

Pengaruh Campuran Abu Limbah Kertas dan Semen terhadap Sifat-Sifat Tanah Lempung

Herman^{1*}, Amalia, A.², Jefrinaldo AS³

^{1*}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang – 25143, Indonesia

^{2,3}Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang – 25143, Indonesia

Email: hermanmt58@gmail.com

Dikirim: 19 November 2018

Direvisi: 21 Januari 2019

Diterima: 17 April 2019

ABSTRAK

Salah satu permasalahan pada tanah dasar dalam melaksanakan konstruksi dilapangan adalah sifat kembang susut yang umumnya dimiliki oleh tanah lempung. Sudah banyak penelitian yang dilakukan dalam mengatasi permasalahan ini, penggunaan bahan semen dapat memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan bahan lain. Sebaliknya biaya pelaksanaan konstruksi menjadi lebih meningkat secara signifikan. Hal itu disebabkan karena harga semen yang relatif mahal. Pada penelitian ini dicoba mengganti sebagian semen dengan bahan abu limbah kertas, langkah ini diambil dengan harapan dapat memberikan hasil yang lebih baik. Penelitian yang dilakukan dengan menetapkan pemakaian 5% semen, kekurangan semen digantikan dengan abu limbah kertas. Penambahan abu kertas divariasikan, mulai dari 5%, 10% dan 15% terhadap berat kering tanah. Pengujian dilakukan terdiri dari uji sifat fisis dan uji sifat mekanis tanah lempung, baik tanah asli maupun tanah yang telah dicampur dengan 5% semen ditambah beberapa variasi persentase abu limbah kertas yang telah ditetapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan 5% semen ditambah berbagai variasi persentase abu limbah kertas di dalam tanah lempung, dapat memperbaiki sifat-sifat fisis tanah, yaitu dengan meningkatnya nilai batas plastis (PL), batas susut (SL) dan menurunnya nilai batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) tanah. Sifat-sifat mekanis tanah juga mengalami perbaikan yaitu dengan menurunnya nilai-nilai pengembangan dan tekanan pengembangan tanah, sedangkan nilai pemadatan dan kuat tekan bebas mengalami peningkatan pada 5% semen + 5% abu limbah kertas pada tanah, peningkatan persentase abu selanjutnya nilai-nilai ini cenderung menurun.

Kata kunci: signifikan, limbah, persentase, variasi

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang timbul dilapangan dalam pelaksanaan proyek terutama proyek pekerjaan jalan raya adalah ketidakstabilan tanah lempung. Tanah ini sangat rentan terhadap air tanah, jika terjadi hujan atau muka air tanah naik, tanah terendam dan jenuh akibatnya tanah mengembang dengan daya dukung yang sangat kecil, sebaliknya tanah akan mengalami penyusutan kembali seiring dengan menurunnya kadar air tanah akibat pengaruh panas matahari atau menurunnya muka air tanah. Perilaku tanah yang demikian dapat memberikan dampak yang merugikan terhadap konstruksi jalan di atasnya, seperti timbulnya retak-retak, bergelombang sampai terjadinya ambles pada permukaan jalan .

Sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tanah mengembang ini. Abu limbah kertas dan semen adalah dua dari sekian banyak bahan yang telah dicoba dalam penelitian dalam mengatasi ketidakstabilan tanah, hasilnya penggunaan bahan-bahan ini dalam menstabilisasi tanah lempung dapat memperbaiki sifat-sifat fisis dan sifat-sifat mekanis tanah. Semen memberikan perbaikan kepada tanah jauh lebih baik jika dibandingkan dengan abu limbah kertas. Sebaliknya pemakaian semen terlalu banyak dalam mengatasi permasalahan tanah lempung akan memakan biaya yang lebih besar, hal ini disebabkan karena harga semen yang relatif mahal. Berdasarkan dari permasalahan tersebut diatas, maka peneliti mencoba mengganti sebahagian semen dengan abu limbah kertas dengan harapan dapat memberikan hasil yang lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Keberadaan abu limbah kertas dalam tanah dapat meningkatkan nilai-nilai *specific gravity* (Gs), batas plastis (*PL*), batas susut (*SL*) dan kepadatan tanah, sedangkan nilai-nilai batas cair (*LL*), indeks plastisitas (*PI*), pengembangan dan tekanan pengembangan cenderung menurun (Herman dkk, 2018). Hasil uji tekanan pengembangan menunjukkan bahwa campuran semen type I pada tanah dengan masa perawatan 3 hari menunjukkan nilai pengembangan menurun, sedangkan nilai tekanan pengembangan terjadi peningkatan pada campuran 5% semen didalam tanah, dan pada penambahan persentase semen selanjutnya nilai ini cenderung konstan (Herman, 2017). Abu batu dan semen dapat meningkatkan daya dukung tanah, campuran 20% abu batu dan 15% semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan tanah (Waruwu, 2013).

