

PENGARUH KADAR SERAT TANAH GAMBUT TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BEBAS (UCS) PADA STABILISASI MENGGUNAKAN SEMEN DAN SEMEN + FILLER: TINJAUAN PUSTAKA SISTEMATIS

Vitania Choirunnisa Rinarta*, Maria Pinkan Tatajelita, Niken Silmi Surjandari

Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: choirunnisavitania@gmail.com

Abstrak

Tanah gambut memiliki daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, dan kandungan organik lebih dari 75% sehingga memerlukan perbaikan sebelum dapat digunakan untuk konstruksi. Stabilisasi kimia dengan semen dan material pengisi telah banyak diterapkan, namun pengaruh kadar serat gambut terhadap peningkatan nilai kuat tekan bebas belum banyak dikaji secara sistematis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kadar serat tanah gambut dengan peningkatan nilai kuat tekan bebas pada stabilisasi menggunakan *binder* murni semen maupun *binder* semen dengan material pengisi, serta menjelaskan faktor penyebab perbedaan efektivitas tersebut. Penelitian ini menggunakan metode tinjauan pustaka sistematis dengan pencarian artikel pada basis data Scopus, ResearchGate, Crossref, dan Google Scholar. Dari 65 artikel awal, diterapkan kriteria inklusi dan eksklusi serta penilaian kualitas sehingga diperoleh 18 penelitian yang memenuhi syarat untuk dianalisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar serat tanah gambut, semakin besar peningkatan nilai kuat tekan bebas yang dicapai. Pada stabilisasi dengan *binder* murni semen, peningkatan tertinggi terjadi pada gambut Fibrik sebesar 2524%, diikuti Hemik sebesar 1159%, dan terendah pada Saprik sebesar 590%. Pada stabilisasi dengan *binder* semen dan material pengisi, pola serupa juga terlihat dengan peningkatan tertinggi pada gambut Fibrik sebesar 2840%, diikuti Hemik sebesar 1213%, dan Saprik sebesar 519%. Faktor utama penyebab perbedaan ini adalah struktur serat gambut Fibrik yang utuh dan berongga berfungsi sebagai tulangan alami serta kadar asam humat dan fulvat yang tinggi pada gambut Saprik yang menghambat reaksi hidrasi semen dan pembentukan C-S-H.

Kata kunci: kadar serat, kuat tekan bebas, stabilisasi kimia, tanah gambut, tinjauan pustaka sistematis

Abstract

Peat soil has low bearing capacity, high compressibility, and organic content exceeding 75%, necessitating improvement before construction use. Chemical stabilization with cement and filler materials has been widely applied. However, the effect of fiber content on the unconfined compressive strength (UCS) has not been systematically reviewed. This study aims to analyze the relationship between peat fiber content and the UCS increase using pure cement binders and cement with fillers, as well as to explain the factors causing differences in stabilization effectiveness. This study employed a systematic literature review method, searching articles on Scopus, ResearchGate, Crossref, and Google Scholar databases. From 65 initial articles, inclusion and exclusion criteria and quality assessment were applied, resulting in 18 studies eligible for analysis. The results showed that the higher the fiber content, the greater the UCS increase. In stabilization using pure cement binders, the highest UCS increase occurred in Fibric peat (2524%), followed by Hemic peat (1159%), and the lowest in Sapric peat (590%). In stabilization using cement with fillers, a similar pattern was observed, with the highest increase in Fibric peat (2840%), followed by Hemic peat (1213%), and Sapric peat (519%). The main factors causing these differences are the intact and hollow fiber structure of Fibric peat acting as natural reinforcement and the high humic and fulvic acid content in Sapric peat, which inhibits cement hydration reactions and C-S-H formation.

Keywords: fiber content, peat soil, systematic literature review, unconfined compressive strength, chemical stabilization

1. PENDAHULUAN

Tanah gambut adalah jenis tanah yang terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang terurai di kondisi anaerob dan jenuh air seperti rawa atau lahan basah. Tanah gambut tergolong sangat buruk untuk konstruksi karena kadar air dan angka pori yang sangat tinggi dengan kandungan organik lebih dari 75% [Andriesse, 1988], sehingga menghasilkan nilai kompresibilitas tinggi, kemampuan remas yang besar, dan kuat geser rendah. [Deboucha dkk., 2008] Kondisi tersebut menyebabkan timbulnya penurunan berlebih ketika dibebani struktur

dan kegagalan daya dukung pada fondasi. Tanah gambut tersebar sangat luas, mencapai sekitar 30 juta hektar di permukaan bumi [Adon dkk., 2012].

Penanganan yang umum dilakukan adalah dengan membuang lapisan gambut dan menggantinya dengan material yang lebih sesuai. Pada daerah dengan akses transportasi material yang terbatas, metode tersebut menjadi kurang efisien dari segi waktu dan biaya. Dalam kondisi demikian, metode stabilisasi tanah lebih sering dipilih sebagai alternatif dibandingkan dengan penggantian tanah. Abu Talib (2025) telah membuktikan bahwa penggunaan semen sebagai stabilisator secara signifikan mampu meningkatkan parameter kekuatan tanah gambut. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat utama (*main binder*).

