

# LAPORAN HASIL PENGUJIAN LAPANGAN

JALAN NASIONAL PIYUNGAN – GADING  
JALAN PROPINSI PRAMBANAN – PAKEM



PENGUKURAN NILAI *STIFFNESS* BAHAN DAN  
TEBAL LAPISAN PROFIL PERKERASAN JALAN  
MENGUNAKAN METODE SASW  
(*Spectral Analysis of Surface Waves*)

Sri Atmaja P. Rosyidi, ST., M.Sc.(C.Eng), PE.  
Sentot Hardwiyono, BE., Ir., M.T.

Pakar Bidang Teknik SASW dan NDT Evaluasi Perkerasan

YOGYAKARTA  
JULI, 2004

## LAPORAN HASIL PENGUJIAN LAPANGAN

PENGUKURAN NILAI *STIFFNESS* BAHAN DAN  
TEBAL LAPISAN PROFIL PERKERASAN JALAN  
MENGUNAKAN METODE SASW  
(*Spectral Analysis of Surface Waves*)

Penguji/Peng analisis,

---

Sri Atmaja P. Rosyidi, ST., M.Sc.CE., PE.

---

Sentot Hardwiyono, Ir., MT.

	Sri Atmaja P. Rosyidi Sentot Hardwiyono
Alamat	Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jl.HOS Cokroaminoto No.17, 55235 Yogyakarta
	Mobile Phone : +62-(0) 8157 909 887 Fax: +62-274-618166
Email	atmaja_sri@hotmail.com

---

## **ABSTRAK**

---

Laporan ini menyajikan penerapan metode *spectral-analysis-of-surface-waves* (SASW) sebagai metode pengukuran lapangan tanpa merusak (*in situ non-destructive testing*) untuk mengukur nilai *stiffness*/kekakuan bahan lapisan perkerasan dalam unit modulus elastisitas pada setiap kedalaman profilnya. Metode SASW merupakan metode baru yang menggunakan prinsip penyebaran gelombang permukaan sehingga data yang diukur di lapangan merupakan data perambatan gelombang di permukaan perkerasan jalan. Analisis SASW yang dilakukan menggunakan metode perbedaan fase untuk membuat kurva penyebaran kecepatan gelombang Rayleigh dan metode inversi sederhana untuk menentukan profil perkerasan jalan. Pengukuran dilakukan pada ruas Jalan Prambanan-Pakem dan Jalan Piyungan-Gading yang diambil masing-masing secara spot sebanyak 10 titik. Hasil pengukuran menunjukkan terdapat berbagai variasi modulus elastik pada lapisan permukaan aspal, fondasi atas, fondasi bawah dan tanah dasar. Beberapa persamaan korelasi empirik modulus elastisitas juga digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dalam nilai CBR dan DCP pada lapisan fondasi dan tanah dasar.

---

## **DAFTAR ISI**

---

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>3</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>4</b>
<b>BAB I    DESKRIPSI METODE SASW</b>	<b>5</b>
<b>BAB II    HASIL PENGUJIAN</b>	<b>10</b>
<b>1. PRAMBANAN – PAKEM</b>	<b>12</b>
<b>2. PIYUNGAN – GADING</b>	<b>27</b>

---

## **BAB I**

### **DESKRIPSI METODE SASW**

---

#### **1. PENDAHULUAN**

Keunggulan dari metode SASW ini adalah sifat pengujiannya yang tidak memberikan sebarang kerusakan pada struktur, metode ini murah dalam pelaksanaannya dan cepat untuk proses analisis hasilnya. Perkembangan metode SASW meliputi sejumlah pengujian dan riset yang telah dijalankan untuk berbagai jenis infrastruktur dan penggunaan teknik analisis yang diotomasi sepenuhnya. Aplikasinya yang pertama telah dilakukan oleh Nazarian (1984) dan Nazarian & Stokoe (1984) yang menjelaskan penggunaan SASW kepada analisis kekakuan tanah dan struktur timbunan jalan. Dalam studinya, hasil pengukuran SASW telah dibandingkan dengan pengujian lubang silang (*cross hole*) dan mendapati hasil pengujian SASW memiliki ketepatan yang tinggi. Pengujian yang sama juga telah dilakukan oleh Hiltunen & Woods (1988) yang menghasilkan korelasi yang memuaskan dari kedua metode pengujian. Penggunaan teknik SASW telah didapati berhasil untuk beberapa pengujian lapangan diantaranya studi karakteristik fondasi bangunan (Madshus & Westerdhal 1990; Stokoe et al. 1994), pengukuran lapangan nilai kekakuan tanah (Matthews et al. 1996), penilaian struktur beton (Rix et al. 1990; Cho 2002), pendeteksian lapisan pada struktur motar semen (Cho et al. 2001), penilaian kepadatan suatu struktur tanah timbunan (Kim et al. 2001) dan struktur fondasi (*ballast*) jalan kereta api (Zagyapan et al. 2002). Haupt (1977), Dravinsky (1983), Curro (1983) dan Gucunski et al. (1996, 2000) telah menunjukkan bahwa gelombang permukaan sangat sensitif kepada anomali (contohnya pengaruh keretakan dan lubang dalam struktur yang tidak homogen) yang terletak di permukaan suatu media. Hasil kajian tersebut menunjukkan potensi penggunaan SASW yang cukup luas untuk penilaian pemeliharaan suatu struktur.

#### **1.2 PROSES ANALISIS DALAM METODE SASW**

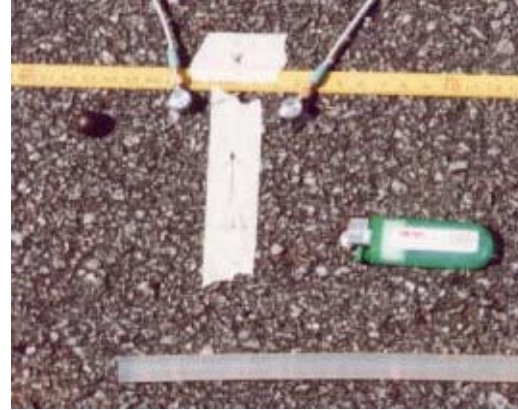
Tahapan analisis data gelombang permukaan dalam metode SASW terbagi dalam 3 proses utama (Nazarian & Stokoe 1984), yaitu :

- a. Proses pengambilan data di lapangan, menggunakan penganalisis spektrum (*spectrum analyzer*), sumber gelombang dan sensor (*accelerometers*), sebagaimana terlihat dalam Gambar 1.1 dan 1.2. Penganalisis spektrum menggunakan unit akuisisi 01dB buatan Perancis dan sensor DJB berkapasitas 20 KHz.
- b. Pembuatan kurva penyebaran kecepatan gelombang Rayleigh melawan frekuensi atau panjang gelombang,

- c. Proses inversi untuk mendapatkan profil akhir menggunakan metode inversi sederhana (*simple inversion method*).



Gambar 1.1 Spectrum Analyzer

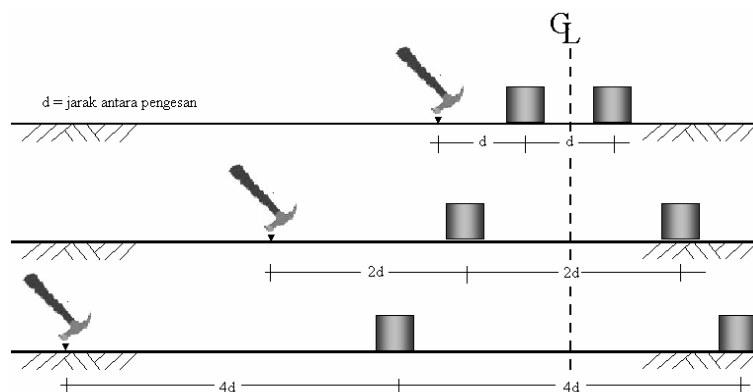


Gambar 1.2 Sensor Gelombang

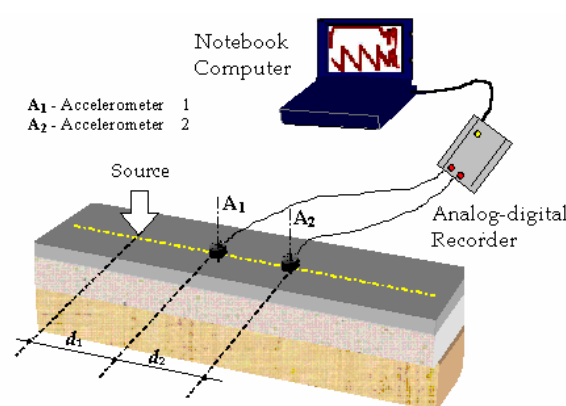
### 1.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA DI LAPANGAN

Prosedur yang digunakan untuk melakukan pengukuran analisis spektrum gelombang permukaan di lapangan adalah mengikut urutan sebagai berikut:

1. Menentukan satu set jarak sensor ( $d$ ) yang terdiri dari beberapa ukuran jarak diantara sensor yang berbeda dan pengukuran jarak dari letak sumber gelombang dengan sensor terdekat. Nilai jarak ini kemudiannya dilebarkan secara berganda, biasanya dimulai dengan jarak yang terpendek (Gambar 1.3).
2. Memilih sebuah sumber gelombang dan sepasang sensor yang tepat untuk setiap wilayah frekuensi yang telah ditentukan. Oleh yang demikian, untuk menghasilkan pergerakan gelombang dalam wilayah frekuensi yang diperlukan dalam sesuatu pengukuran, beberapa set berat dan bentuk sumber gelombang perlu digunakan bagi memperolehi isyarat yang baik.
3. Mengukur dan menentukan garis tengah imajiner dalam susunan sensor. Seterusnya dua sensor dengan spesifikasi yang sama, diletakkan dalam satu garis lurus di atas permukaan lapisan yang telah diukur mengikut konfigurasi titik tengah sensor (Gambar 1.4). Sensor juga harus terlekat secara baik agar dapat mendeteksi pergerakan gelombang dengan jelas dan tidak terdapat gangguan pada perpindahan fase akibat reaksi yang berbeda dari sensor. Seterusnya penganalisis spektrum diatur untuk menunjukkan operasi spektrum tenaga, fungsi perpindahan atau spektrum tenaga silang dan fungsi koheren.



Gambar 1.3 Penentuan letak sensor dan sumber gelombang dalam pengukuran

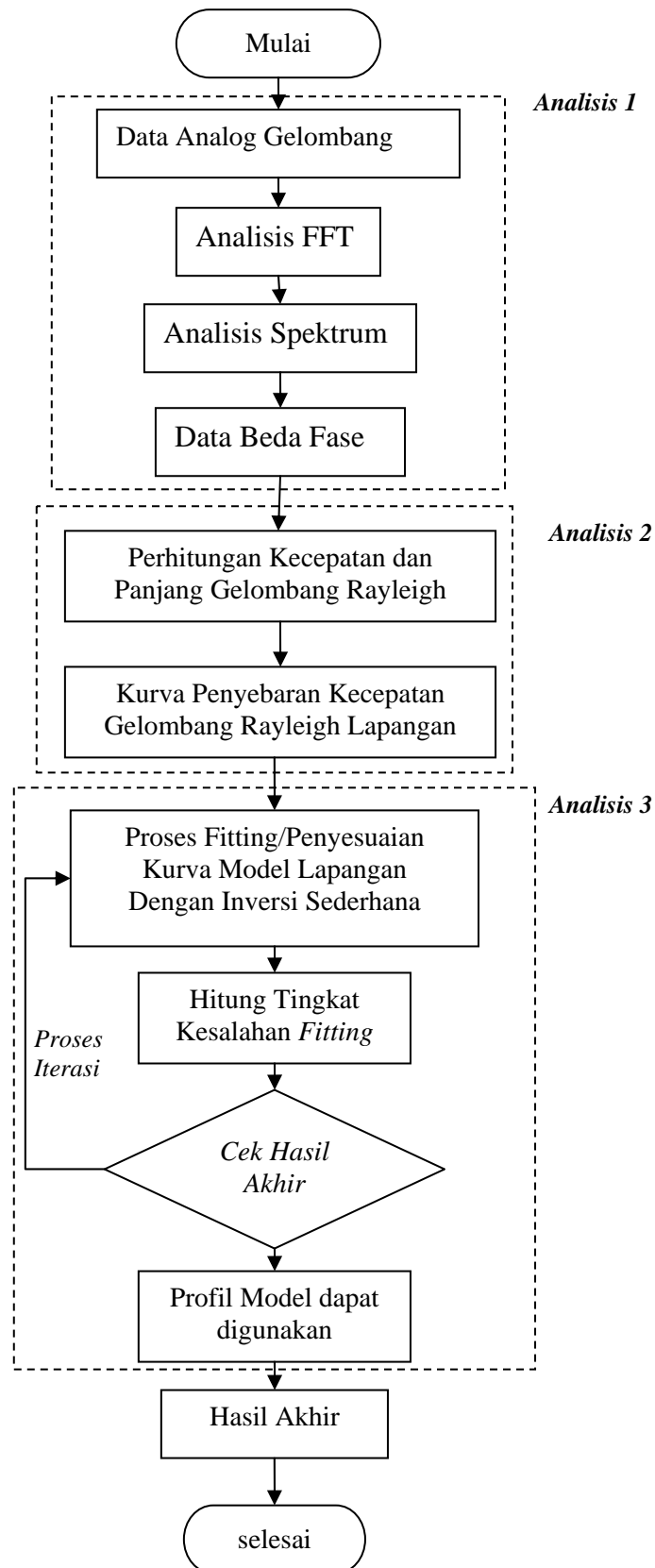


Gambar 1.4 Konfigurasi Titik Tengah Sensor dalam pengukuran

4. Menghasilkan gelombang dari sumber gelombang pada permukaan media yang memberikan reaksi menegak pada kedua sensor. Penghasilan dan perekaman gelombang dilakukan secara berulang kali untuk memperoleh sinyal rata-rata dalam domain frekuensi.
5. Mengubah kedudukan sensor yang disesuaikan dengan jarak pengesan dan sensor yang telah ditetapkan pada tahap pertama. Kemudian tahap dua hingga enam di atas diulangi sehingga pengujian dilakukan bagi semua jarak pengesan. Dalam kajian SASW ke atas profil turapan, penggunaan konfigurasi pengukuran profil depan (*forward profile measurement*) saja dapat dijalankan bagi keseluruhan jarak sensor. Ini kerana profil perkerasan memiliki tebal lapisan yang teratur dan seragam secara horisontal serta tidak memiliki lapisan miring (*dip slope*). Oleh itu pengukuran profil kebalikan (*reverse profile measurement*) dapat diabaikan.