Penggunaan abu cangkang sawit terhadap tanah lempung dapat meningkatkan nilai kuat tekan tanah, pencampuran 15% abu cangkang terhadap tanah dengan masa pemeraman 28 hari, dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas tanah sampai 329,16% dari nilai kuat tekan bebas tanah asli tanpa pemeraman (Kusuma dkk, 2015). Pada pengujian *direct shear* menunjukkan terjadi penambahan sudut geser tanah sebesar 1% terhadap tanah asli pada variasi 10% semen dan 6% *renolith* didalam tanah (Nur Kholis, dkk, 2018). Bahan semen dapat meningkatkan nilai CBR tanah, dengan nilai maksimum pada penambahan 20% semen terhadap tanah masa perawatan 3 hari (Andriani dkk, 2012). Semen juga dapat juga digunakan untuk menstabilisasi tanah lanau, kadar semen optimum untuk menstabilisasi tanah lanau adalah 8% sampai 10% (Wibjajakusuma dkk, 2010).

Hasil pengujian terhadap tanah yang telah dicampur dengan *fly ash* menunjukkan bahwa hasil stabilisasi tanah tergantung kepada engineering propertis tanah dasar dan kadar *fly ash* didalam sampel. Nilai CBR naik secara signifikan, kenaikan nilai tersebut sangat bergantung kepada kadar *fly ash* dan kadar air campuran (Jauhari dkk, 2013). Penggunaan 20% semen dalam hal menstabilisasi tanah, kuat geser tanah meningkat secara signifikan pada saat kondisi optimum dan sisi basah, namun penambahan semen pada sisi kering adalah 15% memberikan hasil terbaik. Peningkatan terbesar mencapai 687,82% pada kadar semen 20% untuk kondisi basah. Hasil uji *unconfined compression strength*, pada sisi kering, optimum, sisi basah, kuat geser tanah terbesar dicapai pada saat *curing time* mencapai 28 hari. Persentase optimum *fly ash* yang bisa digunakan pada sisi optimum dan sisi basah adalah 5% dan 10% untuk sisi kering berdasarkan uji kompaksi *modified* (Abadi, 2007).

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Padang. Tanah sebagai sampel diambil dari Kampung Melayu ± 700 m tepi kanan jalan Alai – Gunung Panggilun. Bahan limbah kertas dipakai adalah kertas HVS bekas pekerjaan administrasi pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Padang, dan pembakarannya dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Institut Teknologi Padang dengan suhu ± 700°C. Semen yang digunakan adalah semen type I ex PT. Semen Padang. Persentase penambahan abu limbah kertas adalah (5%, 10% dan 15%) + 5% semen dari berat kering tanah dengan kondisi tanah terganggu, masa pemeraman ditetapkan 3 hari. Adapun peralatan yang digunakan adalah:

- 1) Satu set saringan standar ASTM D421-58 dan hidrometer ASTM D422-63
- 2) Satu set alat ukur gravitas khusus ASTM D8554-58
- 3) Alat uji batas *konsistensi* ASTM D423-66, D424-59 dan D427-61
- 4) Alat pemadat standar ASTM D698-78
- 5) Satu set alat uji pengembangan (swelling) dengan alat oedometer ASTM D4546-90
- 6) Satu set alat uji tekan bebas ASTM D2166-91
- 7) alat-alat bantu yang terdiri dari *oven*, timbangan dengan ketelitian 0,01, *stop watch*, *termometer*, gelas ukur 1000 ml, *desicator*, cawan, *picnometer*.

Pengujian dilaksanakan terhadap tanah asli, abu limbah kertas, dan tanah yang telah dicampur dengan berbagai variasi persentase abu limbah kertas + 5% semen. Pengujian dilakukan dengan cara dan metode yang sama. Hasil pengujian dari masing-masing kondisi disajikan dalam bentuk tabelaris. Ini dilakukan untuk memudahkan dalam analisis. Jenis pengujian dan jumlah sampel seperti pada Tabel 1 untuk uji sifat fisis dan Tabel 2 untuk uji sifat mekanis.

Tabel 1. Jenis uji sifat fisis

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel
1	Kadar air	2
2	Berat Jenis (Gs)	6
3	Batas Cair (LL)	4
4	Batas Plastis (PL)	4
5	Batas Susut (SL)	4
6	Uji saringan dan Hidrometer	4

Tabel 2. Jenis uji sifat mekanis

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel
1	Pemadatan	4
2	Uji pengembangan dan Tekanan pengembangan	4
3	Kuat tekan bebas	4

Pengujian dimulai dengan pemeriksaan sifat fisis tanah asli, abu limbah kertas dan semen, setelah itu dilanjutkan dengan pemeriksaan sifat mekanis tanah asli. Pengujian dilanjutkan dengan uji sifat fisis dan uji sifat mekanis tanah yang telah dicampur berbagai variasi persentase abu limbah kertas + 5% semen. Pengujian sifat mekanis (pengembangan, tekanan pengembangan, tekan bebas) dilakukan pada tanah yang telah dipadatkan dengan kadar air optimum (w_{opt}), dengan masa perawatan 3 hari. Untuk lebih jelasnya prosedur pengujian dapat dilihat pada bagan alir penelitian Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengujian

Hasil pengujian yang diperoleh dapat dikelompokkan;

- Hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah asli
- Hasil pengujian berat jenis semen dan abu limbah kertas
- Hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah yang telah dicampur abu limbah kertas dan semen

