

Derajat Kepadatan Lapis Pondasi Agregat Tanpa Penutup Aspal Menggunakan Metode Sand Cone pada Proyek Rekonstruksi Jalan Kecamatan Serai Serumpun, Kabupaten Tebo di Ruas Jalan Tanjung Aur Seberang-Malako Tinggi

Yumardi^{1*}, Sucitra Wijaya², Darul Kutni³, Doli Jumat Rianto⁴, Aji Marwadi⁵

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muara Bungo

⁴Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muara Bungo

⁵Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

*Correspondence email: yumardikamel@gmail.com

Abstrak. Infrastruktur jalan sangat penting bagi kemajuan perekonomian warga desa Tanjung Aur Seberang. Perkembangan perekonomian di Desa Tanjung Aur, Kabupaten Tebo telah meningkatkan tingkat lalu lintas secara signifikan. Jika hal ini tidak diimbangi dengan perbaikan kualitas sarana dan prasarana transportasi, maka hal ini dapat menimbulkan permasalahan yang serius. Penentuan nilai derajat kepadatan agregat lapis pondasi (tanah) kelas S dalam memperoleh kestabilan tanah dengan kondisi yang aman sesuai dengan persyaratan standar kepadatan merupakan tujuan dari penelitian ini. Metode yang digunakan adalah pengujian yang langsung dilapangan maupun dilaboratorium. Pengujian kepadatan tanah di lapangan menggunakan alat konus pasir sesuai dengan persyaratan dari SNI 03-2828-1992, sementara pengujian kepadatan tanah di laboratorium mengikuti ketentuan yang tercantum dalam SNI 1742-2008. Interval pengujian kepadatan tanah bervariasi antara 50 meter, 75 meter, 100 meter, 150 meter, 200 meter tergantung kondisi lokasi. Hasil pengujian *sand cone* dilakukan pada jalan STA 2+000 hingga 3+800, pada pengujian pertama dengan 9 titik pengujian, diperoleh derajat kepadatan lapangan dibawah 95% yaitu STA 2+100 (94.141 %), STA 2 +550 (94.389%) dan STA 3 +800 (94.289%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa standar derajat kepadatan lapangan yang dipersyaratkan belum tercapai, sehingga dapat dilakukan penambahan lapisan dasar agregat kelas S dan dapat dilakukan pemadatan kembali. Dari STA 0 + 005 hingga 4 + 200 pada pengujian kedua dengan 26 titik pengujian. Hasil pengujian menggunakan alat konus pasir menunjukkan nilai rata-rata nilai kadar air adalah 7.513% dengan derajat kepadatan mencapai 98.846% dan hasil tersebut sesuai dengan persyaratan standar yang berlaku.

Kata Kunci: Derajat Kepadatan Tanah; Tanpa Penutup; Konus Pasir.

Abstract. Road infrastructure is very important for the economic progress of Tanjung Aur Seberang village residents. Economic development in Tanjung Aur Village, Tebo Regency has significantly increased traffic levels. If this is not balanced by improving the quality of transportation facilities and infrastructure, then this could cause serious problems. Determining the value of the degree of density of the foundation layer aggregate (soil) class S in obtaining soil stability with safe conditions in accordance with the requirements of density standards is the aim of this research. The methods used are direct tests in the field and in the laboratory. Testing soil density in the field using a sand cone tool follows the provision stated in SNI 03-2828-1992, while testing soil density in the laboratory follows the provisions stated in SNI 1742-2008. Soil density testing intervals vary between 50 meters, 75 meters, 100 meters, 150 meters, 200 meters depending on location conditions. The results sand cone testing was carried out on roads from STA 2+000 to 3+800. In the first test with 9 test points, the field density was obtained below 95%, namely STA 2+100 (94,141%), STA 2 +550 (94,389%) and STA 3 +800 (94,289). These results indicate that the required standard degree of field density has not been achieved, so that the base layer of class S aggregate can be added and compaction can be carried out again. And from STA 0 + 005 to 4 + 200 in the second test with 26 test points. Test results using a sand cone tool show that the average water content value is 7.513% with a density reaching 98.846%. and these results were in accordance with applicable standard requirements.

Keywords: Soil Density Degrees; Without Cover; Sand Cone

PENDAHULUAN

Bagian terpenting dalam pertumbuhan ekonomi adalah infrastruktur, khususnya jalan. Infrastruktur berpengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi dan memegang peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Menurut penelitian oleh Sistara, Herlinda, dan Nurfitri

(2021), infrastruktur yang memadai dapat meningkatkan produksi, menciptakan lapangan kerja baru, mengurangi tingkat kemiskinan, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Kualitas transportasi jalan yang baik sangat mendukung ekonomi masyarakat. Hal ini juga ditambahkan oleh (Sukarmi, Djamluddin and Amir, 2023) untuk membangun infrastruktur transportasi yang berkualitas diperlukan kepadatan tanah atau bahan material yang kokoh di lokasi pembangunan infrastruktur jalan tersebut. Jalan yang rusak sebagai besar disebabkan oleh kendaraan berat seperti truk pengangkut kelapa sawit yang menyebabkan retakan, berlubang dan deformasi akibat kurangnya pemadatan tanah di jalan tersebut. Jalan adalah infrastruktur transportasi yang sangat penting untuk memfasilitasi konektivitas ekonomi antara kota dengan kota, kota dengan desa, dan antar desa, (Lapian *et al.*, 2021). Kondisi jalan yang baik akan memudahkan mobilitas penduduk dalam menjalankan kegiatan ekonomi dan berbagai aktivitas sosial. Seperti yang disebutkan oleh Parapat, Asril Nizar, dan Saragih (2021), jalan memiliki peran krusial dalam kemajuan ekonomi. Sebaliknya, kerusakan jalan tidak hanya menghalangi kegiatan ekonomi tetapi juga dapat menyebabkan insiden kecelakaan. Menurut Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2006, jalan didefinisikan sebagai infrastruktur transportasi darat yang mencakup semua elemen jalan beserta struktur, peralatan, dan fasilitas yang digunakan untuk pergerakan lalu lintas, baik yang berada di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, maupun di atas air. Definisi ini tidak termasuk jalan kereta api, lintasan lari, dan jalan kabel, (Indonesia, 2006).

