Efektivitas Campuran Abu Sekam Padi dan Kapur dalam Menurunkan Swelling Potential Tanah Ekspansif

Ghaizka Reyhan Pratomi [1]
Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur
E-mail: ghaizkarea@gmail.com
Paksitya Purnama Putra [2]
Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur
E-mail: paksitya.putra@unej.ac.id
Luthfi Amri Wicaksono [3]
Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur
E-mail: luthfiamri.teknik@unej.ac.id

Abstrak

Tanah ekspansif memiliki sifat mengembang yang dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur di atasnya. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah dengan campuran kapur 4% dan abu sekam padi dalam variasi 6%, 8%, dan 10% terhadap potensi pengembangan tanah ekspansif. Metode pengujian laboratorium yang dilaksanakan meliputi pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah. Hasil pengujian tanah asli menunjukkan bahwa karakteristik tanah terklasifikasi ke dalam tanah lempung (CH/A-7-6) dengan potensi pengembangan dengan tingkat tinggi (114,5%). Stabilisasi dengan campuran abu sekam padi dan kapur secara signifikan menurunkan potensi pengembangan hingga terklasifikasi ke dalam tingkatan rendah (26,7%) dari kondisi tanah asli. Kombinasi campuran kapur 4% dan abu sekam padi 10% terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas tanah ekspansif dengan mengurangi potensi pengembangan tanah secara signifikan.

Kata kunci: *Abu Sekam, Kapur, Lempung Plastisitas Tinggi, Potensi Pengembangan, Stabilisasi Tanah Ekspansif.*

Abstract

Expansive soil has a swelling property that can cause damage to the infrastructure built on it. This analysis was conducted to determine the effect of soil stabilization using a mixture of 4% lime and rice husk ash at variations of 6%, 8%, and 10% on the swelling potential of expansive soil. Laboratory testing assessed the physical and mechanical properties of the soil. The results of the original soil tests indicate that the soil is classified as clay (CH/A-7-6) with a high swelling potential (114.5%). Stabilization using a mixture of rice husk ash and lime significantly reduced the swelling potential, classifying the soil into the low expansion category (26.7%) compared to the original condition. The combination of 4% lime and 10% rice husk ash proved to be effective in enhancing the stability of expansive soil by significantly reducing its swelling potential.

Keywords: *Expansive Soil Stabilization, High Plasticity Clays, Lime, Rice Husk, Swelling Potential.*

1. PENDAHULUAN

Tanah ekspansif merupakan salah satu jenis tanah bermasalah yang banyak ditemukan di berbagai wilayah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia. Karakteristik utama tanah ini adalah tingginya sensitivitas terhadap perubahan kadar air, sehingga tanah mengalami penyusutan pada musim kemarau dan pengembangan pada musim penghujan [1]. Siklus kembang-susut tersebut sering menimbulkan kerusakan pada infrastruktur sipil, seperti retaknya dinding bangunan, terangkatnya lantai, hingga penurunan fondasi [2]. Dampak tersebut menimbulkan kerugian sosial maupun ekonomi [3], sehingga diperlukan upaya perbaikan dan stabilisasi tanah yang efektif untuk mengurangi potensi kerusakan.

Permasalahan tanah ekspansif juga ditemukan di Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldlimo, Kabupaten Banyuwangi. Masyarakat setempat menghadapi permasalahan berupa keretakan pada dinding acian, kolom, balok, hingga kerusakan lantai bangunan yang disebabkan oleh sifat kembang-susut tanah (Gambar 1). Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah di wilayah tersebut memiliki potensi pengembangan yang tinggi, sehingga diperlukan suatu metode stabilisasi yang sesuai dengan kondisi lokal, mudah diaplikasikan, dan ramah lingkungan.

Gambar 1. Kerusakan bangunan warga Tegaldlimo
Sumber: Penulis, 2025

Berbagai metode stabilisasi tanah telah dikembangkan, baik secara mekanis, fisik, maupun kimia. Salah satu pendekatan yang dinilai efektif dan berkelanjutan adalah pemanfaatan material lokal sebagai bahan stabilisasi. Abu sekam padi, sebagai limbah pertanian yang melimpah di daerah persawahan, memiliki kandungan silika yang bersifat pozzolan sehingga dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk senyawa yang bersifat semen [4][5]. Sifat ini menjadikan abu sekam padi berpotensi sebagai bahan pengikat tambahan pada stabilisasi tanah. Di sisi lain, kapur merupakan bahan stabilisasi yang telah banyak digunakan karena kemampuannya dalam meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi plastisitas, serta menurunkan potensi kembang-susut [6][7]. Kombinasi abu sekam padi dan kapur diyakini dapat memberikan efek sinergis, yaitu

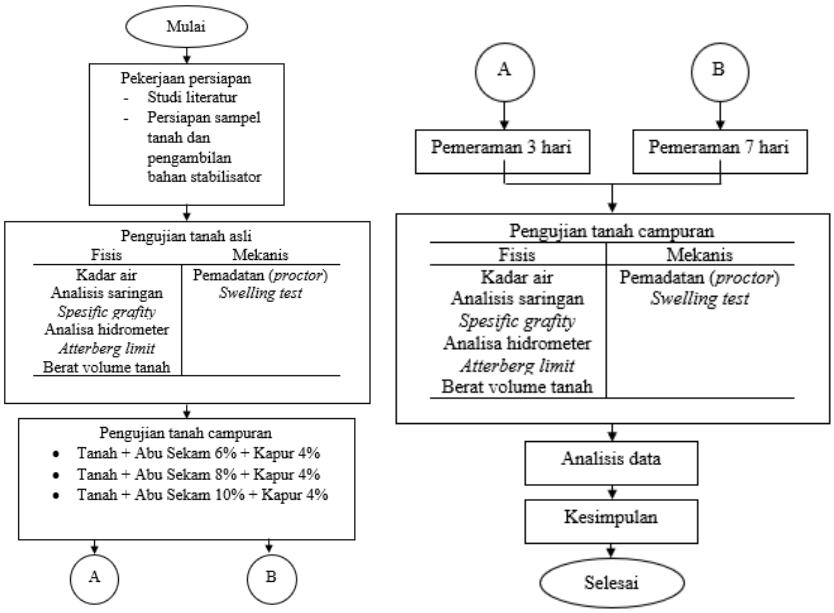
memanfaatkan reaksi pozzolanik sekaligus kemampuan kapur dalam memperbaiki sifat dasar tanah.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas kombinasi abu sekam padi dan kapur dalam menurunkan potensi pengembangan tanah ekspansif [8][9][10][11][12]. Variasi persentase campuran menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar bahan stabilisasi yang ditambahkan, semakin rendah nilai pengembangan yang terjadi. Namun demikian, setiap lokasi tanah ekspansif memiliki karakteristik mineralogi yang berbeda, sehingga perlu dilakukan kajian spesifik untuk menentukan komposisi campuran yang optimal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas campuran abu sekam padi dan kapur dalam menurunkan swelling potential tanah ekspansif di Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldlimo, Banyuwangi. Penelitian ini menggunakan metode pengujian potensi pengembangan berdasarkan ASTM D4829-21, sehingga diharapkan dapat memberikan hasil yang akurat mengenai variasi campuran terbaik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi teknis dalam upaya perbaikan tanah ekspansif dengan memanfaatkan material lokal yang ekonomis sekaligus mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kombinasi abu sekam padi (RHA) dan kapur ($Ca(OH)_2$) dalam menurunkan swelling potential tanah ekspansif di Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldlimo, Kabupaten Banyuwangi. Metodologi penelitian terdiri dari beberapa tahapan utama, sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir (Gambar 2), yang mencakup pengambilan sampel, persiapan material stabilisasi, pencampuran dan pemeraman, serta pengujian laboratorium.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Penulis, 2025

