

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PAKU TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON NORMAL

Teuku Muhammad Bhima¹, Muhtarom Riyadi², Lilis Tiyani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16425

e-mail: teukumbhima25@gmail.com, muhtard37@gmail.com, lilis.tiyani@sipil.pnj.ac.id

ABSTRACT

The use of steel fibers as a concrete mixture can prevent cracks due to loading, the heat of hydration, and shrinkage. However, the availability of steel fiber is still limited, and it is expensive enough that alternative materials are required, which may reduce the economic value. This research aims to analyze the effect of an easy-to-find alternative material, namely plywood nail waste, on the properties of normal concrete. Concrete properties tests include compressive strength, split tensile strength, flexural strength, and modulus of elasticity. This research was conducted by mixing concrete with nail waste material with variations of 0%, 1%, 1.5%, and 2% of the weight of the concrete. Concrete samples in the shapes of cylinders and beams are required for this study. The results showed that using nail waste can reduce the compressive strength of 28-day-old concrete and the modulus of elasticity as the variation of the nail waste increases. However, the use of nail waste in certain variations can increase the split tensile strength and flexural strength of concrete. Split tensile strength measurements after adding nail waste with varying amounts of 0%, 1%, 1.5%, and 2% were 2.279 MPa, 2.408 MPa, 2.068 MPa, and 1.583 MPa. The optimum variation was 1%, with an increase of approximately 5.64% of concrete without mixed waste nails. The variation of nail waste also produces flexural strength values of 1.95 MPa, 2.47 MPa, 2.21 MPa, and 1.43 MPa, so the optimum variation is 1%, with an increase of about 26.67% from the concrete without nail waste mixture.

Keywords: Normal Concrete, Waste Nail, Mechanical Properties.

ABSTRAK

Penggunaan serat baja sebagai campuran beton mampu mencegah terbentuknya keretakan pada permukaan beton akibat pembebanan dan perbedaan suhu. Namun, ketersediaan serat baja masih belum banyak dan memiliki harga yang cukup tinggi sehingga diperlukan bahan alternatif yang lebih ekonomis. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh bahan alternatif yang mudah ditemukan yaitu limbah paku tripleks terhadap sifat mekanis beton normal. Pengujian sifat mekanis beton terdiri dari kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur dan modulus elastisitas. Penelitian ini dilakukan dengan cara mencampurkan beton dengan bahan tambah limbah paku dengan variasi 0%, 1%, 1,5%, dan 2% terhadap berat beton. Sampel benda uji yang dibutuhkan pada pengujian ini berupa beton silinder dan beton balok. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah paku dapat menurunkan nilai kuat tekan beton umur 28 hari dan modulus elastisitas seiring pertambahan variasi limbah paku. Namun penggunaan limbah paku pada variasi tertentu dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah dan kuat lentur beton. Penambahan limbah paku dengan variasi 0%, 1%, 1,5%, dan 2% menghasilkan nilai kuat tarik belah masing – masing sebesar 2,279 MPa, 2,408 MPa, 2,068 MPa, dan 1,583 MPa, sehingga variasi optimum adalah 1% dengan peningkatan sekitar 5,64% dari beton tanpa campuran limbah paku. Variasi limbah paku tersebut juga menghasilkan nilai kuat lentur masing – masing sebesar 1,95 MPa, 2,47 MPa, 2,21 MPa, dan 1,43 MPa, sehingga variasi optimum adalah 1% dengan peningkatan sekitar 26,67% dari beton tanpa campuran limbah paku.

Kata kunci: Beton Normal, Limbah Paku, Sifat Mekanis.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, beton adalah salah satu material konstruksi yang umum digunakan untuk struktur utama bangunan hingga saat ini. Banyak kelebihan beton yang menyebabkan penggunaannya diminati seperti tingginya nilai kuat tekan yang dihasilkan dan perawatan yang tidak memerlukan banyak biaya [1]. Selain itu, beton dapat dicetak sesuai keinginan, dan memiliki nilai ekonomis karena bahan dasar penyusunnya mudah diperoleh [2]. Namun, selain banyaknya kelebihan, beton juga memiliki beberapa kekurangan seperti memiliki karakteristik yang tidak daktil (getas) dan nilai kuat tarik yang dihasilkan rendah [3].