Wahab dkk. (2023) menyimpulkan bahwa ketika semen dicampur dengan air, terjadi reaksi hidrasi yang menghasilkan senyawa-senyawa terhidrasi. Salah satu reaksi penting adalah pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H). Senyawa C-S-H ini berperan sebagai perekat yang mengikat partikel-partikel tanah gambut sehingga membentuk struktur yang lebih padat dan stabil. Fungsi semen tidak terbatas pada *binder* utama; berbagai penelitian telah mengombinasikan semen dengan material pozzolan atau *filler* untuk meningkatkan efektivitas stabilisasi sekaligus mengurangi penggunaan semen. Material pozzolan yang umum digunakan dalam stabilisasi tanah gambut antara lain *Sugarcane Bagasse Ash*/abu tebu (SCBA), *Rice Husk Ash*/abu sekam padi (RHA), *fly ash*/abu terbang, dan *quarry dust*/debu tambang. Pengelompokan gambut diuraikan dalam Tabel 1 (ASTM D4427,1992).

Tabel 1. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan ASTM D 4427-92

Jenis	Simbol	Kandungan Serat	Deskripsi dan warna
Fibrik/berserat	Pt f	>67 %	Sebagian besar tidak terdekomposisi, biasanya berwarna cokelat terang hingga cokelat kemerahan terang
Hemik/terdekomposisi sedang	Pt h	33% - 67%	Tingkat dekomposisi sedang, kadar organik dan kepadatan curah sedang, berwarna cokelat kemerahan gelap
Saprik/amorf	Pt a	<33 %	Sangat terdekomposisi dengan kadar organik dan kepadatan curah tertinggi. Warnanya lebih gelap daripada gambut fibrik atau hemik

*Sumber: ASTM D 4427-92

Semakin tinggi kadar serat pada gambut, semakin mudah distabilisasi karena serat yang lebih tinggi memberikan struktur tanah yang lebih padat dan lebih terorganisir, memungkinkan ikatan kimia yang lebih kuat terbentuk antara tanah dan *binder* seperti semen atau pozzolan. Serat ini menyediakan lebih banyak permukaan untuk berinteraksi dengan *binder*, meningkatkan efektivitas stabilisasi. Sebaliknya, pada gambut saprik, yang memiliki kadar dekomposisi tinggi, seratnya telah hancur menjadi bentuk amorf seperti pasta atau lumpur organik. Kondisi ini mengurangi kemampuan gambut untuk berinteraksi dengan *binder* karena struktur tanah yang sudah rusak dan tidak bisa lagi membentuk ikatan kuat. Selain itu, kadar asam humat dan fulvat yang tinggi pada gambut saprik dapat menetralkan reaksi hidrasi semen, menghambat pembentukan ettringit dan C-S-H, yang sangat penting dalam peningkatan UCS. [Wahab dkk., 2023].

Tabel 2. Rekapitulasi Penelitian Terdahulu tentang Stabilisasi Tanah Gambut

Judul	Jenis Pengujian	Kajian Utama	Keterbatasan
A Study of the Strength Performance of Peat Soil: A Modified Cement-Based Stabilisation (Radwan et al., 2021)	UCS, <i>California Bearing Ratio</i> (CBR), <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	<i>Fly ash</i> dan <i>polypropylene fiber</i> meningkatkan kekuatan tanah gambut melalui kombinasi reaksi kimia dan penguatan mekanis.	Masih berfokus pada satu jenis gambut, yaitu fibrik, sehingga belum membandingkan respons fibrik, hemik, dan saprik.
Chemical Stabilization of Amorphous Peat Using Cement and Fly Ash at Different Water Additive Ratios (Taib et al., 2023)	UCS	<i>Water additive ratio</i> memengaruhi hasil stabilisasi gambut amorf menggunakan semen dan <i>fly ash</i> .	Membahas gambut saprik/amorf secara terpisah dan belum membandingkannya dengan gambut fibrik serta hemik.

Judul	Jenis Pengujian	Kajian Utama	Keterbatasan
Impact of Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) and Cement to the Strength Improvement of Hemic Peat (Masri & Abu Talib, 2023)	UCS	Substitusi sebagian semen dengan SCBA meningkatkan UCS, dengan hasil optimum pada campuran 95% semen + 5% SCBA selama curing 28 hari.	Hanya mengkaji gambut hemik dan variasi SCBA, sehingga belum menjawab perbedaan respons jenis gambut lain.
Peat Stabilization by Using Ordinary Portland Cement (OPC) Mixed with Rice Husk Ash (Abu Talib et al., 2024)	UCS	Penggantian 15% OPC dengan RHA menghasilkan UCS maksimum pada curing 7 dan 28 hari.	Berfokus pada RHA sebagai pengganti sebagian semen dan belum menguji hubungan kadar serat dengan efektivitas stabilisasi.
Stabilization of Batu Pahat Peat by Using Rice Husk Ash (RHA) (Abu Talib et al., 2023)	UCS	Campuran OPC dan RHA meningkatkan UCS, dengan nilai maksimum sekitar 262 kN/m ² pada kadar RHA tertentu.	Terbatas pada satu lokasi dan satu jenis gambut, sehingga belum dapat menjelaskan pola umum berdasarkan klasifikasi fibrik, hemik, dan saprik.

