

Analisis Proporsi Bubur Kertas dan Pasir Terhadap Sifat Mekanis Beton Kertas (*Papercrete*)

Desi Israini¹, Aulia Rahman²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar
Alue Penyareng, Meulaboh Aceh Barat 23615,
e-mail: ¹desi_israini@yahoo.com, ²auliaaliza@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to analyze the proportion of pulp and paper sand to produce concrete that has split tensile strength and flexural maximum tensile strength and yield concrete lighter paper. Concrete composition paper consists of cement, water, paper pulp, and sand. The mixture composition of the initial volume of cement and aggregate is 1: 2, with the water-cement factor of 0.25. Variations in the use of pulp in the portion of the aggregate is 30%; 40%; 50%; 60% and 70% to be compared with normal concrete without pulp and coarse aggregate (concrete normal comparison). Specimens used in this study is a cylinder measuring 15 cm x 30 cm for testing the tensile strength and beam sides measuring 40 cm x 10 cm x 10 cm for flexural tensile strength testing. The results of data analysis indicated the presence of a strong proportion of pulp to pull apart and flexural tensile strength of concrete paper when compared to normal concrete comparison. Maximum tensile strength divided on the proportion of pulp 40%, a decrease of 33.235% (21.254 kg / cm²) when compared to the tensile strength of normal concrete comparison of 31.834 kg / cm². As for testing the flexural tensile strength, the maximum proportion of pulp 30%, a decrease of 31.774% (47.025 kg / cm²) when compared with normal concrete flexural strength comparison of 68.925 kg / cm². The proportion of pulp 30-40% gave a strong pull apart and bending tensile strength that is still lower than the normal concrete comparison.

Keywords : concrete paper , split tensile strength , flexural tensile strength.

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis proporsi bubur kertas dan pasir sehingga menghasilkan beton kertas yang memiliki kuat tarik belah dan kuat tarik lentur yang maksimal dan menghasilkan beton kertas yang lebih ringan. Komposisi beton kertas terdiri dari semen, air, bubur kertas, dan pasir. Campuran komposisi volume awal semen dan agregat adalah 1 : 2, dengan faktor air semen 0,25. Variasi penggunaan bubur kertas pada porsi agregat adalah 30%; 40%; 50%; 60% dan 70% yang akan dibandingkan dengan beton normal tanpa bubur kertas dan agregat kasar (beton normal pembanding). Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder berukuran 15 cm x 30 cm untuk pengujian kuat tarik belah dan balok berukuran 40cmx10cmx10cm untuk pengujian kuat tarik lentur. Hasil analisis data menunjukkan adanya pengaruh proporsi bubur kertas terhadap kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton kertas jika dibandingkan terhadap beton normal pembanding. 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.

Kata kunci : beton kertas, kuat tarik belah, kuat tarik lentur

1. PENDAHULUAN

Saat ini telah banyak kemajuan teknologi yang ada pada pembangunan infrastruktur. Mulai dari metode pembangunan, peralatan canggih sampai ditemukannya bahan-bahan baru yang lebih efektif dan ekonomis. Perkembangan ini terus dikembangkan baik dari segi kuantitas dan kualitasnya.

Beton sebagai salah satu pilihan utama pada pembangunan, termasuk yang teknologinya terus dikembangkan. Perkembangan ini ditujukan untuk mendapatkan beton yang lebih kuat dan ekonomis. Fokus yang banyak dipelajari adalah bagaimana menemukan bahan-bahan pembentuk beton yang mampu mencapai hal tersebut. Beton kertas (*Papercrete*) atau beton dengan substitusi kertas telah banyak digunakan sebagai dinding, karena lebih ringan dan ekonomis. Selain itu, dengan menggunakan kertas bekas ini maka secara tidak langsung kita juga membantu mengurangi sampah-sampah kertas sehingga bahan ini dapat dikatakan ramah lingkungan.

Selaras dengan (UU NO.32 tahun 2009) dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 02 Tahun 2008 tentang pengelolaan lingkungan hidup dengan mendayagunakan kembali bahan limbah, maka pemanfaatan limbah kertas HVS sebagai bahan baku beton merupakan salah satu alternatif yang dapat diaplikasikan. Kertas HVS yang berupa kertas limbah sekolah dan perkantoran, merupakan material organik berbahan dasar serat yang tepat untuk diolah menjadi salah satu bahan yang mendukung untuk meningkatkan karakteristik beton dari segi ekonomis, ringan, dan tahan terhadap perubahan suhu (Sugesty, 2009 : 4). Selain mudah didapat, kertas limbah perkantoran juga tersedia dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu, mengingat terbatasnya sumber daya alam berupa pasir dan batu pecah, pemanfaatan limbah kertas ini dapat mengurangi penggunaan material alam. Kertas yang didapat sebahagian besar adalah kertas yang telah bertulisan atau telah digunakan, namun dalam penelitian ini, penelitian dilakukan dengan mengabaikan efek tinta. Limbah kertas tersebut diolah hingga menjadi bubur kertas, dengan tujuan untuk mempermudah dalam pengadukan campuran.

