**MEDIA ILMIAH TEKNIK SIPIL**
**Volume X Nomor X Bulan 20XX**
**Hal. XX-XX**

# KARAKTERISTIK BETON MENGGUNAKAN LIMBAH KERTAS SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN VARIASI SERAT NYLON

## *CHARACTERISTICS OF CONCRETE USING WASTE PAPER AS PARTIAL SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE WITH VARIATION OF NYLON FIBRE*

**Muh Amin [1], Jasman [2], Mustakim [3]**

[1]Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare
[2,3] Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare
Korespondensi: alamat email penulis pertama

## ABSTRAK

Beton konvensional adalah beton yang dirancang untuk mencapai kriteria teknis utama kekuatan tekan (Compressive Strength) yang diiinginkan dan kriteria teknis lainnya seperti workability dan durability yang sifatnya biasa/tidak istimewa. Penambahan kertas dalam beton telah menjadi subjek penelitian dalam beberapa studi. Salah satu tujuannya adalah untuk menciptakan beton ringan, yang memiliki berat lebih rendah dibandingkan beton normal. Serat nylon adalah serat sintetis yang dapat digunakan untuk memperbaiki kinerja beton, terutama dalam hal keuletan, ketahanan retak, dan penyerapan air. Penambahan serat nylon dalam beton dapat berasal dari sumber baru atau limbah, seperti pukat ikan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh limbah kertas sebagai pengganti agregat halus dengan variasi serat nylon terhadap nilai kuat tekan dan lentur beton. Penelitian menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Metode eksperimen adalah suatu penelitian yang mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam suatu kondisi yang terkontrol. Dari hasil penelitian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton dengan persentase 10% bubur kertas mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 15,19 MPa atau 59,6 % dari beton normal dan penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat tekan beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat tekan beton 10% kertas. Pada hasil kuat lentur dapat disimpulkan kuat lentur beton dengan persentase 10% bubur kertas mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 1,067 MPa atau 57,2 % dari beton normal dan penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat lentur beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat lentur beton 10% kertas..

**Kata Kunci: Limbah Kertas, Serat Nylon, Kuat Tekan, Laboratorium**

## *ABSTRACT*

*Conventional concrete is concrete that is designed to achieve the main technical criteria of compressive strength and other technical criteria such as workability and durability that are not special. The addition of paper in concrete has been the subject of research in several studies. One of the goals is to create lightweight concrete, which has a lower weight than normal concrete. Nylon fibres are synthetic fibres that can be used to improve the performance of concrete, especially in terms of ductility, crack resistance, and water absorption.*

*The addition of nylon fibre in concrete can come from new or waste sources, such as fishing trawls. The purpose of this study was to determine the effect of waste paper as a substitute for fine aggregate with nylon fibre variations on the compressive and flexural strength values of concrete. The research used experimental methods in the laboratory. The experimental method is a study that seeks the effect of certain variables on other variables under controlled conditions. From the results of the compressive strength study, it can be concluded that the compressive strength of concrete with a percentage of 10% paper pulp decreased in compressive strength at the age of 28 days by 15.19 MPa or 59.6% of normal concrete and the use of nylon as an added material in concrete with 10% paper substitution can result in an increase in the compressive strength of concrete in variations of 0.5% and 1.0% nylon fibre. However, the use of 1.5% nylon fibre resulted in a decrease in the compressive strength of 10% paper concrete. In the results of flexural strength, it can be concluded that the flexural strength of concrete with a percentage of 10% paper pulp has decreased in flexural strength at the age of 28 days by 1.067 MPa or 57.2% of normal concrete and the use of nylon as an additive in concrete with 10% paper substitution can result in an increase in the flexural strength of concrete in variations of 0.5% and 1.0% nylon fibre. However, the use of 1.5% nylon fibre resulted in a decrease in the flexural strength of 10% paper concrete.*

***Keywords**: **Waste Paper, Nylon Fibre, Compressive Strength, Laboratory***

## PENDAHULUAN

Penambahan kertas dalam beton telah menjadi subjek penelitian dalam beberapa studi. Salah satu tujuannya adalah untuk menciptakan beton ringan, yang memiliki berat lebih rendah dibandingkan beton normal. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh H. Surya Hadi (2018) menunjukkan bahwa beton dengan agregat buatan dari limbah kertas koran, yang disebut beton agregat kertas, adalah salah satu jenis beton ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji manfaat yang bisa diambil dari pemakaian beton agregat berasal dari limbah kertas. Sebagai contoh, sebuah jurnal berjudul "Analisa Pengaruh Penambahan Limbah Kertas Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Untuk Partisi Gedung" menjelaskan bagaimana penambahan limbah kertas dapat mempengaruhi kuat tekan beton ringan. Jurnal lain berjudul "Pengaruh Penambahan Potongan Kertas Koran pada Bata Beton Berlubang" juga membahas topik serupa. Kedua jurnal ini memberikan wawasan mendalam tentang pengaruh penambahan kertas dalam beton dan bagaimana hal itu dapat mempengaruhi sifat-sifat beton.

Serat nylon adalah serat sintetis yang dapat digunakan untuk memperbaiki kinerja beton, terutama dalam hal keuletan, ketahanan retak, dan penyerapan air. Penambahan serat nylon dalam beton dapat berasal dari sumber baru atau limbah, seperti pukat ikan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat nylon tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton, tetapi meningkatkan kuat lentur dan ketahanan terhadap beban berulang. Namun, penambahan serat nylon juga menurunkan modulus elastisitas beton, yang berarti beton menjadi lebih daktail dan kurang kaku. Kadar serat yang optimal berbeda-beda tergantung pada sumber dan tujuan penggunaan serat. Berdasarkan jurnal dari Yohanes L.D. Adianto dan Tri Basuki (2004) dengan judul "Pengaruh Penambahan Serat Nylon terhadap Kinerja Beton" yang meneliti pengaruh serat nylon terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton. Dari hasil penelitian diketahui penambahan serat nylon meningkatkan ketahanan beton terhadap beban berulang secara signifikan, terutama pada kadar serat 1% dan 1,5% dan penambahan serat nylon mempercepat perkembangan kuat tekan beton pada umur awal (3 hari), tetapi memperlambat perkembangan kuat tekan beton pada umur akhir (28 hari).