Menurut (Siregar, Sarifah and Tanjung, 2021) kepadatan tanah di lapangan bisa diukur secara langsung dengan membandingkan berat isi kering tanah di lapangan dengan berat isi kering di laboratorium. Kepadatan tanah di lapangan dapat diukur langsung dengan membandingkan berat isi kering lapangan dengan berat isi kering di laboratorium. Kemampuan pemadatan ini sangat dipengaruhi oleh kadar air tanah. Tanah sulit untuk dipadatkan ketika kadar airnya rendah, sedangkan jika kadar airnya tinggi, nilai kepadatannya akan menurun. Kondisi di mana tanah mencapai kepadatan maksimal disebut sebagai kadar air optimum. Hubungan antara lendutan dan kepadatan harus memiliki tingkat persetujuan tidak kurang dari 95% dari kepadatan kering maksimum yang ditetapkan sesuai dengan standar SNI 1742:2008, jika disetujui oleh pengawas, (PUPR, 2018). Serta apakah kepadatan tanah sudah layak atau belum untuk dilakukan pembangunan dalam sebuah konstruksi jalan, (Rizal Fahtoni, 2023).

Struktur dasar jalan terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan pondasi atas dan pondasi bawah. Bahan yang digunakan untuk lapisan pondasi di atas terdiri dari agregat kelas A, sementara untuk lapisan pondasi di bawahnya menggunakan agregat kelas B (PUPR, 2018). Terdapat tiga kelas berbeda dari agregat pondasi, yaitu kelas A, kelas B, dan kelas S. Secara umum, agregat base kelas A digunakan sebagai pondasi atas di bawah lapisan aspal, sementara agregat base kelas B digunakan untuk pondasi bagian bawah. Agregat base kelas S digunakan khususnya untuk bahu jalan tanpa penutup aspal, sesuai dengan ketentuan tambahan yang tercantum dalam (PUPR, 2018). Tujuan utama dari lapisan pondasi bawah dalam perkerasan lentur adalah mendukung beban atau meningkatkan daya dukung struktur perkerasan. Selain itu, peran lain dari lapisan dasar tergantung pada jenis permukaannya, seperti mencegah pemompaan, mengalirkan air yang sudah meresap ke jalan, serta mencegah atau mengurangi perubahan volume tanah di bawahnya, yang juga berfungsi sebagai lapisan kerja. Sifat-sifat dari lapis pondasi agregat dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Sifat-Sifat Lapis Pondasi Agregat

Sifat-Sifat	Lapis pondasi Agregat			Standar
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (Abrasion from Coarse Aggregates)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	SNI 2417:2008
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (Broken grains are retained on sieve No. 4)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	SNI 7619:2012
Batas Cair (Liquid Limits)	0 – 25	0 – 35	0 – 35	SNI 1967:2008
Indek Plastisitas (Plasticity Index)	0 – 6	4 – 10	4 – 15	SNI 1966:2008
Hasil kali Indek Plastisitas dng. % Lolos Ayakan No.200 (The result of multiplying the Plasticity Index by. % Passing Sieve No.200)	maks.25	-	-	
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (Clay Clods and Fragments Are Easily Broken)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	SNI 4141:2015
CBR rendaman (CBR immersion)	Min 90 %	Min 60 %	Min 50 %	SNI 1744:2012

Tabel 1. Lanjutan

Sifat-Sifat	Lapis pondasi Agregat			Standar
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40 (Comparison of the Percent Passing Sieve No.200 and No.40)	Maks 2/3	Maks 2/3	-	
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	

Sumber: (PUPR, 2018)

Catatan:

- 1) Angka 95/90 mengindikasikan bahwa 95% dari agregat kasar memiliki setidaknya satu muka bidang pecah, sedangkan 90% dari agregat kasar memiliki setidaknya dua muka bidang pecah.
- 2) Angka 55/50 mengindikasikan bahwa 55% dari agregat kasar memiliki setidaknya satu muka bidang pecah atau sedangkan 50% dari agregat kasar memiliki setidaknya dua atau lebih muka bidang pecah.
- 3) Angka 80/75 mengindikasikan bahwa 80% dari agregat kasar memiliki setidaknya satu muka bidang pecah atau lebih dan 75% agregat kasar memiliki setidaknya dua atau lebih muka bidang pecah.