3.1.a Hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah asli

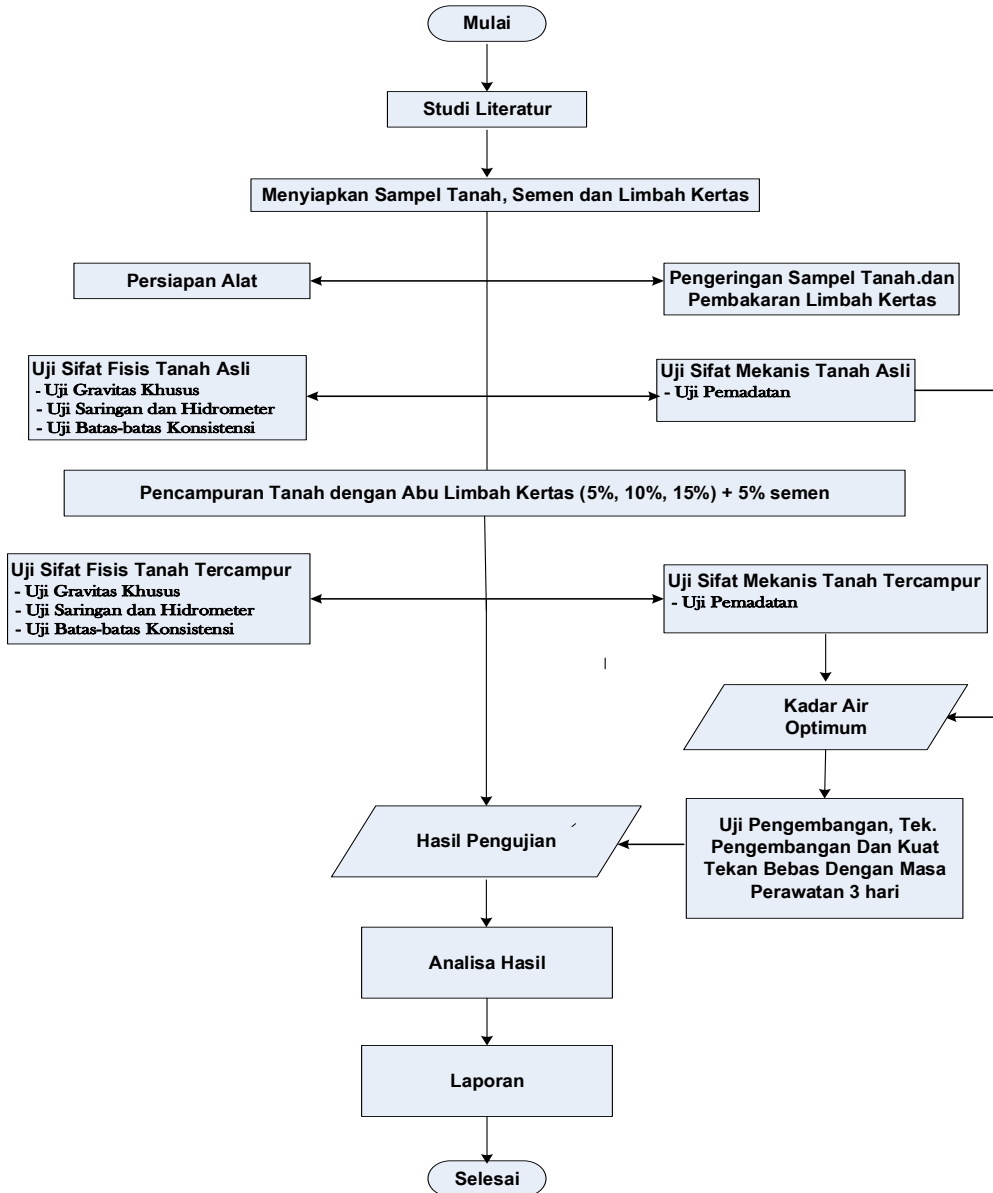
Hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah asli dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4

Tabel 3. Hasil uji sifat fisis tanah asli

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1	Kadar Air Lapangan	66,69 %
2	Gravitas Khusus	2,62
3	Batas Cair (LL)	68,50 %
4	Batas Plastis (PL)	39,05 %
5	Batas Susut (SL)	33,75 %
6	Indeks Plastisitas (PI)	29,45 %
7	Lolos Saringan no. 200	92,96 %

Tabel 4. Hasil uji sifat mekanis tanah asli

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Kering Maksimum	1,23 gr/cm ³
2	Kadar air optimum	31,44 %
3	Pengembangan	0,67 %
4	Tekanan Pengembangan	325 kPa
5	Kuat tekan bebas	1,46 kg/cm ²



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3.1.b Hasil pengujian abu limbah kertas dan semen

Pengujian yang dilakukan terhadap bahan abu kertas dan semen dilakukan terbatas pada pengujian berat jenis saja, hal ini dilakukan karena kedua bahan ini berfungsi hanya sebagai bahan tambahan. Besarnya nilai berat jenis untuk kedua bahan tersebut seperti Tabel 5.

