator. Setelah diratakan, permukaan beton ditaburi dengan lapisan curing compound atau ditutup dengan karung basah untuk menjaga kelembaban. Selama pengerjaan, dilakukan pengawasan teknis oleh tim ahli dari perguruan tinggi untuk memastikan bahwa setiap tahap

pekerjaan sesuai dengan spesifikasi teknis. Selain itu, dilakukan dokumentasi harian dan evaluasi berkala untuk mengidentifikasi kendala yang muncul di lapangan dan mencari solusi secara cepat dan tepat.

Setelah pengerjaan selesai, dilakukan uji mutu beton dengan pengambilan sampel silinder beton untuk diuji kuat tekan di laboratorium. Hasil uji ini digunakan sebagai indikator keberhasilan pelaksanaan teknis rabat beton. Di samping itu, dilakukan evaluasi lapangan terhadap kualitas permukaan, kerataan, dan adanya indikasi retak awal. Sebagai bagian dari keberlanjutan program, disusun buku panduan teknis pembangunan rabat beton tahan retak berbasis lokal. Buku ini diserahkan kepada pemerintah desa dan kelompok masyarakat untuk dijadikan acuan dalam pembangunan jalan berikutnya secara mandiri. Pendampingan juga dilakukan pasca-pelaksanaan untuk memastikan proses pemeliharaan jalan dilakukan dengan benar.



Gambar 3. Mengukur Panjang Jalan

Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian ini menekankan pada kolaborasi, transfer teknologi, dan keberlanjutan. Tidak hanya fokus pada hasil fisik berupa jalan rabat beton, tetapi juga pada peningkatan kapasitas teknis masyarakat desa. Dengan demikian, kegiatan ini diharapkan dapat menciptakan dampak jangka panjang dalam pembangunan infrastruktur yang berkualitas dan berdaya guna di Desa Laowo Hilimbaruzo.

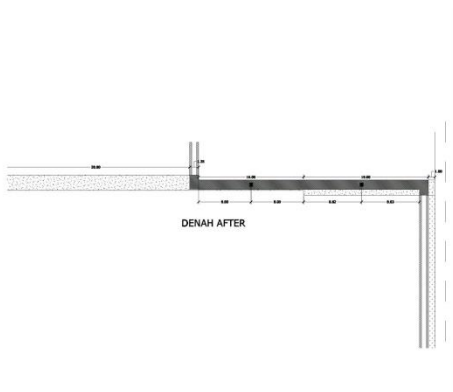
PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian yang dilaksanakan di Desa Laowo Hilimbaruzo memberikan hasil yang signifikan, baik dari segi teknis pembangunan jalan maupun peningkatan kapasitas masyarakat. Salah satu hasil utama adalah terselesaikannya pembangunan rabat beton sepanjang 180 meter dengan lebar 3 meter dan ketebalan 15 cm. Jalan ini menghubungkan area permukiman warga dengan lahan pertanian, sehingga sangat penting dalam mendukung aktivitas ekonomi harian.

Kondisi jalan sebelum pelaksanaan kegiatan sangat memprihatinkan, berupa jalan tanah yang berlubang dan mudah becek saat hujan. Hal ini menyebabkan warga



kesulitan mengakses ladang atau pasar, terutama saat musim hujan. Setelah rabat beton dibangun, aksesibilitas meningkat tajam. Warga kini dapat menggunakan sepeda motor maupun mobil tanpa khawatir terjebak lumpur atau genangan air. Dari sisi teknis, desain campuran beton yang dirancang menggunakan aditif tahan retak menunjukkan kinerja yang memuaskan. Komposisi beton menggunakan semen Portland, agregat halus dan kasar, air, superplasticizer, dan fiber polypropylene sebagai penguat. Uji kuat tekan yang dilakukan pada umur 28 hari menunjukkan rata-rata kekuatan sebesar 23,5 MPa, melebihi target minimum 20 MPa.