2.1. Pengambilan dan Persiapan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil dari kedalaman 0,5–1,0 m, yaitu lapisan aktif yang paling rentan mengalami perubahan volume akibat fluktuasi kadar air. Pada tahap pengambilan, digunakan dua jenis sampel, yakni sampel *undisturbed* yang diperoleh dengan tabung pengambil contoh untuk mempertahankan struktur asli tanah, serta sampel *disturbed* yang diambil menggunakan cangkul dan digunakan untuk pengujian sifat fisis serta pencampuran dengan bahan stabilisasi. Sampel *disturbed* kemudian dikeringkan udara (*air-dried*), digerus, dan disaring melalui ayakan No. 40 agar homogen dan lebih mudah tercampur dengan abu sekam padi maupun kapur pada tahap berikutnya.

2.2. Variasi Bahan Stabilisasi

Abu sekam padi diperoleh dengan cara membakar sekam padi menggunakan metode *open burning*. Pembakaran dilakukan hingga menghasilkan abu berwarna abu-abu kehitaman, kemudian abu didinginkan, disimpan dalam wadah tertutup, dan digunakan tanpa perlakuan kimia lanjutan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, abu sekam padi memiliki kandungan silika (SiO_2) amorf yang tinggi (70–85%), yang bersifat pozzolan dan mampu bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ dari kapur untuk membentuk senyawa semen sekunder (C-S-H). Kapur yang digunakan berupa kapur komersial (*hydrated lime*), yang banyak digunakan dalam stabilisasi tanah. Kadar kapur ditetapkan sebesar 4% dari berat kering tanah. Pemilihan nilai ini mengacu pada penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kadar 4–6% umumnya cukup efektif untuk menurunkan plastisitas tanah ekspansif, sehingga dapat menjadi titik acuan untuk kombinasi dengan abu sekam padi [11]. Variasi campuran tanah–bahan stabilisasi ditunjukkan pada Tabel 1.

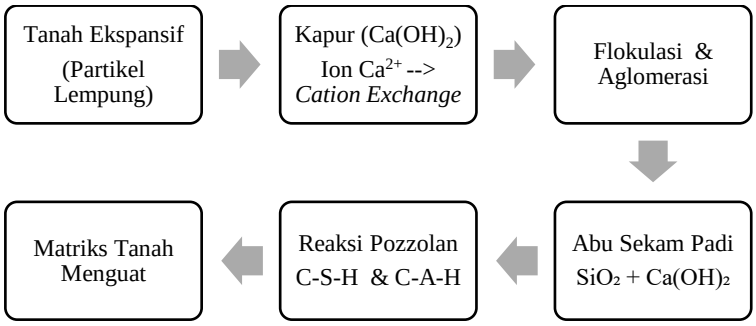
Tabel 1 Variasi Campuran

No	Tanah Asli	Kapur	Abu Sekam
1	100 %	0 %	0 %
2	90 %	4 %	6 %
3	88 %	4 %	8 %
4	86 %	4 %	10 %

Sumber: Penulis, 2025

Variasi abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 6%, 8%, dan 10% dari berat kering tanah dengan kadar kapur konstan 4%. Pemilihan kadar tersebut didasarkan pada hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa campuran abu sekam padi sebesar 8% memberikan hasil optimum dalam menurunkan plastisitas dan potensi pengembangan tanah ekspansif di daerah banyuwangi [13]. Oleh karena itu, kadar 8% dijadikan titik acuan, sedangkan kadar 6% dan 10% dipilih untuk mengevaluasi sensitivitas kinerja stabilisasi di sekitar nilai optimum tersebut. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan apakah kadar optimum yang dilaporkan dalam literatur juga berlaku pada tanah ekspansif di Desa Kendalrejo. Selain itu, rentang variasi ±2% dari nilai optimum dipilih untuk mempertahankan efisiensi jumlah sampel tanpa mengurangi ketelitian, sekaligus merepresentasikan rentang kadar campuran yang masih realistis diterapkan pada skala konstruksi lapangan.

Mekanisme stabilisasi tanah dengan kombinasi kapur dan abu sekam padi berlangsung melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan (Gambar 3). Pada tahap awal, ion kalsium (Ca^{2+}) dari kapur menggantikan ion natrium (Na^{+}) atau kalium (K^{+}) yang terdapat pada permukaan partikel lempung. Pertukaran kation ini menurunkan gaya tolak antar partikel dan menyebabkan terjadinya flokulasi serta aglomerasi, sehingga partikel lempung menggumpal dan plastisitas tanah berkurang. Selanjutnya, sebagian kalsium hidroksida [$Ca(OH)_2$] hasil hidrasi kapur bereaksi dengan karbon dioksida (CO_2) dari udara dan membentuk kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang bersifat sementasi, sehingga turut memperkuat struktur tanah. Pada tahap berikutnya, abu sekam padi yang kaya akan silika (SiO_2) bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ dalam proses yang dikenal sebagai reaksi pozzolanik. Reaksi ini menghasilkan senyawa *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) dan *Calcium Aluminate Hydrate* (C-A-H) yang berfungsi sebagai perekat alami [14]. Senyawa-senyawa tersebut mengisi pori-pori tanah, meningkatkan kepadatan mikro, serta mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air. Secara keseluruhan, kombinasi reaksi kimia tersebut mampu menurunkan indeks plastisitas dan *swelling potential* tanah ekspansif secara signifikan, sehingga meningkatkan stabilitas tanah pada kondisi basah maupun kering.