Meninjau kekurangan beton, banyak usaha yang sudah dilakukan guna mengembangkan kekuatan dan karakteristik beton. Salah satu usaha pengembangannya yaitu penggunaan tulangan baja pada beton yang dapat memberikan kekuatan tarik untuk menahan beban yang bekerja [4]. Namun, kemampuan menahan gaya tarik dari beton itu sendiri juga harus diperhatikan untuk mencegah terjadinya keretakan – keretakan pada permukaan beton dengan luas penampang besar yang ditimbulkan oleh cuaca, iklim, dan temperatur [5]. Keretakan terjadi akibat adanya perbedaan suhu yang tinggi antara bagian dalam beton dan permukaan sehingga terjadi perbedaan susut muai [6]. Keretakan – keretakan pada permukaan beton dapat memberikan dampak negatif karena dapat mempercepat proses korosi pada tulangan [4]. Oleh sebab itu, dibutuhkan inovasi untuk mencegah terjadinya keretakan pada permukaan beton.

Di beberapa negara telah mengembangkan konsep inovasi dalam upaya mengoptimalkan sifat mekanis beton dengan menggunakan bahan

tambah seperti serat pada campuran beton [7]. Salah satu jenis serat yang sudah digunakan adalah serat baja (*steel fiber*). Inovasi ini dilakukan dengan mencampurkan bahan tambah serat secara sembarang atau acak (*random*) dan merata untuk mencegah terjadinya keretakan [7].

Selain serat baja, terdapat bahan alternatif yang dapat meningkatkan kekuatan tarik beton, salah satunya yaitu paku. Penambahan paku memberikan dampak positif (peningkatan) terhadap kuat tarik belah beton hingga 20% dari kekuatan tarik belah beton tanpa paku [1]. Pada variasi tertentu, penambahan paku juga dapat menaikkan nilai kuat tekan beton sebesar 11,9% [9].

Penggunaan bahan tambah seperti serat baja pada campuran beton masih sedikit diterapkan di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan ketersediaan serat baja yang membutuhkan proses cukup lama dengan harga yang tidak murah sehingga dinilai tidak ekonomis [10]. Oleh sebab itu, pengembangan inovasi ini dapat diganti dengan bahan alternatif menggunakan material logam yang lebih ekonomis seperti limbah paku. Sehingga diperlukan penelitian untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah paku terhadap sifat mekanis beton dan mendapatkan persentase variasi yang optimal.

METODE PENELITIAN

Alur Penelitian

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**. Tahapan penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur dan persiapan. Persiapan yang dilakukan meliputi persiapan alat, bahan dan tempat. Setelah persiapan, perlu dilakukan pengujian material atau bahan

penyusun beton untuk membuat rancangan campuran (*mix design*) agar dapat membuat sampel uji sesuai dengan rencana. Perawatan atau *curing* dilakukan dengan cara perendaman sampai sehari sebelum dilakukan pengujian sifat mekanis beton.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Proses penelitian dan pengujian dilakukan pada awal April hingga akhir Juni 2022 di Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari bahan penyusun beton seperti agregat halus (Pasir Bangka), agregat kasar (Batu Pecah), Semen (Tipe 1 PCC), air, dan limbah paku tripleks dengan panjang 20 mm.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat *independent variable* dan *dependent variable*. *Independent variable* atau variabel bebas pada penelitian ini berupa variasi persentase berat limbah paku yaitu 0%, 1%, 1,5%, dan 2% terhadap berat beton. Sedangkan *dependent variable* atau variabel terikat pada penelitian ini yaitu sifat mekanis beton normal. Pengujian sifat mekanis beton dilakukan ketika beton sudah mencapai kekuatan utuh pada umur 28 hari. Pengujian sifat mekanis ini terdiri dari pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton.

Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton menerima beban vertikal per satuan luas penampang hingga benda uji mengalami kerusakan [11].

Di dalam SNI 1974:2011, nilai kuat tekan beton dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

P = Beban terbesar (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah atau pengujian kuat tarik tidak langsung dilakukan dengan memberikan beban lateral pada benda uji silinder hingga beton mencapai kekuatan maksimumnya [12].

Berdasarkan SNI 2491:2014, perhitungan nilai kuat tarik belah beton dapat menggunakan rumus:

$$T = \frac{2P}{\pi dL}$$

Keterangan:

T = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban terbesar (N)

L = Panjang benda uji (mm)

d = Diameter silinder benda uji (mm)

π = pi (3,14159265)

Kuat Lentur

Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua tumpuan dan diberikan beban tegak lurus hingga benda uji mengalami kerusakan (patah). Satuan untuk nilai kuat lentur beton yaitu Mega Pascal (MPa) [13].