#### 1.4 CARA ANALISIS DAN PENAFSIRAN DATA

Tahapan cara analisis dan penafsiran data dijelaskan dalam diagram di bawah ini :



Gambar 1.5 Bagan alir analisis SASW

### ***Analisis 1***

Dalam tahapan ini data digital gelombang ditransformasikan kepada domain frekuensi menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*). Untuk memperlancar kegiatan transformasi ini software *Mathlab* atau *dBFA 32* akan digunakan sebagai perangkat lunak pengotomatisasi analisis data. Setelah dianalisis dalam domain frekuensi, data gelombang ditampilkan dalam fungsi spektrum tenaga auto (*auto power*), fungsi perpindahan (*transfer function*) dan fungsi koheren (*coherence function*). Dari spektrum koheren akan diperoleh wilayah frekuensi yang menunjukkan sinyal yang baik, sehingga proses penyaringan (*filtering*) dan penentuan rentang frekuensi reaksi gelombang dilaksanakan dalam tahap ini.

Apabila rentang frekuensi dapat ditentukan, melalui spektrum fungsi pindahan, data beda fase bisa diturunkan dalam bentuk spektrum terbuka. Data ini akan digunakan untuk analisis 2.

### ***Analisis 2***

Dalam tahapan ini, kecepatan gelombang Rayleigh dapat dihitung dengan algoritma yang mudah menggunakan metode beda fase (*phase different method*). Kecepatan gelombang dapat ditentukan berdasarkan nilai waktu pergerakan gelombang ( $t$ ) dan jarak ( $d$ ) diantara sensor. Panjang gelombang juga dapat ditentukan berdasarkan nilai jarak diantara sensor dan nilai beda fasenya. Selanjutnya data kecepatan dan panjang/frekuensi gelombang Rayleigh dipetakan dalam kurva yang disebut sebagai kurva penyebaran lapangan (*experimental dispersion curve*). Kurva ini seterusnya akan dijadikan panduan iterasi dalam proses inversi di tahap analisis ke-3.

### ***Analisis 3***

Proses inversi dilakukan dengan metode sederhana (*simple inversion method*) yang direkomendasikan oleh Richart et al. (1972). Proses ini menghitung modulus elastisitas dari data kecepatan gelombang Rayleigh dengan mengasumsikan kepadatan bahan (*mass density*) dan angka Poisson untuk setiap bahan perkerasan jalan. Profil perkerasan jalan dapat dihasilkan dengan parameter modulus elastisitas dan kedalaman.

---

## **BAB II**

### **HASIL PENGUJIAN**

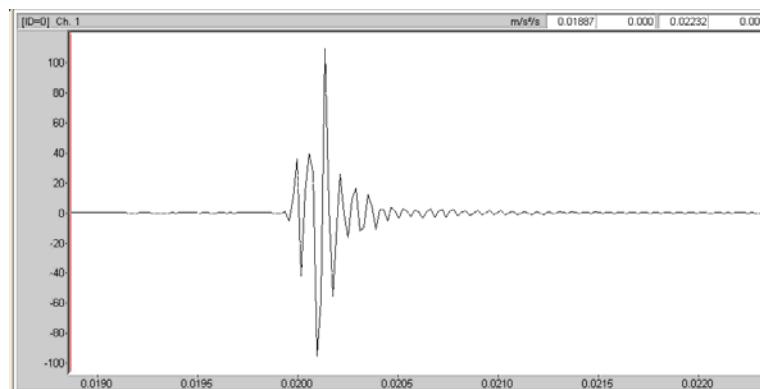
---

#### **2.1 PENDAHULUAN**

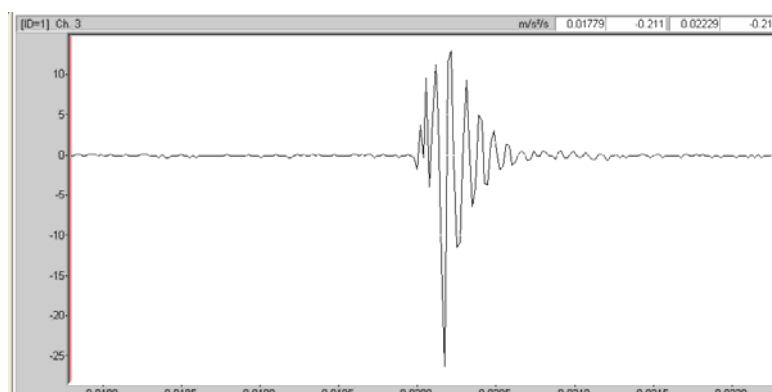
Pengujian dilakukan pada ruas Jalan Prambanan-Pakem dari KM 17+500 hingga KM 37+000 dan Jalan Piyungan-Gading (Jalan Wonosari-Yogyakarta) dari KM 13+930 hingga KM 31+700, yang masing-masing ruas diambil secara spot sebanyak 10 titik. Data yang diperoleh adalah data perambatan gelombang pada permukaan perkerasan jalan. Seterusnya data ini dianalisis untuk menghasilkan kurva perambatan gelombang dan diinversi untuk mendapatkan profil perkerasan jalan.

#### **2.2 DATA DAN HASIL PENGUKURAN**

- a. Data perambatan gelombang yang diterima oleh sensor gelombang 1 dan 2

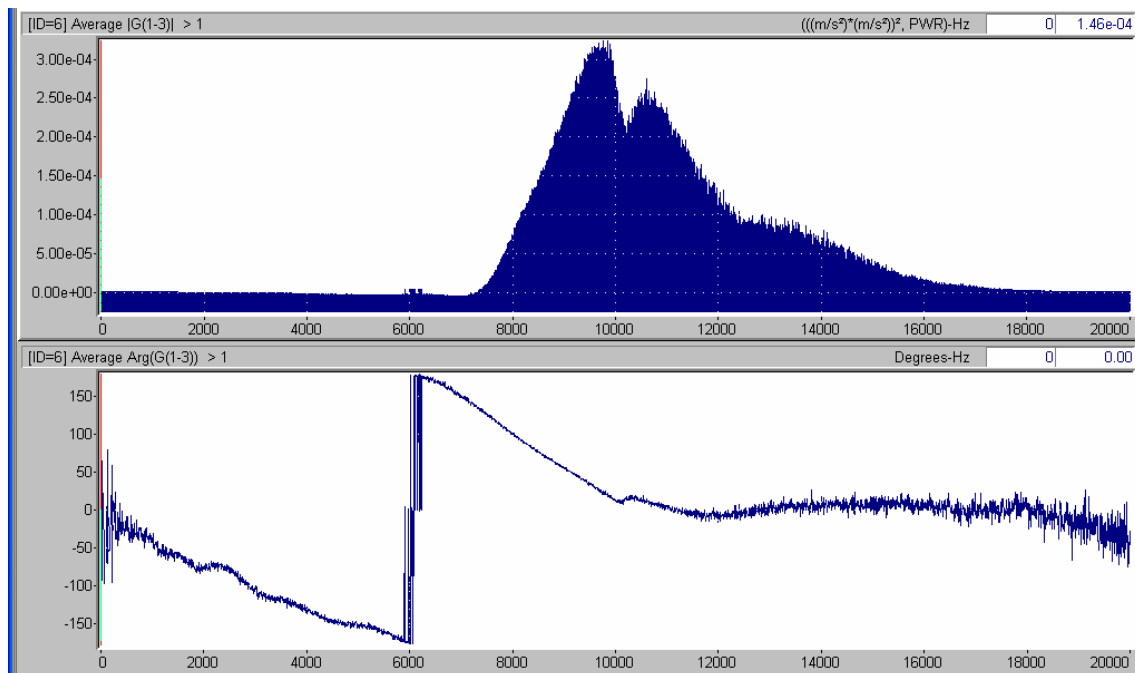


Sensor Gelombang 1 (Channel 1)

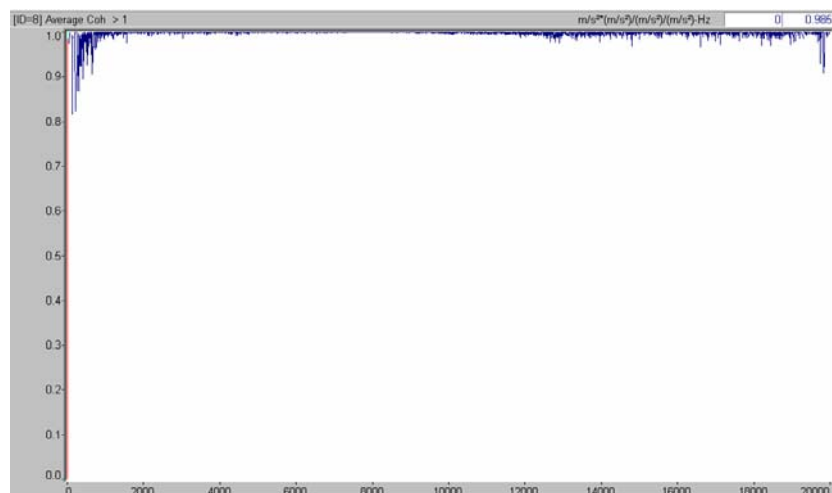


Sensor Gelombang 2 (Channel 2)

- b. Hasil analisis data gelombang dalam spektrum *transfer function* (beda fase dan frekuensi).

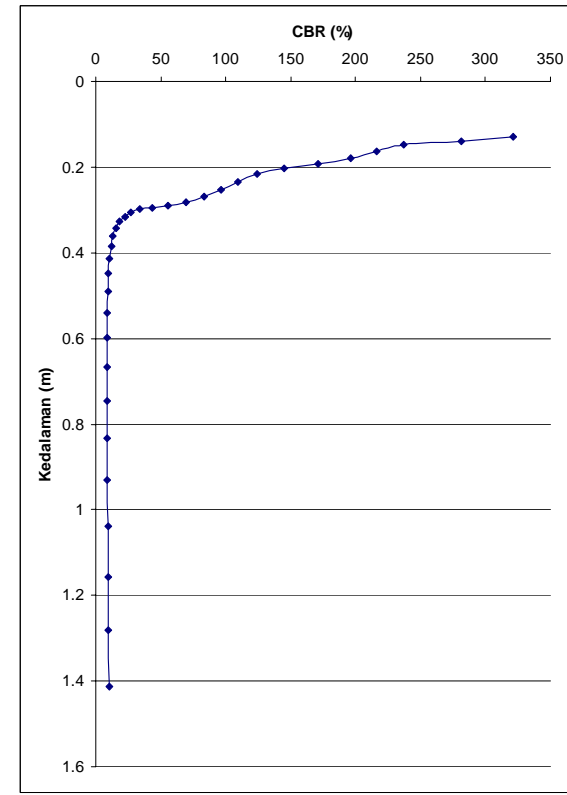
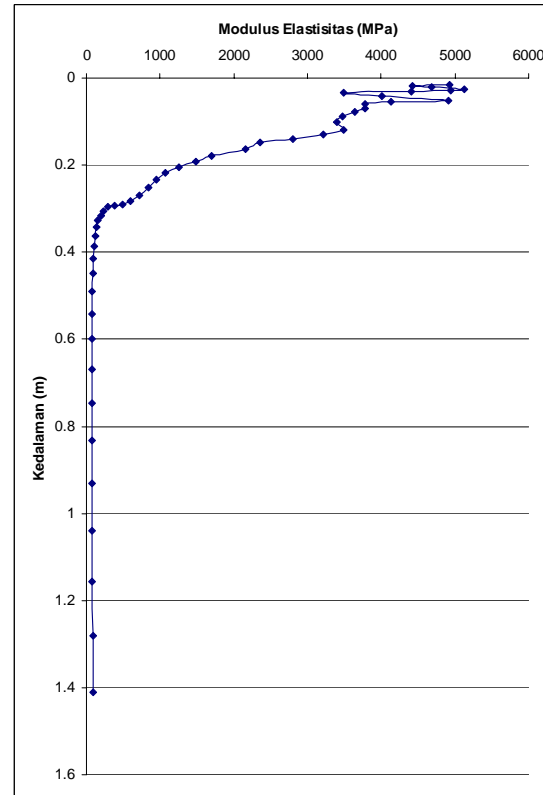
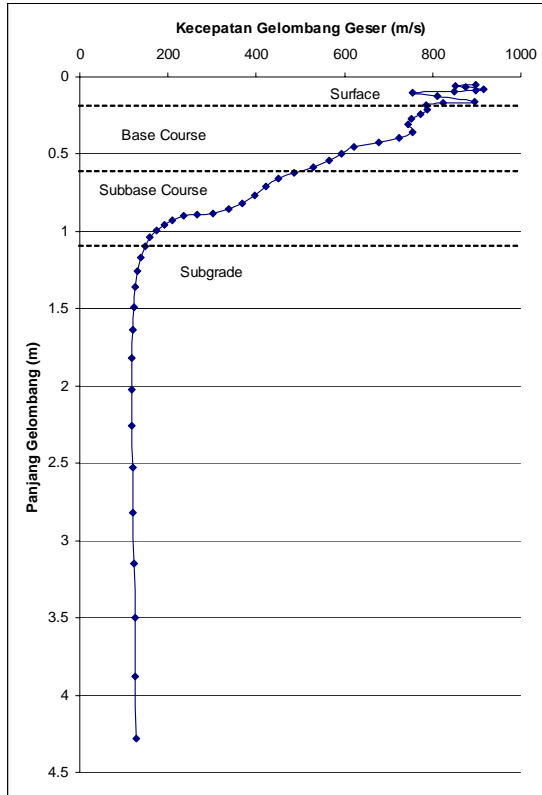


- c. Hasil analisis data gelombang dalam spektrum *coherence function* (magnitudo dan frekuensi).