Gambar 3. Diagram mekanisme stabilisasi tanah dengan kapur dan abu sekam padi
Sumber: Penulis, 2025

2.3. Proses Pencampuran, Pemeraman, dan Pengujian

Proses pencampuran dilakukan secara sistematis dalam dua tahap untuk memastikan homogenitas dan memaksimalkan kesempatan terjadinya reaksi kapur–pozzolan. Pertama, dilakukan pencampuran kering dimana tanah yang telah dikeringkan udara, digerus dan diayak No.40 dicampurkan dengan jumlah kapur dan abu sekam padi sesuai proporsi eksperimen (4% $Ca(OH)_2$ dan 6%, 8%, atau 10% RHA) dalam wadah stainless atau bak pengaduk plastik bersih. Pencampuran kering berlangsung selama 5–10 menit secara manual dengan sekop hingga campuran tampak homogen. Selanjutnya dilakukan pencampuran basah dengan penambahan air secara bertahap hingga mencapai kadar air optimum (OMC) yang telah ditentukan dari uji Proctor standar. Air ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk untuk menghindari penggumpalan dan untuk memperoleh kondisi yang seragam. Kemudian, campuran diperam singkat (10–20 menit) agar air merata sebelum dipadatkan. Sampel ditempatkan pada cetakan sesuai prosedur pemadatan (*Standard Proctor*) dan dipadatkan sesuai lapisan/teknik yang sama pada setiap percobaan. Semua sampel diberi kode yang memperlihatkan variasi komposisi dan

durasi curing, kemudian dimasukkan ke dalam wadah tertutup untuk pemeraman (curing) pada suhu dan kelembapan ruang (±27 °C). Tujuan ditutup rapat adalah mencegah kehilangan atau penyerapan air akibat penguapan sehingga kondisi kelembaban tanah relatif konstan selama masa curing. Pemeraman dilakukan pada dua periode yang ditetapkan yakni 3 hari dan 7 hari untuk mengevaluasi pengaruh durasi reaksi kimia terhadap perubahan sifat tanah. Setiap perlakuan diuji pada minimal tiga benda uji untuk memastikan konsistensi data. Sebelum pelaksanaan uji fisis dan mekanis, benda uji dikeluarkan dari wadah, ditimbang untuk cek kadar air, dan dipersiapkan sesuai prosedur uji lainnya. Pendekatan tahap kering ke basah ini dipilih untuk mengurangi risiko penggumpalan bahan pozzolan, memastikan penyebaran Ca^{2+} yang seragam, dan memberikan kondisi yang representatif terhadap reaksi kimia yang diharapkan (flokulasi, karbonasi, dan reaksi pozzolanik) sehingga hasil pengujian dapat diinterpretasikan secara baik.

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisis dan mekanis tanah akibat penambahan bahan stabilisasi. Uji sifat fisis meliputi kadar air (SNI 03-1965-2008), berat jenis tanah (SNI 03-1964-2008), berat isi tanah (SNI 03-1742-1989), batas Atterberg (SNI 1967-2008), serta analisis saringan (SNI 03-1968-1990). Sementara itu, uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan standar (Standard Proctor) mengacu pada SNI 03-1742-1989 dan uji potensi pengembangan tanah berdasarkan ASTM D4829-21. Seluruh pengujian diterapkan pada tanah asli maupun setiap variasi campuran kapur–abu sekam padi, sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk membandingkan efektivitas masing-masing variasi dalam menurunkan nilai pengembangan. Fokus utama penelitian ini diarahkan pada uji *swelling potential* karena parameter ini merupakan indikator paling kritis dari perilaku tanah ekspansif, yakni kemampuan tanah menyerap air dan mengembang yang berpotensi menimbulkan kerusakan struktural. Dengan berfokus pada pengendalian swelling, penelitian ini secara langsung menjawab permasalahan utama yang dihadapi masyarakat di lokasi studi, yaitu retaknya bangunan akibat sifat kembang-susut tanah, sekaligus memberikan rekomendasi teknis yang lebih aplikatif untuk perbaikan tanah pada kondisi setempat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menyajikan hasil analisis terhadap proses stabilisasi tanah menggunakan abu sekam padi dan kapur, serta dampak penggunaan campuran stabilisasi tersebut terhadap potensi pengembangan tanah. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik dan kimiawi tanah setelah melalui perlakuan yang telah ditentukan.

3.1 Properti Tanah Asli

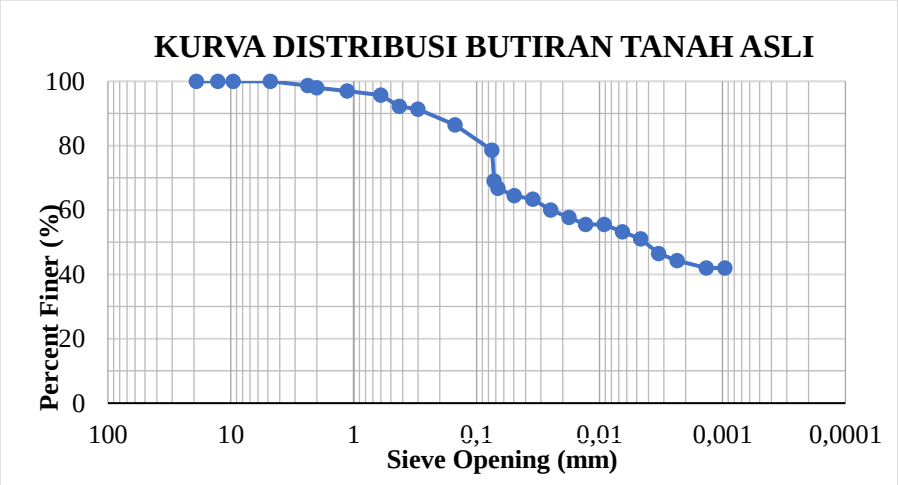
Pengujian terhadap properti tanah asli dilakukan untuk menentukan karakteristik serta klasifikasi tanah sebelum penerapan metode stabilisasi. Pengujian ini mencakup analisis sifat fisik dan mekanis tanah. Tanah yang berasal dari Desa Kendalrejo, Kecamatan Tegaldlimo, Kabupaten Banyuwangi, memiliki warna cokelat

keabu-abuan dengan karakteristik spesifik. Dalam keadaan kering, tanah bersifat keras dan sulit dihancurkan, sementara dalam kondisi basah, tanah menunjukkan plastisitas tinggi dan tekstur yang lengket. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa tanah memiliki indeks plastisitas yang tinggi. Hasil pengujian properti tanah asli dan kurva distribusi hasil analisis saringan tanah disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2 Properti Tanah Asli

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan	Klasifikasi	
			USCS	AASTHO
Kadar air (Wc)	44,57	%	CH	A-7-6
Spesific gravity (Gs)	2,33	gram/cm³		
Berat isi (γ)	1,63	gram/cm³		
Lolos saringan 200	81,40	%		
LL	53	%		
PL	24,29	%		
Indeks plastisitas	28,71	%		
SR	97,39	-		
e	1,06	-		

Sumber: Penulis, 2025



Gambar 4. Kurva Distribusi Butiran Tanah Asli
Sumber: Penulis, 2025

Hasil pengujian (Tabel 2) menunjukkan bahwa tanah dari Desa Kendalrejo memiliki kadar air alami sebesar 44,57%, berat isi 1,63 g/cm³, dan specific gravity 2,33. Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah termasuk ke dalam kelompok CH (*clay with high plasticity*), sementara menurut AASHTO masuk dalam kategori A-7-6, yang umumnya dikategorikan sebagai tanah dengan sifat ekspansif tinggi.

Hasil uji swelling potential tanah asli sebesar 114,5% menunjukkan tingkat ekspansif yang sangat tinggi, sejalan dengan penelitian Zamin et al.,[15] yang menegaskan bahwa tanah berplastisitas tinggi dengan kandungan mineral *montmorillonit* yang tinggi, cenderung mengalami tingkat pengembangan yang ekstrem

akibat penyerapan air. Hal ini sesuai dengan gejala kerusakan bangunan yang ditemukan di lokasi studi, berupa retakan dinding dan pengangkatan lantai.