Tabel 5. Besarnya nilai Berat Jenis (Gs)

No.	Jenis Bahan	Nilai
1	Abu limbah kertas	2,71
2	Semen	2,54

3.1.c Hasil pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah yang telah dicampur dengan abu limbah kertas dan semen

Hasil uji sifat fisis maupun sifat mekanis dari tanah yang telah dicampur dengan berbagai variasi persentase abu limbah kertas + 5% semen seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Uji Sifat Fisis Tanah Yang Telah Dicampur Abu Limbah Kertas + 5% Semen

No	Jenis Pengujian	% abu limbah kertas + 5% semen		
		5 % Abu	10 % abu	15% abu
1	Gravitas Khusus (G_s)	2,62	2,63	2,63
2	Batas Cair (LL)	67,79 %	67,14 %	67,11 %
3	Batas Plastis (PL)	40,29 %	41,87 %	47,93 %
4	Batas Susut (SL)	33,76 %	34,96 %	36,42 %
5	Indeks Plastisitas (PI)	27,50 %	25,27 %	19,18%
6	Lolos Saringan no. 200	85,90 %	82,10 %	81,26 %

Tabel 7. Hasil Uji Sifat Mekanis Tanah Yang Telah Dicampur Abu Limbah Kertas + 5% Semen

No	Jenis Pengujian	% abu limbah kertas + 5% semen		
		5 %	10 %	15 %
1	Berat Volume Kering Maks (γ_d maks)	1,27 gr/cm ³	1,25 gr/cm ³	1,24 gr/cm ³
2	Kadar Air Optimum (w_{opt})	18,99 %	20,76 %	24,98 %
3	Pengembangan	0,27 %	0,23 %	0,22 %
4	Tekanan Pengembangan	240 kPa	185 kPa	130 kPa
5	Kuat tekan bebas	3,24 kg/cm ²	2,73 kg/cm ²	1,85 kg/sm ²

3.2 Tanah Asli

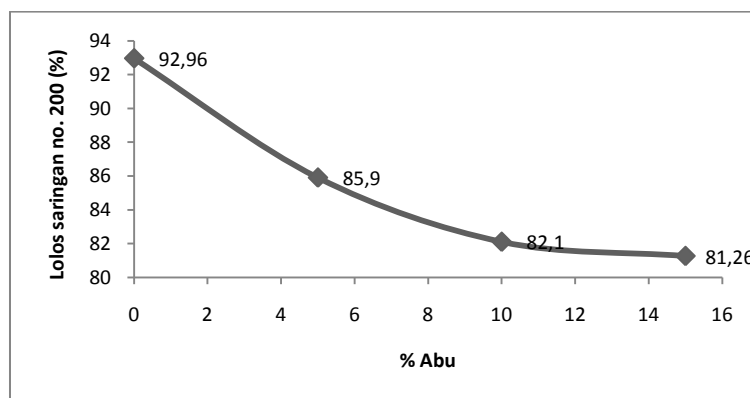
Butiran lolos saringan no. 200 adalah 92,96 % > 50 %, menurut *Unified Soil Clasification System (USCS)*, tanah termasuk jenis tanah berbutir halus. Nilai batas cair (LL) 68,50 % > 50 % menunjukkan tanah termasuk lempung atau lanau dengan plastisitas tinggi. Jika dilihat nilai PI adalah 29,45 % dan apabila nilai LL dan PI diplot pada kurva plastisitas *USCS*, maka tanah mendekati CH atau lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Menurut *AASHTO*, tanah ini termasuk tanah berbutir halus (lolos saringan no.200 > 35%), sedangkan $LL > 41\%$, $PL > 30\%$, dan $PI > 11\%$, maka tanah termasuk kelompok A-7-5. Jika dihitung nilai indeks kelompok (GI) diperoleh 35, sehingga tanah adalah **A-7-5 (35)**. Yaitu tanah yang tidak baik jika dijadikan tanah dasar (terutama dalam pembuatan jalan raya).

3.3 Karakteristik tanah yang telah dicampur abu limbah kertas dan semen

Pencampuran abu limbah kertas dan semen pada tanah, mempengaruhi nilai-nilai pada sifat fisis dan sifat mekanis dari tanah lempung, pada pencampuran 15% abu limbah kertas + 5% semen terhadap tanah, nilai $LL = 67,11\%$ dan $PI = 19,18\%$, sementara lolos saringan no. 200 adalah 81,26. Dilihat dari *USCS*, tanah masuk dalam kelompok MH (*USCS*) dan **A-7-5 (22)** (*AASHTO*). Dari uraian ini, abu kertas dan semen dapat memperbaiki tanah, dimana dari lempung dengan plastisitas tinggi meningkat menjadi lanau dengan plastisitas tinggi (*USCS*), sedangkan nilai indeks kelompok tanah menurun dari nilai 35 turun menjadi 22 (*AASHTO*).

Butiran Lolos Saringan no. 200

Pencampuran abu limbah kertas dan semen pada tanah, dapat mengurangi butiran halus atau butiran yang lolos saringan no 200 terlihat pada Gambar 2.

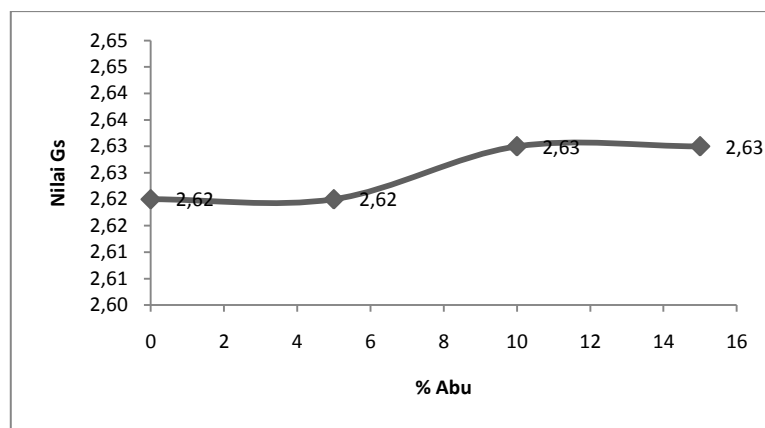


Gambar 2. Pengaruh campuran abu kertas + 5% semen terhadap butiran lolos saringan no. 200