Pada penelitian Irvan (2011), telah dihitung kuat tekan maksimal beton setelah dilakukan substitusi bubur kertas sebagai campuran agregat dalam perbandingan tertentu. Pada komposisi perbandingan volume agregat dan bubur kertas sebesar 70:30, berat jenis beton kertas berkurang 30% dari berat beton normal, hal ini dikarenakan pada penelitian tersebut split digunakan sebagai agregat kasar, sehingga berat beton tidak banyak berkurang. Untuk mendapatkan beton kertas yang lebih ringan, pada penelitian ini tidak digunakan agregat kasar, hanya menggunakan agregat halus yaitu pasir dan agregat buatan berupa bubur kertas. Kuat tekan maksimum yang diperoleh pada proporsi 70:30 ini, bila dibandingkan dengan kuat tekan beton normal, memiliki kuat tekan yang masih di bawah beton normal. Hal ini disebabkan bubur kertas dalam campuran beton merupakan bahan yang mempunyai daya serap air yang tinggi sehingga kelembapan beton menjadi tinggi menyebabkan proses hidrasi beton terganggu. Disamping itu, bubur kertas yang kasar memiliki bidang gelincir yang kecil sehingga workabilitas menjadi rendah.

Penambahan zat aditif adalah suatu solusi yang tepat untuk memperbaiki kualitas beton kertas. Pada penelitian ini, rendahnya workabilitas dan capaian kuat tekan beton menjadikan penggunaan superplasticizer dapat menjadi solusi. Penggunaan superplasticizer meningkatkan *workability* beton. Superplasticizer pada penelitian ini digunakan Sikament-NN.

Pada penelitian ini komposisi beton kertas terdiri dari semen, air, bubur kertas, dan pasir. Campuran komposisi volume awal semen dan agregat adalah 1 : 2, dengan faktor air semen 0,25 dan digunakan superplasticizer. Variasi penggunaan bubur kertas pada porsi agregat selanjutnya divariasikan menjadi 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dan kemudian dibuat benda uji pembanding beton normal tanpa bubur kertas dan agregat kasar (beton normal pembanding). Variasi ini

melanjutkan penelitian Irvan (2011) yang menggunakan 3 macam persentase substitusi bubuk kertas yaitu 30%, 40% dan 50% pada porsi agregat, karena digunakan split sebagai agregat kasar, beton kertas yang dihasilkan belum dapat diklasifikasikan beton ringan dengan kuat tekan yang sudah mencapai kuat tekan beton ringan. Oleh karena itu dibuat penambahan persentase bubuk kertas yaitu 30%, 40%, 50%, 60% dan, 70% dan tidak digunakan agregat kasar untuk menjadikan beton lebih ringan dan dengan variasi persentase tersebut dapat dilihat penyebaran kekuatannya.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Ringan (*Lightweight Concrete*)

Menurut Nawy (1998), beton ringan adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan pada umur 28 hari lebih dari 200 psi (1,38 Mpa) dan berat volume kurang dari 115 lb/ft³. Anonim (2002), beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat volume tidak lebih dari 1900 kg/m³.

Menurut Neville (1999) penggolongan kelas beton ringan berdasarkan berat jenis dan kuat tekan yang harus dipenuhi dapat dibagi tiga yaitu:

1. Beton ringan dengan berat volume rendah (*Low Density Concretes*) untuk non struktur dengan berat volume antara (300 – 800) kg/m³ dan kuat tekan antara (0,35–7)Mpa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding pemisah atau dinding isolasi.
2. Beton ringan dengan kekuatan menengah (*Moderate Strength Concretes*) untuk struktur ringan dengan berat volume (800 – 1350) kg/m³ dan kuat tekan antara (7–17) MPa yang umumnya digunakan seperti untuk dinding yang juga memikul beban.
3. Beton ringan struktural (*Structural Lightweight Concretes*) untuk struktur dengan berat volume (1350–1900) kg/m³ dan kuat tekan lebih dari 17 MPa yang dapat digunakan sebagaimana beton normal.

Beton ringan dengan kandungan udara dan ukuran diameter pori yang sangat kecil, kira-kira 0,1-1,0 mm, tersebar merata (*homogen*) menjadikan beberapa sifat beton lebih baik, misalnya sebagai penghambat panas (*heat insulation*) dan lebih kedap suara (*sound insulation*) dibandingkan dengan bahan dinding yang umum dipakai seperti batu bata dan batako.