Analisis distribusi butiran memperlihatkan bahwa tanah terdiri dari 81,4% fraksi halus, dengan dominasi lanau (39%) dan lempung (42%). Hasil ini mengindikasikan kemampuan tanah dalam menyerap air cukup tinggi. Menurut Tang & Shi [16], semakin besar fraksi halus pada tanah, semakin tinggi pula potensi kembang-susut tanah. Oleh karena itu, tanpa perbaikan, tanah ini berpotensi besar menimbulkan kerusakan struktural pada konstruksi di atasnya.

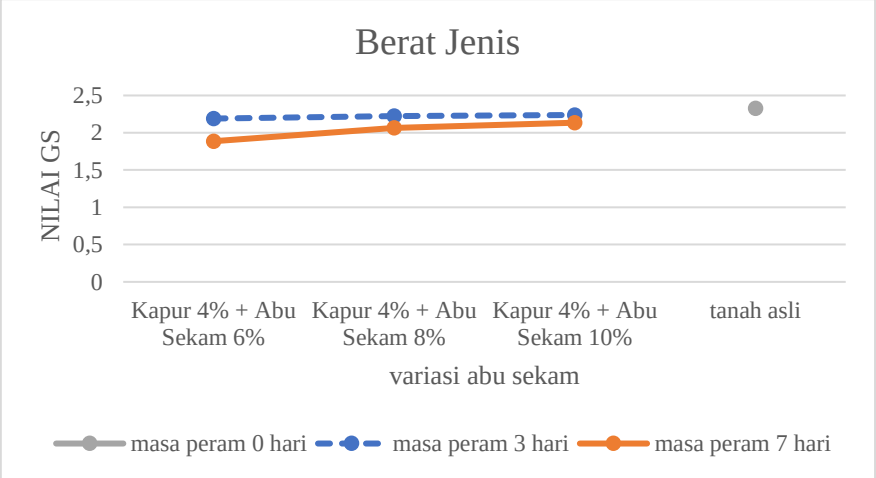
3.2 Analisis Hasil Pengujian Fisis Tanah Campuran

Hasil pengujian terhadap campuran tanah dengan variasi 4% kapur dan abu sekam padi (6%, 8%, dan 10%) pada periode pemeraman 3 dan 7 hari disajikan pada Tabel 3, Tabel 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Secara umum, terjadi perubahan signifikan pada kadar air, berat isi, berat jenis, indeks plastisitas, serta ukuran butiran.

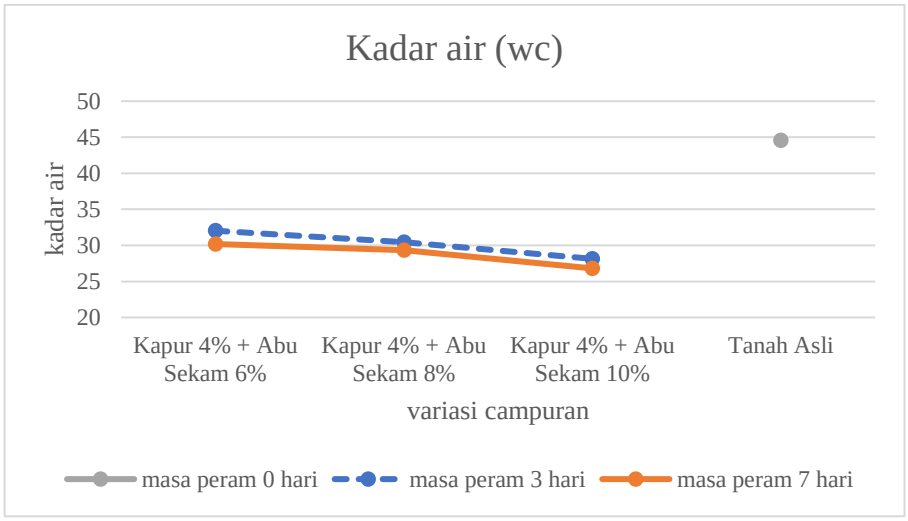
Tabel 3 Sifat Fisis Tanah Asli dan Tanah Campuran

Pemeraman (hari)	Kadar Kapur (%)	Kadar Abu Sekam (%)	Wc	γd	Gs	IP	Lolos no. 200 (%)	Klasifikasi	
								USCS	AASTHO
0	0	0	44.57	1.38	2.33	28.71	81.4	CH	A-7-6
3	4	6	32.03	1.49	2.19	10.78	79.6	ML	A-5
3	4	8	30.45	1.31	2.23	10.14	79.1	ML	A-5
3	4	10	28.14	1.29	2.24	3.98	78.6	ML	A-4
7	4	6	30.19	1.56	1.89	8.84	79.2	ML	A-4
7	4	8	29.33	1.54	2.07	8.05	77.6	ML	A-4
7	4	10	26.81	1.51	2.13	4.36	77.2	ML	A-4

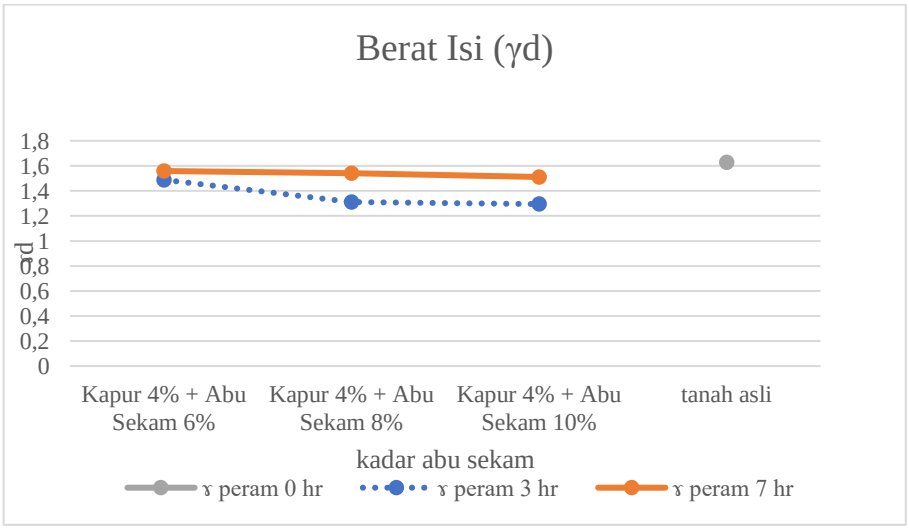
Sumber: Penulis, 2025



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Hasil Uji Sifat Fisis; (a) Kadar Air, (b) Berat Isi, (c) Berat Jenis
Sumber: Penulis, 2025