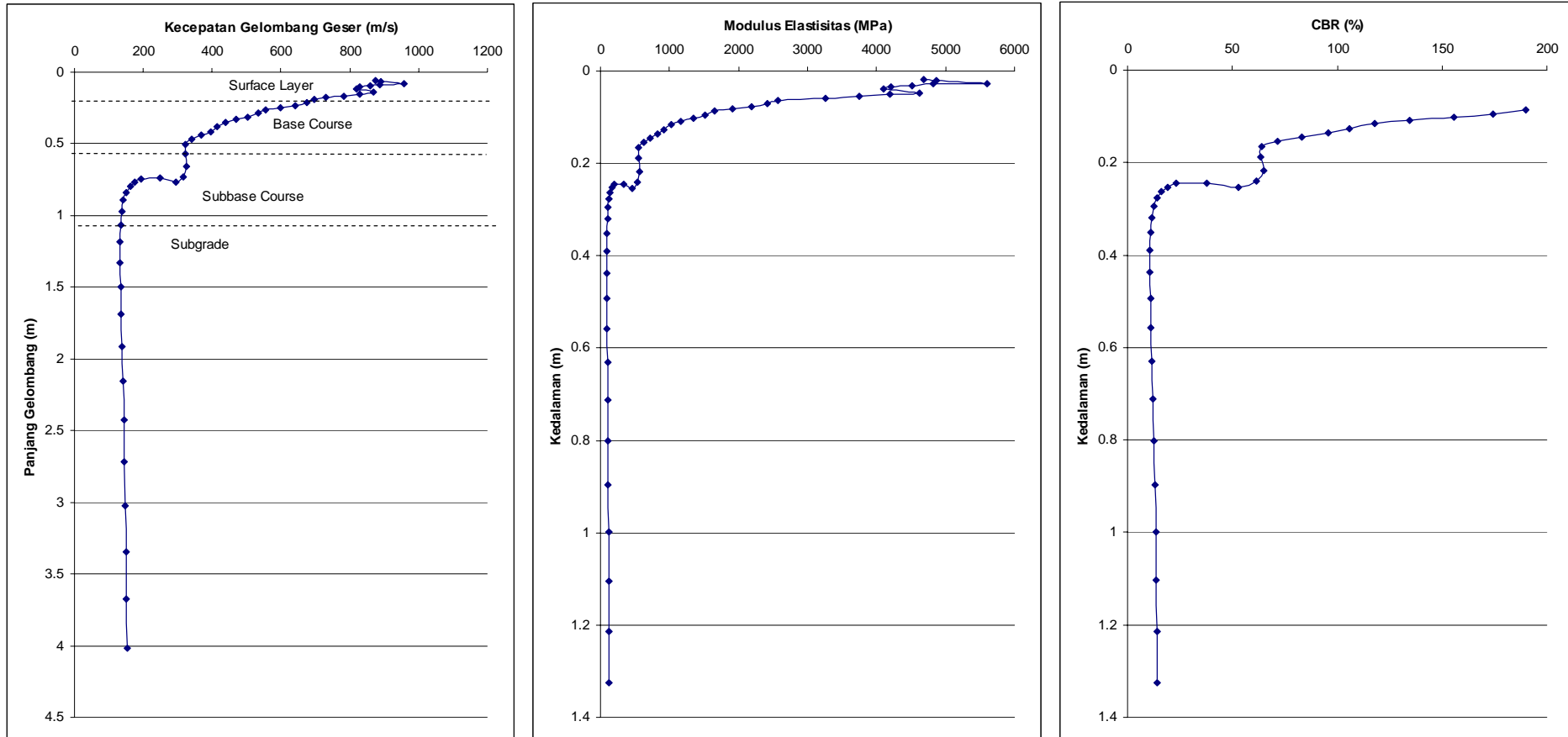


## 2.3 HASIL PENGUKURAN DI JALAN PRAMBANAN – PAKEM

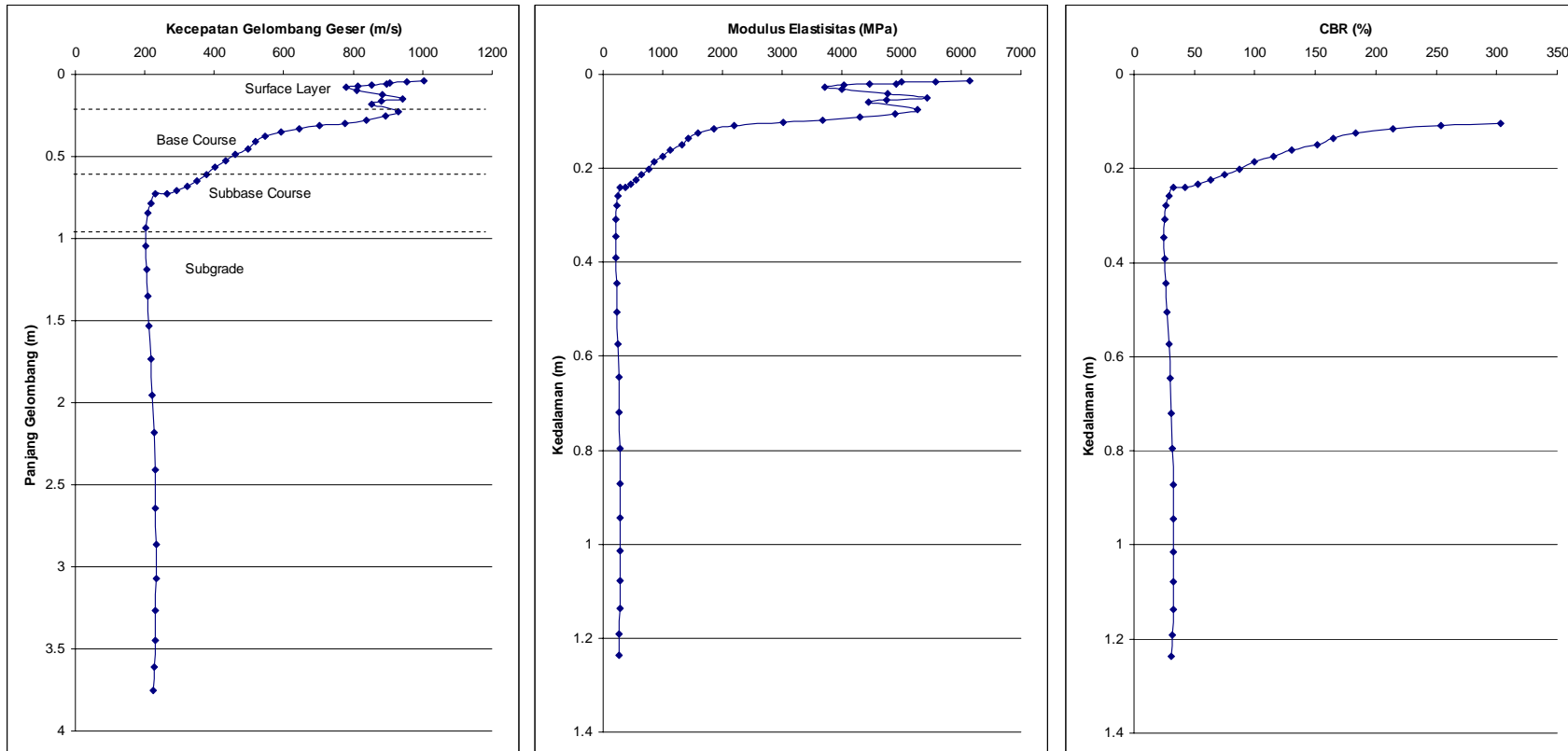
### 1. KM 17 + 000



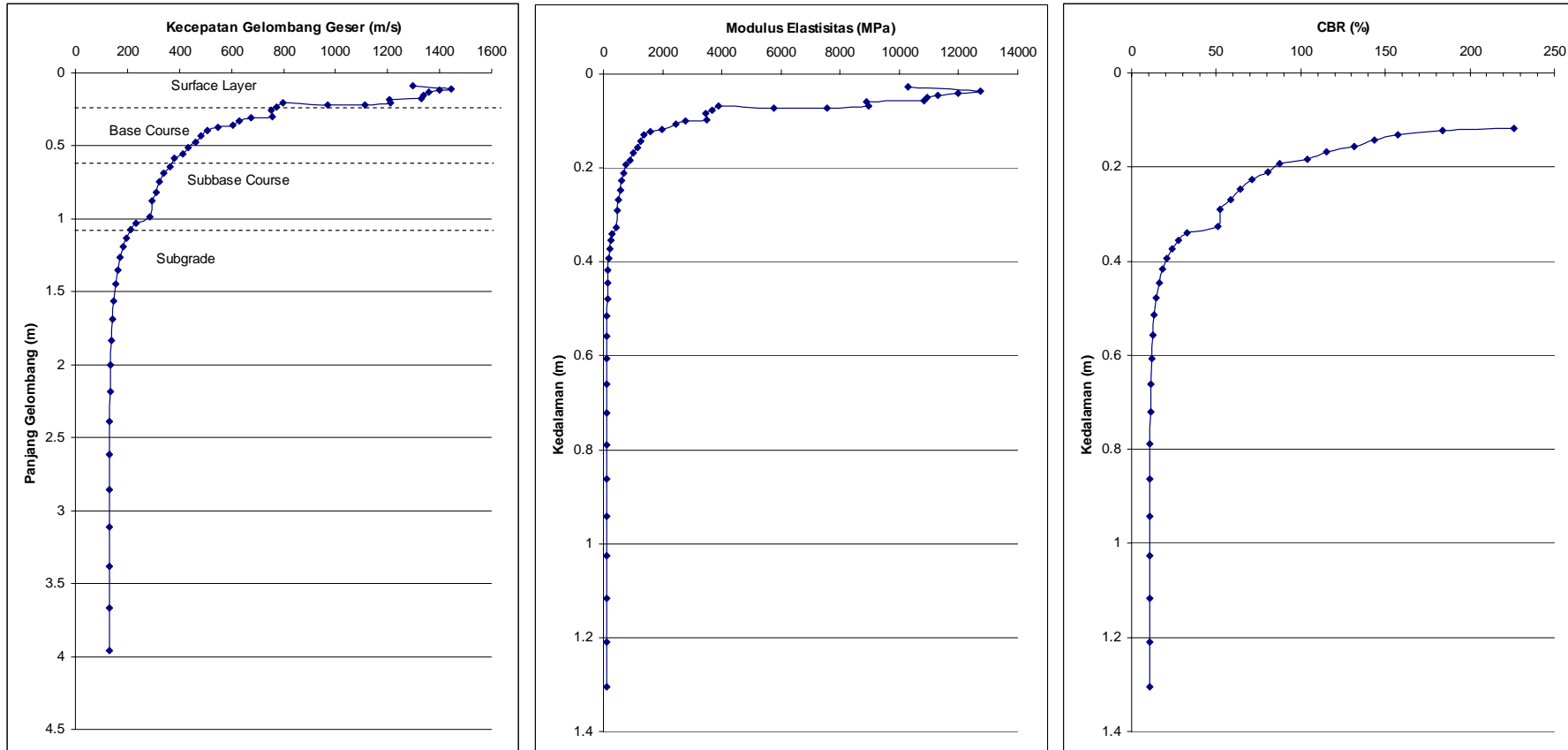
## 2. KM 19 + 000



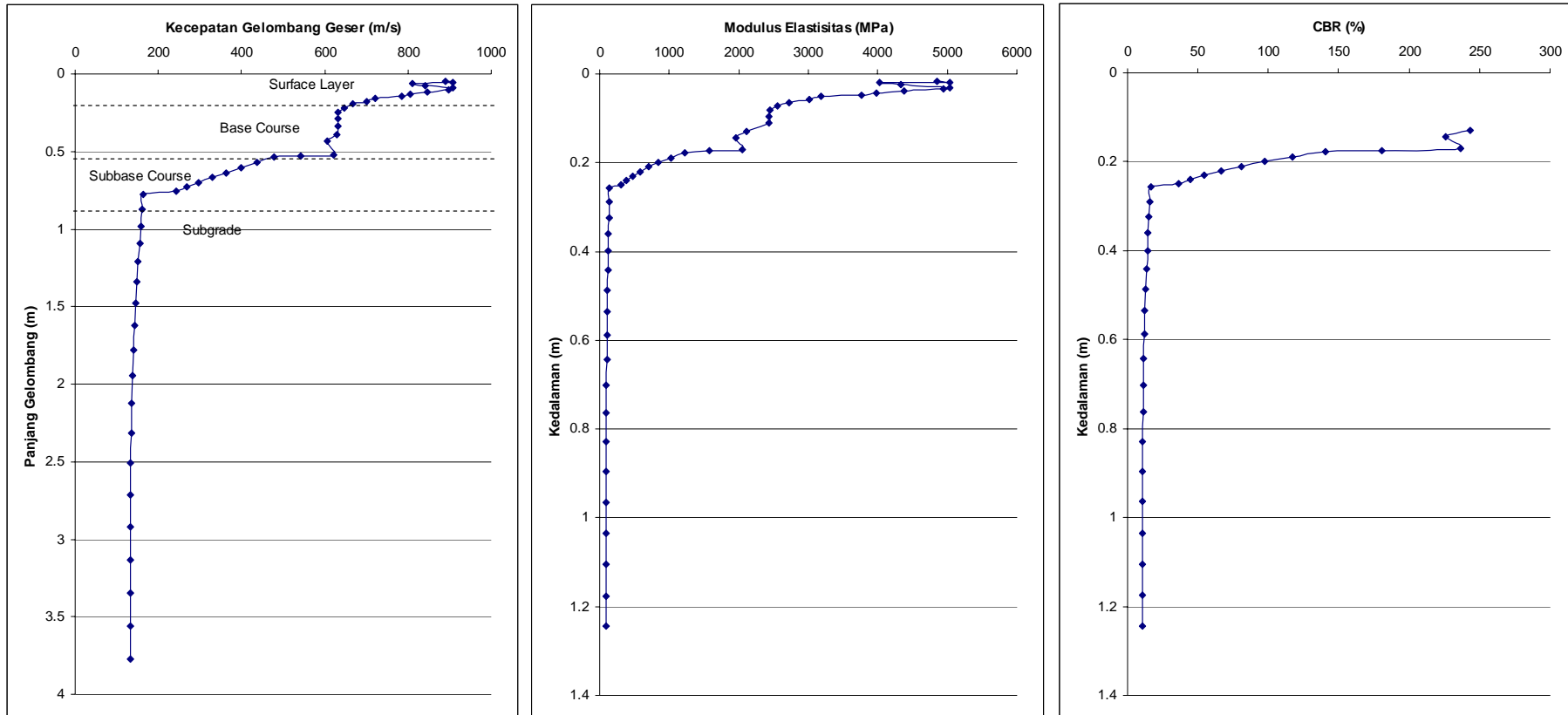