2.2. Beton Kertas (*Papercrete*)

Menurut Rahmadhon (2009), beton kertas (*papercrete*) merupakan suatu material yang terbuat dari campuran kertas dengan semen portland. Kertas yang digunakan adalah kertas bekas yang diolah menjadi bubuk kertas dengan tujuan mempermudah proses pengadukan campuran. Beton kertas dapat digunakan sebagai salah satu bahan alternatif untuk dinding partisi, blok, panel, plesteran, dan lain-lain yang ramah lingkungan. Untuk menambah kinerjanya, dalam beton kertas dapat ditambahkan agregat seperti pasir, kaolin, dan bahan lainnya untuk mendapatkan beton kertas dengan karakteristik yang diinginkan.

Semakin banyak bubuk kertas yang dicampurkan pada papan beton maka semakin kecil nilai berat/volume, jadi papan beton semakin ringan. Penambahan bubuk kertas yang disertai pengurangan pasir dalam papan beton menunjukkan nilai berat panel yang semakin kecil. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh faktor penyusun, salah satunya adalah berat jenis. Berat jenis

pasir dan kerikil sekitar 2,1-2,2 gr/cm³ lebih besar daripada berat jenis bubuk kertas 1,24 gr/cm³ (Hardiani dan Sugesty, 2009)

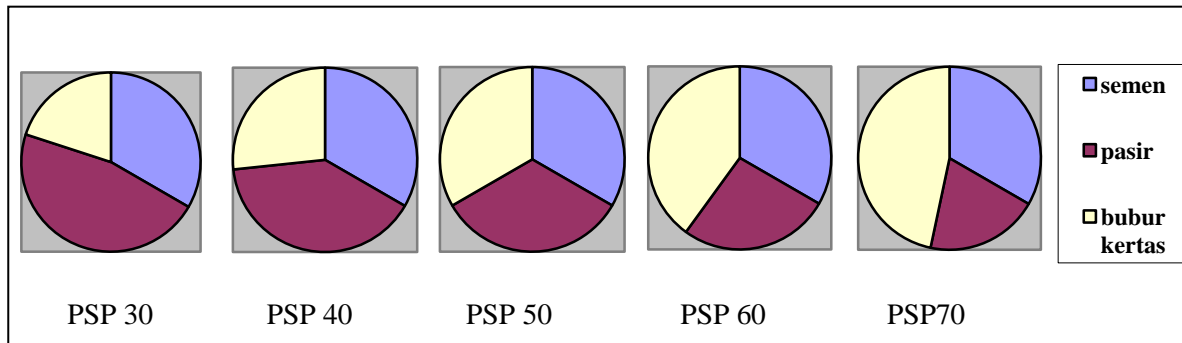
Maidayani (2009) juga menyebutkan hal serupa bahwa penambahan limbah padat (*sludge*) pada beton cenderung akan menurunkan nilai densitas beton karena sebagian air yang terikat di dalam *sludge* akan terlepas pada saat proses pengeringan dan waktu pengeringan yang optimal adalah selama 28 hari, apabila waktu pengeringan diperpanjang maka pengaruh terhadap nilai densitas beton tidak terlalu signifikan. Selain itu penambahan kertas cenderung menurunkan nilai kuat tekan dan kuat tarik beton dimana dalam penelitiannya dengan komposisi 25% bubuk kertas dan 10% lateks dan waktu pengeringan 28 hari menghasilkan beton dengan karakteristik densitas = 2,01 gram/cm³, penyerapan air = 21,9%, penyusutan = 0,102%, konduktivitas termal = 0,34 w/m^oK, kuat tekan = 16,52 MPa, kuat patah = 3,60 MPa, dan kuat tarik = 2,99 MPa.

Sihombing (2009) menganalisis batako ringan yang dibuat dari *sludge* dengan bahan agregat berbasis *sludge* dan pasir, di mana semen digunakan sebagai matrik perekat, dengan variasi rasio *sludge* terhadap pasir adalah 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; dan 0:100 (dalam % volume) menunjukkan bahwa batako ringan dengan variasi komposisi terbaik adalah 60% (volume) *sludge* dan 40% (volume) pasir, jumlah semen pada kondisi tetap (31,75 cm³) dan waktu pengeringan 28 hari. Pada komposisi tersebut, batako ringan yang dihasilkan memiliki densitas 1,56 gr/cm³. Penyerapan air = 31,7%, kuat tekan 9,1 MPa, kuat tarik = 1,83 MPa, dan kuat patah = 1,19 Mpa. Batako ringan tersebut mampu merespon dengan baik menyerap suara pada frekuensi 125, 270, 500, dan 100 Hz, dengan koefisien penyerapan suara pada frekuensi tersebut masing-masing sekitar: 20, 30, 15,8 dan 9%. Berdasarkan analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa *sludge* berupa serat dengan ukuran diameter berkisar 5 µm dan panjang 30 µm, partikel pasir atau semen dengan ukuran berkisar 2 µm dan batako yang dihasilkan relatif berpori dengan ukuran bisa mencapai 20 µm.