Gambar 4. Rancangan 2D

Permukaan jalan rabat beton yang dihasilkan tampak rata, padat, dan tidak menunjukkan indikasi retak dini selama dua minggu masa pemeliharaan. Hal ini menunjukkan bahwa metode curing dan proses pengecoran yang dilakukan sudah sesuai dengan prosedur. Curing dilakukan dengan cara menutup permukaan menggunakan karung basah selama 7 hari berturut-turut, menjaga kelembapan agar beton mengeras secara optimal. Partisipasi masyarakat dalam kegiatan ini sangat tinggi. Lebih dari 25 warga turut terlibat dalam pengerjaan, mulai dari persiapan lokasi, pengecoran, hingga pemeliharaan. Keterlibatan ini tidak hanya mempercepat proses kerja, tetapi juga memberikan pelatihan langsung kepada warga tentang teknik dasar konstruksi rabat beton. Antusiasme masyarakat menjadi modal sosial yang kuat untuk pembangunan berkelanjutan.

Pelatihan teknis yang diberikan sebelum pelaksanaan konstruksi juga menunjukkan hasil yang positif. Warga memahami pentingnya pencampuran material beton yang merata, cara menggunakan aditif, dan teknik pengecoran yang baik. Dalam diskusi evaluasi pasca pelaksanaan, banyak warga menyatakan bahwa mereka kini merasa mampu membangun jalan rabat beton secara mandiri. Kegiatan ini juga berhasil membentuk kelompok kerja (pokja) infrastruktur desa yang terdiri dari perwakilan

pemuda dan tokoh masyarakat. Kelompok ini bertugas merawat jalan yang telah dibangun dan mengoordinasikan pembangunan infrastruktur berikutnya. Terbentuknya pokja menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian ini tidak hanya berhenti pada pembangunan fisik, tetapi juga mendorong kelembagaan lokal yang berkelanjutan.

Selain hasil fisik, kegiatan ini memberikan kontribusi terhadap peningkatan pengetahuan teknis aparat desa. Pemerintah desa memperoleh dokumentasi teknis berupa gambar kerja, spesifikasi material, dan buku panduan sederhana yang dapat digunakan dalam pengajuan proposal pembangunan ke pemerintah kabupaten. Dengan dokumen tersebut, desa memiliki dasar kuat untuk melanjutkan pembangunan jalan ke segmen lain. Dari sudut pandang rekayasa sipil, penggunaan aditif tahan retak menjadi salah satu inovasi penting dalam kegiatan ini. Retak rambut yang sering muncul pada rabat beton konvensional tidak ditemukan selama periode pemantauan awal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan fiber polypropylene efektif dalam meningkatkan ketahanan retak beton, sebagaimana juga didukung oleh studi sebelumnya (Neville, 2011).

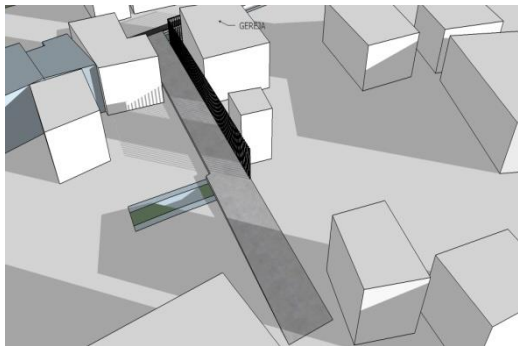


Gambar 5. Melakukan Pendekatan Kepada Masyarakat

Tingkat kepuasan masyarakat terhadap hasil kegiatan ini juga sangat tinggi. Berdasarkan survei sederhana yang dilakukan pasca kegiatan, 93% responden menyatakan bahwa jalan yang baru dibangun lebih baik dibandingkan sebelumnya dan sangat membantu dalam aktivitas harian. Warga juga menyambut baik rencana lanjutan pembangunan jalan di segmen lainnya. Kegiatan pengabdian ini juga menjadi contoh baik kolaborasi antara perguruan tinggi dan masyarakat dalam membangun infrastruktur berbasis kebutuhan lokal. Dosen dan mahasiswa berperan sebagai fasilitator dan teknisi, sedangkan masyarakat menjadi pelaksana langsung. Model ini sangat efektif dalam menciptakan hasil yang sesuai kebutuhan dan berkelanjutan.



Dari sisi waktu pelaksanaan, seluruh kegiatan dapat diselesaikan dalam waktu 21 hari, termasuk survei, pelatihan, pengecoran, dan curing. Keberhasilan ini tidak lepas dari perencanaan yang matang dan koordinasi yang baik antara tim pengabdian dan masyarakat desa. Pelibatan masyarakat sejak awal menjadi faktor kunci keberhasilan kegiatan. Pembelajaran penting dari kegiatan ini adalah pentingnya adaptasi teknologi konstruksi terhadap kondisi lokal. Misalnya, dalam kegiatan ini, alat berat tidak digunakan karena akses terbatas. Sebagai gantinya, digunakan metode pengecoran manual yang tetap efektif berkat pelatihan dan pengawasan yang tepat. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi sederhana pun dapat berhasil jika dikelola dengan baik.