Gambar kurva menunjukkan, pencampuran abu limbah kertas dan semen dengan masa pemeraman 3 hari pada tanah, dapat mengurangi % butiran yang lolos saringan no. 200. Pada penambahan 15% abu limbah kertas + 5% semen, lolos saringan no.200 adalah 81,26%, jika dibandingkan dengan persentase lolos saringan no. 200 tanah asli 92,96%, terjadi penurunan sebesar 11,70% atau 12,59% dari nilai persentase lolos saringan no.200 tanah asli. Hal ini menunjukkan bahwa dalam perawatan selama tiga hari, terjadi ikatan antar butiran tanah akibat pengaruh abu limbah kertas dan semen sehingga butiran tanah menjadi lebih kasar.

Specific Gravity (Gs)

Keberadaan abu limbah kertas dan semen didalam tanah dapat meningkatkan nilai *specific gravity* (Gs) tanah, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar kurva menunjukkan, bahwa semakin meningkat persentase abu limbah kertas dan 5% semen dalam tanah, nilai *specific gravity* tanah meningkat. *Specific gravity* tanah asli sebesar 2,62, pada 15% abu limbah kertas + 5% semen dalam tanah, nilai ini meningkat menjadi 2,63. Terjadi peningkatan sebesar 0,01 atau 0,38% dari nilai *specific gravity* tanah asli. Meningkatnya nilai ini disebabkan oleh karena nilai *specific gravity* abu limbah kertas lebih besar dari nilai *specific gravity* tanah.



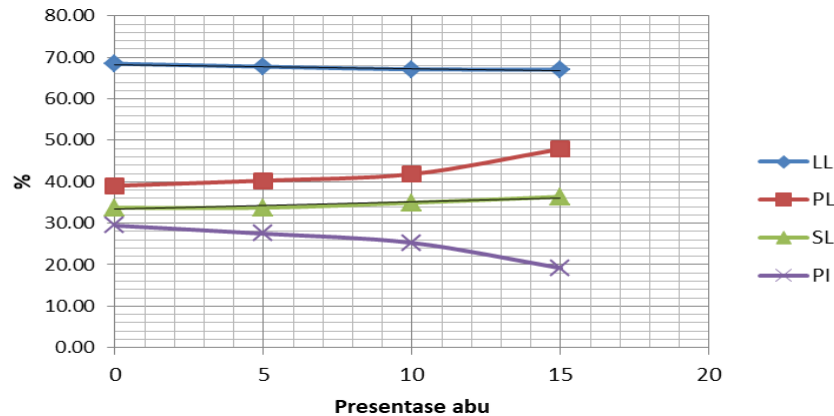
Gambar 3. Pengaruh campuran abu kertas + 5% semen terhadap nilai *specific gravity* (Gs) tanah

Batas-batas Atterberg

Hasil uji batas-batas *Atterberg* yang terdiri dari uji batas cair (*LL*), batas plastis (*PL*) batas susut (*SL*) dan indeks plastisitas (*PI*) seperti pada kurva dibawah ini Gambar 4. Pada kurva terlihat bahwa nilai batas plastis (*PL*) dan nilai batas susut (*SL*) meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan abu limbah kertas didalam tanah, sedangkan nilai-nilai batas cair (*LL*) dan indeks plastis (*PI*) cenderung menurun. Pada persentase 15% abu limbah kertas + 5% semen didalam tanah, nilai batas plastis (*PL*) 47,93%, jika dibandingkan dengan nilai batas plastis (*PL*) tanah asli 39,05%, terjadi peningkatan sebesar 8,88% atau 22,74% dari nilai batas plastis (*PL*) tanah asli, nilai batas susut (*SL*) tanah asli 33,75% meningkat menjadi 36,42% pada pencampuran 15% abu limbah kertas + 5% semen. Terjadi penambahan sebesar 2,67% atau 7,91% dari nilai batas susut (*SL*) tanah asli. Sebaliknya nilai batas cair (*LL*) tanah asli sebesar 68,50%. Pada pencampuran 15% abu limbah kertas dan 5% semen, nilai ini menjadi 67,11%, terjadi penurunan sebesar 1,39%, atau 2,03% dari nilai batas cair (*LL*) tanah asli. Nilai indeks plastis (*PI*) 29,45%, pada pencampuran 15% abu + 5% semen dalam tanah, nilai ini menjadi 19,18%, terjadi penurunan sebesar 10,27% atau 34,87% dari nilai indeks plastis (*PI*) tanah asli.