3. METODE PENELITIAN

Bubuk kertas yang digunakan pada pembuatan beton kertas dibuat sendiri. Proses pembuatan bubuk kertas diawali dengan pengumpulan kertas HVS bekas yang kemudian direndam dalam ember berisi air selama 1 jam. Kemudian kertas yang telah basah tersebut dihancurkan menggunakan blender, yang dibuat dari modifikasi wadah baja dinamo bor yang matanya diganti dengan plat baja berbentuk seperti mata blender. Setelah menjadi bubuk kertas, diperas dan dijemur/dikeringkan. bubuk kertas dikeringkan hingga tercapai keadaan kering menjadi bubuk kertas dengan kadar air 12%, pengeringan dapat dilakukan dengan penjemuran pada panas matahari selama 8 sd 12 jam ataupun menggunakan oven selama 1 sd 2 jam. kondisi kering bubuk kertas 12% ditandai dengan kondisi bila diremas tidak lagi mengeluarkan air dan kondisi bubuk tetap seperti semula. Bubuk kertas tersebut ketika digunakan akan ditambahkan air untuk mencapai kandungan air 78,8% menjadi bubuk kertas sehingga nantinya tidak menyerap air FAS pada saat proses hidrasi beton berlangsung.

Perencanaan campuran beton (*concrete mix design*) berdasarkan metode coba-coba (*trial*). Perencanaan ini didasarkan atas perbandingan volume sehingga untuk mendapatkan berat material yang digunakan diperoleh dengan cara membandingkan berat material untuk 1 volume benda uji *trial* dengan volume benda uji untuk penelitian. Komposisi semen : agregat = 1: 2 dengan agregat yang dimaksud terdiri dari bubuk kertas dan pasir. Perbandingan komposisi campuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan :

PSP = Pulp + *Superplasticizer*

Gambar 1. Diagram Lingkaran Komposisi Campuran Beton Kertas

Faktor Air Semen (FAS) yang direncanakan adalah 0,25. Selain air untuk kebutuhan FAS, juga ditambahkan air untuk kebutuhan bubuk kertas karena bubuk kertas yang telah kering awalnya memerlukan air untuk mencapai keadaan kadar jenuh air agar dalam campuran beton nantinya bubuk kertas tidak menyerap air yang diperhitungkan untuk kebutuhan FAS. Bubuk kertas yang digunakan adalah bubuk kertas yang lolos saringan 4,76 mm. Pasir yang digunakan lolos saringan 4,76 mm.

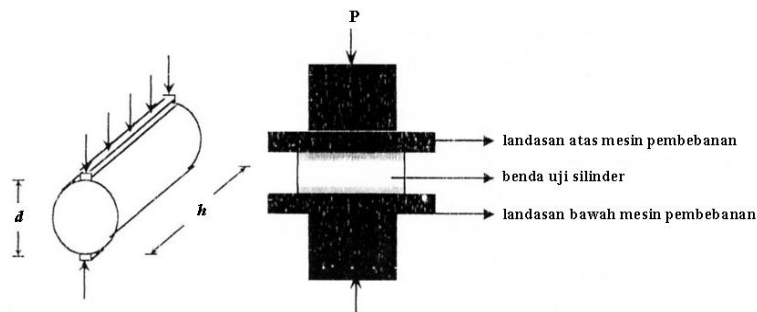
Benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah silinder berukuran 15 cm x 30 cm sebanyak 30 benda uji dan balok dengan ukuran 40 cm x 10 cm x 10 cm sebanyak 30 benda uji. Benda uji tersebut masing-masing dibuat menjadi 5 (lima) variasi campuran yaitu campuran dengan persentase bubuk kertas sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70%. Masing-masing variasi dibuat sebanyak 5 benda uji. Pengujian beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil pengujian benda uji tersebut nantinya juga akan dibandingkan dengan benda uji pembanding yang komposisi bubuk kertas 0% (PSP 0). Benda uji PSP 0 ini akan dibuat 10 buah, masing-masing silinder dan balok 5 benda uji.

Pengadukan mortar beton dilakukan dengan memasukkan material pembentuk beton yaitu, pasir, bubuk kertas, semen dan air secara berturut-turut ke dalam molen. Lamanya waktu pengadukan sekitar 5 menit dengan kemiringan sumbu molen sekitar 45°. Setelah material teraduk rata, lalu mortar yang dihasilkan dituang ke dalam wadah baja penampungan mortar. Bahan yang telah dicampur dimasukkan ke dalam cetakan sesuai dengan cetakan benda uji yang akan dibuat.