Sedangkan berdasarkan jurnal dari Mohammad Syarif Al Huseiny dan Rosi Nursani (2020) dengan judul "Pengaruh Penambahan Serat Nylon Limbah Pukat terhadap Sifat Mekanis Beton" yang meneliti pengaruh serat nylon limbah pukat terhadap kuat tekan, kuat belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton. Dari hasil penelitian diketahui penambahan serat nylon limbah pukat meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan, penambahan serat nylon limbah pukat tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat belah beton, penambahan serat nylon limbah pukat menurunkan kuat lentur beton secara signifikan, dan penambahan serat nylon limbah pukat menurunkan modulus elastisitas beton secara signifikan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh limbah kertas sebagai

pengganti agregat halus dengan variasi serat nylon terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur beton.

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan adanya ruang lingkup, yaitu sebagai berikut :

a. Standar mix design yang digunakan berdasarkan SNI 7656:2012)
b. Jenis limbah kertas yang akan digunakan adalah yang sejenis dengan kertas HVS.
c. Pengujian hanya pada kinerja kuat tekan dan kuat lentur beton dalam keadaan keras berdasarkan SNI 1974:2011 dan SNI 4154-2014.
d. Umur pengujian beton adalah 7,14, dan 28 hari.
e. Semen yang digunakan adalah Portland Pozzolan Cement (PPC) Tonasa.
f. Serat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah serat nylon dengan variasi serat nylon 0.5%, 1%, dan 1,5% dari berat semen.

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan informasi awal tentang pemanfaatan limbah kertas dan serat nylon dalam pencampuran beton dan mengurangi jumlah sampah kertas yang sangat banyak dan dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton ringan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton

Beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987). Perancangan beton harus memenuhi kriteria perancangan yang berlaku. Perancangan sendiri dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang baik dimana harus memenuhi kriteria dua kinerja yang utamanya, yaitu kuat tekan yang tinggi (minimal sesuai dengan rencana) dan pengerjaan yang mudah (Workability). Selain itu juga harus memenuhi kriteria antara lain, tahan lama (durability), murah (aspect economic cost) dan tahan aus.

### Beton Ringan

Beton normal merupakan bahan bangunan yang relatif cukup berat dengan berat jenis berkisar 2,3 atau berat 2300 kg/m3. Untuk mengurangi beban mati suatu struktur beton, maka telah banyak dipakai beton ringan. Berdasarkan SNI 03 - 2847 - 2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m3. Pada dasarnya beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara ke dalam campuranbetonnya.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara :

a. Membuat gelembung-gelembung gas udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Bahan Tambahan Khusus (pembentuk gelembung udara dalam beton) ditambahkan ke dalam semen dan akan terbentuk gelembung udara.
b. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar dan batu apung. Demikian beton yang terjadi pun akan lebih ringan daripada beton normal. Pembuatan beton tidak dengan butir-butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut “beton non-pasir” dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimun agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm). Beton ini mempunyai pori-pori yang hanya berisi udara (yang semula terisi oleh butir agregat halus).

### Material Penyusun Beton

Material penyusun pada beton dengan campuran kertas ini tidak berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya, yaitu terdiri dari semen, agregat kasar, air dan kertas sebagai bahan substitusi agregat halus. Semua bahan-bahan diatas mempunyai karakteristik yang berbeda bila digunakan sebagai bahan adukan dalam beton. Dengan alasan ini maka perlu diketahui sifat dan karakteristik masing masing material penyusun beton agar dalam pelaksanaan nanti tidak terjadi kesalahan pemilihan dan penggunaan material, sehingga dapat menghasilkan beton dengan kekuatan karakteristik yang dikehendaki.

a. Semen Portland (PC)

   Portland cement (PC) atau lebih dikenal dengan semen merupakan suatu bahan yang mempunyai sifat hidrolis, semen membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu, semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut. Banyaknya kandungan semen dalam beton berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jumlah semen yang terlalu sedikit, berarti banyaknya air juga sedikit mengakibatkan adukan beton sulit dipadatkan, sehingga kuat tekanbeton menjadi rendah.

Kelebihan jumlah semen, berarti banyaknya air juga berlebihan sehingga beton menjadi banyak pori, dan akibatnya kuat tekan beton menjadi rendah..

b. Agregat
Agregat merupakan butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70 % volume beton, sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton. Sebelum pembuatan beton perlu juga dilakukan pengujian agregat dikarenakan meskipun berada didaerah yang sama dan memiliki iklim yang sama tapi sifat fisik yang diperoleh dari hasil pengujian dilaboratorium itu berbeda-beda (Hakzah, 2021). Menurut Tjokrodomulyo (1992) agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu : Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm. Kerikil untuk besar butiran antara 5 mm sampai 40 mm. Pasir untuk butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

c. Air
Fungsi air pada campuran paving block adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan. Pemakaian air pada pembuatan campuran harus pas karena pemakaian air yang terlalu berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai dan hal tersebut akan mengurangi kekuatan Paving Block yang dihasilkan. Sedangkan terlalu sedikit air akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan paving block yang dihasilkan.

**Kertas**

Kertas dalam bahasa Inggris disebut paper dan dalam bahasa Belanda disebut paper. Kertas adalah barang baru ciptaan manusia berwujud lembaran-lembaran tipis yang dapat dirobek, digulung, dilipat, direkat, dicoret mempunyai sifat yang berbeda dari bahan bakunya : tumbuh-tumbuhan. Kertas dibuat unutk memenuhi kebutuhan hidup yang sangat beragam. Kertas dikenal sebagai media utama untuk menulis, mencetak serta melukis dan banyak kegunaan lain yang dapat dilakukan dengan kertas misalnya kertas pembersih (tissue) yang digunakan untukhidangan, kebersihan ataupun toilet.Adanya kertas merupakan revolusi baru dalam dunia tulis menulis yang menyumbangkan arti besar dalam peradaban dunia. Sebelum ditemukan kertas, bangsa-bangsa dahulu menggunakan tablet dari tanah lempung yang dibakar.