Pemadatan adalah proses mekanis untuk mengurangi udara dari pori-pori tanah. Sedangkan kepadatan adalah berat isi kering tanah, (Badan Standardisasi Nasional, 1992). Kadar air memiliki pengaruh signifikan terhadap kepadatan tanah yang dapat dicapai, begitu juga dengan jenis tanah yang merupakan faktor lain yang mempengaruhinya, (Sukarmi, Djamluddin and Amir, 2023). Kepadatan harus memiliki tingkat persetujuan tidak kurang dari 95% dari kepadatan kering maksimum yang ditetapkan sesuai dengan standar SNI 1742:2008, jika disetujui oleh pengawas, (PUPR, 2018). Derajat kepadatan lapangan adalah persentase perbandingan antara berat isi kering tanah di lapangan dengan berat isi kering tanah di laboratorium, (Badan Standardisasi Nasional, 1992). Menurut (Akbar, Burhanuddin and Jufriadi, 2021) Semakin besar kepadatan tanah, maka daya dukung tanahnya juga semakin tinggi, terutama jika sub grade sudah sepenuhnya padat.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Tebo tepatnya di ruas jalan Desa Tanjung Aur Seberang Kec. Serai Serumpun. Jenis penelitian ini, penelitian kualitatif deskriptif, yang menjelaskan hasil pengukuran dengan menggunakan *sand cone*. Sand cone menggunakan pasir Ottawa sebagai patokan untuk mengukur kepadatan tanah. Pasir Ottawa memiliki karakteristik kering, bersih, keras, dan tidak mengandung bahan pengikat, sehingga memfasilitasi aliran yang lancar ketika digunakan dalam pengujian, (Siregar, Sarifah and Tanjung, 2021). Menurut (Akbar, Burhanuddin and Jufriadi, 2021) sand cone digunakan sebagai perangkat untuk mengukur kepadatan lapangan dari lapisan tanah atau perkerasan yang sudah dikompaksi. Hasilnya diperoleh setelah sampel material dari lapangan diproses di laboratorium. Sand cone digunakan untuk menilai apakah kepadatan lapisan pondasi telah mencapai standar minimal yang ditetapkan, yaitu lebih dari 95%. Hal ini sejalan dengan pendapat (Ikbal and Zhafirah, 2022) Kepadatan tanah harus memenuhi standar yang menetapkan nilai derajat kepadatan lebih dari 95%. Dalam penelitian ini, nilai-nilai diperoleh dengan melakukan pengujian lapangan secara langsung menggunakan peralatan *sand cone* yang (Badan Standardisasi Nasional, 1992) meliputi:

1. Botol transparan yang berkapasitas sekitar 4 liter digunakan sebagai wadah untuk tempat pasir.
2. Corong kalibrasi pasir dengan diameter 16,51 cm, beserta pelat corong.
3. Pelat untuk menopang corong pasir memiliki ukuran 30,48 cm x 30,48 cm dengan lubang berdiameter 16,51 cm.
4. Volume yang telah diketahui (sekitar 2019 ml) dengan lubang berdiameter 16,51 cm.
5. Peralatan untuk mengukur kadar air.
6. Peralatan kecil meliputi: mistar perata dari baja, meteran 2 meter, palu, sendok, kuas, dan pahat.
7. Sebuah timbangan dengan kapasitas minimal 500 gram dan ketelitian hingga 0,1 gram.
8. Sebuah timbangan dengan kapasitas minimal 10 kg dan ketelitian hingga 1,0 gram.

Setelah mengambil sampel tanah, sampel tersebut kemudian dibawa ke laboratorium Kabupaten Bungo untuk dilakukan pengujian kepadatan lapangan. Pengujian *sand cone* dilakukan di jalan dari STA 2+000 hingga 3+800 pada pengujian pertama dengan 9 titik pengujian, dan dari STA 0 + 005 hingga 4 + 200 pada pengujian kedua dengan 26 titik pengujian. Interval pengujian berubah-ubah, mulai dari 50 meter, 75 meter, 100 meter, 150 meter, 200 meter, tergantung pada kondisi lapangan. Pengujian kepadatan menggunakan konus pasir harus dilakukan secara teratur dalam setiap tahap pekerjaan dengan jarak tidak lebih dari 200 meter, (PUPR, 2018). Berikut adalah beberapa rumus yang digunakan untuk mengukur kepadatan lapangan pada lapis pondasi tanah tanpa penutup aspal:

Tabel 2. Formula dalam menentukan kepadatan lapangan (*density test*) lapis pondasi tanah

No	Variabel	Rumus	Keterangan
1	Berat agregat basah, gr (C) (<i>Weight of wet aggregate</i>)	A - B	A = Berat agregat + tempat B = Berat tempat
2	Berat pasir dalam corong + lubang, gr (F) (<i>Sand weight in the funnel + hole</i>)	D - E	D = Berat pasir + gelas + corong E = Berat sisa pasir + gelas + corong
3	Berat pasir dalam lubang, gr (H) (<i>The weight of the sand in the hole</i>)	F - G	F = Berat pasir didalam corong + lubang G = Berat pasir didalam corong
4	Volume pasir dalam lubang cc (J) (<i>Volume of sand in the hole</i>)	H / I	H = Berat pasir dalam lubang I = Berat isi pasir
5	Berat isi agregat basah, gr/cm ³ (K) (<i>Weight of wet aggregate</i>)	C / J	C = Berat agregat basah J = Volume pasir didalam lubang
6	Berat air, gr (O) (<i>Weight of water</i>)	M - N	M = Berat tempat + agregat basah N = Berat tempat + agregat kering
7	Berat agregat kering, gr (Q) (<i>Weight of dry aggregate</i>)	N - P	N = Berat tempat + agregat kering P = Berat tempat
8	Kadar air, % (R) (<i>Water content</i>)	P / Q x 100	P = Berat air R = Berat agregat kering
9	Berat isi agregat kering max . lapangan, gr/cm ³ (T) (<i>Dry aggregate content weight max. field</i>)	(K/(R + 100) x 100	K = Berat isi agregat basah R = Kadar air
10	Derajat Kepadatan lapangan, % (W) (<i>Field density</i>)	(T / U) x 100	T = Berat isi agregat kering max. lapangan U = Berat isi agregat kering max . lab

Sumber: (PUPR, 2018)