Pembuatan benda uji dilakukan dengan mengisi mortar ke dalam cetakan balok secara bertahap dalam 3 lapisan dan kira-kira tiap lapisan mempunyai volume yang sama. Selanjutnya setiap lapisan dipadatkan dengan menggunakan tongkat pemadatan sebanyak 25 kali tusukan. Pembukaan cetakan benda uji dilakukan setelah berumur 24 jam. Perawatan Benda Uji Silinder dilakukan pada 1 kondisi yaitu: perawatan benda uji pada suhu ruangan terbuka. Benda uji ditempatkan di dalam Laboratorium selama masa usia rencana yaitu 28 hari. Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan, benda uji tersebut kemudian ditempatkan di dalam ruangan Laboratorium. Setelah usia rencana tercapai selanjutnya benda uji akan dipindahkan ke laboratorium untuk diuji kuat tarik belah dan kuat tarik lentur.

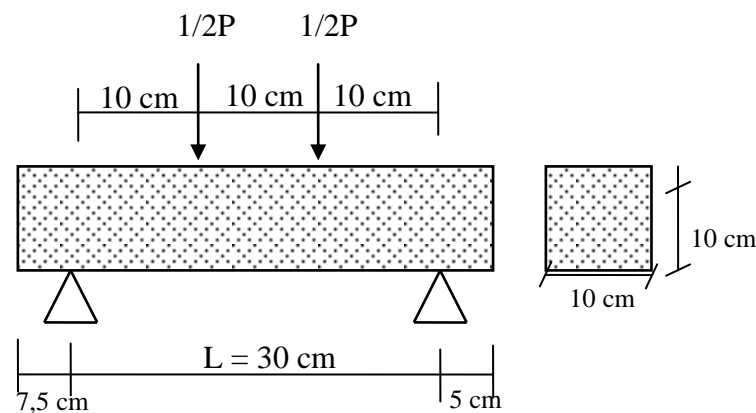
Pengujian kuat tarik belah akan dilakukan berdasarkan metode ASTM C 496-90, dengan menggunakan Universal Testing Machine merek Ton Industrie. Benda uji silinder (diameter 15 cm

dan tinggi 30 cm) diletakkan secara horizontal pada mesin uji pembebanan dengan sumbu silinder tegak lurus sumbu pembebanan. Posisi beban yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 : Pengujian Kuat Tarik Belah

Sebelum beban sesungguhnya diberikan, terlebih dahulu diberikan beban awal yang sangat kecil agar bidang kontak benda uji dengan plat pembebanan tepat pada posisi yang telah ditentukan. Setelah bidang kontak benda uji dengan plat pembebanan sudah tepat, maka pembebanan dihentikan atau dikembalikan ke posisi nol. Selanjutnya pembebanan sesungguhnya dilakukan kembali secara perlahan-lahan sampai benda uji terbelah.



Gambar 3. Pengujian Kuat Lentur

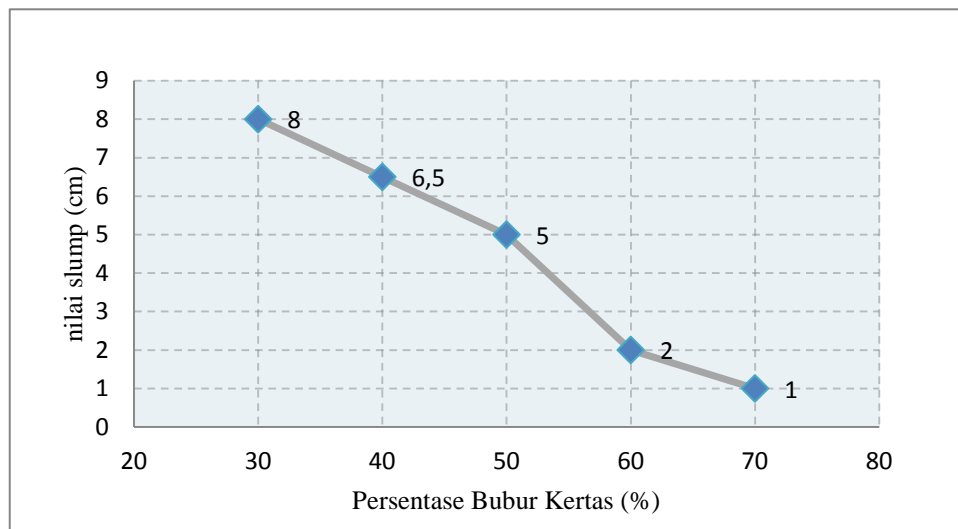
Pengujian lentur berdasarkan pada metode ASTM-C.78-94, yaitu dengan cara meletakkan balok di atas dua tumpuan secara horizontal dan diberi pembebanan ketiga titik (*third-point loading*) yaitu satu titik beban terpusat di tengah bentang yang disalurkan melalui plat baja menjadi dua titik beban yang sama besarnya pada jarak 1/3 bentang. Beban diberikan secara terus menerus dan perlahan-lahan sampai balok runtuh. Gambar penempatan benda uji pada pengujian kuat lentur dapat dilihat pada gambar 3.