*Sumber: Hasil penelusuran literatur dari database Scopus, ResearchGate, dan Google Scholar

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 2, penelitian terdahulu telah banyak membahas stabilisasi tanah gambut menggunakan berbagai material (OPC, fly ash, SCBA, RHA, coal ashes, CFA). Namun, sebagian besar masih berfokus pada efektivitas material atau teknik curing pada satu jenis gambut tertentu, tanpa membandingkan respons ketiga jenis gambut (Fibrik, Hemik, Saprik) secara sistematis. Dengan demikian, research gap penelitian ini adalah masih terbatasnya sintesis yang menjelaskan hubungan kadar serat terhadap peningkatan UCS pada stabilisasi dengan binder semen murni dan semen + *filler*. Tinjauan pustaka sistematis ini diperlukan untuk merangkum, membandingkan, dan menyimpulkan kecenderungan pengaruh kadar serat terhadap peningkatan UCS, yang sesuai dengan arah paper karena tetap berada pada isu UCS, stabilisasi, dan klasifikasi gambut sehingga tidak terlalu luas.

2. METODOLOGI

Metodologi penelitian digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaan tinjauan pustaka sistematis guna mengkaji hubungan antara kadar serat tanah gambut dan peningkatan nilai kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) pada stabilisasi kimia menggunakan *binder* murni semen maupun *binder* semen + *filler*. Adapun metodologi penelitian yang diterapkan adalah sebagai berikut.

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini adalah peningkatan nilai kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) pada berbagai jenis tanah gambut setelah dilakukan stabilisasi kimia. Pemilihan objek ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu:

1. Tanah gambut memiliki karakteristik daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, dan kandungan organik tinggi, sehingga memerlukan perbaikan tanah.
2. Masih sedikit sintesis literatur yang secara spesifik mengkaji peningkatan UCS pada berbagai jenis tanah gambut berdasarkan kadar serat.

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah tinjauan pustaka sistematis untuk mengevaluasi penelitian terdahulu secara sistematis dan terstruktur. Tahapan metode penelitian dijelaskan sebagai berikut.

1. Research Question

Research Question digunakan untuk mengarahkan fokus kajian literatur agar sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun rincian RQ dalam penelitian ini adalah:

- RQ.1. Bagaimana hubungan antara kadar serat tanah gambut dengan perubahan nilai UCS pada stabilisasi menggunakan *binder* murni semen?

Detail penjelasan RQ.1. Bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kadar serat (*fiber content*) tanah gambut dengan perubahan nilai UCS setelah stabilisasi menggunakan *binder* murni semen (semen tanpa bahan tambah).

RQ.2. Bagaimana hubungan antara kadar serat tanah gambut dengan perubahan nilai UCS pada stabilisasi menggunakan *binder* semen + *filler*?

Detail Penjelasan RQ.2. Bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kadar serat tanah gambut dengan peningkatan nilai UCS setelah stabilisasi menggunakan *binder* semen + *filler* (semen dikombinasikan dengan material pozzolan seperti SCBA, RHA, *fly ash*, *quarry dust*, atau pasir).

RQ.3. Mengapa semakin tinggi kadar serat pada tanah gambut, maka peningkatan nilai UCS juga semakin besar, baik pada penggunaan *binder* semen maupun semen + *filler*?

Detail Penjelasan RQ.3. Bertujuan untuk menjelaskan faktor-faktor penyebab mengapa kadar serat yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan UCS yang lebih besar, baik pada stabilisasi dengan murni semen maupun semen + *filler*.

2. Search Process

Proses pencarian literatur dilakukan untuk memperoleh sumber data yang relevan dan valid dalam menjawab RQ. Pencarian dilakukan melalui laman website <https://www.scopus.com/>, <https://www.researchgate.net/>, <https://www.crossref.org/> dan, <https://scholar.google.com/> sebagai data tambahan

3. Inclusion and Exclusion Criteria (I.E. Criteria)

Tahapan ini digunakan untuk menyeleksi literatur yang relevan dengan topik penelitian. Adapun kriteria yang digunakan adalah:

I.E.1. Penelitian membahas stabilisasi kimia tanah gambut menggunakan *binder* semen atau semen + *filler* dalam rentang 2000-2026

I.E.2. Penelitian menyajikan data kadar serat (*fiber content*) atau informasi yang memungkinkan klasifikasi jenis gambut menjadi Fibrik, Hemik, atau Saprik.

I.E.3. Penelitian menyajikan data UCS awal (*untreated*) dan UCS akhir (*treated*), atau minimal menyediakan data yang memungkinkan perhitungan peningkatan UCS (%).

I.E.4. Penelitian memuat informasi komposisi campuran stabilisator secara jelas, baik berupa semen saja maupun semen yang dikombinasikan dengan *filler* tertentu.

Penelitian dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya apabila memenuhi minimal 3 kriteria inklusi.

4. Quality Assessment

Quality Assessment digunakan untuk menilai kualitas dan kelayakan literatur yang telah lolos tahap

I.E. *Criteria*. Adapun QA yang digunakan sesuai dengan yang telah kami susun adalah:

QA.1. Apakah kadar serat tanah gambut disebutkan secara jelas, atau apakah jenis gambut dapat diklasifikasikan menjadi Fibrik, Hemik, atau Saprik berdasarkan data yang tersedia?