### 3. KM 20 + 500



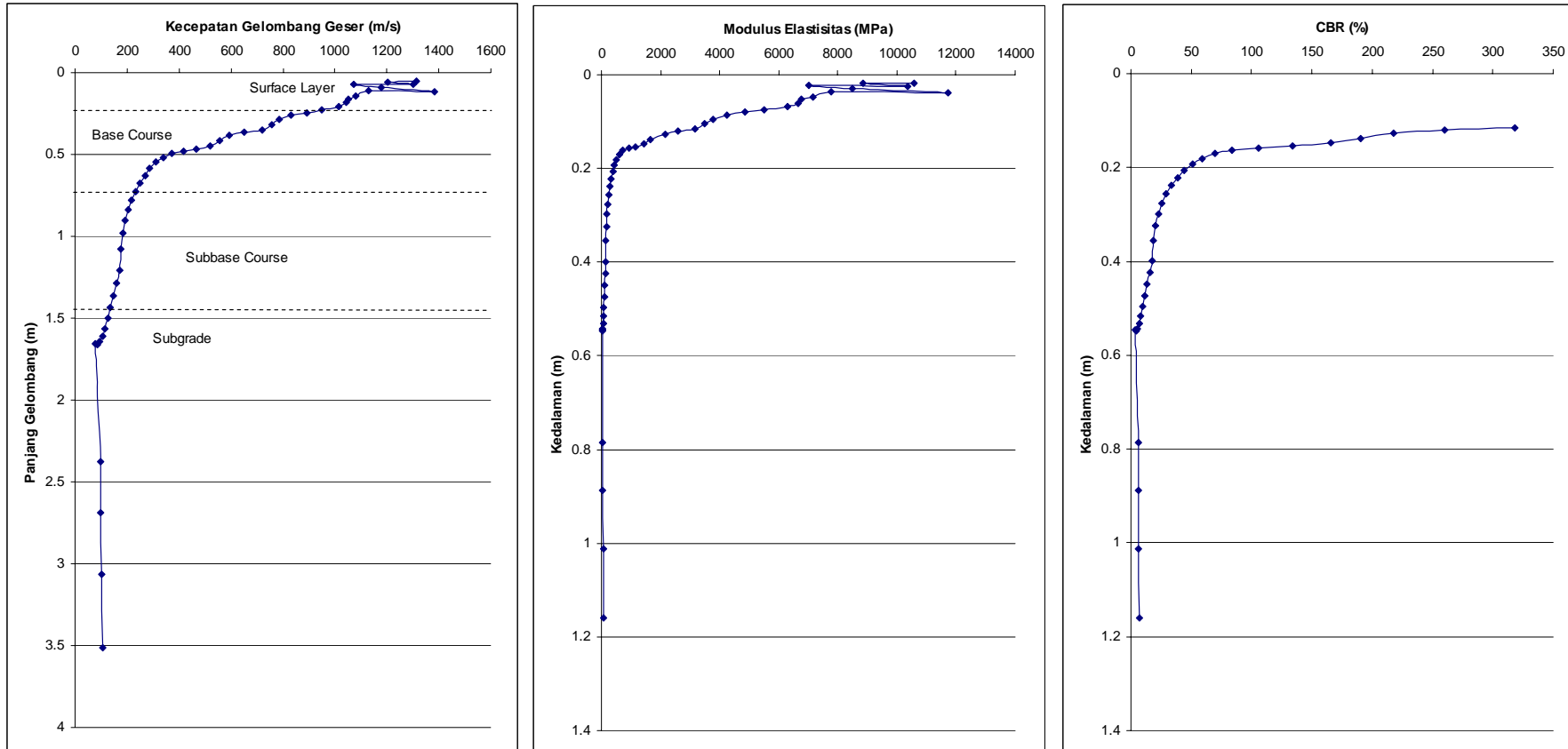
#### 4. KM 22 + 000



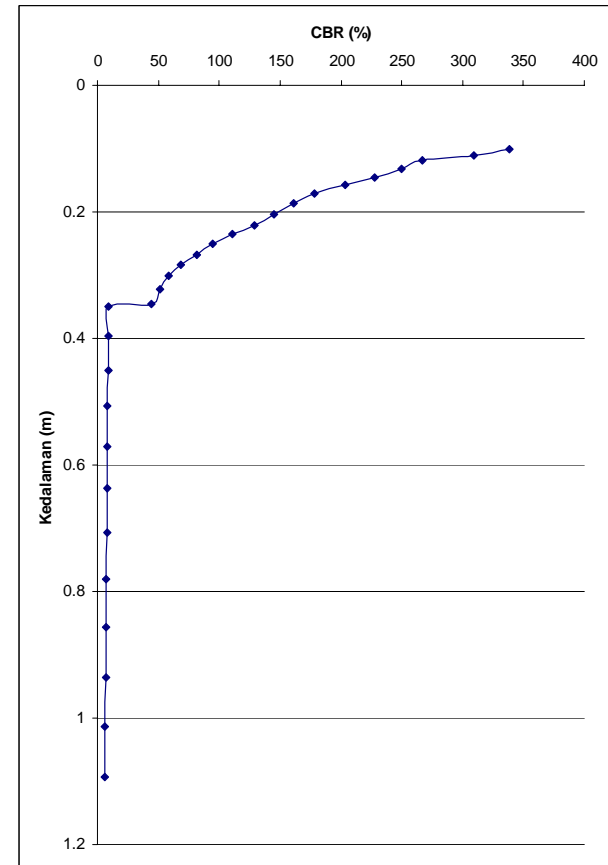
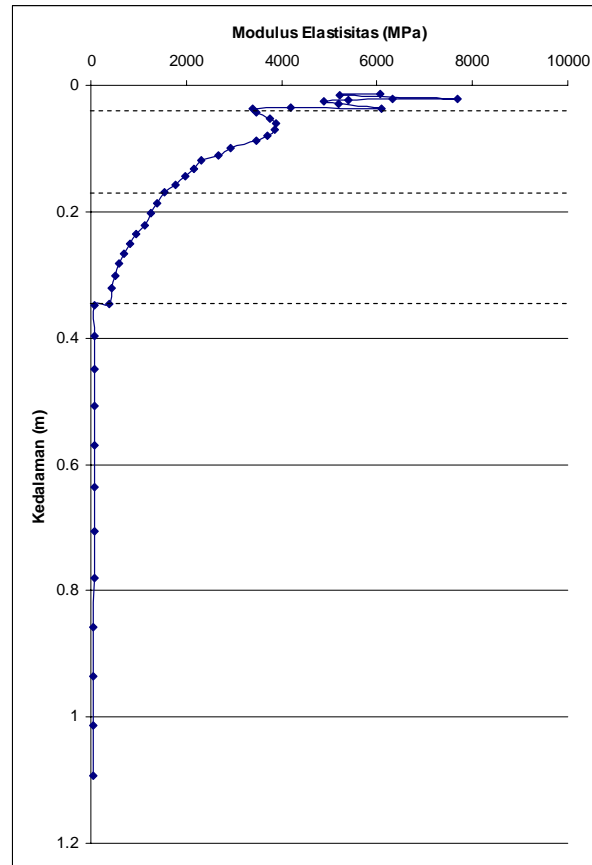
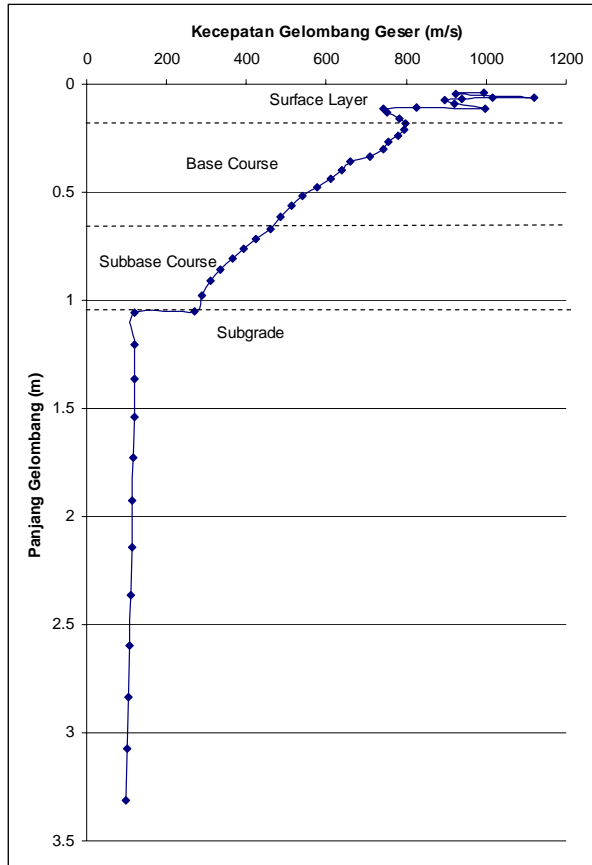
### 5. KM 23+500