Menurunnya nilai batas cair (*LL*) tanah disebabkan oleh karena persentase butiran kasar (tertahan saringan no. 200) meningkat, akibatnya luas permukaan butiran berkurang. Hal ini disebabkan terjadinya sementasi antar partikel tanah oleh semen dan abu. Akibatnya serapan air melalui permukaan butiran juga berkurang. Berkurangnya penyerapan air mengindikasikan turunnya nilai batas cair (*LL*) tanah, disamping itu keberadaan semen dan abu limbah kertas dapat mengurangi ikatan antar butiran tanah melalui air serapan. Menurunnya sifat plastisitas tanah ini menyebabkan tanah lebih banyak membutuhkan air untuk mempertahankan keplastisitasnya, sehingga nilai batas plastis (*PL*) meningkat. Meningkatnya nilai batas plastis (*PL*) dan menurunnya nilai batas cair (*LL*) mengakibatkan nilai indeks plastisitas (*PI*) tanah juga menurun. Bertambah besarnya ukuran butir tanah mengakibatkan penyusutan tanah berkurang akibat

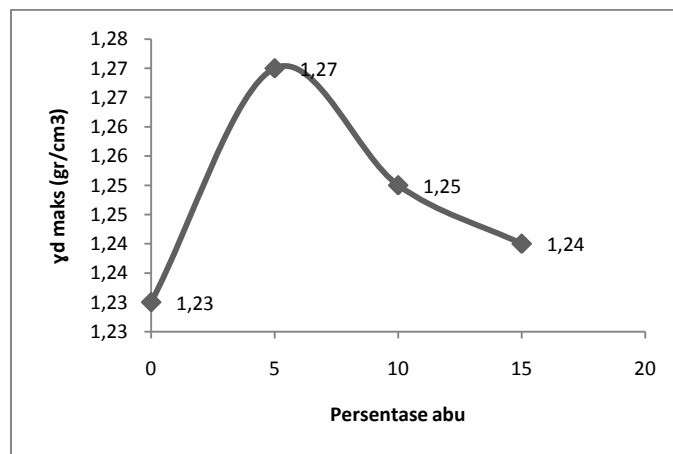
pengaruh kadar air, dan tanah menjadi lebih stabil. Hal ini menggambarkan meningkatnya nilai batas susut (*SL*) tanah, karena tanah yang penyusutannya lebih kecil akan cenderung mempunyai nilai batas susut (*SL*) yang lebih besar.



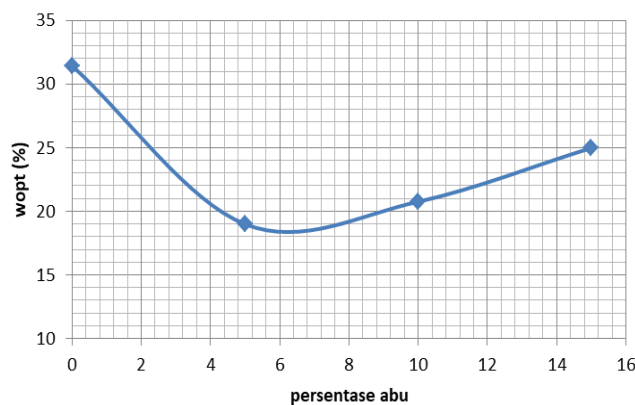
Gambar 4. Pengaruh campuran abu kertas + 5% semen terhadap nilai batas-batas Atterberg tanah

Pemadatan

Hasil uji pemadatan tanah ditunjukkan oleh nilai-nilai berat kering maksimum (γ_d maks) dan kadar air optimum (w_{opt}) tanah. Pengaruh persentase abu limbah kertas ditambah 5% semen terhadap nilai-nilai tersebut diatas seperti Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Pengaruh campuran abu kertas dan 5% semen terhadap nilai berat kering maksimum (γ_{dmaks}) tanah



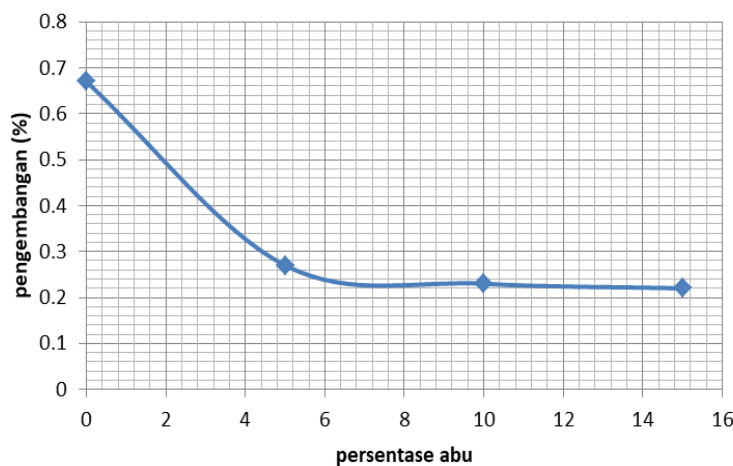
Gambar 6. Pengaruh campuran abu kertas dan 5% semen terhadap nilai kadar air optimum (w_{opt})

Dari kurva terlihat bahwa saat pencampuran 5% abu limbah kertas + 5% semen didalam tanah, nilai kepadatan meningkatan, pada penambahan abu limbah kertas selanjtnya, nilai ini cenderung menurun. Sebaliknya kadar air optimum mengalami penurunan saat tanah dicampur dengan 5% abu limbah kertas + 5% semen, pada penambahan abu limbah kertas selanjutnya, nilai kadar air optimum ini meningkat.