QA.2. Apakah jenis *binder* dijelaskan secara jelas, termasuk perbedaan antara semen murni dan semen + *filler*?

QA.3. Apakah komposisi campuran stabilisator disebutkan secara rinci, termasuk kadar semen dan jenis *filler* yang digunakan?

QA.4. Apakah penelitian menyajikan nilai UCS awal dan UCS akhir, atau peningkatan UCS yang dapat dihitung secara langsung?

5. Data Collection

Pengumpulan data dilakukan setelah proses seleksi literatur selesai. Data dikumpulkan secara sistematis menggunakan lembar ekstraksi data untuk memudahkan tabulasi dan analisis. Data yang dikumpulkan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu data primer dan data sekunder.:

A. Data primer: Data primer merupakan data utama yang langsung digunakan untuk menjawab RQ penelitian, meliputi:

1. Identitas artikel, yaitu nama penulis dan tahun publikasi.
2. Kadar serat tanah gambut (%).
3. Jenis gambut yaitu fibrik, hemik, atau saprik.
4. Kategori *binder*, yaitu murni semen atau semen + *filler*
5. Jenis *filler* yang digunakan, apabila termasuk campuran semen + *filler*.
6. Kadar atau komposisi *binder* yang digunakan dalam campuran.
7. Nilai UCS awal (*untreated*).

8. Nilai UCS akhir (*treated*).

- B. Data sekunder: Data sekunder digunakan untuk memperkuat interpretasi hasil, terutama dalam menjawab RQ tentang alasan mengapa kadar serat yang lebih tinggi dapat diikuti oleh peningkatan UCS yang lebih besar. Data yang dikumpulkan meliputi karakteristik umum tanah gambut, seperti kadar air, kadar organik, dan tingkat dekomposisi. Mekanisme stabilisasi kimia yang dijelaskan dalam artikel, seperti:

1. Reaksi hidrasi semen,
2. Pembentukan ikatan sementasi,
3. Pengisian rongga oleh filler,
4. Interlocking antara serat dan matriks hasil stabilisasi.

Teori atau penjelasan penulis terkait pengaruh struktur serat terhadap perilaku kuat tekan. Informasi tambahan mengenai kondisi pencampuran, pemadatan, dan perlakuan sampel. Seluruh data yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan ke dalam dua tabel utama:

Kelompok 1: studi dengan murni semen

Kelompok 2: studi dengan semen + *filler*

Pengelompokan ini dilakukan agar hubungan antara kadar serat dan peningkatan UCS dapat dibandingkan secara lebih terstruktur pada masing-masing sistem *binder*, sekaligus mendukung penjelasan terhadap kecenderungan hasil yang diperoleh.

6. Data Analysis

Analisis terhadap pengumpulan data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Pengelompokan data berdasarkan jenis *binder* yaitu semen saja atau semen+ *filler*
2. Pengelompokan lagi berdasarkan kadar serat pada tanah gambut.

Perhitungan nilai SDI (*Strength Development Index*) UCS, dengan rumus yang mengacu pada penelitian terkait oleh [Bhurtel & Eisazadeh, 2019], sebagai berikut :

$$\text{Peningkatan}(\%) = \frac{UCS_{\text{akhir}} - UCS_{\text{awal}}}{UCS_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

UCS_{awal} = nilai UCS tanah gambut sebelum stabilisasi (kPa)

UCS_{akhir} = nilai UCS tanah gambut sebelum stabilisasi (kPa)

2. Analisis faktor yang memengaruhi perbedaan efektivitas stabilisasi pada ketiga jenis gambut berdasarkan kadar seratnya.

7. Deviation from Protocol atau Penyimpangan Laporan

Dalam pelaksanaan tinjauan pustaka sistematis, dimungkinkan adanya penyimpangan terhadap protokol awal yang telah ditetapkan. Penyimpangan ini dilakukan secara terbatas dan terkontrol guna menyesuaikan dengan ketersediaan data serta karakteristik literatur yang ditemukan di lapangan. Adapun bentuk penyimpangan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak semua penelitian menyajikan peningkatan UCS dalam bentuk persentase. Oleh karena itu Jika tersedia nilai UCS sebelum dan sesudah stabilisasi, maka peningkatan UCS dihitung secara mandiri dalam bentuk persentase,
2. Apabila penelitian tidak mencantumkan kadar serat secara eksplisit, klasifikasi jenis gambut didasarkan pada skala Von Post (H1-H3 = Fibrik, H4-H6 = Hemik, H7-H10 = Saprik).
3. Penelitian yang dianalisis memiliki variasi waktu curing, kadar *binder*, jenis dan kadar *filler*. data tetap bisa digunakan dengan pendekatan analisis tren.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian terdahulu yang ditetapkan sebagai objek penelitian dikumpulkan melalui proses pencarian pada basis data Scopus, ResearchGate, dan Crossref sebagai sumber primer, serta Google Scholar sebagai sumber sekunder. Proses pencarian awal memperoleh 65 artikel yang relevan dengan topik stabilisasi tanah gambut menggunakan semen. Pemahaman terhadap karakteristik dasar tanah gambut dari penelitian yang direview perlu dilakukan sebelum menjawab ketiga *Research Question* (RQ). Penerapan *Inclusion and Exclusion Criteria* (I.E.) dan *Quality Assessment* (QA) dalam proses seleksi menghasilkan 18 penelitian yang memenuhi syarat untuk dianalisis.