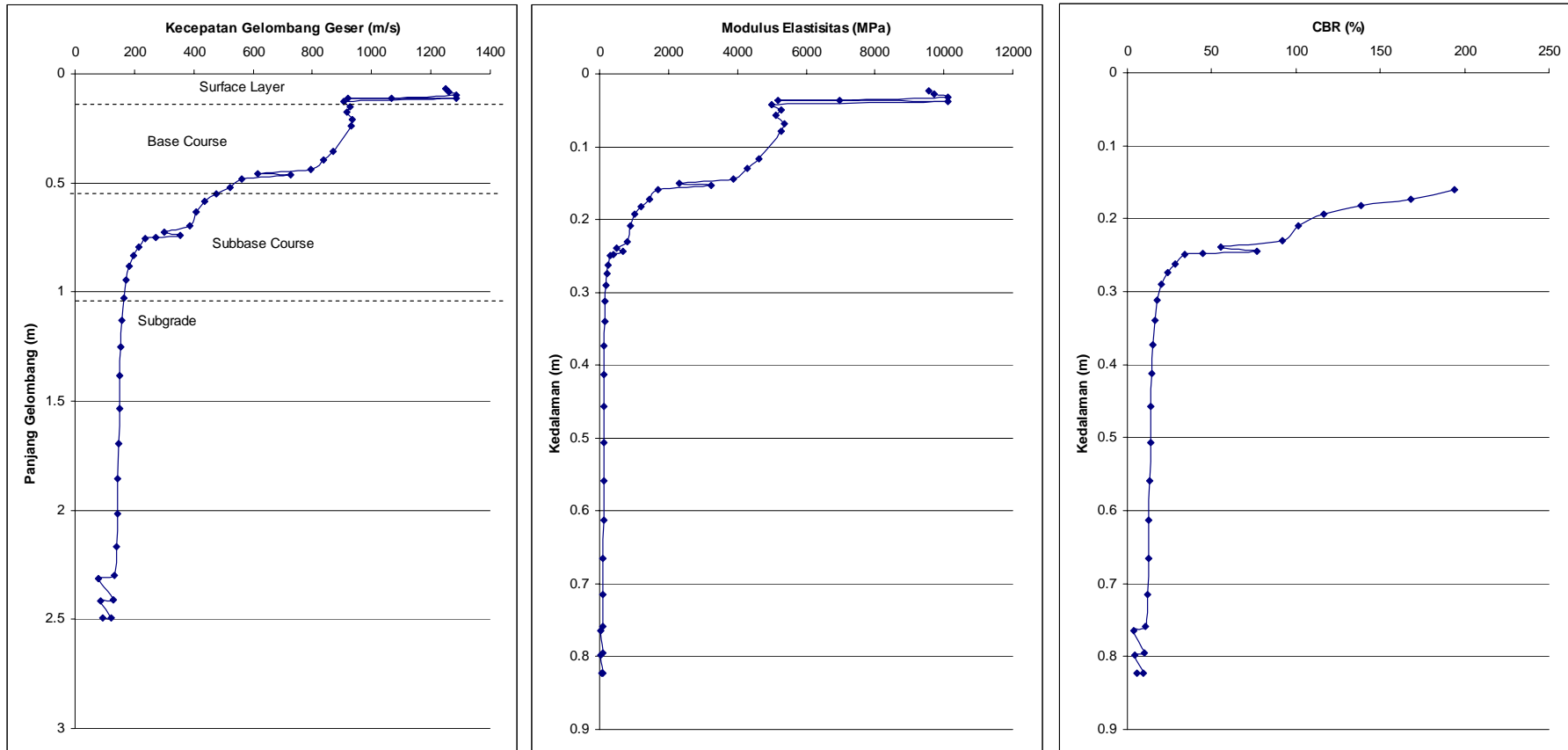
### 6. KM 25+000



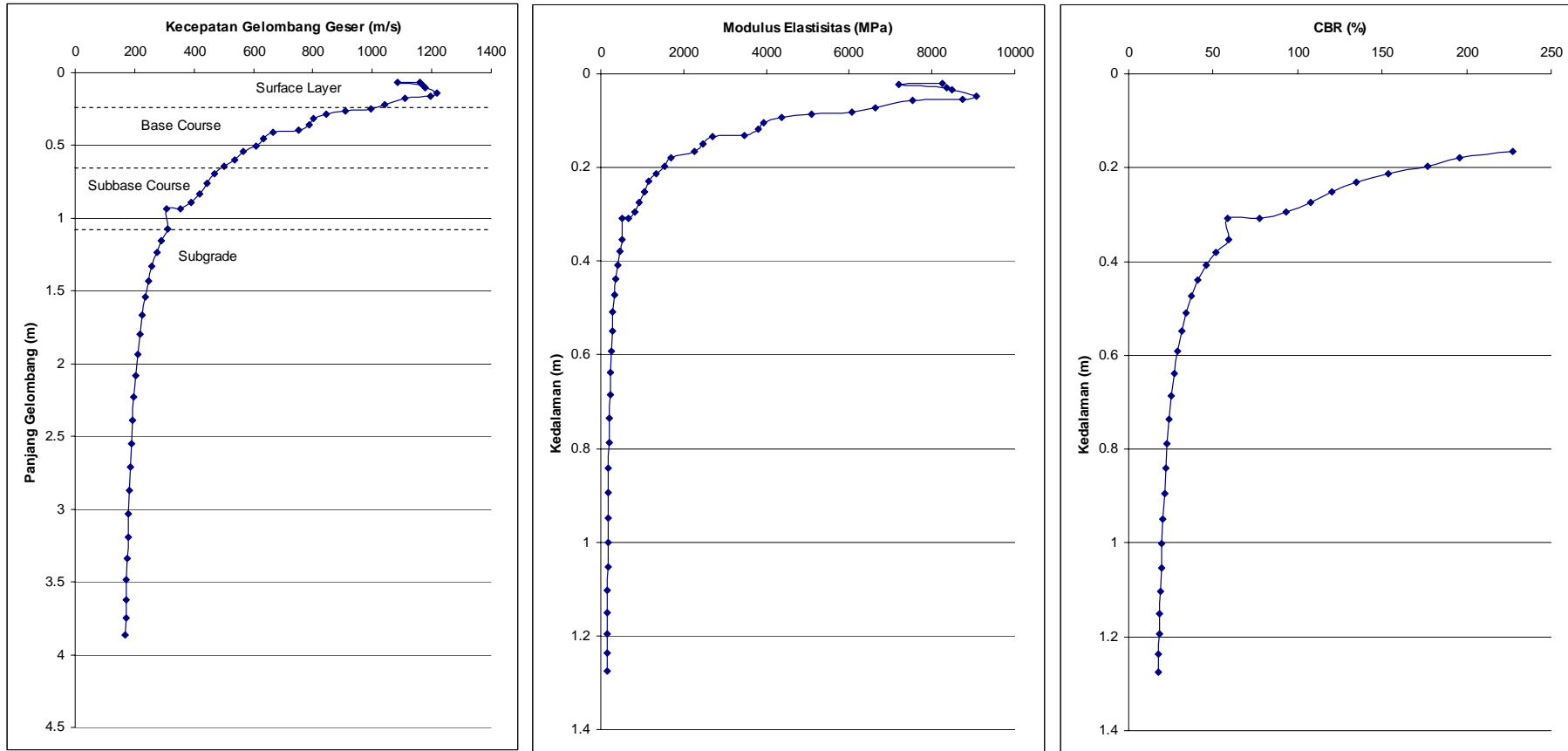
### 7. KM 28+000



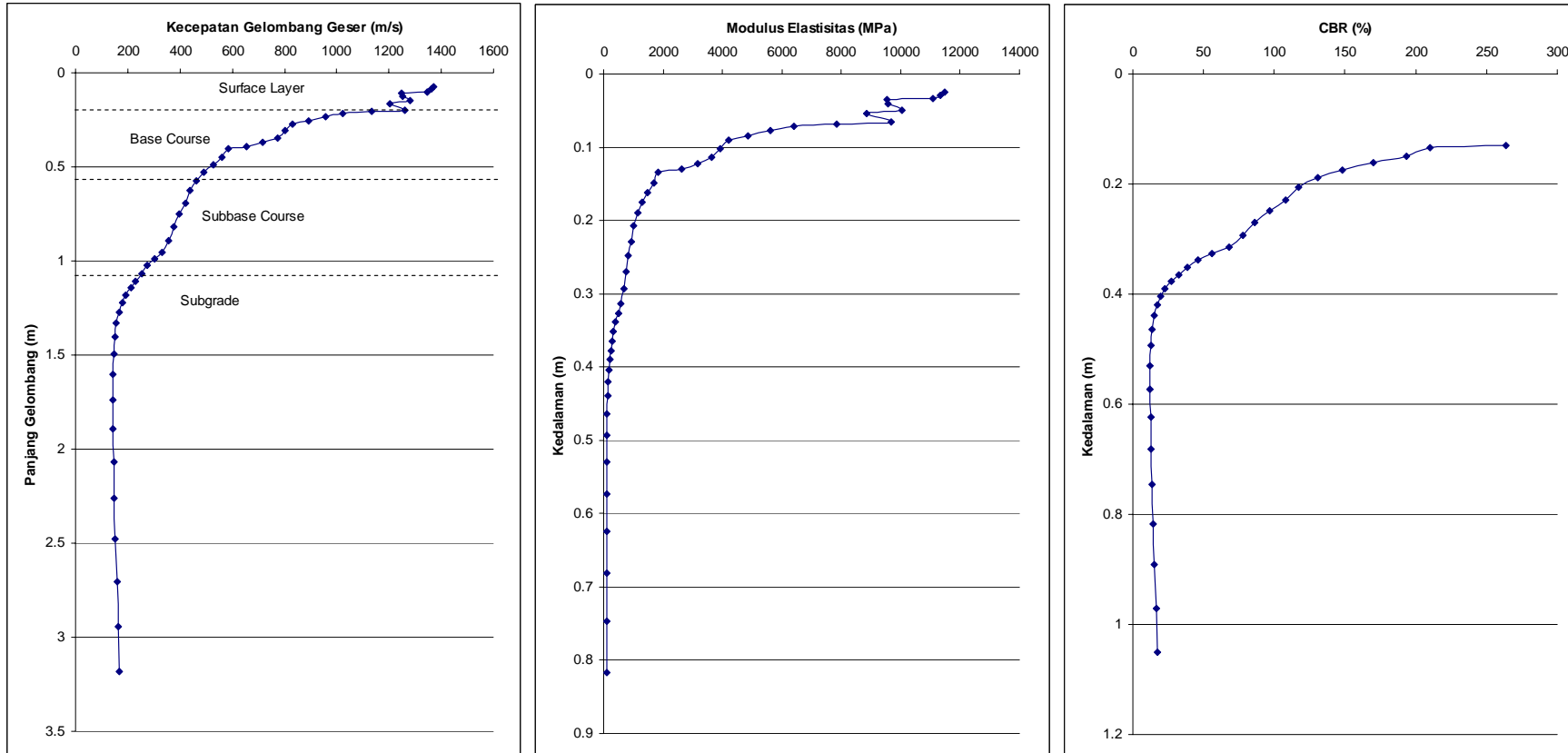
### 8. KM 31+000



### 9. KM 34+000



### 10. KM 37+000



## KESIMPULAN PENGUJIAN SASW PADA JALAN PRAMBANAN-PAKEM

Pada umumnya hasil pengukuran pada Jalan Prambanan-Pakem yang menggunakan metode SASW menghasilkan nilai CBR/DCP yang cukup tinggi dengan nilai CBR di atas 6 % atau nilai DCP 25 mm/blow untuk DCP 60°. Ada beberapa titik pengamatan yang menghasilkan nilai CBR di bawah 6 % atau nilai DCP di bawah 25 mm/blow untuk DCP dengan sudut kerucut penetrasi 60°. Dengan nilai CBR terendah 3.53 % pada KM 25+000 di kedalaman (H) 0.545 m, lihat tabel kesimpulan (yang diwarnai).

Nilai lapisan permukaan (*surface course*) diukur dalam modulus elastisitas dalam rentang 3.400 – 12.749 MPa atau 800 - 1580 m/s, sedangkan untuk lapisan fondasi atas 400 – 1900 MPa atau 275 – 650 m/s dan lapisan fondasi bawah 200 – 600 MPa atau 180 – 300 m/s. Untuk lapisan subgrade dalam nilai modulus elastisitas 40 – 160 MPa atau 80 – 150 m/s.

**TABEL KESIMPULAN PENGUJIAN  
JALAN PROPINSI PRAMBANAN - PAKEM**

PROFILE	KM 17+000			KM 19+000			KM 20+500		
	H	E	CBR	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.017	4929.095		0.018	4685.872		0.014	6144.611	
	0.018	4430.164		0.021	4861.056		0.015	5577.993	
	0.022	4683.595		0.026	5608.129		0.017	5006.224	
	0.026	5129.906		0.028	4816.396		0.019	4912.762	
	0.029	4937.752		0.031	4511.507		0.021	4466.892	
	0.032	4407.462		0.034	4216.292		0.024	4033.717	
	0.033	3484.373		0.038	4101.975		0.032	4006.522	
	0.041	4013.398		0.047	4620.195		0.040	4772.818	
	0.052	4913.116		0.051	4190.348		0.054	4752.226	
	0.055	4137.666		0.055	3754.040		0.085	4886.179	
	0.079	3645.259					0.092	4305.847	
	0.089	3466.962							
BASE COURSE	0.164	2161.361	216.663	0.103	1352.667	155.882	0.124	1587.644	
	0.179	1699.176	195.861	0.109	1165.618	134.306	0.136	1431.922	
	0.193	1487.425	171.429	0.116	1021.565	117.691	0.150	1316.769	
	0.204	1258.498	145.019	0.126	919.727	105.947	0.161	1128.978	
	0.217	1075.900	123.958				0.174	1002.497	
							0.186	864.102	
							0.201	759.959	
									182.992
									165.026
									151.741
SUBBASE COURSE	0.283	603.175	69.451	0.154	622.215	71.646	0.213	650.104	99.533
	0.291	484.228	55.743	0.166	557.249	64.158	0.224	548.057	87.525
	0.294	377.845	43.485	0.189	552.727	63.637	0.234	456.385	74.861
	0.297	293.225	33.737	0.217	564.983	65.049	0.240	367.909	63.099
	0.305	236.836	27.243	0.240	532.651	61.323	0.239	281.422	52.534
SUBGRADE	0.315	193.520	22.256	0.254	461.368	53.108	0.259	255.051	42.340
	0.328	160.427	18.446	0.244	329.679	37.936	0.280	231.109	32.378
	0.343	135.300	15.554	0.246	200.754	23.089	0.308	220.049	29.341
	0.362	116.370	13.376	0.253	165.503	19.031	0.346	217.918	26.584
	0.385	102.264	11.753	0.263	139.290	16.014	0.391	221.902	25.310
	0.414	91.924	10.563	0.276	120.657	13.869	0.445	229.852	25.065
	0.449	84.535	9.714	0.295	107.926	12.404	0.506	240.030	25.524
	0.491	79.476	9.132	0.320	99.755	11.464	0.573	250.991	26.439
	0.541	76.269	8.763	0.351	95.103	10.929	0.645	261.557	27.611
	0.600	74.544	8.564	0.390	93.155	10.705	0.720	270.816	28.873
	0.668	74.008	8.503	0.438	93.271	10.718	0.796	278.131	30.090
	0.746	74.427	8.551	0.493	94.927	10.909	0.871	283.138	31.156
	0.834	75.605	8.686	0.558	97.685	11.226	0.944	285.717	31.999
	0.932	77.378	8.890	0.631	101.166	11.627	1.014	285.952	32.576
	1.039	79.604	9.146	0.712	105.045	12.073	1.079	284.084	32.873
	1.156	82.158	9.440	0.801	109.044	12.533	1.138	280.446	32.900
	1.280	84.932	9.759	0.897	112.936	12.981	1.191	275.422	32.684
	1.412	87.831	10.093	0.998	116.545	13.396	1.238	269.399	32.265
			1.104	119.742	13.764	1.278	262.737	31.687	
			1.214	122.449	14.076			30.993	
			1.325	124.629	14.326			30.226	

Keterangan Tabel Kesimpulan :

- H = Kedalaman dalam meter
- E = Modulus Elastisitas dalam MPa
- Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