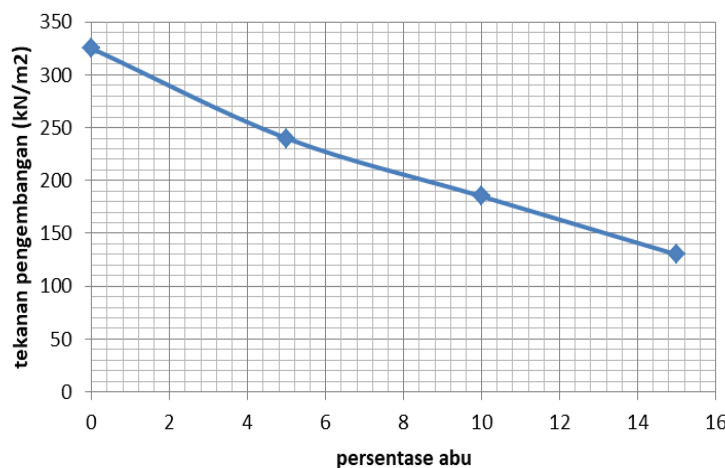
Pada kandungan 5% abu limbah kertas + 5% semen didalam tanah, nilai kepadatan $1,27 \text{ gr/cm}^3$, jika dibandingkan dengan kepadatan tanah asli $1,23 \text{ gr/cm}^3$, terjadi peningkatan sebesar $0,04 \text{ gram/cm}^3$ atau 3,25% dari nilai kepadatan tanah asli. Meningkatnya kepadatan tanah pada awalnya disebabkan oleh rongga yang tadinya terisi oleh air, sekarang sebahagian ditempati oleh butiran. Akibatnya rongga mengecil dan butiran semakin rapat. Mengecilnya rongga pori mengakibatkan sebagian air keluar dari rongga, sehingga nilai kadar air optimum menurun. Nilai kadar air saat 5% abu limbah kertas + 5% semen adalah 18,99%, jika dibandingkan dengan nilai yang sama pada tanah asli 31,44%, terjadi penurunan sebesar 12,45% atau 39,60% dari kadar air optimum tanah asli. Peningkatan persentase abu limbah kertas selanjutnya, nilai kadar air optimum meningkat dan kepadatan menurun. Meningkatnya nilai kadar air optimum ini disebabkan karena pengaruh serapan air oleh abu. Peningkatan kadar air juga menambah keberadaan rongga dalam tanah, ini berdampak kepada menurunnya kepadatan tanah .

Nilai Pengembangan dan Tekanan Pengembangan tanah

Hasil uji Pengembangan dan Tekanan Pengembangan dengan menggunakan alat Oedometer dari tanah yang telah dicampur dengan berbagai variasi persentase abu limbah kertas dan 5% semen dengan masa perawatan 3 hari seperti Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh campuran abu kertas dan 5% semen terhadap nilai pengembangan tanah

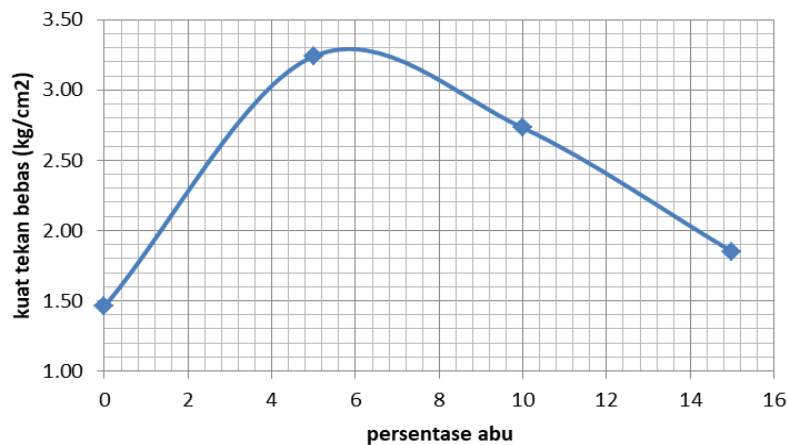


Gambar 8. Pengaruh campuran abu kertas dan 5% semen terhadap nilai tekanan pengembangan tanah

Dari kurva diperoleh bahwa nilai pengembangan tanah pada 15% abu + 5% semen dengan perawatan 3 hari adalah 0,22%, jika dibandingkan dengan nilai pengembangan tanah asli 0,67%, terjadi penurunan sebesar 0,45% atau 67,16% dari nilai pengembangan tanah asli. Sedangkan nilai tekanan pengembangan 130 kPa, jika dibandingkan dengan nilai tekanan pengembangan tanah asli 325 kPa, terjadi penurunan sebesar 195 kPa atau sebesar 60% dari nilai tekanan pengembangan tanah asli. Menurunnya nilai pengembangan dan tekanan pengembangan ini disebabkan oleh karena keberadaan abu limbah kertas dan semen didalam tanah dapat menurunkan nilai batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas tanah (*PI*) tanah. Disamping itu dengan masa perawatan 3 hari, dari uji saringan menunjukkan adanya ikatan yang terjadi antar butiran tanah yaitu dengan berkurangnya butiran yang lolos saringan no. 200, sehingga tanah menjadi lebih stabil.

Nilai Kuat Tekan Bebas

Nilai kuat tekan bebas pada penambahan 5% abu limbah kertas + 5% semen didalam tanah, terjadi peningkatan dari nilai kuat tekan bebas. Pada kondisi ini nilai kuat tekan bebas 3,24 kg/cm², jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan bebas tanah asli 1,46 kg/cm², terjadi peningkatan sebesar 1,78 kg/cm² atau 121,92% dari nilai kuat tekan bebas tanah asli seperti Gambar 9. Seiring dengan peningkatan persentase abu limbah kertas selanjutnya, nilai kuat tekan bebas ini menurun. Hal ini disebabkan oleh kondisi kepadatan tanah. Pada campuran 5% abu limbah kertas + 5% semen, nilai kepadatan tanah meningkat. Pada peningkatan kadar abu limbah kertas selanjutnya nilai kepadatan menurun.