**Serat Nylon**

Nilon adalah polimer sintetik yang termasuk dalam kelompok poliamida. Nilon adalah serat tekstil yang elastis dan tahan, tidak memerlukan penyetrikaan dan digunakan dalam pembuatan stoking dan kain rajutan, juga bulu dan sutra. Nilon cetakan digunakan sebagai bahan keras dalam pembuatan berbagai peralatan, seperti gagang sikat, sisir, dll.

Serat nylon mempunyai sifat yang sangat elastis dan liat sehingga diharapkan dapat memperbaiki sifat getas pada beton. Serat nylon juga mampu meningkatkan kekuatan beton (tekan, tarik, dan lentur), kekedapan beton, daya tahan terhadap beban kejut, daktilitas, kapasitas penyerapan energi, daya tahan beban berulang, dan daya abrasi, serta mengurangi retak-retak karena susut dan terjadinya korosi tulangan baja, memungkinkan adanya kekuatan beton setelah terjadinya keretakan. (Balaguru and Shah, 1992). Dengan demikian serat nylon sangat mungkin dapat dijadikan sebagai bahan tambah beton untuk meningkatkan sifat-sifat struktural beton.

Nylon sangat efektif untuk menambah resistensi terhadap tumbukan dan kekuatan serta mempertahankan dan kekuatan serta mempertahan dan meningkatkan kapasitas beban beton setelah retak pertama (Cement and Concrete Institute, 2001).

**Workabilitas**

Workabilitas adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang / dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu. Beberapa parameter untuk mengetahui workabilitas beton segar adalah :

a. Compactible, yaitu kemudahan beton untuk dipadatkan dengan baik.Pemadatan bertujuan untuk mengurangi rongga-rongga udara yang terjebak di dalam beton sehingga diperoleh susunan yang padat dan memperkuat ikatan antar partikel beton.
b. Mobilitas, yaitu kemudahan beton untuk mengalir atau dituang dalam cetakan dan

dibentuk. Adukan beton juga harus dapat mengisi ruang di antara tulangan-tulangan.

c. Stabilitas, yaitu kemampuan beton untuk tetap stabil, homogen selama pencampuran, serta tidak terjadi segregasi danbleeding.

**Pengujian Kuat Tekan**

Uji tekan adalah suatu alat uji mekanik yang berguna untuk mengukur dan mengetahui kekuatan benda terhadap gaya tekan. Uji tekan ini memiliki kinerja yang bagus dan berkualitas untuk mengetahui kekuatan benda. Pengujian Kuat Tekan pada paving block dilakukan Penguji kuat tekan pada umur 28 hari.

**Pengujian Kuat Lentur**

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997

**Penelitian Terdahulu**

a. H. Surya Hadi (2018) "Analisis Penambahan Kertas Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan". Dengan variasi campuran 1Pc: 2Ps :3Ba dan dengan persentase penambahan kertas 0%, 10% dan 20% ternyata mengasilkan kuat tekan maksimum terjadi pada penambahan limbah kertas 10% menghasilkan kuat tekan 20,324 Mpa dan setelah diadakan penambahan 20% kuat tekan menurun 18,874 MPA.
b. Bagus Cahyono (2011) "Kajian Kuat Tekan Beton Kertas (Papercrete) Dengan Bahan Serat Nylon".Hasil pengujian kuat lentur benda variasi penambahan nylon terhadap volume benda uji memperlihatkan nilai kuat lentur benda uji dengan penambahan nylon 0% = 0,25194 N/mm2, dan penambahan nylon 0,3% = 0,2775 N/mm2, penambahan nylon 0,75% = 0,26194 N/mm2 dan penambahan nylon 1% = 0,26861 N/mm2, sehingga nilai kuat lentur maksimal didapat pada benda uji dengan penambahan nylon 0,3 terhadap volume benda uji sebesar 0,2775 N/mm2. Maka penambahan nylon terbukti memberikan dampak yang siknifikan pada kuat lentur yaitu 8-10 % di banding dengan benda uji tanpa bahan tambahan nylon.
c. Purnawan Gunawan dan kawan kawan (2015) "Pengaruh Penambahan Serat Nylon Pada Beton Dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modukus Elastisistas". Hasil pengujian diatas diperoleh nilai rata-rata kuat tarik belah berturut-turut dari kadar serat 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% dari berat volume beton yang diuji pada umur beton 28 hari berturut-turut adalah 2,00 MPa; 2,48 MPa; 2,62 MPa; 2,76 MPa; 2,92, penambahan serat nylon hingga 1% akan meningkatkan kuat tarik belah beton di umur 28 hari.
d. Desi Israini dan Aulia Rahman (2016) "Analisis Proporsi Bubur Kertas dan Pasir Terhadap Sifat Mekanis Beton Kertas (Papercrete)". Hasil analisis data menunjukkan kuat tarik belah maksimal pada proporsi bubur kertas 40%, turun sebesar 33,235 % (21,254 kg/cm2) jika dibandingkan dengan kuat tarik beton normal pembanding sebesar 31,834 kg/cm2. Sedangkan untuk pengujian kuat tarik lentur, maksimal pada proporsi bubur kertas 30%, turun sebesar 31,774 % (47,025 kg/cm2) jika dibandingkan dengan kuat lentur beton normal pembanding sebesar 68,925 kg/cm2. Proporsi bubur kertas 30–40% memberikan kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang masih lebih rendah jika dibandingkan dengan beton normal pembanding.
e. Shanti Wahyuni Megasari dan kawan kawan (2016) "Karakteristik Beton Dengan Penambahan Limbah Serat Nylon dan Polimer Concrete". Penambahan serat yang terlalu banyak pada suatu campuran beton dapat menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah beton, dikarenakan semakin banyaknya jumlah serat dengan karakteristik permukaan nylon yang licin akan mengakibatkan kurang kuatnya ikatan antara material material penyusun beton.
f. Renaldi, Jasman, dan Adnan (2024) "Pemanfaatan Limbah Serat Plastik PET Terhadap Kuat Tekan Beton". Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan pada beton normal memiliki nilai sebesar 25 MPa yang mencapai nilai kuat tekan rencana, sedangkan beton variasi 1% plastik PET sebesar 23 MPa, 2% plastik PET sebesar 21 MPa, dan 3% plastik PET sebesar 19 MPa yang tidak mencapai nilai kuat tekan rencana. Hal ini menunjukkan bahwa limbah plastik PET yang dicampurkan dengan beton mengakibatkan penurunan kuat tekan beton dari beton normal..