Gambar 6. Rancangan 3D

Kegiatan ini juga menegaskan bahwa pembangunan jalan rabat beton tidak hanya memerlukan aspek teknis, tetapi juga aspek sosial. Dukungan masyarakat, partisipasi aktif, dan rasa memiliki terhadap infrastruktur sangat mempengaruhi keberlanjutan hasil. Oleh karena itu, pendekatan partisipatif sangat dianjurkan dalam proyek-proyek pembangunan desa. Secara keseluruhan, pengabdian ini memberikan dampak nyata baik dari segi kualitas jalan, kapasitas masyarakat, dan penguatan kelembagaan desa. Jalan yang dibangun kini menjadi jalur utama pengangkutan hasil panen dan akses anak-anak ke sekolah, menunjukkan dampak sosial yang luas. Keberhasilan ini dapat direplikasi di desa lain dengan pendekatan yang serupa.

Dengan hasil yang diperoleh, kegiatan ini diharapkan menjadi inspirasi dan acuan bagi pemerintah daerah maupun perguruan tinggi lainnya dalam menyusun program pengabdian berbasis infrastruktur. Melalui kombinasi pendekatan teknis dan sosial, pembangunan jalan desa dapat dilaksanakan secara efektif, efisien, dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan di Desa Laowo Hilimbaruzo berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu merencanakan dan membangun jalan rabat beton tahan retak yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lokal. Pembangunan jalan ini tidak hanya memberikan manfaat fisik berupa peningkatan kualitas infrastruktur, tetapi juga berdampak positif terhadap kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat desa. Rabat beton yang dibangun menunjukkan kualitas yang baik dengan hasil uji kuat tekan melebihi target perencanaan dan tanpa ditemukannya retak dini pada permukaan selama masa pengamatan awal. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan campuran beton dengan penambahan aditif tahan retak seperti fiber polypropylene merupakan pendekatan yang efektif untuk konstruksi jalan desa yang berkualitas.

Proses pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui pendekatan partisipatif yang melibatkan masyarakat secara aktif sejak tahap perencanaan hingga pengerjaan. Tingginya partisipasi masyarakat menunjukkan adanya kesadaran kolektif untuk membangun dan memelihara fasilitas umum secara bersama-sama. Keterlibatan ini juga memperkuat rasa memiliki masyarakat terhadap hasil pembangunan. Pelatihan teknis yang diberikan kepada masyarakat dan tukang lokal memberikan peningkatan kapasitas yang signifikan dalam hal pemahaman tentang material, teknik pengecoran, dan pemeliharaan jalan rabat beton. Pengetahuan ini menjadi bekal penting bagi masyarakat dalam melanjutkan pembangunan infrastruktur desa secara mandiri di masa mendatang.

Kegiatan ini juga mendorong terbentuknya kelompok kerja (pokja) infrastruktur desa yang berperan aktif dalam pengawasan dan pemeliharaan jalan. Pembentukan kelembagaan lokal ini merupakan salah satu indikator keberlanjutan hasil pengabdian. Desa kini memiliki struktur sosial yang dapat digunakan untuk mengelola proyek pembangunan lainnya secara swadaya. Dari aspek sosial ekonomi, kehadiran jalan rabat beton telah meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas warga, khususnya dalam aktivitas pertanian dan pendidikan. Jalan yang sebelumnya sulit dilalui saat musim hujan kini dapat digunakan secara optimal sepanjang tahun. Hal ini mendorong peningkatan produktivitas dan mempercepat pertumbuhan ekonomi lokal.