DI dalam SNI 4431:2011, nilai kuat lentur dua pembebanan dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_l = \frac{PL_b}{bh^2}$$

Keterangan:

σ_l = Kuat lentur (MPa)

P = Beban terbesar (N)

L_b = Jarak dua perletakan (mm)

B = Lebar penampang (mm)

h = Tinggi penampang (mm)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah rasio antara tegangan dan regangan normal di bawah batas proporsional material (daerah

elastis). Daerah elastis pada beton terjadi ketika nilai regangan 0,00005 hingga regangan yang terjadi pada 0,4 tegangan maksimum [14].

Berdasarkan ACI *Committee* 318-08, nilai modulus elastisitas beton dihitung menggunakan persamaan:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005}$$

Keterangan:

- E_c : Modulus elastisitas beton (MPa)
 S_2 : Tegangan pada beban mencapai 40% dari beban maksimum (MPa)
 S_1 : Tegangan pada regangan longitudinal 0,00005 (MPa)
 ϵ_2 : Regangan pada saat beban mencapai 40% dari beban maksimum

Pengujian Bahan Penyusun Beton

Agregat kasar dan agregat halus yang sudah disiapkan, harus dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa sudah memenuhi nilai standar sebagai bahan penyusun beton. Adapun prosedur pengujian yang dilakukan menggunakan standar berikut.

1. Pengujian Agregat Halus
 - a. Berat Jenis dan Penyerapan Air (SNI 1970:2008)
 - b. Berat Isi dan Rongga (ASTM C29/29M-97)
 - c. Analisis Ayak (SNI 1968:1990)
 - d. Kadar Air (SNI 1971:2011)
 - e. Kadar Lumpur (ASTM C117-95)
2. Pengujian Agregat Kasar
 - a. Berat Jenis dan Penyerapan Air (SNI 1969:2016)
 - b. Berat Isi dan Rongga (ASTM C29/29M-97)
 - c. Analisis Ayak (SNI 1968:1990)
 - d. Kadar Air (SNI 1971:2011)
 - e. Kadar Lumpur (ASTM C117-95)

Berdasarkan **Tabel 1**, agregat halus dan agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton. Kadar air agregat halus dan agregat kasar memiliki nilai yang lebih

tinggi dari nilai penyerapan air, sehingga kondisi agregat tergolong basah.

Bahan tambah pada penelitian ini berupa limbah paku yang didapat dari proyek konstruksi dan pengepul barang bekas di Kota Depok. Beberapa limbah paku yang digunakan sudah mengalami proses kimia yang mengakibatkan adanya karat pada permukaan paku. Oleh sebab itu, diperlukan usaha untuk menghilangkan karat seperti melakukan perendaman pada asam sitrat selama 1–2 jam. Asam sitrat mampu membersihkan korosi atau karat yang terbentuk pada permukaan logam [15].

Rancangan Campuran (*Mix Design*)

Mix design adalah sebuah perancangan dan perhitungan material – material penyusun beton sehingga menghasilkan komposisi yang sesuai untuk mencapai mutu dan kekuatan rencana [16]. Proses perancangan campuran (*mix design*) disusun menggunakan standar SNI 03-2834-2002 mengenai “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”.

Proporsi Campuran Beton

Pada **Tabel 2**, diperoleh proporsi campuran 1 m³ yang sudah dilakukan koreksi proporsi dikarenakan kondisi agregat yang basah serta penambahan 15% dari masing – masing berat bahan penyusun beton sebagai bentukantisipasi bahan terbuang saat pengadukan.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 2 bentuk yaitu silinder dan balok. Benda uji silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sedangkan benda uji balok dengan dimensi 10 x 10 x 50 cm digunakan pada pengujian kuat lentur. Benda uji dibuat sebanyak 3 sampel di setiap variasi pada masing – masing pengujian sifat

mekanis beton. Sehingga benda uji yang dibutuhkan sebanyak 24 benda uji silinder dan 12 benda uji balok.

Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan metode regresi linier sederhana dengan bantuan *software* analisis statistik yaitu SPSS *Statistics* 22. Analisis data ini dapat mengetahui keterkaitan yang terjadi berdasarkan perubahan nilai variabel terikat terhadap nilai variabel bebas. Regresi sederhana dapat merupakan analisis data yang didasari oleh keterkaitan (sebab akibat) antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y) [17].

Nilai signifikansi $< 0,005$ menunjukkan bahwa variabel bebas memiliki pengaruh signifikan. Selain itu, nilai *R squared* menunjukkan besarnya pengaruh yang menyebabkan perubahan variabel terikat akibat variabel bebas [18].