## METODE

### Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang merupakan metode penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya disertai gambar, tabel, atau grafik. Kemudian data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium. Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu dengan membandingkan antara 3 variasi campuran untuk mengetahui bagaimana kuat tekan Paving Block dan daya serap air nya.
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Metode eksperimen adalah suatu penelitian yang mencari pengaruh variasi tertentu terhadap variasi yang lain dalam suatu kondisi yang terkontrol. Dalam penelitian terdiri atas variasi bebas (independent variable) dan variasi terikat (dependent variable). Variasi bebas berupa penambahan limbah beton dengan variasi yang berbeda–beda yang akan ditambah dengan beberapa tumbukan yang akan di uji kuat tekan dan daya serap air nya. Faktor-faktor lain seperti susunan gradasi agregrat, proporsi campuran bahan, dan penelitian akan di laksanakan laboratorium Universitas Muhammadyah Parepare.

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Waktu penelitian dilaksanakan dalam waktu 2 bulan mulai bulan 07 Agustus 2021 – 29 September 2021

### Pembuatan Benda Uji

Pembuatan campuran adukan mortar beton kertas dilakukan setelah menghitung proporsi masing-masing bahan yang dipergunakan, kemudian mencampur dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Mengambil bahan-bahan pembentuk beton kertas yaitu semen, pasir dan bubur kertas dengan campuran bubur kertas sebagai bahan subtitusi parsial agregat halus sebanyak 0%; 10%; dan 20% dari jumlah pasir
b. Mencampur semen, air, kertas dalam ember dengan alat bor pencampur. Hal ini dimaksudkan agar semen dan kertas dapat tercampur secara sempurna.
c. Memasukkan adukan ke dalam alat silinder diameter 15cm tinggi 30cm . Adukan dimasukkan ke dalam cetakan secara berlapis dan dalam penelitian ini sebanyak 3 lapis dengan berat yang sama dengan memberikan beban yang sama
d. Menambahkan nylon pada adukan dengan persentase serat nylon 0%, 0.3%, dan 1%, dari jumlah pasir., masing- masing berjumlah 3 benda uji untuk setiap satu variasi serat nylon.
e. Alat cetak dibuka setelah mengeras, pada penelitian ini dibuka pada umur 1 hari dilanjutkan dengan perendaman.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Material

**a. Agregat Kasar**

- Kadar lumpur : 0.92%
- Keausan : 24.9%
- Kadar air : 0.68%
- Berat volume
- a. Kondisi lepas : 1.50
- b. Kondisi padat : 1.74
- Absorpsi : 2.67%
- Berat jenis spesifik
- a. Bj. nyata : 2.75
- b. Bj. dasar kering : 2.56
- c. Bj. SSD :2.63
- Modulus kehalusan : 6.51

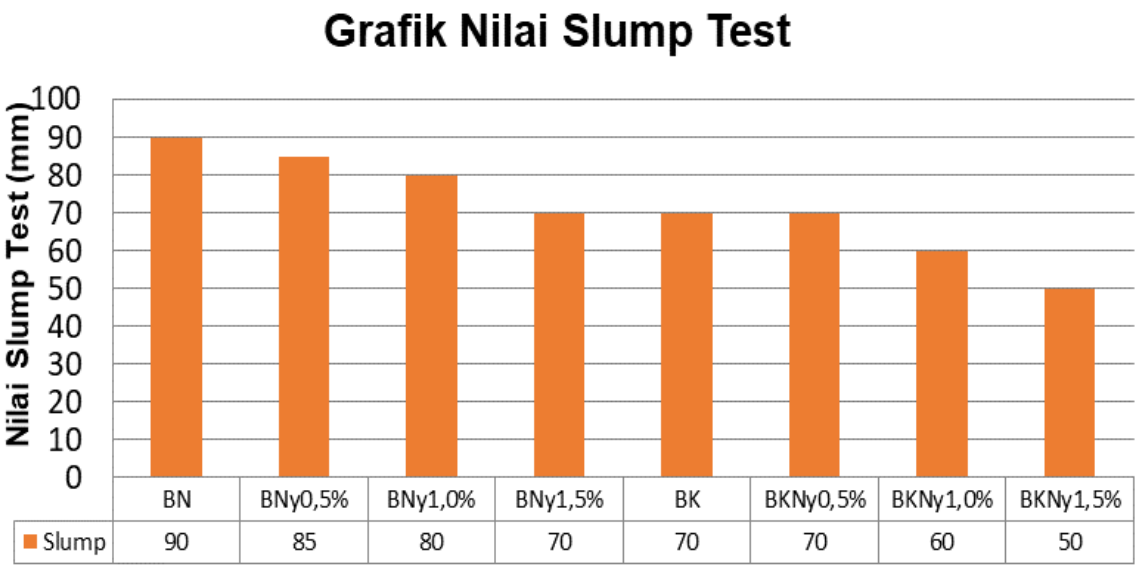
**b. Agregat Halus**

- Kadar lumpur : 3.23%
- Kadar organik : 1
- Kadar air : 2.19%
- Berat volume
- a. Kondisi lepas : 1.40
- b. Kondisi padat : 1.50
- Absorpsi : 1.35%
- Berat jenis spesifik
- a. Bj. Nyata : 2.51
- b. Bj. dasar kering : 2.43
- c. Bj. SSD : 2.46
- Modulus kehalusan : 3.25

### Nilai Slump

Pada penelitian ini, pemeriksaan nilai slump yang dilakukan diperoleh hasil seperti gambar

dibawah ini. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai slump pada adukan beton, maka nilai workability akan semakin menurun.