Tabel 3. Proses Seleksi Literatur

Tahap	Jumlah Artikel	Keterangan
Pencarian awal (Scopus, ResearchGate, Crossref, Google Scholar)	65	-
Setelah I.E. Criteria	35	30 artikel tidak memenuhi I.E.
Setelah Quality Assessment (QA)	18	17 artikel tidak memenuhi QA
Total artikel yang dianalisis	18	

Sumber : Hasil pengolahan data

Seluruh penelitian yang dianalisis menunjukkan kadar organik >75% dan pH asam dalam rentang 3,0 - 5,5, yang merupakan karakteristik tanah gambut. Kadar air alami gambut bervariasi antara 224% hingga 850%, dengan nilai tertinggi yang ditemukan pada gambut Hemik dan Saprik. Data ini menjadi dasar untuk memahami hubungan antara kadar serat dan peningkatan UCS pada RQ.1, RQ.2, dan RQ.3.

Tabel 4. *Index properties* tanah gambut dari penelitian yang direview

No.	Jenis Gambut	Kadar Serat (%)	Kadar Air (%)	pH	Kadar Organik	Jumlah Data
1	Fibrik	72-84	224-600	3,3-4,1	80-97	6
2	Hemik	37-51	400-800	3,2-4,5	80-96	6
3	Saprik	14-32	400-600	3,6-5,5	70-95	6

Sumber : Hasil Analisis dari 18 penelitian yang memenuhi kriteria inklusi

3.1. Hubungan antara kadar serat tanah gambut dengan peningkatan nilai UCS pada stabilisasi menggunakan *binder* semen

Untuk menjawab RQ.1, data dianalisis hanya pada penelitian yang menggunakan *binder* semen (semen tanpa bahan tambah). Tabel 5 menyajikan data lengkap peningkatan UCS dari masing-masing penelitian murni semen, meliputi jenis gambut, kadar serat, nilai UCS awal dan akhir, persentase peningkatan, serta jenis stabilisator yang digunakan. Data ini menjadi dasar untuk menghitung rata-rata peningkatan UCS pada setiap jenis gambut yang akan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Data Peningkatan nilai UCS pada Stabilisasi dengan *binder* semen

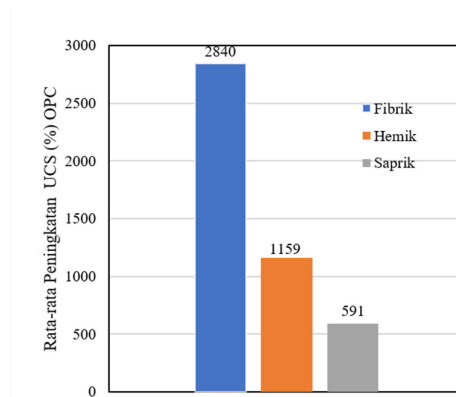
No.	Penulis & Tahun	Jenis Gambut	Kadar Serat (%)	UCS Awal (kPa)	UCS Akhir (kPa)	Peningkatan (%)	Stabilisator
1	Wahab dkk (2023)	Fibrik	72,32	20	207	935.0	500 kg/m ³ semen
2	Ritter dkk (2024)	Fibrik	tidak dituliskan	2.5	130	5100.0	200 kg/m ³ semen
3	Dehghanbanadaki dkk (2013)	Fibrik	77-84	10	163.7	1537.0	300 kg/m ³ semen
4	Talib dkk (2025)	Hemik	35,48	7	100	1328.6	400 kg/m ³ semen
5	Ghanbari dkk (2022)	Hemik	37	100	880	780.0	5% semen
6	Jumien dkk (2023)	Hemik	42.8	46.47	683	1369.8	100% semen
7	N. Wahab dkk (2022)	Saprik	28.03	10	60	500.0	500 kg/m ³ semen
8	Pashaki dkk (2017)	Saprik	14.9	50	400	700.0	15% semen
9	Wahab dkk (2026)	Saprik	28,03	9.28	62.34	571.8	100% semen

Sumber : Hasil Analisis dari 9 penelitian yang memenuhi kriteria inklusi menggunakan binder murni semen

Tabel 6. Rata-rata Peningkatan UCS pada *binder* semen berdasarkan jenis gambut

No.	Jenis Gambut	Jumlah Data	Rata-rata peningkatan UCS (%)
1	Fibrik	3	2524
2	Hemik	3	1159,4
3	Saprik	3	590,6

Sumber : Hasil Analisis rata-rata dari 9 penelitian yang menggunakan *binder* semen



Gambar 1. Perbandingan rata-rata peningkatan UCS dengan *binder* semen (hasil analisis)

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 1, terlihat bahwa gambut Fibrik menunjukkan rata-rata peningkatan UCS tertinggi sebesar 2524% , diikuti oleh gambut Hemik sebesar 1159% dan gambut Saprik sebesar 590%. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar serat, semakin besar peningkatan UCS yang dicapai.