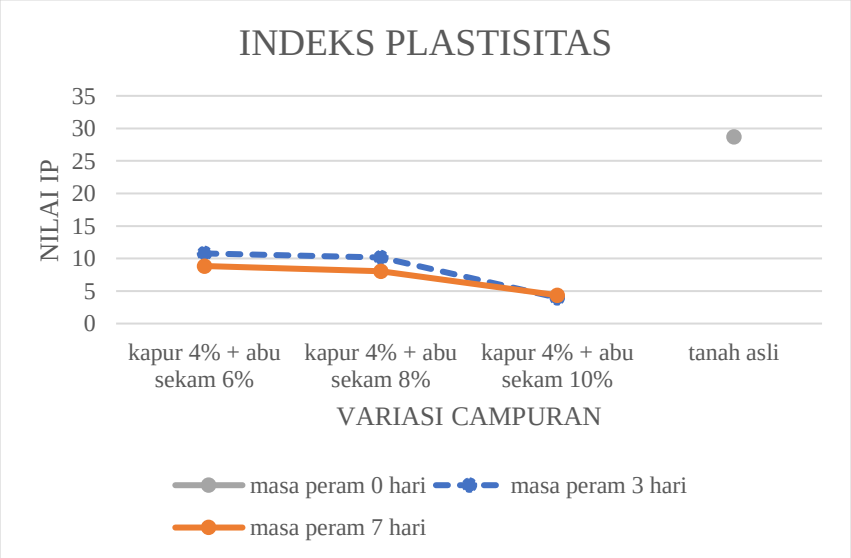
Pada Tabel 3 menunjukkan klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS berubah menjadi ML (lanau dengan plastisitas rendah) untuk seluruh sampel yang telah distabilisasi, sedangkan pada sistem AASTHO terdapat 2 sampel yang berubah menjadi A-5 dan 4 sampel menjadi A-4. Penambahan abu sekam padi dan kapur memengaruhi sifat fisis tanah lempung, sebagaimana ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 4. Peningkatan kadar abu sekam dalam campuran menyebabkan kenaikan berat jenis dan berat isi tanah meskipun hasilnya masih berada di bawah berat jenis tanah asli. Sebaliknya, kadar air serta berat isi mengalami penurunan setelah proses stabilisasi. Pola perubahan ini terjadi pada semua sampel, meskipun masing-masing sampel memiliki variasi waktu pemeraman yang berbeda.

Gambar 5a memperlihatkan berat jenis tanah asli setelah distabilisasi mengalami kenaikan untuk kedua perlakuan pemeraman seiring penambahan persentase abu sekam

dengan nilai paling tinggi senilai 2,24 pada variasi campuran kapur 4% + abu sekam 10% dengan masa pemeraman 3 hari, namun masih berada di bawah nilai berat jenis tanah asli senilai 2,32. Hal ini disebabkan karena berat jenis abu sekam padi senilai 2,078, yang mana lebih kecil daripada berat jenis tanah asli yaitu 2,32 [17]. Meningkatnya nilai berat jenis seiring bertambahnya kadar campuran disebabkan karena bertambahnya ukuran butiran tanah akibat adanya flokulasi, seiring bertambahnya bahan stabilisasi [18].

Berdasarkan Gambar 5b terlihat nilai-nilai kadar air pada tanah asli sebesar 44,57% turun hingga 26,8% pada variasi campuran kapur 4% + Abu Sekam 10% dengan masa peram 7 hari. Maka didapat kesimpulan bahwa semakin banyak persentase campuran pada tanah, maka semakin berkurang kadar air tanah tersebut. Hal ini disebabkan oleh reaksi dari kedua bahan yaitu abu sekam dan kapur ketika bertemu dengan tanah lempung basah maka akan mempengaruhi kadar air tanah tersebut. Abu sekam memiliki porositas yang sangat tinggi sehingga memungkinkan untuk menyerap air dalam jumlah yang banyak [19]. Sedangkan kapur memiliki sifat dapat mengikat air, apabila kapur ditambahkan dalam tanah lempung basah, maka kapur akan terhidrasi dan menyebabkan tanah menjadi kering [20].

Pada Gambar 5c menunjukkan berat isi tanah asli senilai 1,6 mengalami penurunan hingga 1,29 pada variasi campuran kapur 4% dan abu sekam 10% dengan masa peram 3 hari. Berat isi tanah campuran mengalami penurunan setiap penambahan persentase campuran. Berat isi kering tanah asli senilai 1,39 mengalami penurunan hingga 1,18 pada variasi campuran kapur 4% + abu sekam 10% dengan masa peram 7 hari, penurunan terus terjadi seiring bertambahnya persentase campuran. Hal ini disebabkan karena dalam proses kimiawi pada tanah campuran [17].



Gambar 6. Hasil Uji *Atterberg Limit*
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 6 menunjukkan nilai - nilai indeks plastisitas yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya persentase campuran. Tanah asli memiliki IP sebesar 28,71%, dan menurun drastis menjadi 3,98% pada variasi 4% kapur + 10% abu sekam

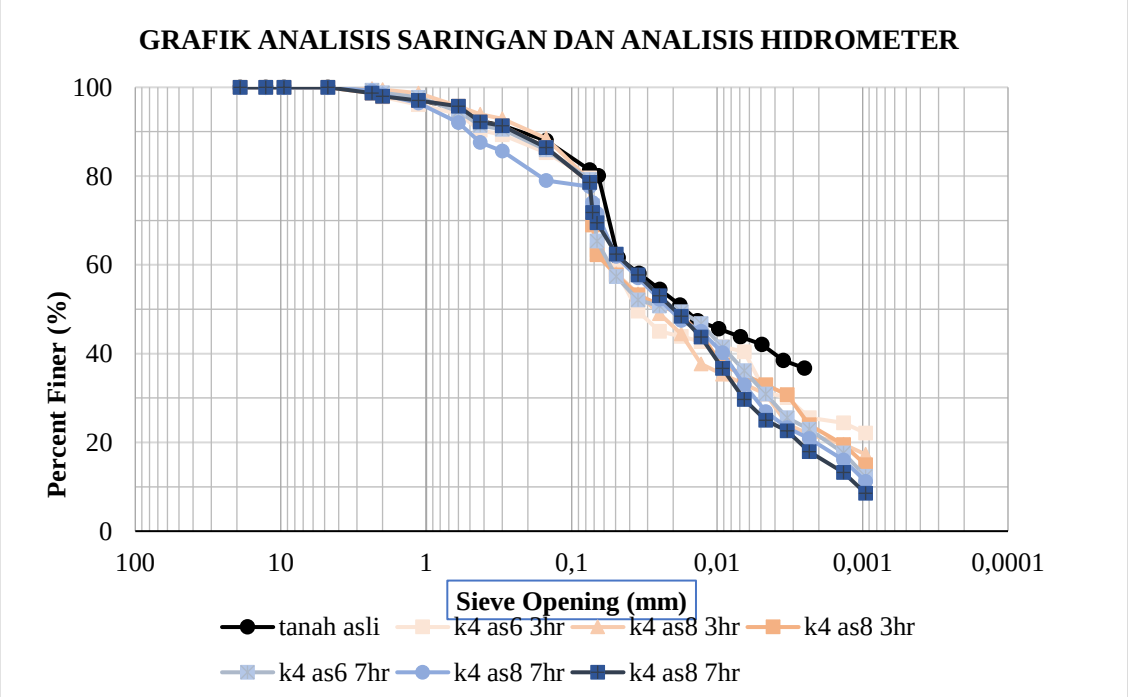
dengan curing 3 hari. Penurunan plastisitas ini menegaskan bahwa interaksi ion Ca^{2+} dari kapur dengan permukaan partikel lempung mampu mereduksi gaya tarik air, sehingga plastisitas tanah menurun [20]. Proses pozzolanik lebih lanjut menghasilkan C-S-H dan C-A-H yang semakin membatasi pergerakan molekul air di antara partikel lempung.