**Gambar 1.** Rekapitulasi nilai slump test

Sumber: Hasil olah data (2021)

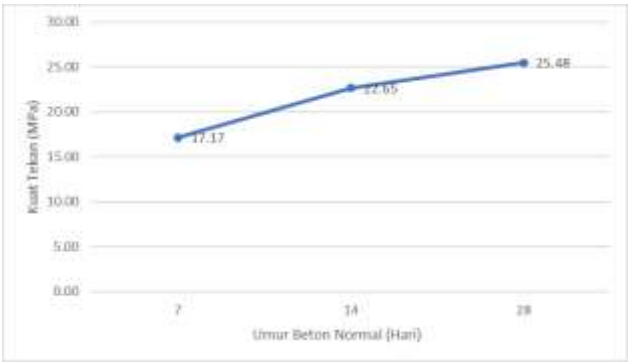
Dari pengujian slump diatas, tampak bahwa nilai slump turun pada subtitusi kertas sebagai agregat halus dalam campuran beton dan penambahan serat nylon mengakibat penurunan nilai slump seiring bertambahnya variasi serat nylon dalam campuran, hal ini dikarenakan sifat kertas dan serat nylon yang memiliki penyerapan air yang tinggi sehingga mengakibatkan nilai slump atau kelecekan pada campuran beton berkurang.

**Kuat Tekan**

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 27 sampel. Yang terdiri dari 3 variasi campuran bubuk kertas 10% dengan variasi nylon sebesar 0,5%, 1,0% dan 1,5%. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 3 sampel untuk kuat tekan silinder dengan ukuran benda uji 15 x 30 cm. Sebelum melakuksan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari beton normal dan 3 variasi campuran bubur kertas dan tambahan serat nylon dengan 3 hari perawatan adalah sebagai berikut :

a. Beton Normal

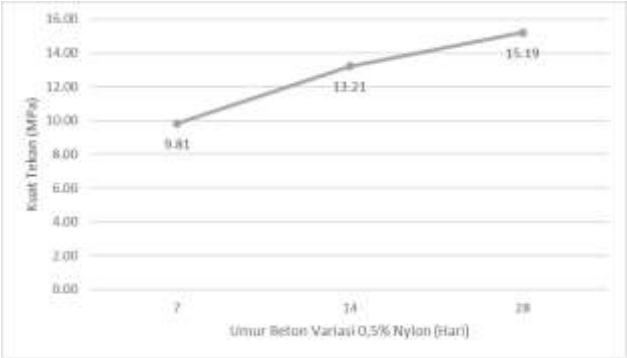



**Gambar 2.** Grafik pengujian kuat tekan beton normal

Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton normal mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 5,48 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,83 Mpa

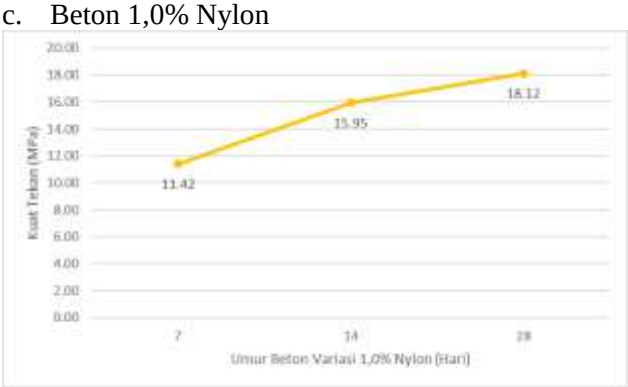
b. Beton 0,5% Nylon




**Gambar 3.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 0,5% nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 0,5% nylon mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 3,40 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,98 Mpa

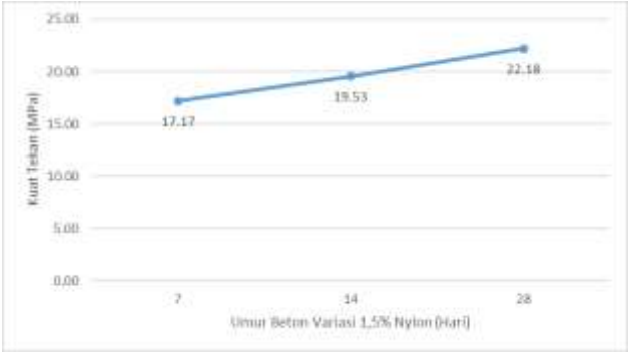
c. Beton 1,0% Nylon




**Gambar 4.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 1,0% nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

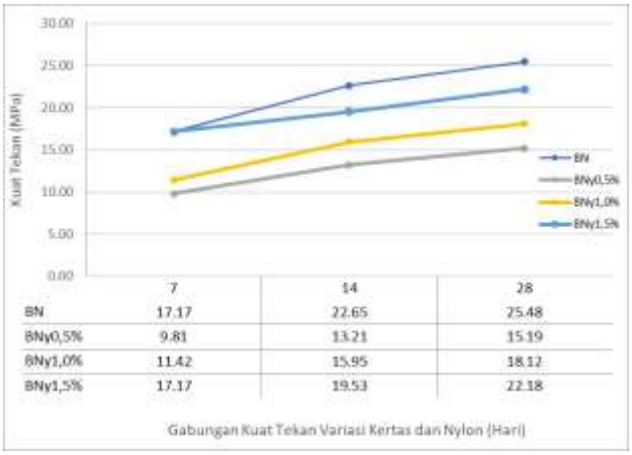
Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 1,0% nylon mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 4,53 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,17 MPa.

d. Beton 1,5% Nylon




**Gambar 5.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 1,5% nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 1,5 % nylon mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 2,36 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 2,65 Mpa




| | 7 | 14 | 28 |
|---|---|---|---|
| BN | 17.17 | 22.65 | 25.48 |
| BNy0,5% | 9.81 | 13.21 | 15.19 |
| BNy1,0% | 11.42 | 15.95 | 18.12 |
| BNy1,5% | 17.17 | 19.53 | 22.18 |

**Gambar 6.** Rekapitulasi kuat tekan variasi kertas dan nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton dengan persentase 0,5% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 10,29 MPa atau 40,4 % dari beton normal, persentase 1,0% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 7,36 MPa atau 28,9 % dari beton normal, dan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 3,3 MPa atau 13% dari beton normal.