PROFILE	KM 22+000			KM 23+500			KM 25+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.036	12749.012	CBR:	0.019	5032.485		0.018	10581.181	
	0.040	11972.620		0.030	5037.094		0.024	10375.719	
	0.044	11284.294		0.035	4940.015		0.039	11715.072	
	0.050	10943.554		0.051	3185.573		0.053	6750.625	
	0.057	10825.809		0.058	3015.043		0.061	6643.741	
	0.060	8890.307		0.064	2729.009		0.069	6298.633	
	0.069	8976.017		0.072	2557.692		0.074	5511.206	
	0.068	3899.108					0.081	4870.238	
	0.076	3659.739					0.087	4231.051	
	0.085	3469.254					0.094	3769.864	
	0.098	3490.680					0.105	3492.796	
BASE COURSE	0.100	2781.414		0.082	2451.076		0.127	2168.244	217.354
	0.108	2439.489		0.095	2434.361		0.138	1651.504	190.360
	0.119	1961.851	226.174	0.111	2439.050		0.148	1434.607	165.335
	0.123	1593.921	183.716	0.129	2108.764	243.129	0.154	1164.727	134.203
	0.130	1364.348	157.230	0.144	1956.805	225.591	0.158	919.055	105.870
	0.143	1247.468	143.747	0.171	2052.040	236.582	0.162	730.948	84.181
	0.157	1144.764	131.900	0.174	1569.600	180.910			
	0.168	1001.380	115.363	0.178	1217.608	140.303			
	0.183	901.883	103.890	0.189	1019.793	117.487			
	0.192	762.277	87.793	0.199	847.700	97.642			
	0.211	701.298	80.762	0.210	700.103	80.625			
SUBBASE COURSE	0.227	619.790	71.367	0.220	575.557	66.268	0.171	607.902	69.996
	0.247	559.863	64.459	0.230	471.108	54.231	0.181	515.557	59.353
	0.269	510.254	58.742	0.240	384.252	44.223	0.193	441.279	50.794
	0.290	456.422	52.538	0.250	312.602	35.969	0.207	383.694	44.159
	0.326	442.368	50.919	0.200	151.773	17.450	0.223	334.148	38.451
SUBGRADE	0.339	285.771	32.879	0.228	148.647	17.090	0.239	290.798	33.458
	0.355	241.905	27.827	0.257	144.309	16.591	0.256	253.190	29.126
	0.373	207.175	23.828	0.289	139.180	16.001	0.276	222.034	25.539
	0.394	179.749	20.671	0.323	133.624	15.362	0.298	196.754	22.628
	0.418	158.157	18.185	0.360	127.947	14.708	0.324	176.783	20.329
	0.446	141.222	16.236	0.399	122.391	14.069	0.355	161.598	18.581
	0.478	128.005	14.715	0.442	117.145	13.465	0.399	155.696	17.902
	0.515	117.761	13.536	0.487	112.341	12.913	0.424	134.975	15.517
	0.558	109.895	12.631	0.536	108.067	12.421	0.449	116.375	13.377
	0.606	103.933	11.945	0.587	104.369	11.995	0.474	99.660	11.454
	0.661	99.496	11.435	0.643	101.264	11.638	0.496	84.643	9.726
	0.721	96.276	11.064	0.702	98.741	11.348	0.516	71.175	8.177
	0.789	94.025	10.805	0.763	96.772	11.121	0.532	59.139	6.793
	0.862	92.539	10.634	0.828	95.313	10.953	0.543	48.440	5.563
	0.942	91.650	10.532	0.896	94.311	10.838	0.548	39.004	4.478
	1.026	91.222	10.483	0.965	93.708	10.769	0.545	30.764	3.531
	1.116	91.139	10.473	1.035	93.443	10.738	0.785	51.134	5.872
	1.209	91.309	10.493	1.106	93.457	10.740	0.888	52.799	6.064
	1.306	91.656	10.533	1.176	93.693	10.767	1.012	55.872	6.417
			1.245	94.096	10.813	1.159	60.281	6.924	
			1.312	94.620	10.874				

Keterangan Tabel Kesimpulan :

H = Kedalaman dalam meter

E = Modulus Elastisitas dalam MPa

Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

PROFILE	KM 28+000			KM 31+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.014	6064.458		0.023	9570.760	CBR:
	0.022	6325.994		0.027	9727.910	
	0.023	5406.152		0.032	10131.780	
	0.037	6084.676		0.038	10112.920	
	0.052	3755.933		0.042	5001.326	
	0.061	3894.092		0.050	5273.415	
	0.070	3861.867		0.057	5122.889	
	0.079	3708.043		0.068	5353.830	
				0.079	5290.055	
BASE COURSE				0.117	4638.706	
	0.118	2315.303	266.968	0.160	1683.015	193.997
	0.132	2170.348	250.237	0.173	1460.785	168.356
	0.145	1976.034	227.810	0.182	1202.022	138.505
	0.158	1769.571	203.984	0.193	1010.400	116.404
	0.170	1547.005	178.303			
	0.186	1397.801	161.089			
	0.203	1255.843	144.713			
	0.221	1122.814	129.369			
0.235	959.352	110.517				
SUBBASE COURSE	0.251	825.013	95.026	0.239	482.188	55.508
	0.267	704.450	81.126	0.244	669.552	77.103
	0.283	597.696	68.820	0.248	389.633	44.843
	0.301	510.050	58.718	0.249	296.708	34.138
	0.322	442.835	50.973	0.263	248.438	28.579
SUBGRADE	0.346	388.735	44.739	0.274	205.464	23.631
	0.349	76.982	8.845	0.290	175.695	20.204
	0.397	76.583	8.799	0.312	155.315	17.858
	0.450	75.708	8.698	0.339	141.552	16.274
	0.508	74.367	8.544	0.373	132.367	15.217
	0.570	72.580	8.339	0.412	126.218	14.509
	0.636	70.381	8.086	0.457	121.915	14.014
	0.707	67.809	7.790	0.506	118.516	13.623
	0.780	64.915	7.457	0.559	115.287	13.251
	0.857	61.755	7.094	0.613	111.676	12.836
	0.935	58.389	6.707	0.665	107.311	12.334
	1.014	54.881	6.303	0.715	101.989	11.721
	1.093	51.293	5.891	0.759	95.672	10.995
				0.764	33.564	3.853
				0.796	88.459	10.165
				0.798	40.191	4.615
				0.823	80.552	9.255
			0.823	47.526	5.458	
			0.839	55.444	6.368	
			0.840	72.220	8.297	
			0.845	63.756	7.324	

Keterangan Tabel Kesimpulan :

H = Kedalaman dalam meter

E = Modulus Elastisitas dalam MPa

Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

PROFILE	KM 34+000			KM 37+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.021	8257.715		0.025	11482.267	
	0.028	8364.709		0.029	11328.459	
	0.033	8476.791		0.033	11091.028	
	0.082	6054.155		0.036	9540.454	
	0.103	3923.911		0.041	9563.101	
	0.118	3794.862		0.091	4202.818	
	0.131	3464.708		0.102	3927.744	
BASE COURSE	0.135	2703.914		0.130	2631.335	263.830
	0.149	2461.421		0.134	1822.857	210.133
	0.166	2270.285	227.594	0.149	1680.280	193.681
	0.212	1330.965	153.379	0.174	1287.406	148.354
	0.230	1169.489	134.752	0.189	1136.753	130.976
	0.251	1044.767	120.367	0.207	1019.372	117.438
	0.294	811.645	77.643	0.229	938.842	108.151
SUBBASE COURSE	0.309	674.237	58.447	0.294	673.792	77.592
	0.308	507.695	59.017	0.314	588.241	67.730
	0.354	512.644	51.882	0.326	486.348	55.987
	0.380	450.727	46.032	0.338	402.474	46.322
	0.408	399.957	41.223	0.352	337.164	38.798
SUBGRADE	0.439	358.210	37.256	0.365	282.060	32.451
	0.473	323.771	33.972	0.377	236.535	27.209
	0.509	295.260	31.243	0.390	199.730	22.971
	0.549	271.567	28.966	0.404	170.666	19.625
	0.592	251.797	27.058	0.420	148.330	17.054
	0.638	235.228	25.452	0.439	131.755	15.146
	0.686	221.281	24.094	0.464	120.065	13.801
	0.736	209.489	22.941	0.493	112.507	12.932
	0.788	199.474	21.958	0.529	108.450	12.465
	0.841	190.933	21.116	0.573	107.375	12.341
	0.895	183.620	20.393	0.624	108.853	12.511
	0.948	177.337	19.770	0.682	112.518	12.933
	1.001	171.923	19.231	0.746	118.038	13.568
	1.053	167.245	18.765	0.817	125.103	14.381
	1.102	163.196	18.361	0.892	133.409	15.337
	1.150	159.687	18.011	0.970	142.657	16.401
1.195	156.642	17.707	1.050	152.559	17.541	
1.237	153.999	17.442				
1.275	151.705					

Keterangan Tabel Kesimpulan :

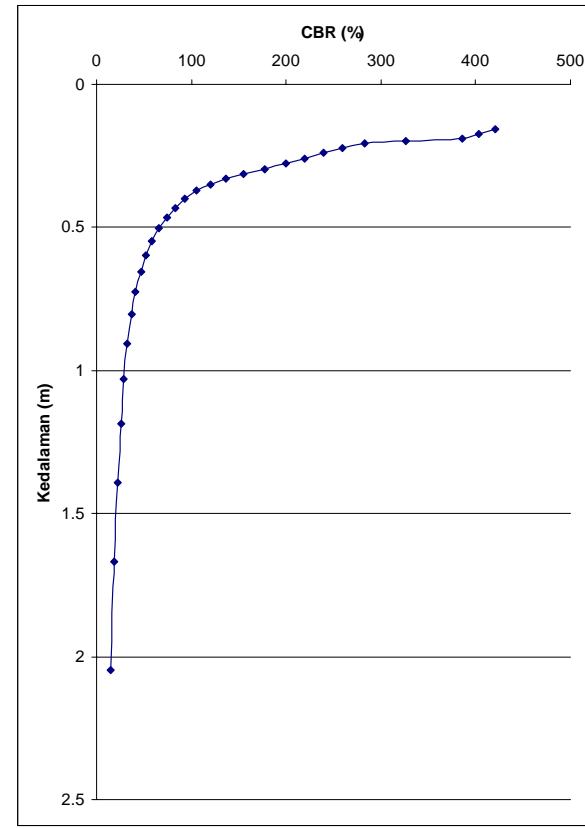
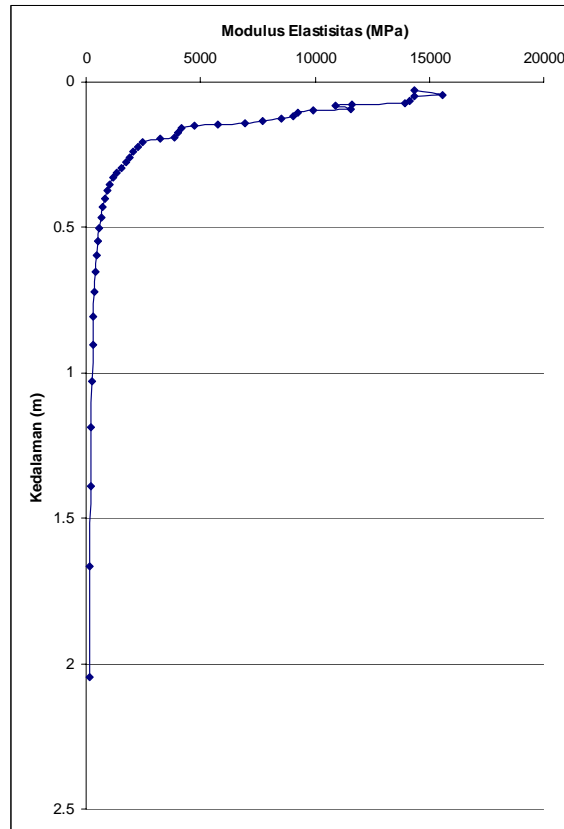
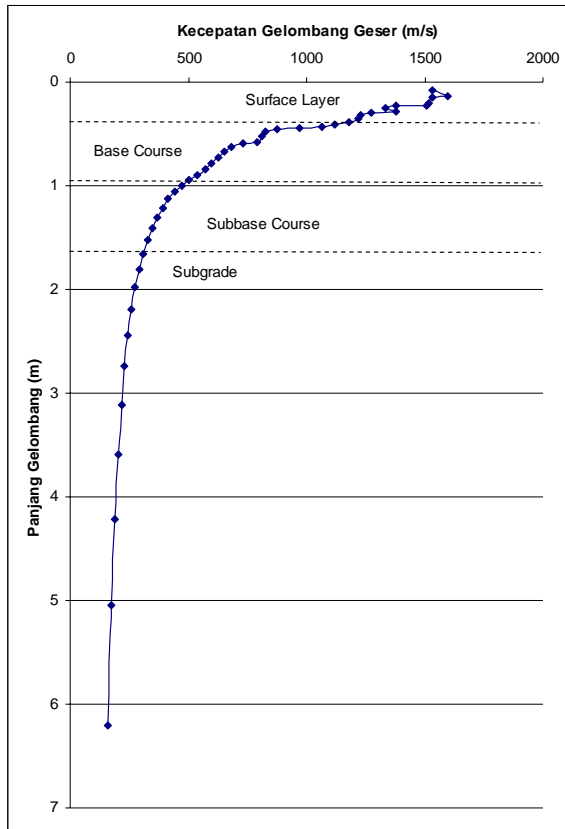
H = Kedalaman dalam meter

E = Modulus Elastisitas dalam MPa

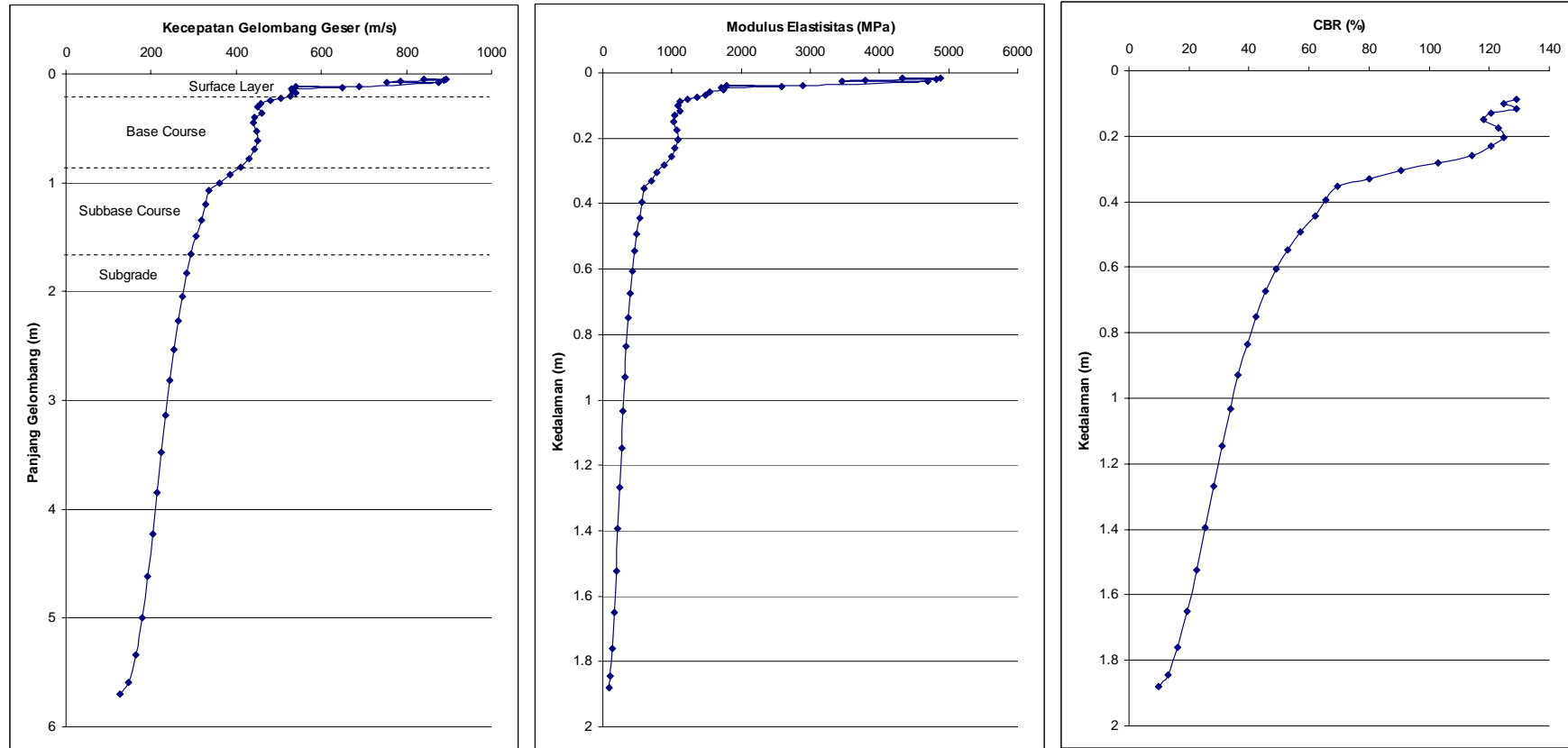
Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