Hasil analisis gradasi (Tabel 4; Gambar 7) menunjukkan adanya pergeseran fraksi tanah setelah penambahan abu sekam padi dan kapur. Fraksi lempung berkurang dari 45% (tanah asli) menjadi 23–30%, sementara fraksi lanau meningkat hingga 56%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses flokulasi akibat pertukaran kation dan reaksi pozzolanik mengubah partikel lempung halus menjadi agregat yang lebih kasar. Perilaku serupa dilaporkan oleh Onyelowe et al. [21], yang menyatakan bahwa penambahan material pozzolanik menyebabkan redistribusi fraksi butiran akibat proses sementasi mikro. Peningkatan fraksi lanau pada penelitian ini secara langsung berkontribusi pada penurunan plastisitas dan *swelling potential*.

Tabel 4 Persentase Sebaran Butiran Tanah Asli dan Tanah Campuran

Variasi Campuran	pemeraman	distribusi butiran			
		kerikil	pasir	lanau	lempung
tanah asli	0	-	32	33	45
Kapur 4% + Abu Sekam 6%	3	-	20	55	25
Kapur 4% + Abu Sekam 8%	3	-	21	56	23
Kapur 4% + Abu Sekam 10%	3	-	22	55	23
Kapur 4% + Abu Sekam 6%	7	-	19	51	30
Kapur 4% + Abu Sekam 8%	7	-	21	55	24
Kapur 4% + Abu Sekam 10%	7	-	22	54	24

Sumber: Penulis, 2025



Gambar 7. Kurva Distribusi Butiran Tanah Asli dan Tanah Campuran
Sumber: Penulis, 2025

3.3 Analisis Hasil Pengujian Mekanis Tanah Campuran

Selain pengujian sifat fisis, dilakukan juga pengujian sifat mekanis pada tanah yang telah distabilisasi. Pengujian mekanis yang dilakukan mencakup *Proctor test* sesuai dengan standar SNI serta *Swelling potential test* berdasarkan standar ASTM. Hasil pengujian mekanis (Tabel 5) memperlihatkan dua kecenderungan utama, yaitu perubahan pada kepadatan (MDD dan OMC) serta penurunan signifikan pada swelling potential.

Tabel 5 Sifat Mekanis Tanah Asli dan Tanah Campuran

Variasi Campuran	Pemeraman	*Proctor test*		*Swelling test*
		MDD	OMC	pengembangan
tanah asli	0	1.38	24.75	114.5
Kapur 4% + Abu Sekam 6%	3	1.22	26.5	38.16
Kapur 4% + Abu Sekam 8%	3	1.21	28.1	36.25
Kapur 4% + Abu Sekam 10%	3	1.21	28.3	30.53
Kapur 4% + Abu Sekam 6%	7	1.21	24	43.89
Kapur 4% + Abu Sekam 8%	7	1.19	26.3	30.53
Kapur 4% + Abu Sekam 10%	7	1.18	27	26.71

Sumber: Penulis, 2025

Tabel 5 menunjukkan penambahan kadar campuran mempengaruhi nilai kadar air optimum yang semakin bertambah dan nilai kepadatan yang cenderung menurun. Nilai MDD turun dari 1,38 g/cm³ (tanah asli) menjadi 1,18 g/cm³ pada campuran 4% kapur + 10% abu sekam (7 hari curing). Sebaliknya, nilai OMC meningkat dari 24,75% menjadi 28,3%. Penambahan variasi campuran meningkatkan kadar air (OMC) pada tanah campuran. Menurut penelitian Rahmaneta [17], penambahan kapur mempengaruhi kenaikan OMC, hal ini terlihat bahwa campuran tanah dan kapur yang dipadatkan akan memiliki kadar air optimum cenderung bertambah seiring bertambahnya kadar campuran. Penelitian yang dilakukan Uning [22], tentang stabilisasi dengan abu sekam dan kapur juga menunjukkan hasil yang serupa, semakin banyak persentase campuran maka kadar air optimum akan semakin meningkat. Pola ini konsisten dengan teori bahwa penambahan bahan stabilisasi berpori rendah densitas menyebabkan menurunnya kepadatan, sementara reaksi hidrasi kapur meningkatkan kebutuhan air [17]. Walaupun MDD menurun, kestabilan struktural tetap meningkat karena terbentuknya senyawa sementasi sekunder.

Berdasarkan hasil uji pengembangan (*swelling test*), dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara peningkatan kadar campuran dan durasi pemeraman dengan nilai pengembangan tanah. Semakin tinggi persentase campuran yang ditambahkan dan semakin lama durasi pemeraman, maka nilai pengembangan tanah cenderung semakin menurun. Hasil paling signifikan ditunjukkan pada penurunan nilai swelling potential dari 114,5% (tanah asli) menjadi hanya 26,71% pada campuran optimum (4% kapur + 10% abu sekam, 7 hari curing). Penurunan lebih dari 75% ini membuktikan efektivitas reaksi kimia antara $Ca(OH)_2$ dan SiO_2 amorf dalam abu sekam, yang menghasilkan C-S-H sebagai pengikat antar partikel [4]. Temuan ini sejalan

dengan Abdurrozak [11] dan Liu [12], yang juga melaporkan penurunan swelling tanah ekspansif lebih dari 70% menggunakan kombinasi serupa.

3.4 Implikasi Praktis dan Signifikansi

Penurunan nilai swelling potential dari 114,5% (tanah asli) menjadi 26,71% (pada campuran optimum 4% kapur + 10% abu sekam dengan pemeraman 7 hari) menunjukkan bahwa tanah yang semula termasuk dalam kategori ekspansif sangat tinggi berhasil diturunkan hingga masuk kategori ekspansif rendah berdasarkan kriteria ASTM D4829-21. Hal ini berarti bahwa secara teknis, campuran stabilisasi yang dilakukan telah memenuhi standar sebagai tanah yang dapat digunakan untuk mendukung konstruksi ringan hingga menengah tanpa risiko kerusakan besar akibat kembang-susut.

Dari perspektif aplikasi lapangan, hasil ini memiliki arti penting. Abu sekam padi merupakan limbah pertanian yang sangat melimpah di Banyuwangi, sehingga biaya pengadaannya rendah dan ketersediaannya berkelanjutan. Pemanfaatan material lokal ini menjadikan metode stabilisasi tidak hanya ekonomis, tetapi juga ramah lingkungan, sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable ground improvement*). Dengan memanfaatkan limbah pertanian sebagai bahan rekayasa tanah, penelitian ini juga berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan dari proses pembakaran terbuka sekam padi.