3.2. Hubungan antara kadar serat tanah gambut dengan perubahan nilai UCS pada stabilisasi menggunakan *binder* semen + *filler*

Selain stabilisasi dengan murni semen, sejumlah penelitian juga menggunakan semen yang dikombinasikan dengan *filler* (material pozzolan seperti SCBA, RHA, fly ash, atau pasir). Data peningkatan UCS pada stabilisasi dengan semen + *filler* dikelompokkan berdasarkan jenis gambut, kemudian dihitung rata-rata peningkatannya. Hasil pengelompokkan disajikan pada Tabel 7

Tabel 7. Data peningkatan nilai UCS pada stabilisasi dengan *binder* semen + *filler*

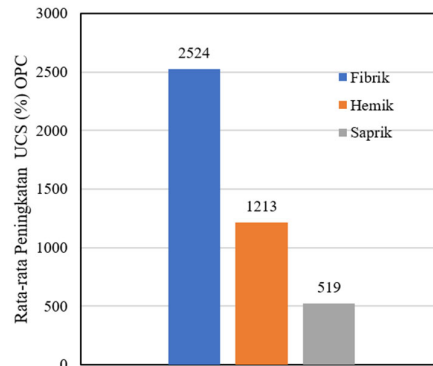
No.	Penulis & Tahun	Jenis Gambut	Kadar Serat (%)	UCS Awal (kPa)	UCS Akhir (kPa)	Peningkatan (%)	Stabilisator
1	Nikookar dkk (2012)	Fibrik	75	50	260	420	10% semen- 10% sand
2	Dehghanbanadaki dkk (2013)	Fibrik	77-84	10	190	1800	semen+sand well graded
3	Ritter dkk (2024)	Fibrik	tidak dituliskan	2.5	200	7900	200 kg/m ³ semen+200 kg/m ³ biochar
4	Bakhrir dkk (2024)	Hemik	51	55	350	536,4	85% semen+15% SCBA
5	N. Wahab dkk (2023)	Hemik	49,53	15	203	1253,3	500 kg/m ³
6	Talib dkk (2015)	Hemik	43	20	390	1850	80% semen+20% SCBA
7	Hauashdh dkk	Saprik	32.5	5	47	840	60% peat + 18% fly ash + 14% bottom ash + 8% semen
8	Wahab dkk (2026)	Saprik	28.03	9.28	61.29	560,5	85 % semen + 15 % RHA
9	Zakaria dkk (2022)	Saprik	tidak dituliskan	28	72.2	157,9	8% semen + 2% GCP

Sumber : Hasil Analisis dari 9 penelitian yang memenuhi kriteria inklusi menggunakan *binder* semen + *filler*

Tabel 8. Rata-rata peningkatan UCS pada *binder* semen + *filler* berdasarkan jenis gambut

No.	Jenis Gambut	Jumlah Data	Rata-rata peningkatan UCS (%)
1	Fibrik	3	2840
2	Hemik	3	1213,2
3	Saprik	3	519,4

Sumber : Hasil analisis rata-rata dari 9 penelitian yang menggunakan *binder* semen + *filler*



Gambar 2. Perbandingan rata-rata peningkatan UCS dengan *binder* semen + *filler* (hasil analisis)

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 2, terlihat bahwa gambut Fibrick kembali menunjukkan rata-rata peningkatan UCS tertinggi sebesar 2840%, diikuti oleh gambut Hemik sebesar 1213%, dan gambut Saprik sebesar 519%. Pola yang sama dengan stabilisasi murni semen juga terlihat di sini: semakin tinggi kadar serat, semakin besar peningkatan UCS yang dicapai.

3.3. Pengaruh Kadar Serat terhadap Peningkatan UCS pada Stabilisasi dengan Semen dan Semen + Filler

Untuk menjawab RQ.3, perlu dipahami mekanisme yang menghubungkan kadar serat dengan peningkatan nilai UCS. Berdasarkan hasil analisis pada subbab 3.1 dan 3.2, terlihat jelas bahwa gambut Fibrick (kadar serat >67%) secara konsisten menunjukkan peningkatan UCS tertinggi, diikuti gambut Hemik (33-67%), dan terendah pada gambut Saprik (<33%). Fenomena ini terjadi baik pada stabilisasi dengan murni semen maupun semen + *filler*. Berikut adalah faktor-faktor penyebab mengapa semakin tinggi kadar serat menghasilkan peningkatan UCS yang semakin besar.

3.3.1. Struktur Serat sebagai Tulangan Alami

Berdasarkan penelitian Mesri & Ajlouni (2007), gambut Fibrick memiliki struktur serat yang utuh dengan sistem seluler berongga. Kekuatan tarik dari serat-serat ini berkontribusi pada interlocking antar partikel, menghasilkan sudut geser yang sangat tinggi (40-60°) yang tidak ditemukan pada tanah anorganik. Karakteristik inilah yang membuat serat gambut berfungsi seperti tulangan alami dalam matriks tanah-semen. Ketika semen dicampur dengan gambut, terjadi reaksi hidrasi yang menghasilkan C-S-H gel (Calcium Silicate Hydrate). Kristal sementasi C-S-H ini berfungsi sebagai produk pengikat yang menyebabkan partikel tanah menjadi lebih padat dan terikat erat [Ahmad dkk., 2021]. Sebaliknya, pada gambut Saprik yang kadar seratnya rendah (<33%), tulangan alami hampir tidak ada, sehingga peningkatan UCS yang dicapai jauh lebih rendah [Wahab dkk., 2023] seperti yang terlihat pada Tabel 5 dan 7 yang menunjukkan rata-rata peningkatan UCS gambut Saprik lebih rendah daripada gambut Fibrick baik pada *binder* semen dan *binder* semen+*filler*.