HASIL dan PEMBAHASAN

Kuat Tekan Beton

Berdasarkan **Tabel 3** dan **Gambar 2**, nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada beton tanpa campuran limbah paku (variasi 0%) sebesar 23,07 MPa.

Berdasarkan **Tabel 7**, menunjukkan hasil nilai konstanta (a) yang diperoleh sebesar 23,503 dan nilai variasi limbah paku (B atau koefisien regresi) sebesar -1,510. Nilai tersebut dapat membentuk sebuah persamaan regresi linier sederhana sebagai berikut.

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = 23,503 - 1,510X$$

Hasil persamaan regresi di atas dapat diterjemahkan bahwa nilai konsistensi variabel kuat tekan beton tanpa adanya pengaruh dari variabel variasi limbah paku sebesar 23,503 dan setiap penambahan 1% variasi limbah paku akan memberikan pengaruh negatif (penurunan) pada nilai kuat tekan beton sebesar 1,510. Pada tabel tersebut juga

menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,007 < 0,05$ yang memiliki arti bahwa variasi limbah paku memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan beton.

Berdasarkan **Tabel 8**, besarnya nilai hubungan (R) variabel bebas dengan variabel terikat yaitu sebesar 0,734. Selain itu, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,539 yang memiliki arti bahwa pengaruh variabel variasi bebas (variasi limbah paku) terhadap variabel terikat (kuat tekan beton) sebesar 53,9%.

Nilai kuat tekan yang diperoleh menunjukkan penurunan seiring penambahan persentase limbah paku sebagai bahan tambah pada beton. Hasil ini berbeda dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan adanya peningkatan pada variasi tertentu. Hal ini dikarenakan variasi berat limbah paku pada penelitian ini mengacu terhadap berat beton, sehingga komposisi limbah paku lebih banyak jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang mengacu pada berat semen.

Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan **Tabel 4** dan **Gambar 3**, diperoleh nilai kuat tarik belah maksimum terjadi pada variasi 1% dengan peningkatan sebesar 5,64% dari beton tanpa campuran limbah paku.

Berdasarkan **Tabel 8**, menunjukkan hasil nilai konstanta (a) sebesar 2,447 dan nilai variasi limbah paku (B atau koefisien regresi) sebesar -0,322. Nilai tersebut dapat membentuk sebuah persamaan regresi linier sederhana sebagai berikut.

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = 2,447 - 0,322X$$

Hasil persamaan regresi di atas dapat diterjemahkan bahwa nilai konsistensi variabel kuat tarik belah beton tanpa

adanya pengaruh dari variabel variasi limbah paku sebesar 2,477 dan setiap penambahan 1% variasi limbah paku akan memberikan pengaruh negatif (penurunan) pada nilai kuat tarik belah beton sebesar 0,322. Selain itu, nilai signifikansi yang didapat sebesar 0,05 = 0,05. Nilai signifikansi tersebut memiliki arti bahwa variasi limbah paku memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tarik belah beton.

Berdasarkan **Tabel 10**, besarnya nilai hubungan (R) yaitu sebesar 0,747. Selain itu, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,558 yang berarti pengaruh yang diberikan limbah paku terhadap kuat tarik belah beton sebesar 55,8%.

Hasil yang diperoleh menunjukkan kesamaan dengan penelitian terdahulu bahwa penambahan limbah paku memberikan dampak positif atau peningkatan pada variasi tertentu.

Kuat Lentur Beton

Berdasarkan **Tabel 5** dan **Gambar 4**, diperoleh nilai kuat lentur maksimum terjadi pada variasi 1% dengan peningkatan sebesar 26,67% dari beton tanpa campuran limbah paku.

Berdasarkan **Tabel 11**, hasil nilai konstanta (a) yang diperoleh sebesar 2,232 dan nilai variasi limbah paku (B atau koefisien regresi) sebesar -0,193. Dari hasil tersebut dapat terbentuk sebuah persamaan regresi sebagai berikut.

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = 2,232 - 0,193X$$

Persamaan regresi yang diperoleh dapat diterjemahkan bahwa nilai konsistensi variabel nilai kuat lentur beton tanpa adanya pengaruh dari variabel variasi limbah paku sebesar 2,232 dan setiap penambahan 1% variasi limbah paku akan memberikan pengaruh negatif (penurunan) pada nilai kuat lentur beton

sebesar 0,193. Selain itu, terdapat nilai signifikansi yang diperoleh sebesar $0,367 > 0,05$ yang memiliki arti bahwa variasi limbah paku tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kuat lentur beton.