Namun demikian, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan kepadatan kering maksimum (MDD) dari 1,38 g/cm³ pada tanah asli menjadi 1,18 g/cm³ setelah stabilisasi. Penurunan ini dapat memengaruhi daya dukung tanah jika tidak diimbangi dengan pemadatan mekanis tambahan. Oleh karena itu, pada skala lapangan disarankan untuk mengombinasikan stabilisasi kimia (abu sekam + kapur) dengan pemadatan mekanis agar daya dukung tanah tetap optimal. Selain itu, penelitian ini masih terbatas pada pengujian durasi pemeraman 3 dan 7 hari. Belum ada data mengenai kinerja campuran pada jangka panjang, terutama terhadap siklus basah–kering (*wetting–drying cycles*) yang sering terjadi di daerah tropis. Padahal, siklus ini sangat memengaruhi stabilitas kimia C-S-H dan C-A-H yang terbentuk. Oleh karena itu, studi lanjutan dengan uji jangka panjang sangat diperlukan untuk memastikan keberlanjutan efek stabilisasi.

Dari sisi parameter mekanis, penelitian ini masih berfokus pada swelling potential sebagai indikator utama. Akan tetapi, parameter lain seperti *California Bearing Ratio* (CBR), kuat geser tanah (shear strength), serta permeabilitas perlu diuji lebih lanjut agar dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang perilaku tanah hasil stabilisasi. Hasil tersebut nantinya dapat digunakan untuk mengevaluasi kelayakan metode ini pada berbagai jenis infrastruktur, misalnya perkerasan jalan, pondasi dangkal, maupun dinding penahan tanah.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa campuran 4% kapur dan 10% abu sekam padi terbukti efektif dalam menurunkan swelling potential tanah hingga masuk kategori aman menurut ASTM, sehingga layak diaplikasikan pada

konstruksi. Dari sisi penerapan, metode ini memiliki potensi besar untuk digunakan di wilayah pedesaan agraris seperti Banyuwangi karena memanfaatkan material lokal yang melimpah dan berbiaya rendah. Meskipun demikian, tantangan berupa penurunan densitas kering perlu diantisipasi, dan salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan melakukan pemadatan mekanis tambahan di lapangan. Selain itu, penelitian lanjutan sangat diperlukan, khususnya terkait uji jangka panjang dengan siklus basah–kering serta pengujian parameter mekanis lain seperti kuat geser dan daya dukung, agar kehandalan metode ini benar-benar teruji sebelum diterapkan pada skala konstruksi yang lebih luas.

3.5 Diskusi Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran 4% kapur dan 10% abu sekam padi mampu menurunkan swelling potential tanah ekspansif dari 114,5% menjadi 26,71%, sehingga masuk kategori ekspansif rendah. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian terdahulu yang juga menegaskan efektivitas kombinasi abu sekam padi (*Rice Husk Ash*, RHA) dan kapur dalam memperbaiki sifat tanah lempung ekspansif yang dapat dilihat perbandingannya di Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Bahan Stabilisasi	Komposisi Optimum	Hasil Utama	Relevansi dengan Penelitian Ini
Muntohar & Hantoro [8]	RHA + Kapur	±8% RHA + 4–6% kapur	Menurunkan plastisitas, meningkatkan CBR, menurunkan *swelling*.	Konsisten: kombinasi RHA + kapur efektif, mekanisme reaksi pozzolanik dominan.
Muntohar [9]	RHA + Kapur	Variatif (6–10% RHA + 4% kapur)	Reaksi pozzolanik menghasilkan C-S-H → menurunkan ekspansifitas.	Sejalan: penelitian ini juga membuktikan perubahan klasifikasi tanah (CH → ML).
Sabat [10]	RHA + Lime sludge	8–12% RHA + lime sludge	Penurunan plastisitas & *swelling* lebih efektif dibanding penggunaan tunggal.	Mirip tren: semakin tinggi RHA, *swelling* semakin menurun.
Abdurrozak & Mufti [11]	RHA + Kapur	8% RHA + 4% kapur	*Swelling* turun signifikan, IP menurun drastis.	Berbeda: pada tanah di Kendalrejo optimum bergeser ke 10% RHA.
Liu et al. [12]	Residual RHA + Kapur	Variatif (5–15% RHA + 3–5% kapur)	*Swelling pressure* turun, strength meningkat; pengaruh curing signifikan.	Konsisten: optimum terjadi setelah curing, sejalan dengan hasil 7 hari curing di penelitian ini.
Penelitian ini	RHA + Kapur	10% RHA + 4% kapur	*Swelling* turun dari 114,5% → 26,71% (kategori rendah); IP turun drastis; klasifikasi berubah CH → ML.	Memberikan bukti lokasi-spesifik bahwa 10% lebih efektif dibanding 6–8%.

Sumber: Penulis, 2025.

Muntohar dan Hantoro [8] meneliti pengaruh abu sekam padi dan kapur pada tanah lempung *subgrade*, dan melaporkan bahwa penambahan kedua bahan tersebut mampu meningkatkan nilai CBR serta menurunkan plastisitas dan potensi pengembangan tanah. Hasil ini sejalan dengan penelitian ini, di mana indeks plastisitas (IP) turun drastis dari 28,71% menjadi 3,98% pada campuran optimum. Selanjutnya, Muntohar [9] menekankan bahwa reaksi pozzolanik antara $Ca(OH)_2$ dari kapur dan SiO_2 amorf dari abu sekam menghasilkan senyawa *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) yang berperan besar dalam menurunkan sifat ekspansif. Mekanisme ini juga terkonfirmasi pada penelitian ini, ditunjukkan dengan perubahan klasifikasi tanah dari CH/A-7-6 menjadi ML/A-4.

Sabat [10] memperkuat temuan tersebut dengan melaporkan bahwa kombinasi abu sekam padi dengan lime sludge menurunkan plastisitas dan *swelling* soil lebih efektif dibanding penggunaan tunggal. Perbedaannya dengan penelitian ini adalah pada penggunaan *lime sludge* sebagai pengganti sebagian kapur, sedangkan penelitian ini menggunakan kapur murni. Namun, kedua studi menunjukkan kecenderungan sama: semakin tinggi kandungan abu sekam padi, semakin besar penurunan *swelling*.

Hasil yang serupa juga diperoleh Abdurrozak & Mufti [11], yang meneliti tanah lempung di *subgrade* jalan. Mereka menemukan bahwa kombinasi abu sekam padi 8% dengan 4% kapur merupakan komposisi optimum untuk menurunkan plastisitas dan *swelling potential*. Meskipun demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa untuk kondisi tanah ekspansif di Desa Kendalrejo, komposisi optimum bergeser ke 10% abu sekam padi, yang menurunkan *swelling* lebih signifikan (hingga 26,71%). Perbedaan ini menegaskan bahwa komposisi optimum sangat dipengaruhi oleh karakteristik mineralogi tanah lokal.

Liu et al. [12] juga melaporkan bahwa residu abu sekam padi yang dikombinasikan dengan kapur efektif dalam menurunkan *swelling pressure* dan meningkatkan kekuatan tanah. Mereka menekankan pentingnya variasi rasio campuran dan kondisi *curing* dalam menentukan kinerja jangka panjang. Penelitian ini mendukung hal tersebut, karena hasil optimum dicapai setelah pemeraman 7 hari, di mana reaksi pozzolanik berlangsung lebih intensif.