3.3.2. Struktur Berongga (*Hollow*) pada Serat Gambut Fibrick

Pada gambut fibrick, komponen serat tumbuhan masih dominan dan mudah dikenali karena jenis gambut ini merupakan gambut yang paling sedikit terdekomposisi, memiliki kandungan serat lebih dari 67%, serta derajat humifikasi yang rendah. Kondisi tersebut menyebabkan gambut fibrick masih mempertahankan struktur tanaman asal yang khas. Literatur terdahulu menyatakan bahwa gambut fibrick memiliki konsistensi *spongy*, bahkan pada beberapa endapan peat pembentukannya dicirikan oleh *spongy formation of plant fibre* [Huat dkk., 2014]. Proses stabilisasi pada gambut fibrick memanfaatkan keberadaan jaringan serat yang masih utuh dapat mendukung terbentuknya hubungan mekanis yang lebih baik antara kerangka serat alami dan matriks tanah - semen selama pencampuran. Sebaliknya, pada gambut saprik, serat tumbuhan asli sebagian besar telah hilang akibat dekomposisi lanjut dan materialnya cenderung amorf, sehingga kontribusi struktur serat terhadap hubungan mekanis tersebut menjadi lebih terbatas.

3.3.3. Pengaruh Kadar Asam Humat dan Fulvat

Asam humat dapat bereaksi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) hasil hidrasi semen dan membentuk senyawa yang tidak larut, sedangkan asam fulvat dapat menghambat hidrasi semen serta mengganggu produk hidrasi yang telah terbentuk [Chen dan Wang, 2006]. Akibatnya, pembentukan C-S-H gel sebagai fase utama yang berperan terhadap pengerasan dan peningkatan kekuatan material semen dapat terhambat [Neville, 2011]. Kondisi ini dapat menurunkan efektivitas pembentukan struktur pengikat yang berperan terhadap peningkatan kekuatan. Gambut saprik merupakan gambut yang lebih terdekomposisi dan memiliki derajat humifikasi lebih tinggi dibandingkan gambut fibrik. Oleh karena itu, pengaruh senyawa humat terhadap stabilisasi semen diperkirakan lebih besar pada gambut yang lebih terdekomposisi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka sistematis, dapat disimpulkan bahwa kadar serat tanah gambut berpengaruh terhadap peningkatan nilai kuat tekan bebas (UCS) pada proses stabilisasi kimia, baik menggunakan *binder* semen maupun *binder* semen dengan *filler*. Hasil analisis menunjukkan bahwa gambut Fibrik yang memiliki kadar serat tertinggi menghasilkan peningkatan UCS paling besar, yaitu sebesar 2524% pada stabilisasi dengan *binder* semen dan 2840% pada stabilisasi dengan *binder* semen + *filler*. Gambut Hemik menunjukkan peningkatan sedang, yaitu 1159% pada *binder* semen dan 1213% pada *binder* semen + *filler*, sedangkan gambut Saprik menunjukkan peningkatan terendah, yaitu 590% pada *binder* semen dan 519% pada *binder* semen + *filler*. Perbedaan peningkatan tersebut dipengaruhi oleh struktur serat gambut Fibrik yang masih utuh dan berongga sehingga dapat berfungsi sebagai tulangan alami serta mendukung *interlocking* dengan matriks tanah-semen. Sebaliknya, gambut Saprik memiliki kadar serat lebih rendah dan kandungan asam humat serta fulvat yang lebih tinggi, sehingga reaksi hidrasi semen dan pembentukan C-S-H menjadi lebih terhambat. Dengan demikian, semakin tinggi kadar serat tanah gambut, semakin besar potensi peningkatan UCS yang dihasilkan melalui stabilisasi menggunakan semen maupun semen + *filler*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adon, R., Bakar, I., Wijeyesekera, D. C., & Zainorabidin, A. (2013). Overview of the sustainable uses of peat soil in Malaysia with some relevant geotechnical assessments. *International Journal of Integrated Engineering - Special Issue on ICONEEES*, 4(3), 38-46.
- Ahmad, A., Sutanto, M. H., Ahmad, N. R. B., Bujang, M., & Mohamad, M. E. (2021). The implementation of industrial byproduct in Malaysian peat improvement: A sustainable soil stabilization approach. *Materials*, 14(23), 7315. <https://doi.org/10.3390/ma14237315>
- Andriesse, J. P. (1988). Nature and management of tropical peat soils (FAO Soils Bulletin 59). FAO.
- ASTM International. (2002). Standard classification of peat samples by laboratory testing (ASTM D4427-92, reapproved 2002). ASTM International.
- Bakhr, M. A., Ahmad, F., & Yusoff, Z. (2024). Stabilization of peat using sugarcane bagasse ash (SCBA) and cement as a stabilizer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1347, 012078. <http://hdl.handle.net/2324/1525832>
- Bhurteel, A., & Eisazadeh, A. (2020). Strength and durability of bottom ash and lime stabilized Bangkok clay. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(2), 404-411. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-0841-7>
- Chen, H., & Wang, Q. (2006). The behaviour of organic matter in the process of soft soil stabilization using cement. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(4), 445-448. <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0029-8>
- Deboucha, S., Hashim, R., & Alwi, A. (2014). Engineering properties of stabilized tropical peat soils. *European Journal of Geotechnical Engineering*.
- Dehghanbanadaki, A., Khairul Anuar, K., & Ahmad, F. (2013). Influence of natural fillers on shear strength of cement treated peat. *Gradevinar*, 65(7), 633-640. <https://doi.org/10.14256/JCE.987.2013>
- Ghanbari, P. G., Mousavi, S. H., & Karimiazar, J. (2022). Unconfined compressive strength characteristics of treated peat soil with cement and basalt fibre. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 35(5), 1129-1137. <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.05b.24>