## 2.4 HASIL PENGUKURAN DI JALAN PIYUNGAN - GADING

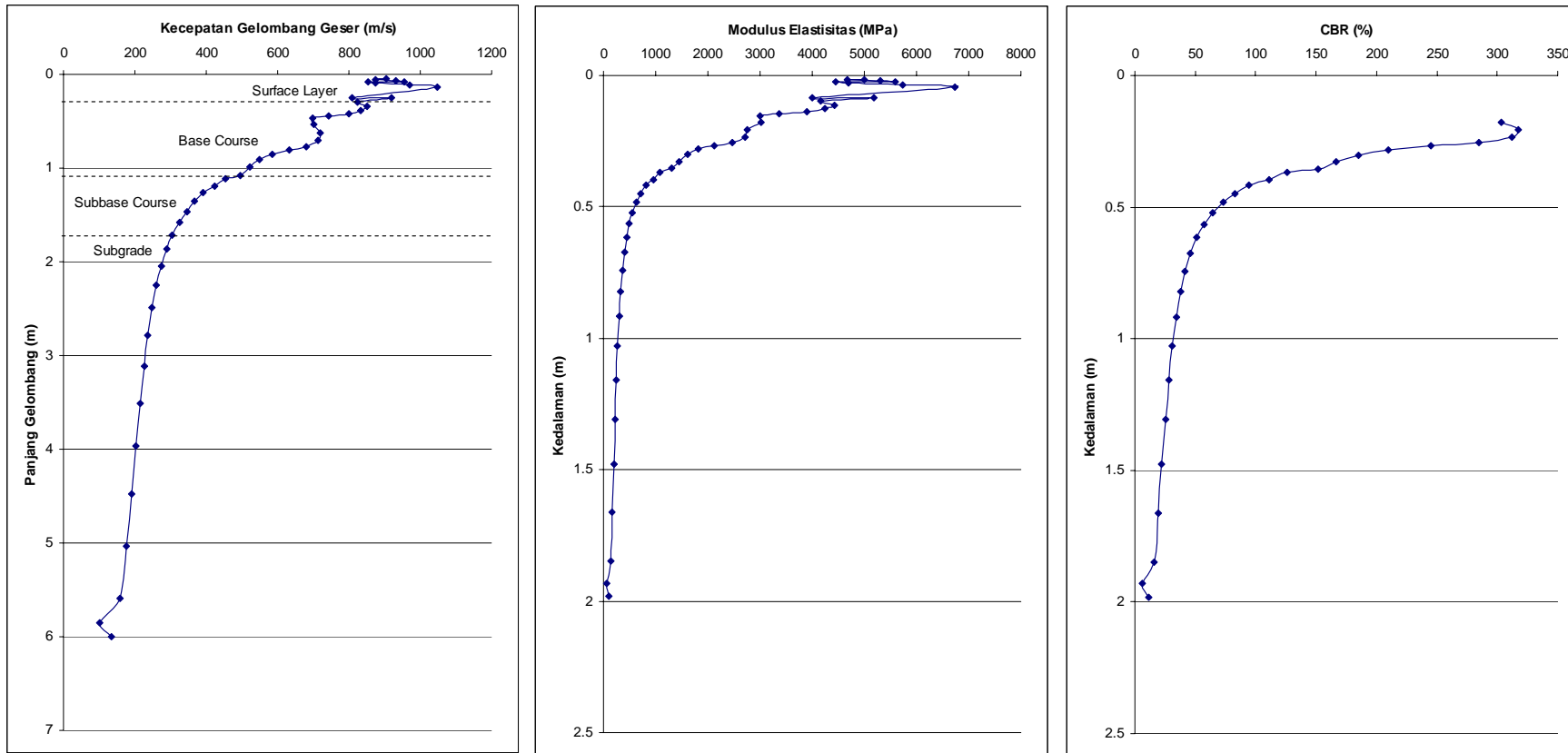
### 1. Sta. 0 + 000 (KM 13+930)



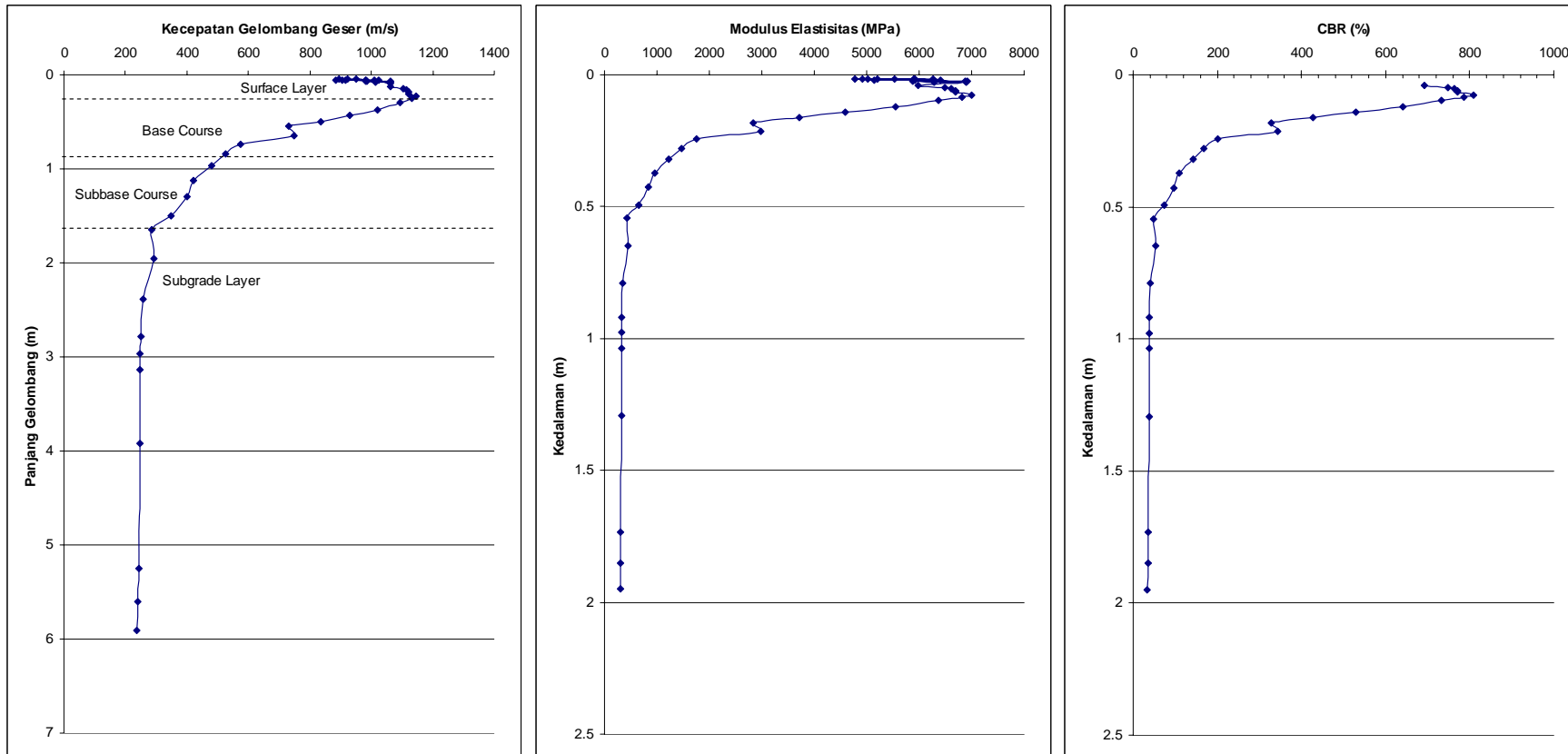
## 2. Sta. 2 + 000 (KM 15+930)



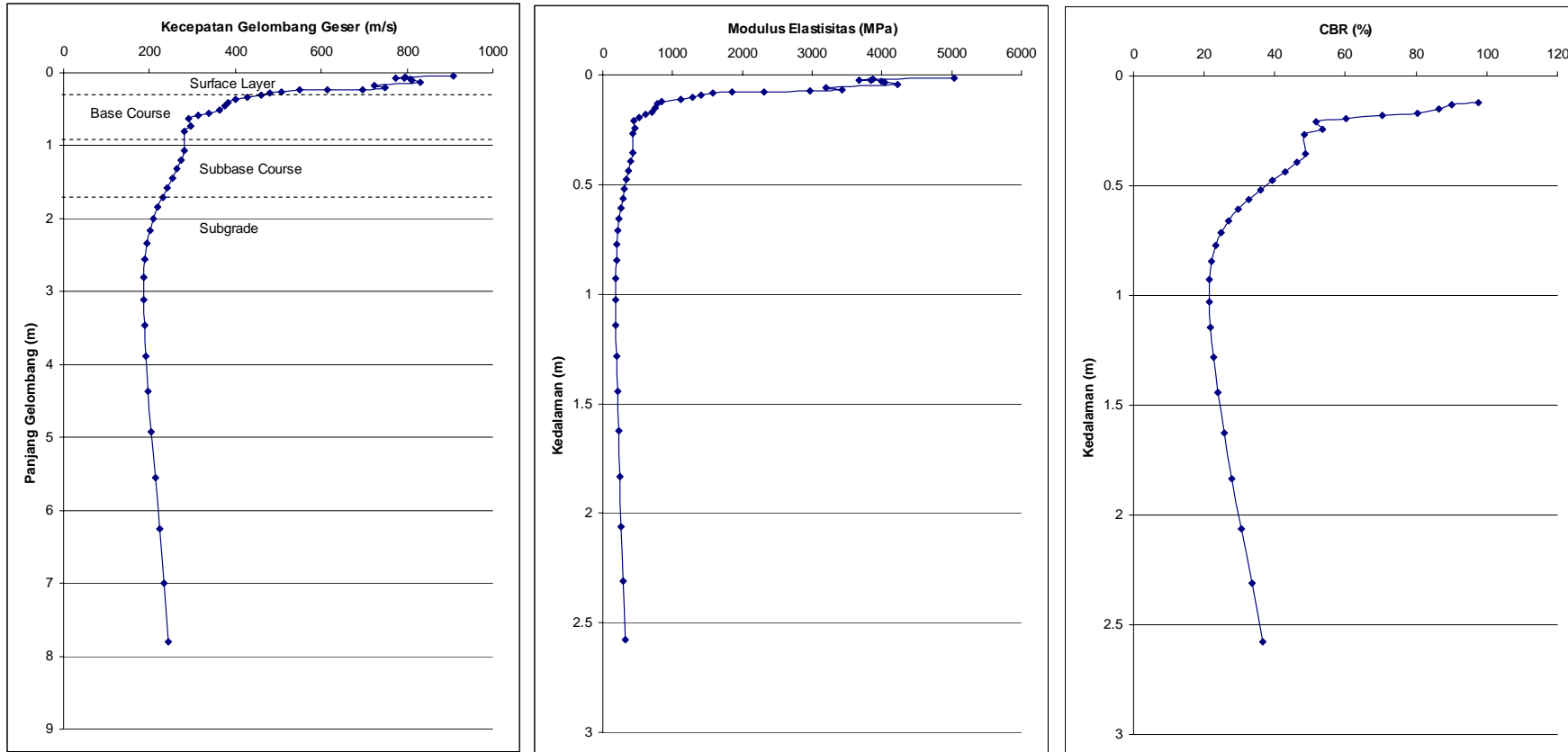
### 3. Sta. 4 + 000 (KM 17 + 930)