Secara umum, semua penelitian terdahulu sepakat bahwa kombinasi abu sekam padi dan kapur memberikan dampak positif pada stabilisasi tanah ekspansif, khususnya melalui mekanisme pertukaran ion, flokulasi, serta reaksi pozzolanik yang menghasilkan senyawa pengikat sekunder. Perbedaan utama penelitian ini adalah fokus pada tanah ekspansif di Desa Kendalrejo, dengan hasil menunjukkan bahwa kandungan abu sekam 10% lebih efektif dibandingkan 6–8%, yang dilaporkan optimum pada studi sebelumnya. Hal ini menegaskan pentingnya pendekatan spesifik-lokasi dalam menentukan kadar optimum bahan stabilisasi, karena perbedaan kandungan mineral tanah dapat memengaruhi efektivitas reaksi kimia yang terjadi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan 4% kapur dan 6–10% abu sekam padi secara signifikan memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah ekspansif di Desa Kendalrejo, Banyuwangi, dengan hasil optimum pada campuran 4% kapur + 10% abu sekam padi setelah pemeraman 7 hari yang menurunkan swelling potential dari 114,5% menjadi 26,7% sehingga klasifikasi tanah berubah dari CH/A-7-6 (ekspansif tinggi) menjadi ML/A-4 (ekspansif rendah). Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi kapur dan abu sekam padi efektif menurunkan plastisitas serta sifat kembang-susut tanah, sekaligus mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan karena memanfaatkan material lokal yang murah dan ramah lingkungan. Namun, penurunan berat volume kering perlu diantisipasi dengan pemadatan tambahan, serta penelitian lanjutan terkait siklus basah–kering dan parameter mekanis lain (CBR, kuat geser, permeabilitas) masih diperlukan untuk memastikan keandalan metode pada skala konstruksi lapangan.

5. REFERENSI

[1] Dave, T. N., & Siddiqui, A. K. (2020). *A Review of Expansive Soil—Effects and Mitigation Techniques* (pp. 519–527). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0890-5_43

[2] Toll, D. G., Abedin, Z., Buma, J., Cui, Y., Osman, A. S., & Phoon, K. K. (2012). *The impact of changes in the water table and soil moisture on structural stability of buildings and foundation systems: systematic review CEE10-005 (SR90).* https://dro.dur.ac.uk/18298/

[3] Eldemary, I. F. (2023). A Broad Review on Treatment of Expansive Soils Using Mixing and Reinforcement Inclusion Treatment Techniques: A Comprehensive Review. *ERU Research Journal*, *2*(2), 331-370.

[4] Ali, E. E., Summra, A., & Asran, M. A. G. (2025). A comprehensive assessment of rice husk ash in concrete. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, *0*(0), 95–112. https://doi.org/10.21608/auej.2024.309889.1702

[5] Koya, N. K. M., & Nair, D. G. (2021). *Investigations on the Pozzolanic Properties of Residual Rice Husk Ash* (pp. 421–431). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4590-4_40

[6] Bhengu, P. H., & Allopi, D. (2017). Influence of Lime on Lime Soil Stabilization on Natural Occurring Acidic Soil Engineering Properties. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, *30*(1), 57–69. https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/2618

[7] Nalbantoglu, Z. (2006). *Lime stabilization of expansive clay*. 353–360. https://doi.org/10.1201/9780203968079-35

[8] Muntohar, A. S., & Hantoro, G. (2000). Influence of rice husk ash and lime on engineering properties of a clayey subgrade. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 5, 1–9.

[9] Muntohar, A. S. (2006). Swelling characteristics and improvement of expansive soil with rice husk ash. In Expansive Soils: Recent Advances in Characterization and Treatment (pp. 435–451). Taylor & Francis.

[10] Sabat, A. K. (2013). Engineering properties of an expansive soil stabilized with rice husk ash and lime sludge. International Journal of Engineering and Technology, 5(6), 4826–4833.
[11] Abdurrozak, M. R., & Mufti, D. N. (2017). Stabilisasi tanah lempung dengan bahan tambah abu sekam padi dan kapur pada subgrade perkerasan jalan. Jurnal Teknisia, 22(2), 416–424.
[12] Liu, Y., Su, Y., Namdar, A., Zhou, G., She, Y., & Yang, Q. (2019). Utilization of cementitious material from residual rice husk ash and lime in stabilization of expansive soil. Advances in Civil Engineering, 2019, Article ID 5205276. https://doi.org/10.1155/2019/5205276
[13] Winara, A. O. F. R. (2018). *Perbaikan Tanah Ekspansif Menggunakan Abu Sekam (Desa Glagahagung, Kecamatan Purwoharjo, Kabupaten Banyuwangi)*. (skripsi tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Jember, Jember.
[14] Eliaslankaran, Z., Daud, N. N. N., Yusoff, Z. M., & Rostami, V. (2021). Evaluation of the effects of cement and lime with rice husk ash as an additive on strength behavior of coastal soil. *Materials*, *14*(5), 1140.
[15] Zamin, B., Nasir, H., Mehmood, K., Iqbal, Q., Farooq, A., & Tufail, M. (2021). An Experimental Study on the Geotechnical, Mineralogical, and Swelling Behavior of KPK Expansive Soils. *Advances in Civil Engineering*, *2021*, 1–13. https://doi.org/10.1155/2021/8493091
[16] Tang, C., & Shi, B. (2011). Swelling and shrinkage behaviour of expansive soil during wetting-drying cycles. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, *33*(9), 1376–1384. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-YTGC201109013.htm
[17] Rahmaneta, S., Munirwansyah, M., & Chairullah, B. (2020). Pengaruh stabilisasi kapur terhadap parameter kuat geser tanah lempung ekspansif. Journal of The Civil Engineering Student, 2(1), 8-14.
[18] Saleh, I. (2018). Analisis Parameter Statistik Distribusi Butiran Sedimen Pantai Pasir Putih Kota Sabang.
[19] Meriatna, M., Maulinda, L., Khalil, M., & Zulmiardi, Z. (2017). Pengaruh temperatur pengeringan dan konsentrasi asam sitrat pada pembuatan silika gel dari sekam padi. Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 4(1), 78-88.
[20] Sipangkar, S. O., Peslinof, M., & Fendriani, Y. (2023). Analisis sifat fisis tanah pada stabilitas tanah lempung dengan penambahan kapur tohor (CaO). JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika), 7(1), 78-89.
[21] Onyelowe, K. C., Onyelowe, K. C., Onyia, M. E., Van, D. B., Baykara, H., & Ugwu, H. U. (2021). Pozzolanic Reaction in Clayey Soils for Stabilization Purposes: A Classical Overview of Sustainable Transport Geotechnics. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2021*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2021/6632171
[22] Uning, R., Haza, Z. F., & Galuh, D. L. C. (2018). Pengaruh penambahan kapur padam dan abu sekam padi pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai pemadatan. RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil, 3(1), 50-57.