- Hauashdh, A., Jailani, J., & Zainorabidin, A. (2020). Stabilization of peat soil using fly ash, bottom ash and Portland cement: Soil improvement and coal ash waste reduction approach. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 498, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/498/1/012011>
- Huat, B. B. K., Kazemian, S., & Prasad, A. (2014). Peat soil stabilization using cement and lime. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 139(3), 473-485. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001057)
- Jumien, N. L., Talib, M. K. A., Yusoff, M. N. M., & Wahab, N. (2023). Peat soil improvement using cement and quarry dust. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1205, 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1205/1/012072>
- Masri, M.H. and Abu Talib, M.K. (2023) 'Impact of Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) and Cement to the Strength Improvement of Hemic Peat', Journal of Sustainable Underground Exploration, 3(1), pp. 22–29. <https://doi.org/10.30880/jsue.2023.03.01.004>
- Mesri, G., & Aljouni, M. (2007). Engineering properties of fibrous peats. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(7), 850-866. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:7\(850\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:7(850))
- Nikookar, M., Pashaki, M. K., Nikookar, H., & Arabani, M. (2012). The geotechnical improvement of Talesh peat soil with cement. In Proceedings of the 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus.
- Pashaki, M. K., Mousavi, S. H., & Asghari, E. (2017). Geomechanical properties of peat stabilized with cement and sand. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 4(9), 19-25. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2017.09.004>
- Radwan, M.K.H., Lee, F.W., Woon, Y.B., Yew, M.K., Mo, K.H. and Wai, S.H. (2021) 'A Study of the Strength Performance of Peat Soil: A Modified Cement-Based Stabilization Agent Using Fly Ash and Polypropylene Fiber', Polymers, 13(23), 4059. <https://doi.org/10.3390/polym13234059>
- Ritter, S., Krzeminska, D., & de Vries, W. (2024). Biochar amendment for improved and more sustainable peat stabilization. Ground Improvement, 177(2), 129-140. <https://doi.org/10.1680/jgrim.22.00023>
- Talib, M. K. A., Pakir, F., Madun, A., & Dan, F. M. (2015). Effectiveness of sugarcane bagasse ash (SCBA) as partial cement replacement in peat stabilization. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, 74(3), 69-78. <https://hdl.handle.net/2324/1525832>
- Talib, M. K. A., Arifin, S. N. H., Pakir, F., Madun, A., Dan, F. M., Salikin, A., Ismail, T. N. H. T., & Shahrulzaman, M. F. H. M. (2025). Strength improvement of peat by using ordinary Portland cement (OPC). Journal of Advanced Research in Applied Mechanics, 135(1), 32-43.
- Talib, M. K. A., Zainorabidin, A., Pakir, F., Md Yusof, Z., Basri, K. and Salikin, A. (2023) 'Stabilization of Batu Pahat Peat by Using Rice Husk Ash (RHA)', IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1249(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1249/1/012041>
- Talib, M. K. A., Arifin, S.N.H., Abu Bakar, N.A., Zainorabidin, A., Md Yusof, Z., Mohammad Noh, N. and Basri, K. (2024) 'Peat Stabilization by Using Ordinary Portland Cement (OPC) Mixed with Rice Husk Ash (RHA)', International Journal of Integrated Engineering, 16(4), pp. 140–146. <https://doi.org/10.30880/ijie.2024.16.04.017>
- Taib, S.N.L., Afiah, I. and Galvinov, I. (2023) 'Chemical Stabilization of Amorphous Peat Using Cement and Fly Ash at Different Water Additive Ratios', International Journal of Integrated Engineering, 15(6), pp. 1–12. <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.06.001>
- Wahab, N., Azmi, M. A. M., & Ramli, M. H. (2023). Effect of cement stabilized peat on strength, microstructure, and chemical analysis. Physics and Chemistry of the Earth, 129, 103348. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103348>
- Wahab, N., Hasan, M., Duraisamy, Y., Razi, P. Z., Mansur, F. Z., & Zailan, R. (2026). Performance of rice husk ash (RHA) as partial cement replacement in peat stabilization using the mass stabilization method. Results in Engineering, 26, 104343. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104343>

Zakaria, A., Sa'don, N. M., Karim, A. R. A., & Djumic, Z. (2022). Strength performance on stabilisation of Sarawak soils using GeoCrete technology. *Journal of Sustainability Science and Management*, 17(6), 172-181. <https://doi.org/10.46754/jssm.2022.06.013>