Berdasarkan **Tabel 12**, besarnya nilai hubungan (R) antar variabel yaitu sebesar 0,286. Selain itu, nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan nilai 0,082 yang memiliki arti bahwa pengaruh limbah paku terhadap variabel kuat lentur beton sebesar 8,2%

Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan **Tabel 6** dan **Gambar 5**, diperoleh nilai modulus elastisitas beton mengalami penurunan seiring pertambahan variasi limbah paku. Nilai modulus elastisitas rata-rata maksimum terjadi pada variasi 0% atau beton tanpa campuran limbah paku sebesar 19,17 GPa.

Berdasarkan **Tabel 13**, nilai konstanta (a) yang diperoleh sebesar 19,495 dan nilai variasi limbah paku (B atau koefisien regresi) sebesar -1,439. Nilai tersebut dapat membentuk sebuah persamaan regresi linier sederhana sebagai berikut.

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = 19,495 - 1,439X$$

Hasil persamaan regresi di atas dapat diterjemahkan bahwa nilai konsistensi variabel nilai modulus elastisitas beton tanpa adanya pengaruh dari variabel variasi limbah paku sebesar 19,495 dan setiap penambahan 1% variasi limbah paku akan memberikan pengaruh negatif (penurunan) pada nilai modulus elastisitas beton sebesar 1,439. Selain itu, diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,094 > 0,05$ yang memiliki arti bahwa variasi limbah paku tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai modulus elastisitas beton. Berdasarkan **Tabel 14**, menjelaskan bahwa besarnya

nilai hubungan (R) yaitu sebesar 0,506. Selain itu, diperoleh nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,256 yang memiliki arti bahwa pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sebesar 25,6%.

Penurunan yang terjadi pada sifat mekanis beton disebabkan karena beberapa hal. Karakteristik paku yang bersifat kaku dan memiliki permukaan yang halus membuat paku tidak dapat terikat sempurna dengan bahan penyusun beton lainnya. Hal tersebut menyebabkan terbentuknya rongga – rongga di dalam beton. Selain itu, variasi berat limbah paku yang mengacu terhadap berat beton menyebabkan komposisi yang terlalu banyak dalam campuran beton. Sehingga rongga – rongga yang terbentuk di dalam beton semakin banyak dan berdampak pada penurunan sifat mekanis beton.