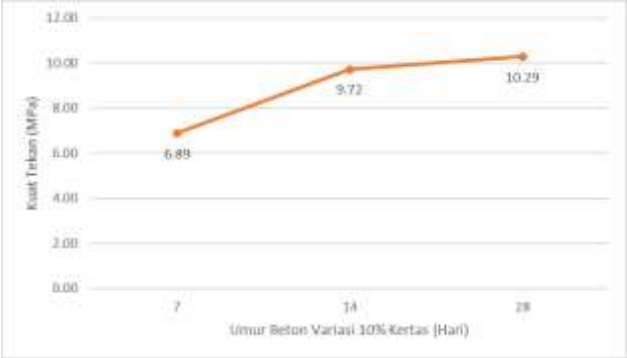
Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan kertas sebagai subtitusi dari agregat halus pada beton dapat mengakibatkan penurunan kuat tekan beton sedangkan pada penambahan serat nylon mengakibatkan penurunan kuat tekan beton namun semakin bertambahnya variasi serat nylon mengakibatkan peningkatan kuat tekan beton.

**Pengaruh Penambahan Serat nylon terhadap Kuat Tekan Beton Subtitusi Kertas**

Setelah melakukan pengujian kuat tekan benda uji berdasarkan masing-masing variasi kertas dan serat nylon selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan pada penggabungan kertas dan serat nylon pada campuran beton. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 27 sampel. Yang terdiri dari 3 variasi gabungan campuran bubur kertas 10 % dan serat nylon sebesar 0,5%, 1,0% dan 1,5%.

Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari 3 variasi campuran bubur kertas dan tambahan serat nylon dengan 3 hari perawatan adalah sebagai berikut :

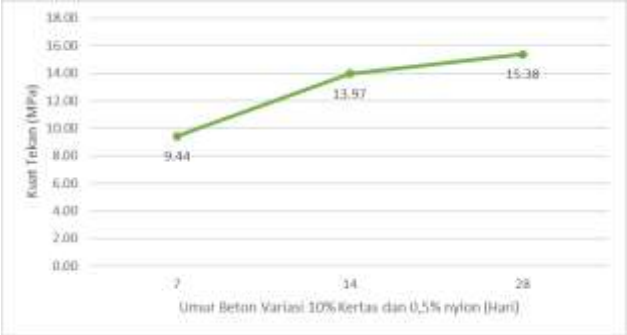
a. Beton 10% Kertas




**Gambar 7.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 10% kertas
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 10% bubur kertas mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 2,83 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 0,57 MPa.

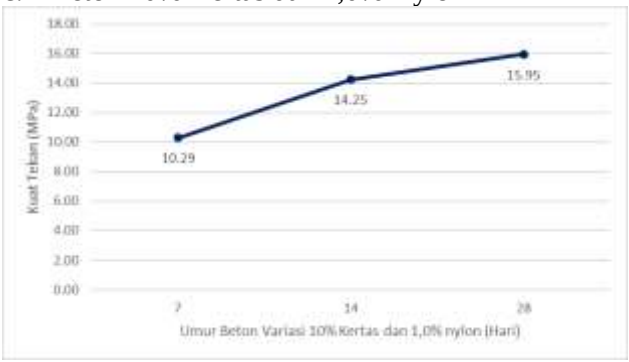
b. Beton 10% Kertas dan 0,5% Nylon




**Gambar 8.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 10% kertas dan 0,5% nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 10% kertas dan 0,5% nylon mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 4,53 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,41 MPa.

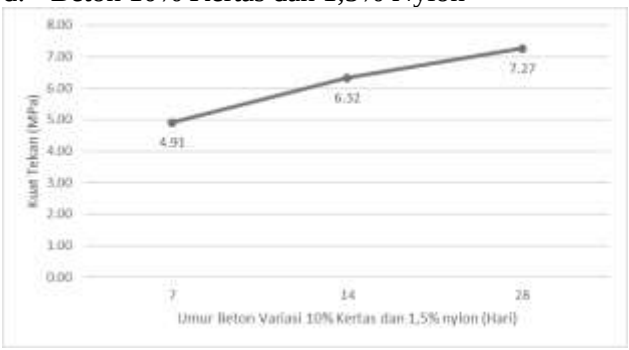
c. Beton 10% Kertas dan 1,0% Nylon




**Gambar 9.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 10% kertas dan 1,0% nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 10% kertas dan 1,0% nylon mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 3,96 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,7 Mpa.

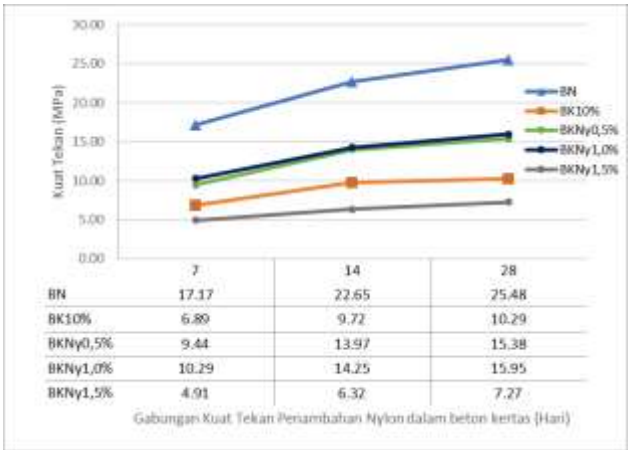
d. Beton 10% Kertas dan 1,5% Nylon




**Gambar 10.** Grafik pengujian kuat tekan variasi 1,5% nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton dengan 10% kertas dan 1,5% nylon mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 1,41 MPa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 0,95 Mpa.