HASIL

Pengukuran kepadatan tanah di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat konus pasir sesuai dengan standar SNI 03-2828-1992, sementara pengukuran kepadatan tanah di laboratorium mengikuti standar SNI 1742-2008. Pada lapis pondasi agregat tanpa penutup aspal, bertujuan untuk mengukur kepadatan lapangan dari lapisan pondasi tersebut. Pengujian *sand cone* dilakukan setiap 15-25 meter (1 titik) secara acak di atas timbunan yang sudah selesai dibangun di suatu lapisan. Proses pengujian *sand cone* dilapangan dapat dilakukan setelah selesai melakukan penimbunan pada suatu layer, termasuk proses penimbunan, penggunaan peralatan, dan pemadatan dengan *smooth drum roller*. Pengujian *sand cone* tidak dapat dilakukan jika tanah tidak rata atau stabil serta belum padat, karena pengujian ini melibatkan pemboran titik sampel tanah pada kedalaman tertentu. Uji *sand cone* dipilih karena kecepatan dan kemudahannya dibandingkan dengan metode uji lainnya. Peralatan *sand cone* dapat dengan mudah dibawa ke lokasi pengujian. Selain itu, metode spirtus dipilih untuk mengukur kadar air dalam tanah timbunan karena kepraktisan dan efisiensinya.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pertama Kepadatan Lapangan dengan *Sand Cone* dan Laboratorium

No	URAIAN	SAT	Lokasi / STA								
			2+000	2 + 250	2 + 550	2 + 850	3 + 000	3+250	3 + 400	3 + 700	3 + 800
Pengujian Kepadatan dengan Sandcone											
A	Berat agregat + tempat (<i>Aggregate weight + location</i>)	gr	4685	4116	3980	3623	3811	3906	3140	3156	2934
B	Berat tempat (<i>Place weight</i>)	gr	250	250	250	250	250	250	250	250	250
C	Berat agregat basah (<i>Weight of wet aggregate</i>)	gr	4435	3866	3730	3373	3551	3656	2890	2906	2684
D	Berat pasir + gelas + corong (<i>Weight of sand + glass + funnel</i>)	gr	7109	7071	7048	7030	6994	6971	6952	6933	6898

Tabel 3. Lanjutan

No	URAIAN	SAT	Lokasi / STA								
			2+000	2 + 250	2 + 550	2 + 850	3 + 000	3+250	3 + 400	3 + 700	3 + 800
E	Berat sisa pasir + gelas + corong (Weight of remaining sand + glass + funnel)	gr	2516	2969	2946	3252	3139	3014	3501	3500	3535
F	Berat pasir dalam corong + lubang (Sand weight in the funnel + hole)	gr	4593	4102	4102	3778	3855	3957	3451	3433	3363
G	Berat pasir dalam corong (The weight of the sand in the funnel)	gr	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445
H	Berat pasir dalam lubang (The weight of the sand in the hole)	gr	3148	2657	2657	2333	2410	2512	2006	1988	1918
I	Berat isi pasir (Weight of sand content)	gr/cm ³	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438
J	Volume pasir dalam lubang (Volume of sand in the hole)	cc	2189	1848	1848	1622	1676	1747	1394	1382	1333
K	Berat isi agregat basah (Weight of wet aggregate)	gr/cm ³	2.026	2.092	2.019	2.079	2.119	2.093	2.073	2.102	2.013
M	Berat tempat + agregat basah (Place weight + wet aggregate)	gr	77.12	66.12	59.66	65.73	54.39	59.41	54.64	61.44	58.49
N	Berat tempat + agregat kering (Place weight + dry aggregate)	gr	72.94	62.18	56.88	61.54	50.9	55.88	52.47	58.89	56.43
O	Berat tempat (Place weight)	gr	12	12	12	12	12	12	22	22	22
Pengujian Laboratorium											
P	Berat air (Weight of water)	gr	4.18	3.94	2.78	4.19	3.49	3.53	2.17	2.55	2.06
Q	Berat agregat kering (Weight of dry aggregate)	gr	60.94	50.18	44.88	49.54	38.9	43.88	30.47	36.89	34.43
R	Kadar air (Water content)	%	6.859	7.852	6.194	8.458	8.972	8.045	7.122	6.912	5.983
Hasil Pengujian Kepadatan											
T	Berat isi agregat kering max. lapangan (Dry aggregate content weight max. field)	gr/cm ³	1.896	1.940	1.901	1.917	1.944	1.937	1.935	1.966	1.899
U	Berat isi agregat kering max. lab (Dry aggregate content weight max. lab)	gr/cm ³	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014
V	Optimum moisture content (OMC)	%	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37
W	Derajat Kepadatan lapangan (Field density)	%	94.141	96.326	94.389	95.183	96.524	96.177	96.028	97.616	94.289

Sumber: Hasil uji Laboratorium. 2024

Tabel 4. Hasil Pengujian Kedua Kepadatan Lapangan dengan Sand Cone dan Laboratorium

NO	URAIAN	SAT	Lokasi / STA								
			0+005	0 + 200	0 + 300	0 + 400	0 + 550	0+700	0 + 800	0 + 900	1 + 000
Pengujian Kepadatan dengan Sandcone											
A	Berat agregat + tempat (Aggregate weight + location)	gr	3427	3519	3979	3394	3470	4045	3478	3415	4849
B	Berat tempat (Place weight)	gr	275	275	442	205	275	205	275	275	442
C	Berat agregat basah (Weight of wet aggregate)	gr	3152	3244	3537	3189	3195	3840	3203	3140	4407
D	Berat pasir + gelas + corong (Weight of sand + glass + funnel)	gr	6855	6835	6817	6838	6828	6792	6788	6772	6765
E	Berat sisa pasir + gelas + corong (Weight of remaining sand + glass + funnel)	gr	3360	3211	2954	3242	3255	2788	3190	3242	2384
F	Berat pasir dalam corong + lubang (Sand weight in the funnel + hole)	gr	3495	3624	3863	3596	3573	4004	3598	3530	4381
G	Berat pasir dalam corong (The weight of the sand in the funnel)	gr	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445
H	Berat pasir dalam lubang (The weight of the sand in the hole)	gr	2050	2179	2418	2151	2128	2559	2153	2085	2936
I	Berat isi pasir (Weight of sand content)	gr/cm ³	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438
J	Volume pasir dalam lubang (Volume of sand in the hole)	cc	1425	1515	1681	1495	1479	1779	1497	1449	2041
K	Berat isi agregat basah (Weight of wet aggregate)	gr/cm ³	2.211	2.141	2.104	2.133	2.160	2.158	2.139	2.167	2.159
M	Berat tempat + agregat basah (Place weight + wet aggregate)	gr	49.37	60.12	51.3	61.12	55.42	49.71	58.04	63.03	49.82