KESIMPULAN

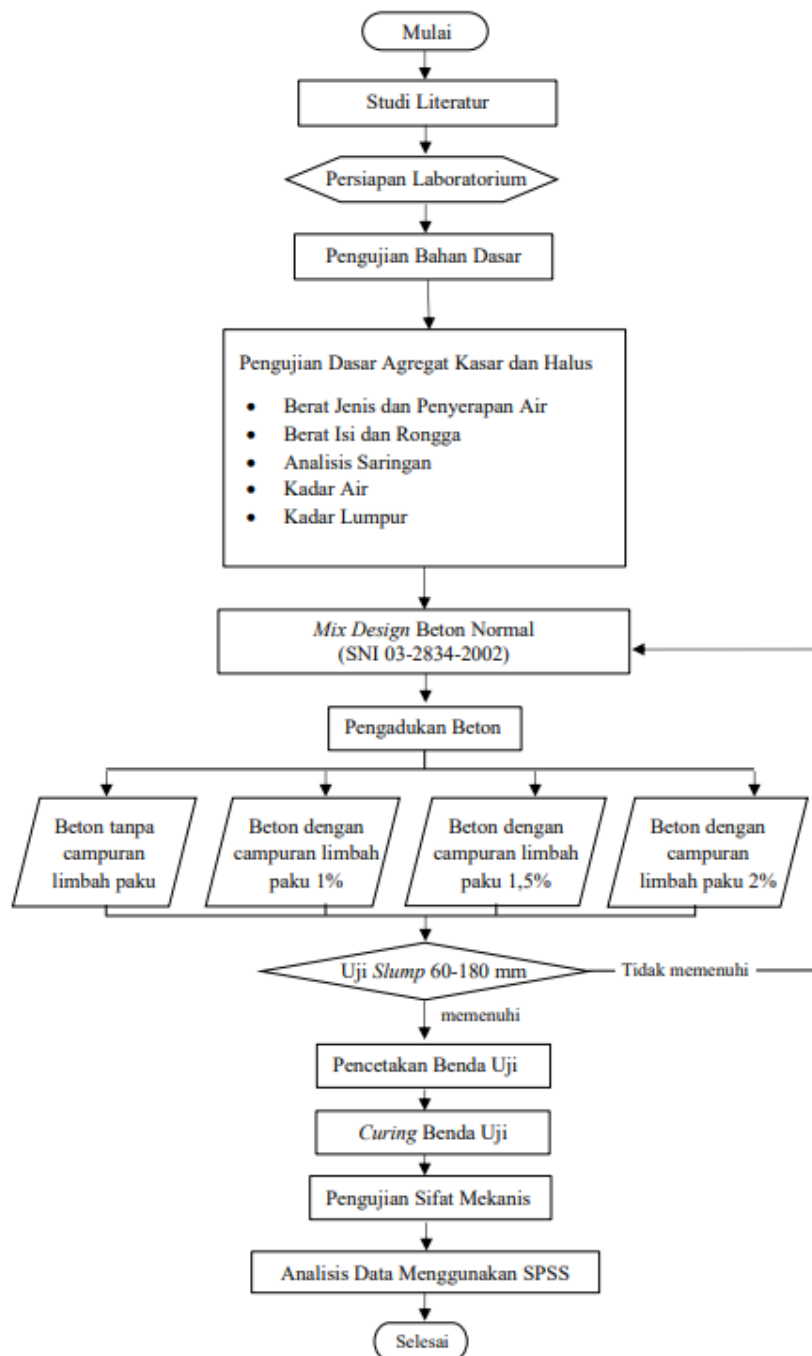
- a. Penambahan limbah paku pada campuran beton memiliki pengaruh negatif (penurunan) dan signifikan terhadap nilai kuat tekan beton. Sehingga nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada beton tanpa campuran limbah paku.
- b. Penambahan limbah paku pada campuran beton memiliki pengaruh positif terhadap kuat tarik belah dengan variasi tertentu. Nilai kuat tarik belah optimum terjadi pada variasi limbah paku 1% yang memberikan peningkatan sebesar 5,64% dari beton tanpa campuran limbah paku.
- c. Sama halnya dengan kuat tarik belah beton, penambahan limbah paku juga memberikan pengaruh positif pada kekuatan lentur beton dengan variasi tertentu. Nilai kuat lentur optimum terjadi pada beton dengan campuran limbah paku 1% yang meningkat sebesar 26,67% dari beton tanpa campuran limbah paku.
- d. Penambahan limbah paku pada campuran beton memiliki pengaruh negatif (penurunan) namun tidak signifikan terhadap nilai modulus elastisitas beton normal. Penurunan terjadi seiring dengan penambahan variasi persentase campuran limbah paku. Sehingga nilai modulus elastisitas optimum terjadi pada variasi 0% atau beton tanpa campuran limbah paku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Sarya, N. Rochmah, and I. Lukmansyah, “Pengaruh Paku sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tarik Belah Beton,” *J. Has. Penelit. LPPM UNTAG*, vol. 03, no. 02, pp. 113–120, 2018, Accessed: Dec. 20, 2021. [Online]. Available: jurnal.untag-sby.ac.id/index.php/jhp17
- [2] P. S. Zalukhu, Irwan, and D. M. Hutauruk, “Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa (Coco fiber) terhadap Campuran Beton sebagai Peredam Suara,” *JCEBT(Journal Civ. Eng. Build. Transp.*, vol. 1, no. 1, pp. 27–36, 2017, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [3] I. G. M. Sudika, N. K. Astariani, and I. N. Suardana, “Pengaruh dan Perbandingan Serat Ijuk Lokal Bali dengan Serta Ijuk Lombok Pada Campuran Beton Normal terhadap Kuat Tekan dan Tarik Belah Beton,” *J. Tek. Gradien*, vol. 9, no. 1, pp. 199–214, 2017, Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: <https://ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien/article/view/138>