Kegiatan ini membuktikan bahwa pendekatan teknis yang dikombinasikan dengan strategi pemberdayaan masyarakat mampu menghasilkan pembangunan infrastruktur yang tidak hanya fungsional tetapi juga berkelanjutan. Pengalaman ini dapat direplikasi di desa-desa lain dengan kondisi serupa, dengan penyesuaian terhadap karakteristik geografis dan sosial masing-masing



wilayah. Sebagai penutup, keberhasilan kegiatan pengabdian ini menjadi bukti bahwa kolaborasi antara akademisi, pemerintah desa, dan masyarakat mampu menciptakan solusi nyata terhadap permasalahan infrastruktur di pedesaan. Melalui perencanaan yang tepat, penggunaan teknologi sederhana yang efektif, serta dukungan sosial yang kuat, pembangunan jalan desa yang tahan lama dan berkualitas dapat diwujudkan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. American Concrete Institute.
- Banthia, N., & Mindess, S. (1995). Ductility of fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 17(3), 263-273.
- Bappenas. (2020). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020–2024*.
- Bappenas. (2022). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Bentur, A., & Mindess, S. (2006). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. CRC Press.
- Cai, Z., & Hao, H. (2018). Mechanical properties and durability of ultra-high performance concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 186, 333-348.
- Cascione, M., et al. (2020). Design and performance of ductile concrete pavement slabs under traffic loads. *Journal of Transportation Engineering*, 146(1), 04019064.
- Damtoft, J. S., et al. (2008). Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and Concrete Research*, 38(2), 115-127.
- de Larrard, F., & Sedran, T. (1994). Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model. *Cement and Concrete Research*, 24(6), 997-1009.
- Dong, J., & Li, V.C. (2017). Engineering mechanics of fiber reinforced cementitious composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(5), 04017002.
- European Committee for Standardization (CEN). (2004). *EN 206-1: Concrete – Specification, performance, production and conformity*.
- Gao, Y., & Li, Z. (2019). Application of UHPC in road pavements: A review. *Construction and Building Materials*, 225, 684-698.
- Gopalaratnam, V. S., & Shah, S. P. (1985). Toughness characterization of fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal*, 82(6), 463-472.
- Graybeal, B. (2011). *Ultra-High Performance Concrete*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Habel, K., et al. (2012). Ultra-high performance concrete with optimized steel fiber content for pavement applications. *Materials and Structures*, 45(4), 485-498.
- Hegger, J., et al. (2015). Structural design of UHPC slabs for road applications. *Engineering Structures*, 98, 83-92.
- Igarashi, S., et al. (2016). Field application of ductile concrete slabs for rural roads. *Journal of Civil Engineering*, 42(1), 12-20.
- Indonesia Ministry of Public Works. (2018). *Pedoman Teknis Perencanaan Jalan Desa*. Jakarta: Directorate General of Highways.
- JCI (Japan Concrete Institute). (2013). *Recommendations for Design and Construction of Ultra-High Strength Fiber Reinforced Concrete Structures*.
- Kementerian PUPR. (2020). *Pedoman Umum Pengembangan Infrastruktur Desa*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian PUPR. (2021). *Petunjuk Teknis Pembangunan Jalan Beton Desa*.
- Kishi, T., & Okamura, H. (1990). Development of high-strength, high-toughness fiber reinforced concrete. *ACI Special Publication*, 126, 103-116.
- Li, V.C. (2003). On engineered cementitious composites (ECC): A review of the material and its applications. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(3), 215-230.
- Lu, X., & Richard, P. (2017). Durability and mechanical performance of UHPC in cold climate conditions. *Cold Regions Science and Technology*, 141, 1-11.
- Mehta, P.K., & Monteiro, P.J.M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Memon, S. A., et al. (2018). Performance evaluation of concrete pavements with fiber reinforcement. *Construction and Building Materials*, 190, 273-281.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Nepomuceno, M. F., & Silva, M. G. (2020). Field performance of UHPC pavements: Case studies and review. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(8), 04020136.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education.
- Okamura, H., & Ozawa, K. (1995). Development of ultra-high strength concrete. *Concrete Library*, 25, 3-13.



- Patel, B., & Shah, S. P. (2017). Development of ductile concrete for infrastructure applications. *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9496-9503.
- Putra, R. E., & Supriyanto, E. (2021). Teknologi beton duktel sebagai inovasi perkerasan jalan desa. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 45-56.
- Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501-1511.
- Rilem TC 162-TDF. (2003). Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: Bending test. *Materials and Structures*, 36(262), 560-567.
- Sato, T., et al. (2019). Durability assessment of UHPC slabs under heavy traffic. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(5), 556-564.
- Thomas, M., & Ramaswamy, A. (2007). High performance concrete pavements for rural roads. *Transportation Research Record*, 2024, 62-70.
- Widodo, H., & Setiawan, D. (2022). Teknologi Beton Ramah Lingkungan dan Aplikasinya di Wilayah Pedesaan. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 12(2), 45–53.