Tabel 4. Lanjutan

NO	URAIAN	SAT	Lokasi / STA								
			0+005	0 + 200	0 + 300	0 + 400	0 + 550	0+700	0 + 800	0 + 900	1 + 000
N	Berat tempat + agregat kering (Place weight + dry aggregate)	gr	46.92	57.19	49.52	58.4	53.04	47.46	55.68	59.69	47.59
O	Berat tempat (Place weight)	gr	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Pengujian Laboratorium											
P	Berat air (Weight of water)	gr	2.45	2.93	1.78	2.72	2.38	2.25	2.36	3.34	2.23
Q	Berat agregat kering (Weight of dry aggregate)	gr	24.92	35.19	27.52	36.4	31.04	25.46	33.68	37.69	25.59
R	Kadar air (Water content)	%	9.831	8.326	6.468	7.473	7.668	8.837	7.007	8.862	8.714
Hasil Pengujian Kepadatan											
T	Berat isi agregat kering max. lapangan (Dry aggregate content weight max. field)	gr/cm ³	2.013	1.976	1.976	1.984	2.005	1.983	1.999	1.989	1.985
U	Berat isi agregat kering max. lab (Dry aggregate content weight max. lab)	gr/cm ³	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014
V	Optimum Moisture Content (OMC)	%	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37
W	Derajat Kepadatan lapangan (Field density)	%	99.955	98.127	98.098	98.495	99.567	98.442	99.266	98.775	98.582

Sumber : Hasil Pengujian. 2024

Tabel 5. Hasil Pengujian Kedua Kepadatan Lapangan dengan Sand Cone dan Laboratorium

NO	URAIAN	SAT	Lokasi / STA								
			1 + 150	1+300	1 + 450	1 + 600	1 + 800	1 + 900	2+000	2 + 250	2+550
Pengujian Kepadatan dengan Sandcone											
A	Berat agregat + tempat (Aggregate weight + location)	gr	3448	4140	4149	3653	3709	3779	4685	4216	4146
B	Berat tempat (Place weight)	gr	442	275	442	275	275	275	250	250	250
C	Berat agregat basah (Weight of wet aggregate)	gr	3006	3865	3707	3378	3434	3504	4435	3966	3896
D	Berat pasir + gelas + corong (Weight of sand + glass + funnel)	gr	6737	6785	6766	6778	6755	6743	7109	7071	7048
E	Berat sisa pasir + gelas + corong (Weight of remaining sand + glass + funnel)	gr	3273	2761	2852	3053	2939	2912	2686	2969	2946
F	Berat pasir dalam corong + lubang (Sand weight in the funnel + hole)	gr	3464	4024	3914	3725	3816	3831	4423	4102	4102
G	Berat pasir dalam corong (The weight of the sand in the funnel)	gr	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445
H	Berat pasir dalam lubang (The weight of the sand in the hole)	gr	2019	2579	2469	2280	2371	2386	2978	2657	2657
I	Berat isi pasir (Weight of sand content)	gr/cm ³	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438
J	Volume pasir dalam lubang (Volume of sand in the hole)	cc	1404	1793	1716	1585	1648	1659	2071	1848	1848
K	Berat isi agregat basah (Weight of wet aggregate))	gr/cm ³	2.141	2.155	2.158	2.131	2.083	2.112	2.142	2.146	2.108
M	Berat tempat + agregat basah (Place weight + wet aggregate)	gr	62.03	44.82	50.79	55.82	60.02	47.11	77.12	66.12	59.66
N	Berat tempat + agregat kering (Place weight + dry aggregate)	gr	59.11	42.98	48.66	53.67	58.15	45.83	72.94	62.18	56.88
O	Berat tempat (Place weight)	gr	22	22	22	22	22	22	12	12	12
Pengujian Laboratorium											
P	Berat air (Weight of water)	gr	2.92	1.84	2.13	2.15	1.87	1.28	4.18	3.94	2.78
Q	Berat agregat kering (Weight of dry aggregate)	gr	37.11	20.98	26.66	31.67	36.15	23.83	60.94	50.18	44.88

Tabel 5. Lanjutan

NO	URAIAN	SAT	Lokasi / STA								
			1 + 150	1+300	1 + 450	1 + 600	1 + 800	1 + 900	2+000	2 + 250	2+550
R	Kadar air (Water content)	%	7.868	8.770	7.989	6.789	5.173	5.371	6.859	7.852	6.194
Hasil Pengujian Kepadatan											
T	Berat isi agregat kering max. lapangan (Dry aggregate content weight max. field)	gr/cm ³	1.985	1.981	1.999	1.995	1.980	2.004	2.004	1.990	1.986
U	Berat isi agregat kering max. lab (Dry aggregate content weight max. lab)	gr/cm ³	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014
V	Optimum Moisture Content (OMC)	%	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37
W	Derajat Kepadatan lapangan (Field density)	%	98.560	98.376	98.362	99.060	99.056	99.503	99.503	98.808	98.609

Sumber : Hasil Pengujian. 2024

Tabel 6 . Hasil Pengujian Kedua Kepadatan Lapangan dengan Sand Cone dan Laboratorium