Gambar 9. Pengaruh campuran abu kertas dan 5% semen terhadap nilai kuat tekan bebas tanah

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa keberadaan abu limbah kertas dan semen dalam tanah dapat memperbaiki sifat-sifat fisis dan sifat-sifat mekanis tanah antara lain:

- Klasifikasi tanah membaik, dari kelompok "Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (*CH*), menjadi Lanau anorganik dengan plastisitas tinggi (*MH*)" menurut (*USCS*), dan dari A-7-5(35) menjadi A-7-5(22) menurut (*AASHTO*) pada pencampuran 15% abu limbah kertas + 5% semen terhadap tanah.
- Dari sifat-sifat fisis tanah, nilai batas cair (*LL*), indeks plastisitas (*PI*) menurun. Persen lolos saringan no. 200 dengan masa perawatan 3 hari juga menurun. Sebaliknya nilai *specific gravity* (*G_s*), batas plastis (*PL*), batas susut (*SL*) meningkat. Nilai batas cair (*LL*) turun 2,03% , indeks plastisitas (*PI*) turun 34,87%, persen lolos saringan no. 200 turun 12,59%, nilai *specific gravity* (*G_s*) meningkat 0,38%, batas plastis (*PL*) meningkat 22,74%, nilai batas susut (*SL*) meningkat 7,91% terhadap tanah asli.
- Ditinjau dari sifat-sifat mekanis, kepadatan tanah, nilai kuat tekan bebas dari tanah meningkat, sedangkan nilai-nilai kadar air optimum (w_{opt}), pengembangan, tekanan pengembangan cenderung menurun. Hasil yang terbaik yang diperoleh pada penelitian ini adalah pada 5% abu limbah kertas + 5% semen dalam tanah. Nilai kepadatan tanah (γ_d) meningkat 3,25%, kuat tekan bebas meningkat

121,92%, kadar air optimum (w_{opt}) turun 39,60%, pengembangan turun 67,16% dan tekanan pengembangan turun 60% terhadap tanah asli.

4.2. Saran

Pada penelitian ini, masa perawatan yang dilaksanakan adalah 3 hari. Perlu penelitian lain dengan masa perawatan melebihi 3 hari.

- 1 Uji sifat mekanis yang dilaksanakan terbatas pada uji pemadatan, uji pengembangan / tekanan pengembangan dan uji tekan bebas. Pengujian ini bisa dikembangkan dengan pengujian sifat-sifat mekanis yang lain.
- 2 Perlu kiranya pemeriksaan lebih mendalam terhadap bahan abu limbah kertas, untuk mengetahui kandungan kimia dari abu limbah kertas.
- 3 Agar penelitian lebih bervariasi, perlu kiranya mencoba dengan 10% kadar semen didalam tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1992, *Annual Book of ASTM Standarts*, Section 4, Volume 04 08, Philadelphia, USA
- Abadi TC, 2007 "Perbandingan Hasil Stabilisasi Dengan *Fly Ash* Dan Semen Pada Tanah *Ekspansif* Cikampek" *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Vol. 7, No. 2 tahun 2007
- Andriani dkk, 2012 "Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lumbang Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah", *Jurnal Rekayasa Sipil Volume 8 No. 1*, Februari 2012.
- Das, B.M, 1998, "*Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C, 2012, *Mekanika Tanah I dan II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Herman, 2017 "Kajian efektifitas semen terhadap perbaikan perilaku lempung sebagai tanah dasar infrastruktur jalan", *Prosiding Seminar Nasional SPI-3 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Padang*, 2017.
- Herman, Sari OP, 2018 "Pengaruh Penambahan Abu Limbah Kertas Terhadap Kembang Susut Tanah Lempung", *Jurnal Teknik Sipil ITP Vol. 5 No.1 Januari 2018*
- Jauhari Z. Dkk, 2013 "Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*) Untuk Bahan Stabilisasi Tanah Dasar Konstruksi Jalan Yang Ramah Lingkungan", *Jurnal Teknik Global Fakultas Teknik UIGM Vol. II No. 1*, Desember 2013 (hal. 57 – 63)
- Kusuma RI, dkk., 2015 "Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menggunakan Abu Sawit Terhadap Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Desa Cibeulah, Pandeglang)", *Jurnal Pondasi, Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Volume 4 Nomor 2 Tahun 2015*.
- Nur Kholis, dkk, 2018 "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Renolith", *Jurnal BENTANG Teknik Sipil Universitas Islam 45 Bekasi vol. 6 no. 1 Januari 2018*.
- Waruwu, A. 2013 "Korelasi Nilai Kuat Tekan dan CBR Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Abu Batu Dan Semen, *Jurnal Rancang Sipil Vol. 2, No. 2 Desember 2013*
- Widjajakusuma J., dkk, 2010 "Peningkatan Kekuatan Tanah Lanau Dengan Campuran Semen", *Konferensi Nasioanal Teknik Sipil 4 (KoNTekS4) Sanur-Bali, 2 – 3 Juni 2010*.