Metode pengujian ini akan dilakukan terhadap balok berukuran 40 cm x 10 cm x 10 cm dengan mesin pembebanan tekan Portable Compression *TM* buatan Marui & Co. Ltd Japan. Selama proses pembebanan, dicatat lendutan benda uji setiap penambahan beban dan saat benda uji hancur. Beban maksimum yang dicapai balok adalah beban yang diperhitungkan untuk menentukan kuat lentur beton.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Slump dan Berat Jenis Beton Kertas

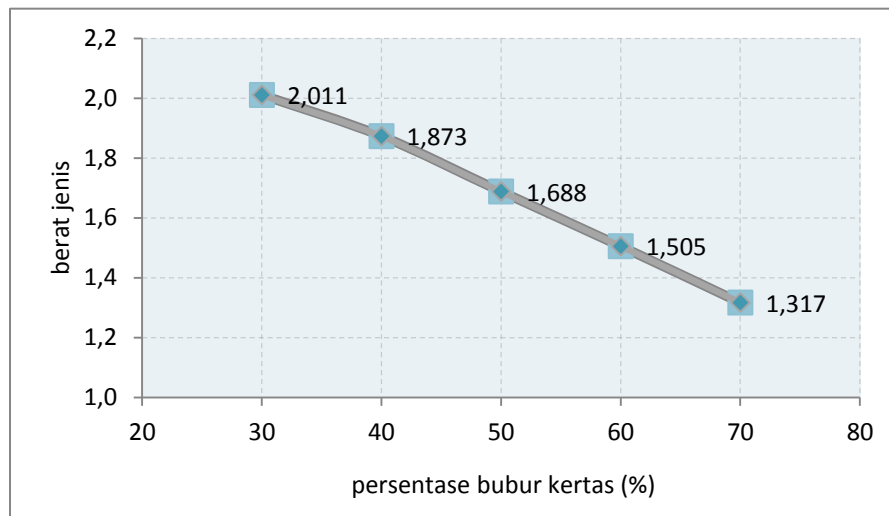
Pengujian slump yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemudahan pengerjaan (workabilitas) pengecoran beton. Persentase bubuk kertas terhadap nilai slump pada Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa semakin banyak kandungan kertas maka nilai slump akan semakin rendah sehingga workabilitas akan semakin rendah juga.



Gambar 2. Grafik Hubungan Persentase Bubur Kertas Terhadap Nilai Slump

Dari hasil tersebut didapat bahwa workabilitas paling rendah terjadi pada campuran beton kertas dengan penggunaan bubuk kertas sebesar 70% hal ini dikarenakan pengaruh bentuk permukaan kertas yang kasar sehingga bidang gelincirnya kecil. Pada proporsi 30-40% bidang gelincir masih cenderung kecil karena persentase bubuk kecil yang masih rendah dibandingkan dengan persentase pasir sehingga workabilitasnya masih besar.

Berdasarkan hasil pengukuran berat benda uji proporsi bubuk kertas dapat menurunkan berat volume beton kertas. Grafik perbandingan berat jenis dapat dilihat pada Gambar 2. Dapat dilihat bahwa semakin banyak bubuk kertas maka berat jenis beton kertas akan semakin rendah. Beton Kertas yang paling rendah berat jenisnya pada proporsi 70% bubuk kertas dan yang paling tinggi berat jenisnya pada proporsi 30% bubuk kertas.