NO	URAIAN	SAT	Lokasi / STA							
			2+850	3+000	3+250	3 + 400	3 + 700	3 + 800	4 + 000	4 + 200
Pengujian Kepadatan dengan Sandcone										
A	Berat agregat + tempat (Aggregate weight + location)	gr	3723	3851	3906	3180	3156	3034	3260	3704
B	Berat tempat (Place weight)	gr	250	250	250	250	250	250	250	200
C	Berat agregat basah (Weight of wet aggregate)	gr	3473	3601	3656	2975	2951	2829	3055	3504
D	Berat pasir + gelas + corong (Weight of sand + glass + funnel)	gr	7030	6994	6971	6952	6933	6898	6861	6709
E	Berat sisa pasir + gelas + corong (Weight of remaining sand + glass + funnel)	gr	3252	3169	3094	3501	3500	3535	3335	2897
F	Berat pasir dalam corong + lubang (Sand weight in the funnel + hole)	gr	3778	3825	3877	3451	3433	3363	3526	3812
G	Berat pasir dalam corong (The weight of the sand in the funnel)	gr	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445	1445
H	Berat pasir dalam lubang (The weight of the sand in the hole)	gr	2333	2380	2432	2006	1988	1918	2081	2367
I	Berat isi pasir (Weight of sand content)	gr/cm ³	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438	1.438
J	Volume pasir dalam lubang (Volume of sand in the hole)	cc	1622	1655	1691	1394	1382	1333	1447	1646
K	Berat isi agregat basah (Weight of wet aggregate))	gr/cm ³	2.141	2.176	2.162	2.134	2.135	2.122	2.111	2.128
M	Berat tempat + agregat basah (Place weight + wet aggregate)	gr	65.73	54.39	59.41	54.64	61.44	58.49	59.83	55.26
N	Berat tempat + agregat kering (Place weight + dry aggregate)	gr	61.54	50.9	55.88	52.47	58.89	56.43	57.71	52.84
O	Berat tempat (Place weight)	gr	12	12	12	22	22	22	22	22
Pengujian Laboratorium										
P	Berat air (Weight of water)	gr	4.19	3.49	3.53	2.17	2.55	2.06	2.12	2.42
Q	Berat agregat kering (Weight of dry aggregate)	gr	49.54	38.9	43.88	30.47	36.89	34.43	35.71	30.84
R	Kadar air (Water content)	%	8.458	8.972	8.045	7.122	6.912	5.983	5.937	7.847
Hasil Pengujian Kepadatan										
T	Berat isi agregat kering max. lapangan (Dry aggregate content weight max. field)	gr/cm ³	1.974	1.997	2.001	1.991	1.997	2.001	1.993	1.974
U	Berat isi agregat kering max. lab (Dry aggregate content weight max. lab)	gr/cm ³	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014	2.014
V	Optimum Moisture Content (OMC)	%	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37	9.37
W	Derajat Kepadatan lapangan (Field density)	%	98.014	99.156	99.355	98.858	99.155	99.355	98.957	98.014

Sumber : Hasil Pengujian. 2024

Uji sand cone yang dilakukan pada jarak antara STA 0+000 hingga 5+000, dengan rencana pengujian setiap 25-50 meter. Namun, di lapangan, frekuensi pengujian sand cone bervariasi, seperti

setiap 50 meter, 75 meter, 100 meter, 200 meter bergantung pada kondisi lapangan. Hasil uji dengan pengujian metode *sand cone* yang pertama pada jalan lapis pondasi tanpa penutup aspal di Desa Tanjung Aur Seberang Kabupaten Tebo dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Pengujian Pertama Kepadatan Lapis Agregat Tanpa Penutup Aspal

No	STA	Berat isi agregat kering max. lapangan (<i>Dry aggregate content weight max. field</i>)	Berat isi agregat kering max. lab (<i>Dry aggregate content weight max. lab</i>)	Derajat Kepadatan lapangan (<i>Field density</i>)	Kadar air (<i>Water content</i>)	<i>Optimum Moisture Content</i> (OMC)	Keterangan
		gram/cm ³	gram/cm ³	(%)	(%)	(%)	
1	2+000	1.896	2.014	94.141	6.859	9.37	Tidak memenuhi
2	2+250	1.94	2.014	96.326	7.852	9.37	Memenuhi
3	2+550	1.901	2.014	94.389	6.194	9.37	Tidak memenuhi
4	2+850	1.917	2.014	95.183	8.458	9.37	Memenuhi
5	3+000	1.944	2.014	96.524	8.972	9.37	Memenuhi
6	3+250	1.937	2.014	96.177	8.045	9.37	Memenuhi
7	3+400	1.934	2.014	96.028	7.122	9.37	Memenuhi
8	3+700	1.966	2.014	97.616	6.912	9.37	Memenuhi
9	3+800	1.899	2.014	94.289	5.983	9.37	Tidak memenuhi

Sumber: Data olahan. 2024

Pada tabel 7 dapat dilihat hasil pengujian *sand cone* dilakukan pada jalan STA 2+000 hingga 3+800, dengan pengujian pertama sebanyak 9 titik pengujian, diperoleh derajat kepadatan lapangan < 95% yaitu STA 2+100 (94.141 %), STA 2 +550 (94.389%) dan STA 3 +800 (94.289%). Dengan tidak tercapainya standar derajat kepadatan lapangan tersebut, maka perlu dilakukan tambahan lapis pondasi agregat kelas S dan dilakukan pemadatan kembali. Setelah dilakukan pengujian *sand cone* yang kedua diperoleh derajat kepadatan lapangan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan > 95% (memenuhi).