Berikut adalah grafik hubungan persentase penambahan nylon terhadap kuat tekan beton subtitusi kertas :




| | 7 | 14 | 28 |
|---|---|---|---|
| BN | 17.17 | 22.65 | 25.48 |
| BK10% | 6.89 | 9.72 | 10.29 |
| BKNy0,5% | 9.44 | 13.97 | 15.38 |
| BKNy1,0% | 10.29 | 14.25 | 15.95 |
| BKNy1,5% | 4.91 | 6.32 | 7.27 |

Gabungan Kuat Tekan Penambahan Nylon dalam beton kertas (Hari)

**Gambar 11.** Grafik hubungan persentase campuran terhadap kuat tekan beton
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa kuat tekan beton dengan persentase 10% kertas mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 15,19 MPa atau 40,4 % dari beton normal, pada subtitusi kertas 10% sebagai agregat halus dengan persentase 0,5% serat nylon mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 5,09 MPa atau 49,5 % dari beton 10% kertas, persentase 1,0% nylon mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 5,66 MPa atau 55 % dari beton 10% kertas, sedangkan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 3,02 MPa atau 29,3 % dari beton 10% kertas.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat tekan beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat tekan beton 10% kertas.

**Kuat Lentur**

Setelah dilakukannya pembuatan, uji slump, dan perawatan benda uji balok, selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian kuat lentur benda uji. Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada benda uji umur 28 hari mutu beton yang direncanakan sebanyak 5 variasi dengan masing-masing sampel sebanyak 2 sampel dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Hasil pengujian adalah sebagai berikut:




**Gambar 12.** Rekapitulasi kuat lentur variasi kertas dan nylon
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa kuat lentur beton dengan persentase 0,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,889 MPa atau 47,6 % dari beton normal, persentase 1,0% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,80 MPa atau 42,8 % dari beton normal, dan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,445 MPa atau 23,8% dari beton normal.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan kertas sebagai subtitusi dari agregat halus pada beton dapat mengakibatkan penurunan kuat lentur beton sedangkan pada penambahan serat nylon mengakibatkan penurunan kuat lentur beton namun semakin bertambahnya variasi serat nylon mengakibatkan peningkatan kuat lentur beton.

**Pengaruh Penambahan Serat nylon Terhadap Kuat Lentur Beton Subtitusi kertas**

Setelah melakukan pengujian kuat lentur benda uji berdasarkan masing-masing variasi kertas dan serat nylon selanjutnya dilakukan pengujian kuat lentur pada penggabungan kertas dan serat nylon pada campuran beton. Pengujian kuat lentur dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan sebanyak 6 sampel. Yang terdiri dari 3 variasi gabungan campuran bubur kertas 10 % dan serat nylon sebesar 0,5%, 1,0% dan 1,5%. Adapun hasil dari pengujian kuat lentur yang terdiri dari 3 variasi campuran bubur kertas dan tambahan serat nylon adalah sebagai berikut :



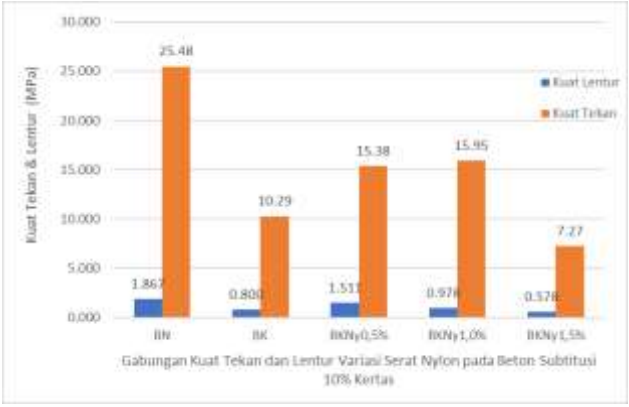

**Gambar 13.** Grafik Rekapitulasi hasil uji kuat lentur beton berdasarkan kuat lentur beton
Sumber: Data pengujian (2021)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa kuat lentur beton dengan persentase 0,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,889 MPa atau 47,6 % dari beton normal, persentase 1,0% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,80 MPa atau 42,8 % dari beton normal, dan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,445 MPa atau 23,8% dari beton normal.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan kertas sebagai subtitusi dari agregat halus pada beton dapat mengakibatkan penurunan kuat lentur beton sedangkan pada penambahan serat nylon mengakibatkan penurunan kuat lentur beton namun semakin bertambahnya variasi serat nylon mengakibatkan peningkatan kuat lentur beton.

**Pengaruh Gabungan Kuat Tekan dan Lentur Variasi Serat Nylon pada Subtitusi 10% Kertas**

Dari hasil olah data benda uji berdasarkan masing-masing variasi kertas dan serat nylon selanjutnya dibuat kesimpulan dari hasil kuat tekan dan lentur beton pada penggabungan kertas dan serat nylon pada campuran beton. Nilai kuat tekan dan lentur yang diambil berumur 28 hari. Adapun grafik gabungan yang terdiri dari 3 variasi campuran bubur kertas dan tambahan serat nylon adalah sebagai berikut :




**Gambar 14.** Grafik Rekapitulasi hasil uji kuat tekan dan lentur beton
Sumber: Data pengujian (2021)

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat tekan beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat tekan beton 10% kertas.

Penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat lentur beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat lentur beton 10% kertas.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Kuat tekan beton dengan persentase 10% bubur kertas mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 15,19 MPa atau 59,6 % dari beton normal, persentase 0,5% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 10,29 MPa atau 40,4 % dari beton normal, persentase 1,0% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 7,36 MPa atau 28,9 % dari beton normal, dan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 3,3 MPa atau 13% dari beton normal. Kuat tekan beton dengan subtitusi kertas 10% sebagai agregat halus dengan persentase 0,5% serat nylon mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 5,09 MPa atau 49,5 % dari beton 10% kertas, persentase 1,0% nylon mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 5,66 MPa atau 55 % dari beton 10% kertas, sedangkan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar

3,02 MPa atau 29,3 % dari beton 10% kertas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat tekan beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat tekan beton 10% kertas.