Gambar 3. Grafik Hubungan Persentase Bubur Kertas Terhadap Berat Jenis

4.2 Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Kertas

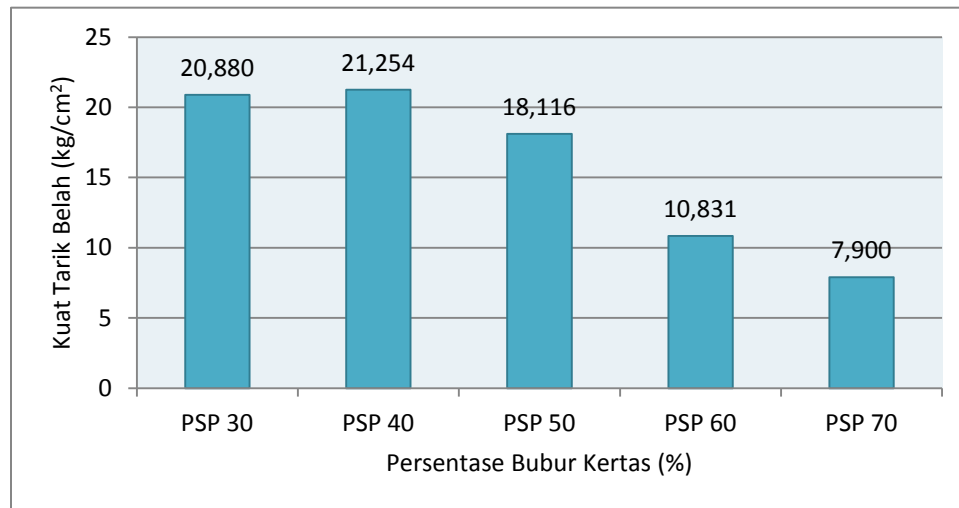
Hasil pengujian kuat tarik belah beton kertas menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tarik belah jika dibandingkan dengan beton normal pembanding seperti diperlihatkan pada Tabel 4.2 dan untuk persentase bubuk kertas yang paling optimal adalah sebesar 40% ($21,254 \text{ kg/cm}^2$). Hasil pengolahan data diperoleh nilai kuat tarik belah rata-rata untuk setiap persentase perbandingan penggunaan bubuk kertas terhadap pasir. Hasil tersebut digambarkan dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 4.3. Secara umum dapat dilihat bahwa, semakin besar penambahan proporsi bubuk kertas, semakin mempengaruhi menurunnya kuat tarik belah beton kertas. Penurunan kuat tarik belah beton kertas yang maksimal hanya 33,23% dari beton normal pembanding, yaitu pada proporsi bubuk kertas 40%.

Tabel 1 Perbandingan Kuat Tarik Belah Rata-rata Beton Kertas Terhadap Beton Normal tanpa kerikil

Mix Design	Kuat Tarik Belah (ft) Rata-rata (kg/cm^2)	Perbandingan Kuat Tarik Belah (ft) Rata-rata Terhadap Beton Normal Pembanding	
		(%)	Selisih (%)
PSP 0	31,834	100	-
PSP 30	20,880	65,589	-34,411
PSP 40	21,254	66,766	-33,234
PSP 50	18,116	56,909	-43,091
PSP 60	10,831	34,025	-65,975
PSP 70	7,900	24,816	-75,184

Keterangan:

PSP 0 : Beton normal pembanding

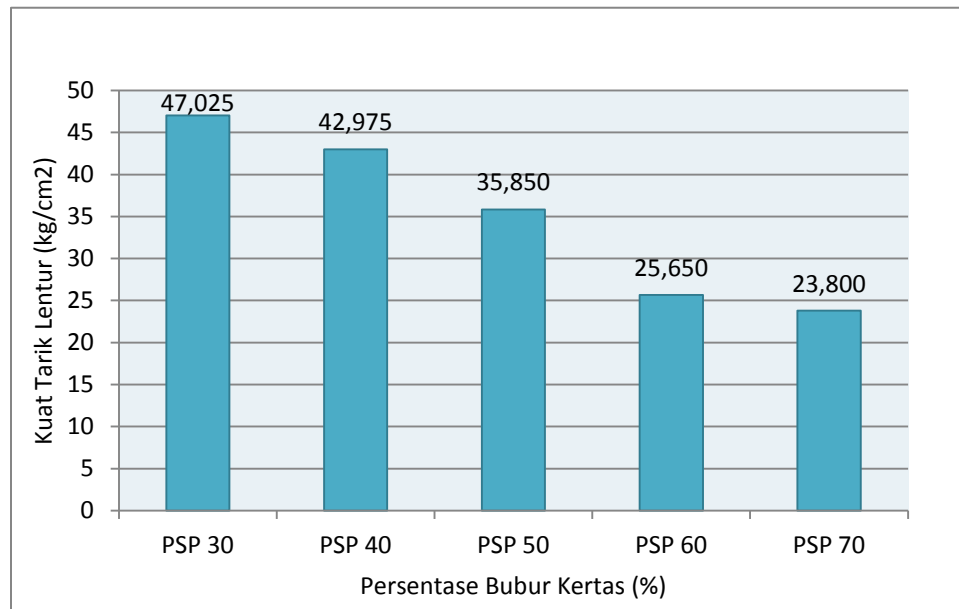


Gambar 4. Diagram Hubungan Persentase Bubur Kertas Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Kertas

Untuk hasil pengujian kuat tarik lentur beton kertas menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tarik lentur jika dibandingkan dengan beton normal pembanding seperti diperlihatkan pada Tabel 1 dan untuk persentase bubur kertas yang paling maksimal adalah sebesar 30% (47,025 kg/cm²).