Tabel 8. Rekapitulasi Pengujian Kedua Kepadatan Lapis Agregat Tanpa Penutup Aspal

No	STA	Berat isi agregat kering max. lapangan (<i>Dry aggregate content weight max. field</i>)	Berat isi agregat kering max. lab (<i>Dry aggregate content weight max. lab</i>)	Derajat Kepadatan lapangan (<i>Field density</i>)	Kadar air (<i>Water content</i>)	<i>Optimum moisture content</i> (OMC)	Keterangan
		gram/cm ³	gram/cm ³	(%)	(%)	(%)	
1	0+005	2.013	2.014	99.955	9.831	9.37	Memenuhi
2	0+200	1.976	2.014	98.127	8.326	9.37	Memenuhi
3	0+300	1.976	2.014	98.098	6.468	9.37	Memenuhi
4	0+400	1.984	2.014	98.495	7.473	9.37	Memenuhi
5	0+550	2.005	2.014	99.567	7.668	9.37	Memenuhi
6	0+700	1.983	2.014	98.442	8.837	9.37	Memenuhi
7	0+800	1.999	2.014	99.266	7.007	9.37	Memenuhi
8	0+900	1.989	2.014	98.775	8.862	9.37	Memenuhi
9	1+000	1.985	2.014	98.582	8.714	9.37	Memenuhi
10	1+150	1.985	2.014	98.560	7.868	9.37	Memenuhi
11	1+300	1.981	2.014	98.376	8.770	9.37	Memenuhi
12	1+450	1.999	2.014	98.362	7.989	9.37	Memenuhi
13	1+600	1.995	2.014	99.060	6.789	9.37	Memenuhi
14	1+800	1.980	2.014	99.056	5.173	9.37	Memenuhi
15	1+900	2.004	2.014	99.503	5.371	9.37	Memenuhi
16	2+000	2.004	2.014	99.503	6.859	9.37	Memenuhi
17	2+250	1.990	2.014	98.808	7.852	9.37	Memenuhi
18	2+550	1.986	2.014	98.609	6.194	9.37	Memenuhi
19	2+850	1.974	2.014	98.014	8.458	9.37	Memenuhi
20	3+000	1.997	2.014	99.156	8.972	9.37	Memenuhi
21	3+250	2.001	2.014	99.355	8.045	9.37	Memenuhi
22	3+400	1.991	2.014	98.858	7.122	9.37	Memenuhi
23	3+700	1.997	2.014	99.155	6.912	9.37	Memenuhi
24	3+800	2.001	2.014	99.355	5.983	9.37	Memenuhi
25	4+000	1.993	2.014	98.957	5.937	9.37	Memenuhi
26	4+200	1.974	2.014	98.014	7.847	9.37	Memenuhi

Sumber: Data olahan, 2024

Pembahasan

Berdasarkan dari hasil uji pemadatan pertama jalan lapis pondasi tanpa penutup aspal setelah dilakukan nya penghamparan serta perataan material di atas permukaan jalan yang tercantum pada tabel 3 diatas, maka masih ada titik yang mendapatkan nilai dibawah 95% yaitu sebesar 94% yang artinya belum memenuhi standar spesifikasi persyaratan nilai kepadatan lapangan yang dianjurkan minimal 95% hal ini menunjukkan bahwa kondisi tanah di jalan Desa Tanjung Aur masih belum padat dan rentan mengalami kerusakan akibat rembesan air ke tanah serta penurunan tanah. Hal ini sejalan dengan pendapat (Ikbal and Zhafirah, 2022) Jika tidak memenuhi persyaratan tersebut, dapat menyebabkan kerusakan pada timbunan tanah dan dalam jangka waktu lama dapat merusak struktur perkerasan yang berada di atasnya. Ini konsisten dengan pandangan (Annas Fahlevi Isma, 2023) bahwa kerusakan jalan sering kali disebabkan oleh ketebalan lapisan pondasi yang tidak tepat atau tidak memenuhi standar dalam pengujian kepadatan lapis pondasi jalan. Dengan demikian maka kondisi lapangan harus dilakukan penambahan timbunan dan pemadatan, jumlah lintasannya diperbanyak serta dilakukan pengujian pemadatan ulang sampai hasil semua titik sampel memenuhi standar yang telah ditentukan sehingga kondisi jalan tidak mudah lagi mengalami kerusakan dan penurunan tanah yang diakibatkan oleh rembesan air hujan. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian kedua metode *sand cone* jalan lapis pondasi tanpa penutup aspal di ruas jalan desa tanjung aur, maka didapatkan hasil rekapitulasi uji *sand cone* pada tabel 9 sebagai berikut:

Tabel 9. Nilai Derajat Kepadatan Rata-Rata Lapis Pondasi Agregat Tanpa Penutup Aspal

Simbol	Item/ komponen	Satuan	Nilai Rata-Rata
R	Kadar air (Water content)	%	7.513
T	Berat isi agregat kering max. lapangan (Dry aggregate content weight max. field)	gr/cm ³	1.991
U	Berat isi agregat kering max. lab (Dry aggregate content weight max. lab)	gr/cm ³	2.014
V	Optimum moisture content (OMC)	%	9.37
W	Derajat Kepadatan lapangan (Field density)	%	98.846