- [4] A. V. Sihotang, A. Wibowo, and C. Remayanti, "Pengaruh Variasi Panjang Kait (Interlocking) Serat Kawat Locket Lapis PVC terhadap Lendutan dan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang," *J. Mhs. J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, 2017, [Online]. Available: <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/517>
- [5] Marbawi and I. Gunawan, "Pemanfaatan Serat dari Resam sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Beton," *J. Fropil*, pp. 96–106, 2015.
- [6] P. Nugraha and A. Antoni, *TEKNOLOGI BETON: dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*, I. Yogyakarta: ANDI, 2007.
- [7] K. Amna, W. Wesli, and H. Hamzani, "Pengaruh Penambahan Serat Tandan Sawit terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton," *Teras J.*, vol. 4, no. 2, pp. 11–20, 2017, doi: 10.29103/tj.v4i2.19.
- [8] ACI Committee 544, *ACI 544.4R-18 Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2018.
- [9] L. A. Istiani, "Pengaruh Penambahan Paku terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah pada Beton," 2017.
- [10] A. Widodo, "Pengaruh Penggunaan Potongan Kawat Bendrat pada Campuran Beton dengan Konsentrasi Serat Panjang 4 Cm Berat Semen 350 Kg/m³ dan FAS 0,5," *J. Tek. Sipil Perenc.*, vol. 14, no. 2, pp. 131–140, 2012, Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.15294/jtsp.v14i2.7092>
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder." BSN, Jakarta, 2011.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2491:2014 Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder." BSN, Jakarta, 2014.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 4431:2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan," *Badan Standar Nasional Indonesia*. BSN, Jakarta, 2011.
- [14] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. Farmington Hill: American Concrete Institute, 2008.
- [15] A. Anggita, E. T. Wahyuni, and N. H. Aprilita, "Pengujian Metode Pelarutan dengan Menggunakan Asam Sitrat untuk Konservasi Benda Cagar Budaya Berbahan Logam Cu," Universitas Gajah Mada, 2016.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-2834-2002 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal." BSN, Jakarta, 2002.
- [17] I. Machali, *Statistik itu Mudah: Menggunakan SPSS sebagai Alat Bantu Statistik*. Yogyakarta: Ladang Kota, 2015.
- [18] A. Widarjono, *Analisis Regresi dengan SPSS*, I. Yogyakarta: UPP STIM YKPN, 201.

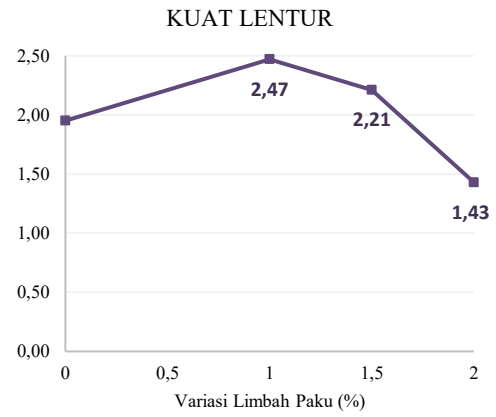
Lampiran Gambar dan Tabel



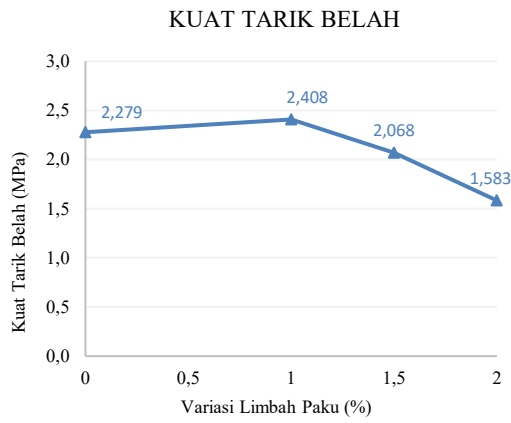
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



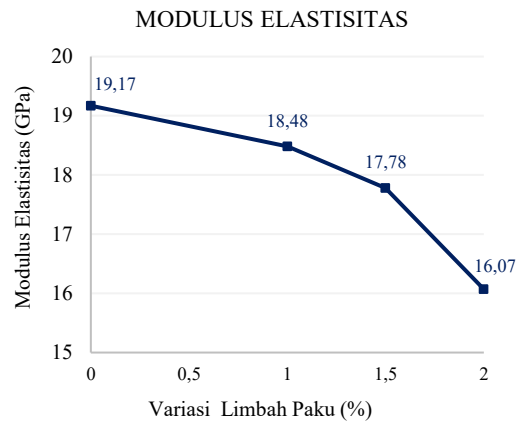
Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton



Gambar 4. Grafik Kuat Lentur Beton



Gambar 3. Grafik Kuat Belah Beton



Gambar 5. Grafik Modulus Elastisitas

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian	Satuan	Nilai	Keterangan
Agregat Halus			
BJ Curah	-	2,557	Memenuhi
BJ SSD	-	2,601	Memenuhi
BJ Semu	-	2,673	Memenuhi
Penyerapan air	%	1,705	Memenuhi
Berat isi padat	kg/m ³	1610	Memenuhi
Berat isi lepas	kg/m ³	1432	Memenuhi
Analisis ayak	-	-	Zona 2
Kadar air	%	5,02	Basah
Kadar lumpur	%	2,55	Memenuhi
Agregat Kasar			
BJ Curah	-	2,540	Memenuhi
BJ SSD	-	2,572	Memenuhi
BJ Semu	-	2,623	Memenuhi
Penyerapan air	%	1,240	Memenuhi
Berat isi padat	kg/m ³	1382	Memenuhi
Berat isi lepas	kg/m ³	1214	Memenuhi
Analisis ayak	-	-	Maksimum 20 mm
Kadar air	%	5,127	Basah
Kadar lumpur	%	3,270	Perlu dicuci

Tabel 2. Proporsi Campuran 1 m³ Beton

Bahan Penyusun	Berat (kg)
Semen	410
Air	142,65
Agregat Halus	733,17
Agregat Kasar	1039,18
Paku 1%	23,25
Paku 1,5%	34,88
Paku 2%	46,5

Tabel 3 Data Kuat Tekan Beton

Variasi (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Persentase Perubahan terhadap Variasi 0%
0	23,03	23,07	-
	23,02		
	23,15		
1	22,86	23,00	-0,30%
	23,64		
	22,50		
1,5	22,92	20,97	-9,10%
	20,59		
	19,41		
2	19,72	20,18	-12,54%
	19,60		
	21,22		

Tabel 4. Data Kuat Tarik Belah Beton

Variasi (%)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)	Persentase Perubahan terhadap Variasi 0%
0	2,192	2,279	-
	2,325		
	2,320		
1	2,408	2,408	+5,64%
	2,372		
	2,443		
1,5	2,020	2,068	-9,24%
	2,105		
	2,080		
2	1,674	1,583	-30,53%
	1,482		
	1,593		

Tabel 5. Data Kuat Lentur Beton

Variasi (%)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Persentase Perubahan terhadap Variasi 0%
0	1,95	1,95	-
	2,34		
	1,56		
1	1,95	2,47	+26,67%
	2,73		
	2,73		
1,5	1,95	2,21	+13,33%
	2,73		
	1,95		
2	1,56	1,43	-26,67%
	1,17		
	1,56		

Tabel 6. Data Modulus Elastisitas Beton

Variasi (%)	Modulus Elastisitas (GPa)	Modulus Elastisitas Rata-rata (GPa)	Persentase Perubahan terhadap Variasi 0%
0	18,27	19,17	-
	20,48		
	18,77		
1	20,23	18,48	-3,61%
	19,84		
	15,37		
1,5	21,19	17,78	-7,29%
	16,80		
	15,33		
2	16,52	16,07	-16,15%
	16,58		
	15,12		

Tabel 7. *Coefficients* Kuat Tekan Beton

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	23,503	,595		39,532	,000
	VariasiLimbahPaku	-1,510	,442	-,734	-3,419	,007

a. Dependent Variable: KuatTekan28Hari

Tabel 8. Model Summary Kuat Tekan Beton

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,734 ^a	,539	,493	1,13131

a. Predictors: (Constant), VariasiLimbahPaku

Tabel 9. Coefficients Kuat Tarik Belah Beton

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	2,447	,122		20,061	,000
	VariasiLimbahPaku	-,322	,091	-,747	-3,553	,005

a. Dependent Variable: KuatTarikBelah

Tabel 10. Model Summary Kuat Tarik Belah Beton

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,747 ^a	,558	-,514	,232059

a. Predictors: (Constant), VariasiLimbahPaku

Tabel 11. Coefficients Kuat Lentur Beton

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	2,232	,275		8,105	,000
	VariasiLimbahPaku	-,193	,205	-,286	-,944	,367

a. Dependent Variable: KuatLentur

Tabel 12. Model Summary Kuat Lentur Beton

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,286 ^a	,082	-,010	,524070

a. Predictors: (Constant), VariasiLimbahPaku

Tabel 13. *Coefficients* Kuat Modulus Elastisitas Beton

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	19,495	1,045		18,653	,000
	VariasiLimbahPaku	-1,439	0,776	-,506	-1,853	,094

a. Dependent Variable: ModulusElastisitas

Tabel 14. *Model Summary* Modulus Elastisitas Beton

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,506 ^a	,256	,181	1,9887

a. Predictors: (Constant), VariasiLimbahPaku