Tabel 2. Perbandingan Kuat Tarik Lentur Rata-rata Beton Kertas Terhadap Beton Normal Tanpa Kerikil

Mix Design	Kuat Tarik lentur (fr) Rata-rata (kg/cm ²)	Perbandingan Kuat Tarik Lentur (fr) Rata-rata Terhadap Beton Normal Pembanding	
		(%)	Selisih (%)
PSP 0	68,925	100	-
PSP 30	47,025	68,226	-31,774
PSP 40	42,975	62,350	-37,650
PSP 50	35,850	52,013	-47,987
PSP 60	25,650	37,214	-62,786
PSP 70	14,043	20,374	-79,626



Hasil pengolahan data diperoleh nilai kuat tarik lentur rata-rata untuk setiap persentase perbandingan penggunaan bubuk kertas terhadap pasir. Hasil tersebut digambarkan dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 5. Secara umum dapat dilihat bahwa, semakin besar penambahan proporsi bubuk kertas semakin mempengaruhi menurunnya kuat tarik lentur beton kertas. Penurunan kuat tarik lentur beton kertas yang maksimal hanya 31,77% dari beton normal perbandingan, yaitu pada proporsi bubuk kertas 30%.

Dari kedua kondisi di atas, maka dapat dilihat bahwa penggunaan bubuk kertas sebagai pengganti pasir pada semua proporsi tidak mampu memberikan peningkatan pada kekuatan tarik belah dan tarik lentur beton kertas. Dimana capaian maksimum untuk kuat tarik lentur hanya 68,226% dan untuk kuat tarik belah hanya 66,765% dari kuat tarik lentur dan kuat tarik belah beton normal, dengan kata lain terjadi penurunan kekuatan antara 31-33% dari kekuatan beton normal perbandingan pada proporsi 30-40%.

5. KESIMPULAN

1. Semakin besar proporsi bubuk kertas semakin menurunkan kekuatan tarik belah dan lentur beton kertas. Penurunan minimal adalah 31-33% pada proporsi 30-40%
2. Proporsi bubuk kertas yang maksimal terhadap tarik belah beton kertas adalah 40% yaitu sebesar 21,254 kg/cm². Proporsi bubuk kertas yang maksimal terhadap kuat tarik lentur beton kertas adalah 30 % yaitu sebesar 47,025 kg/cm²
3. Penggunaan bubuk kertas pada proporsi 40-50 % memberikan berat jenis sebesar 1,882 dan 1,699 atau hanya 80,80 % dan 72,94 % dari beton normal perbandingan dengan berat jenis 2,329. Beton kertas pada proporsi 40% dan 50% dapat dikategorikan Beton Ringan dengan kekuatan menengah (*Moderate Strength Concrete*) dan dapat diaplikasikan pada bangunan sederhana (*non engineering building*).

6. SARAN

Disarankan untuk peneliti selanjutnya agar dapat memaksimalkan tentang pemilihan jenis kertas yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amri, S., 2005, Teknologi Beton A-Z, Yayasan John Hi-Tech Ideatama, Jakarta.
- [2] Anonim, 2004, Annual Book of ASTM Standard 2004, Section 4, Volume 04.02, Concrete and Aggregates, International Standards-Worldwide.
- [3] Hardiani H., dan Sugesty S, 2009, Manfaat Limbah Sludge Industri Kertas Cigaret Untuk Bahan Baku Bata Beton, Bandung.
- [4] Irvan, 2011, Pengaruh Substitusi Bubur Kertas Sebagai Campuran Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala , Banda Aceh.
- [5] Maidayani, 2009, Pengaruh Aditif Lateks Dan Komposisi Terhadap Karakteristik Beton Dengan Menggunakan Limbah Padat (Sludge) Industri Kertas, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [6] Mulyono, T., 2004, Teknologi Beton, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [7] Nawy, E. G., 1998, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, PT. Refika Aditama, Bandung.
- [8] Neville, A M., 1999, Properties of Concrete, Longman, London.
- [9] Rahmadhon, A., 2009, Susut Beton Kertas Pada Variasi Campuran, Universitas Sebelas Maret, Solo.
- [10] Sihombing, B., 2009, Pembuatan dan Karakterisasi Batako Ringan yang Dibuat dari Sludge (Limbah Padat) Industri Kertas – Semen, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [11] Subakti, A. 1995. Teknologi Beton Dalam Praktek Laboraturium Beton, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS, Surabaya.