Sumber: Data olahan, 2024

Dari Tabel 9, hasil pengujian menggunakan sand cone menunjukkan bahwa nilai kadar air rata-rata adalah 7.513%. Menurut (Saputro, Umam and Fauziah, 2020) Kadar air yang terukur pada pengujian pemadatan telah memenuhi persyaratan pekerjaan, dengan nilai minimum kadar air 5%, kadar air optimum 6.5%, dan kadar air maksimum 6.7%. Rentang yang diharuskan berkisar antara 3.5% hingga 7.5%. Sedangkan derajat kepadatan yang diperoleh 98.846%. Dari tabel 5 diatas terlihat bahwa setelah dilakukannya penimbunan dan pemadatan, jumlah lintasannya diperbanyak serta pengujian ulang menggunakan metode *sand cone* nilai kepadatan tanah pada pengujian kedua menjadi meningkat dibandingkan pada pengujian pertama yang hanya mendapat kan nilai 94% sedangkan menurut spesifikasi persyaratan nilai kepadatan lapangan yang dianjurkan minimal 95%, dari kepadatan kering maksimum yang ditetapkan sesuai dengan standar SNI 1742:2008, jika disetujui oleh pengawas (PUPR, 2018). Hal ini sejalan dengan pendapat (Rizal Fahtoni, 2023) Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kualitasnya memenuhi dan sesuai dengan spesifikasi yaitu harus lebih dari 95% sesuai dengan standar SNI 03-2828 1992. Hasil pengujian kepadatan kedua pada jalan lapis pondasi tanpa penutup aspal di ruas jalan desa Tanjung Aur menunjukkan bahwa kepadatan lapangan telah mencapai 98,846%, sesuai dengan standar kepadatan perkerasan jalan yang telah ditetapkan. Dengan demikian, kondisi lapangan sudah dianggap padat dan tidak memerlukan penambahan pemadatan atau penimbunan tambahan. Pada tanah timbunan dengan kepadatan lebih dari 95%, mampu menahan massa air lebih dari 2 ton per detik, sehingga jalan lapis pondasi tanpa penutup aspal tersebut berada dalam kondisi aman. Meskipun terjadi hujan intensitas tinggi yang bisa merusak jalan, tidak akan terjadi rembesan air pada jalan tersebut. Biasanya, derajat kepadatan tanah berkisar antara 95% hingga 100%, dengan syarat minimum adalah 95%. Jika nilai kepadatan ini

kurang dari 95%, perlu dilakukan pemadatan tambahan hingga mencapai derajat kepadatan antara 95% hingga 100%.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan di jalan lapis pondasi tanpa penutup aspal di desa Tanjung Aur Kabupaten Tebo yang berjumlah 9 titik pengujian pertama dan 26 titik pengujian kedua. Pada pengujian pertama nilai derajat kepadatan lapangan hanya diperoleh nilai 94% dan atau < 95% yaitu STA 2+100 (94.141 %), STA 2 +550 (94.389%) dan STA 3 +800 (94.289%) belum sesuai dengan standar spesifikasi yang diharapkan. Sedangkan pada pengujian kedua dengan jumlah 26 titik pengujian setelah tanah diberi timbunan dan pemadatan ulang. Dapat diperoleh derajat kepadatan rata-rata sebesar 98.846%. Jika nilai kepadatan ini kurang dari 95%, perlu dilakukan pemadatan tambahan agregat kelas S hingga mencapai derajat kepadatan >95%. Dalam pengujian ini, didapatkan berat isi tanah kering maksimum sebesar 2.014 gram/cm³, nilai *Optimum Moisture Content* adalah 9.37%, dan rata-rata kadar air pada pengujian ini adalah 7.513%.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. J., Burhanuddin, B. and Jufriadi, J. (2021) 'Hubungan Nilai CBR Dan Sand Cone Lapisan Pondasi Bawah Pada Perkerasan Lentur Jalan', *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), pp. 21–31. doi: 10.29103/tj.v5i1.4.
- Annas Fahlevi Isma, M. A. R. A. (2023) 'Analisa Lapis Pondasi Dengan Metode Sand Cone', *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 4(1), pp. 159–162. doi: 10.55616/jitu.v4i1.562.
- Badan Standardisasi Nasional (1992) *SNI 03-2828-1992 Metode Pengujian Kepadatan Lapangan dengan Alat Konus Pasir*, BSNI.
- Ikbal, F. M. and Zhafirah, A. (2022) 'Evaluasi Kepadatan Tanah Timbunan dengan Sand Cone Test', *Jurnal Konstruksi*, 20(2), pp. 228–233.
- Indonesia, R. (2006) *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan, Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia*. jAKAR.
- Lapian, F. E. P. et al. (2021) 'Penerapan Lapis Pondasi Agregat Semen Dengan Material Lokal Untuk Lapis Pondasi Jalan', *Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK)*, 1(1), pp. 485–491.
- PUPR, K. (2018) 'Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 1', *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, (September), pp. 1–199.
- Rizal Fahtoni, A. S. (2023) 'Analisis Kepadatan Tanah Menggunakan Sand Cone pada Peningkatan Struktur Jalan di Proyek Rancang dan Bangun Jembatan Akses Melintasi Sungai Cisadane di Kawasan PIK-2 Extention', in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, pp. 361–366.
- Saputro, Y. A., Umam, K. and Fauziah, S. (2020) 'Analisis Sandcone Test (AASHTO T 191 dan ASTM D 1556 64) Pada Peningkatan Jalan Jepara – Kedungmalang – Pecangaan', *Reviews in Civil Engineering*, 4(2), pp. 41–46. doi: 10.31002/rice.v4i2.2921.
- Siregar, R. D., Sarifah, J. and Tanjung, D. (2021) 'Analisa Kepadatan Tanah Menggunakan Metode Sand Cone Pada Pembangunan Relokasi Jalan Bendungan Lau Simeme Paket II Kab. Deli Serdang Sumatera Utara', *Buletin Utama Teknik*, 16(2), pp. 157–162.
- Sukarmi, S., Djamluddin, R. and Amir, A. (2023) 'Analisis Kepadatan Lapis Pondasi Kelas B Menggunakan Metode Sand Cone AASHTO 191-96 (Study Kasus Peningkatan Struktur Jalan Kabu Tunong-Cot Gud)', *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), pp. 7–10.