Kuat lentur beton dengan persentase 10% bubur kertas mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 1,067 MPa atau 57,2 % dari beton normal, persentase 0,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,889 MPa atau 47,6 % dari beton normal, persentase 1,0% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,80 MPa atau 42,8 % dari beton normal, dan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,445 MPa atau 23,8% dari beton normal. Kuat lentur beton dengan subtitusi kertas 10% sebagai agregat halus dengan persentase 0,5% serat nylon mengalami peningkatan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,711 MPa atau 88,9% dari beton 10% kertas, persentase 1,0% nylon mengalami peningkatan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,178 MPa atau 22,3% dari beton 10% kertas, sedangkan persentase 1,5% nylon mengalami penurunan kuat lentur pada umur 28 hari sebesar 0,22 MPa atau 27,8 % dari beton 10% kertas. Sehingga disimpulkan bahwa penggunaan nylon sebagai bahan tambah pada beton dengan subtitusi kertas 10% dapat mengakibatkan peningkatan kuat lentur beton pada variasi 0,5% dan 1,0% serat nylon. Namun pada penggunaan serat nylon 1,5% mengakibatkan penurunan kuat lentur beton 10% kertas..

**Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan saran-saran yang akan berguna bagi pelaksanaan maupun pengembangan papercrete, saran-saran yang diberikan yaitu perlu penggunaan alat yang lebih baik untuk mempermudah proses pembuatan bubur kertas dan mempermudah pencampuran agregat. Beton kertas mengalami perkerasan yang lambat sehingga perlu ditambahkan accelerator. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kembang dan susut papercrete mengingat beton kertas (papercrete) memiliki nilai susut yang besar.

**DAFTAR PUSTAKA**


Addis, B (2001). … Materials and Strength of Hardened Concrete. Fulton's Concrete Technology, Edited by Brian Addis and Gill Owens, Cement and Concrete Institute ….

Bagus Cahyono. (2011). (Kajian Kuat Lentur Beton Kertas (Papercrete) Dengan Bahan Tambah Serat Nylon) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Balaguru, PN, & Shah, SP (1992). Fiber-reinforced cement composites., trid.trb.org, https://trid.trb.org/view/367442

Desi Israini dan Aulia Rahman. (2016). Analisis Proporsi Bubur Kertas dan Pasir Terhadap Sifat Mekanis Beton Kertas (Papercrete).

Dumanauw J.F. (1984), Mengenal Kayu, Pendidikan Industri Kayu (PIKA), Semarang.

H. Surya Hadi. (2018). Analisis Penambahan Limbah Kertas Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan. Fakultas Teknik, Universitas Islam Al-Azhar.

Hakzah, H, Sulfanita, A, & Yulianti, Y (2021). Studi Kelayakan Sifat Fisik Agregat Untuk Struktur Perkerasan Jalan. Jurnal Karajata Engineering, jurnal.umpar.ac.id,http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata/article/view/699

Honing, J (1982). Konstruksi Beton. Jakarata: Pratnya Paramita

Huseiny, MS Al, & Nursani, R (2020). Pengaruh Bahan Tambah Serat Fiber Terhadap Kuat Tekan dan Lentur Beton. Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, jurnal.unsil.ac.id, https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/akselerasi/article/view/1505

Indonesia, SN (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974-2011). Nasional, Badan Standarisasi: Jakarta, Indonesia

Indonesia, SN (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa dengan Standar SNI 7656: 2012. Jakarta, Badan Standarisasi Nas

Indonesia, SN 4154-2014 Metode Uji Kekuatan Lentur Beton menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang. Badan Standardisasi Nasional

Mulyono, T (2003). Concrete technology. Yogyakarta: Andi Offset

Mulyono, T (2004). Concrete Technology (Yogyakarta., Andi Publisher

Murdock, LJ, & Brook, KM (1979). Concrete materials and practice., trid.trb.org, https://trid.trb.org/view/156068

Nasional, BS (1997). Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan Dua Titik Pembebanan (SNI 03-4431-1997). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

Nasional, BS (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847: 2002)". Jakarta. Badan Standarisasi Nasional

Neville, AM, & Brooks, JJ (1987). Concrete technology., academia.edu, https://www.academia.edu/download/36900631/_A.M_Neville__J_J_Brooks_Concrete_Technology_2nd_ed_Engineersdaily.com_.pdf

Purnawan Gunawan dan kawan-kawan. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Nylon Pada Beton Dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modukus Elastisitas. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UniversitasSebelas Maret Surakarta.

Renaldi, R, Jasman, J, & Adnan, A (2024). Pemanfaatan Limbah Serat Plastik PET Terhadap Kuat Tekan Beton. Konstruksi: Publikasi Ilmu …, journal.aritekin.or.id,https://journal.aritekin.or.id/index.php/Konstruksi/article/view/207

Sebayang, S (2000). Diktat Bahan Bangunan (Volume 1-Teknologi Beton. Universitas Lampung, Bandar Lampung

Shanti Wahyuni Megasari, dan kawan-kawan. (2016). Karakteristik Beton Dengan Penambahan Limbah Serat Nylon dan Polimer Concrete. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning.

Tjokrodimuljo, K (1996). Buku Teknologi Beton. Yogyakarta: Nafiri, Yogyakarta

Tjokrodimuljo, K (2007). Teknologi Beton, Cv. Andi Offset, Yogyakarta

Tjokrodimuljo, K. (1992). Buku Ajaran Teknologi Beton.

Umum, DP (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971). Departemen Pekerjaan Umum

Yohanes L.D. Adianto dan kawan-kawan. (2004). Pengaruh Penambahan Nylon Terhadap Kinerja Beton. Media Komunikasi Teknik Sipil.