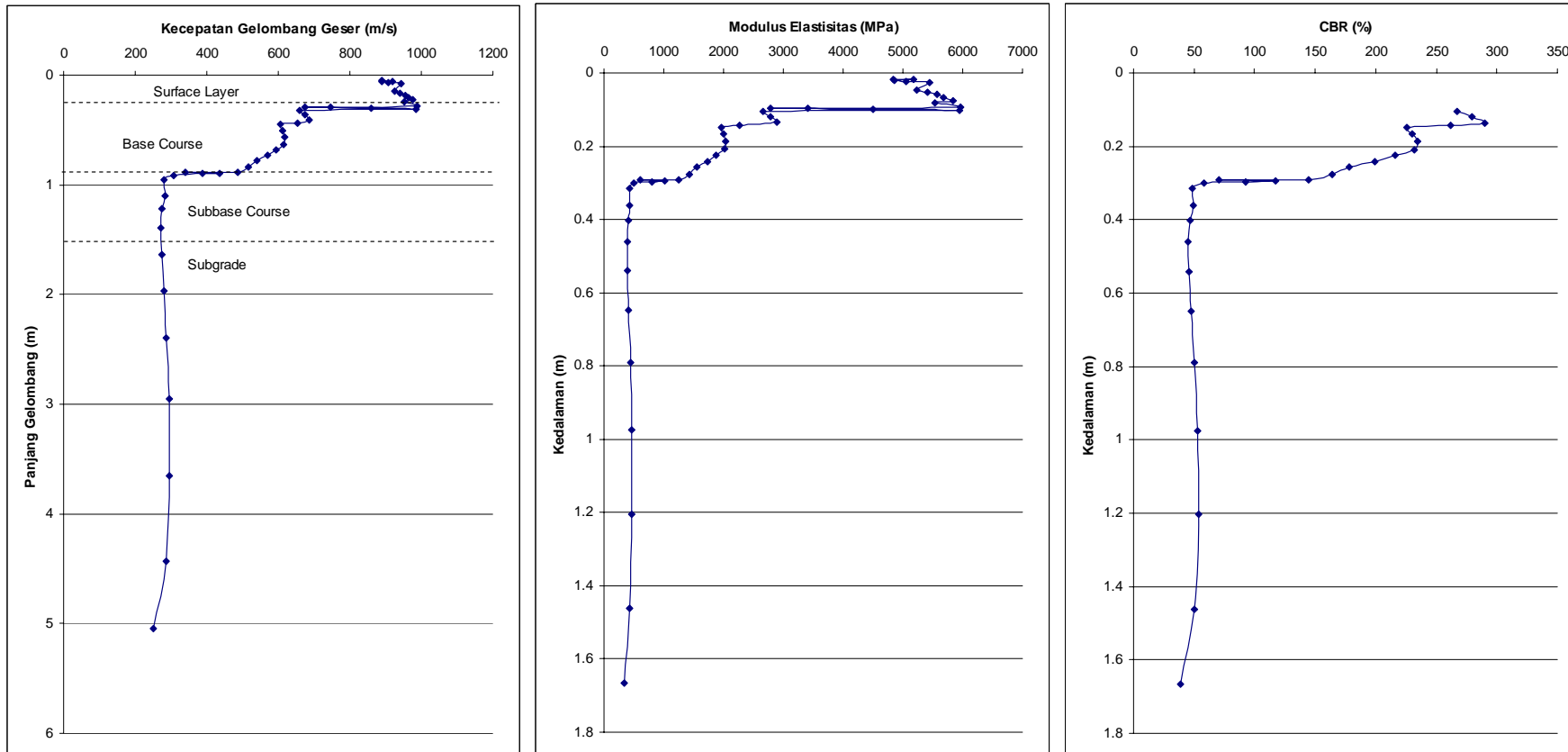
#### 4. Sta. 6 + 000 (KM 19+930)



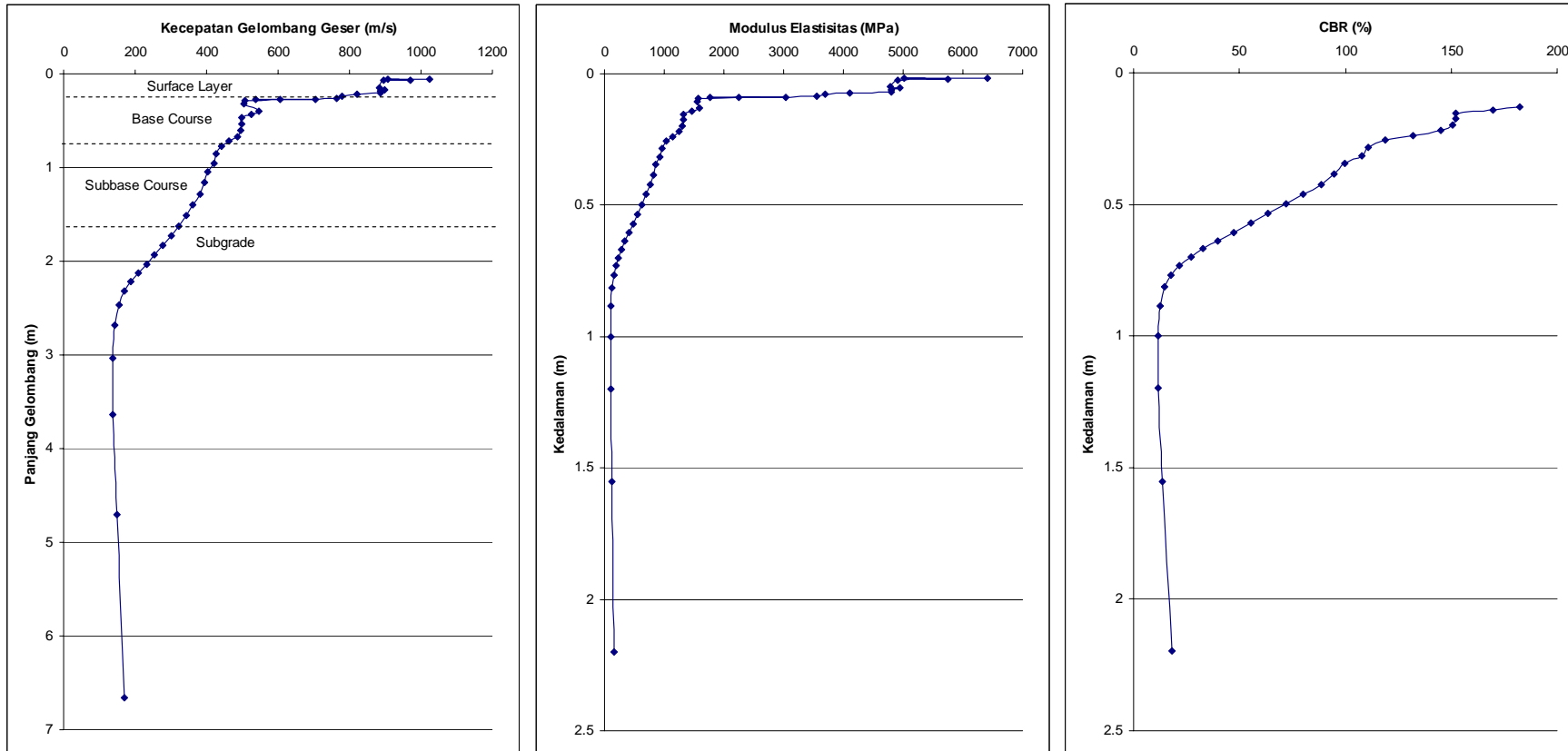
5. Sta. 8 + 000 (KM 21 + 930)



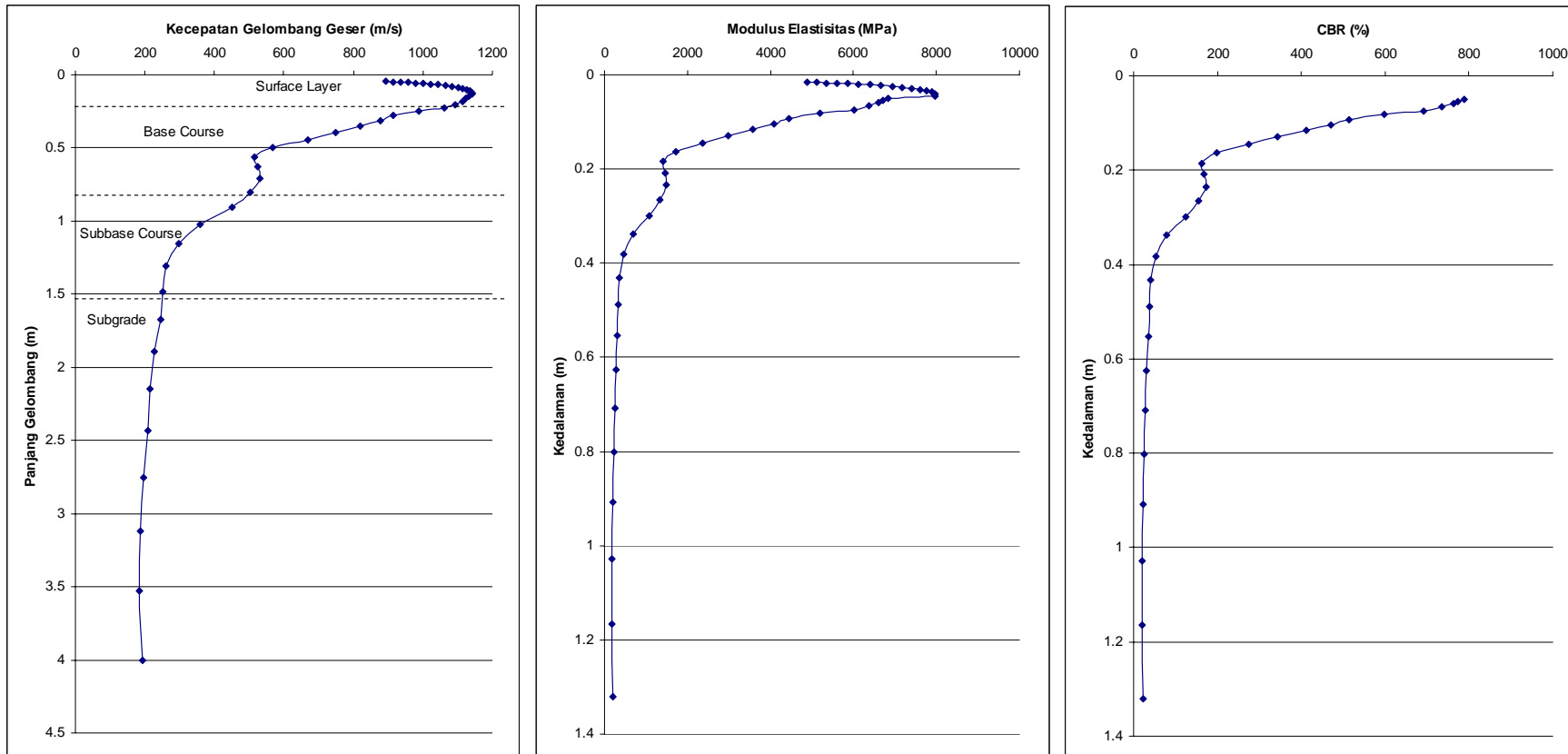
6. Sta. 10 + 000 (KM 23 + 930)



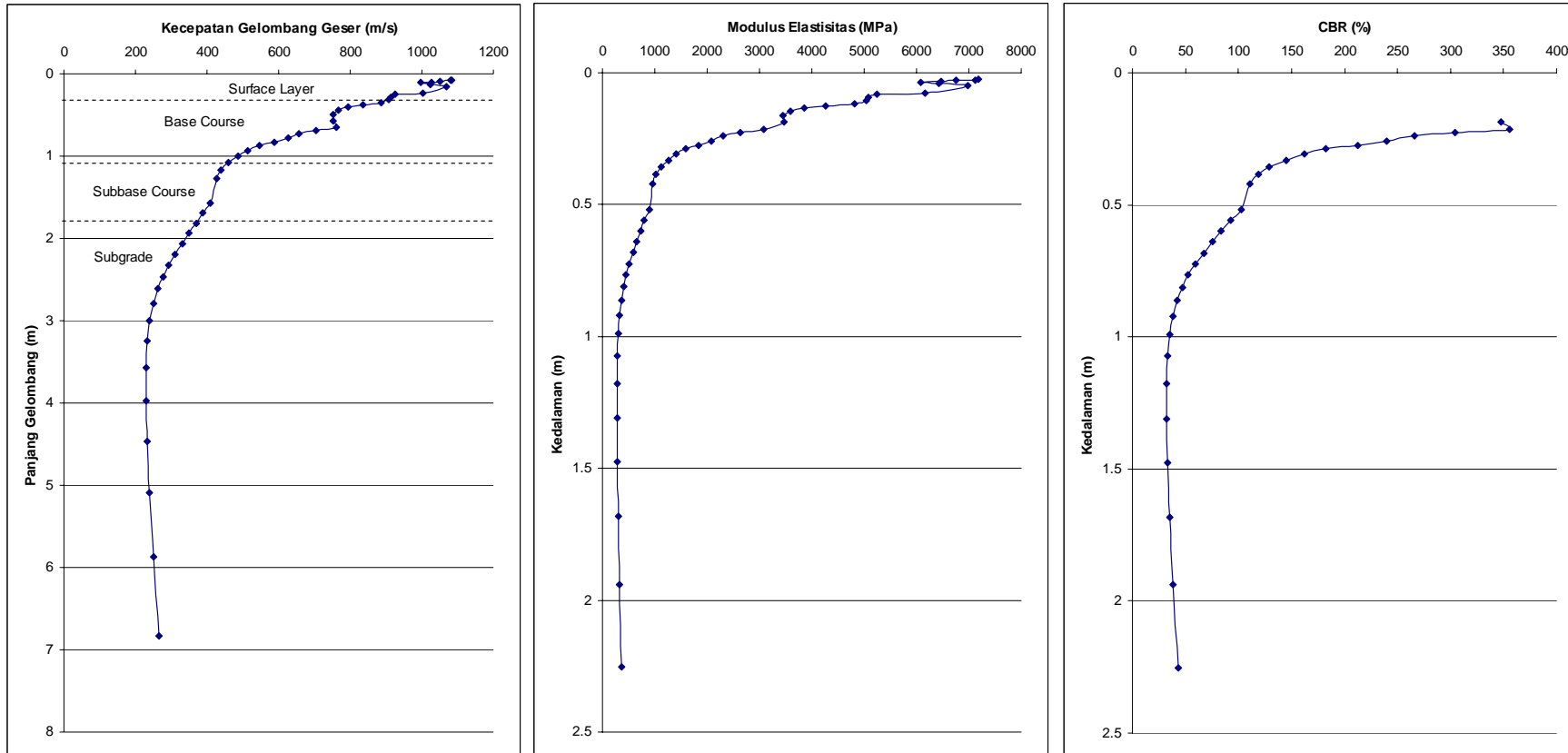
7. Sta. 12 + 000 (KM 25 + 930)



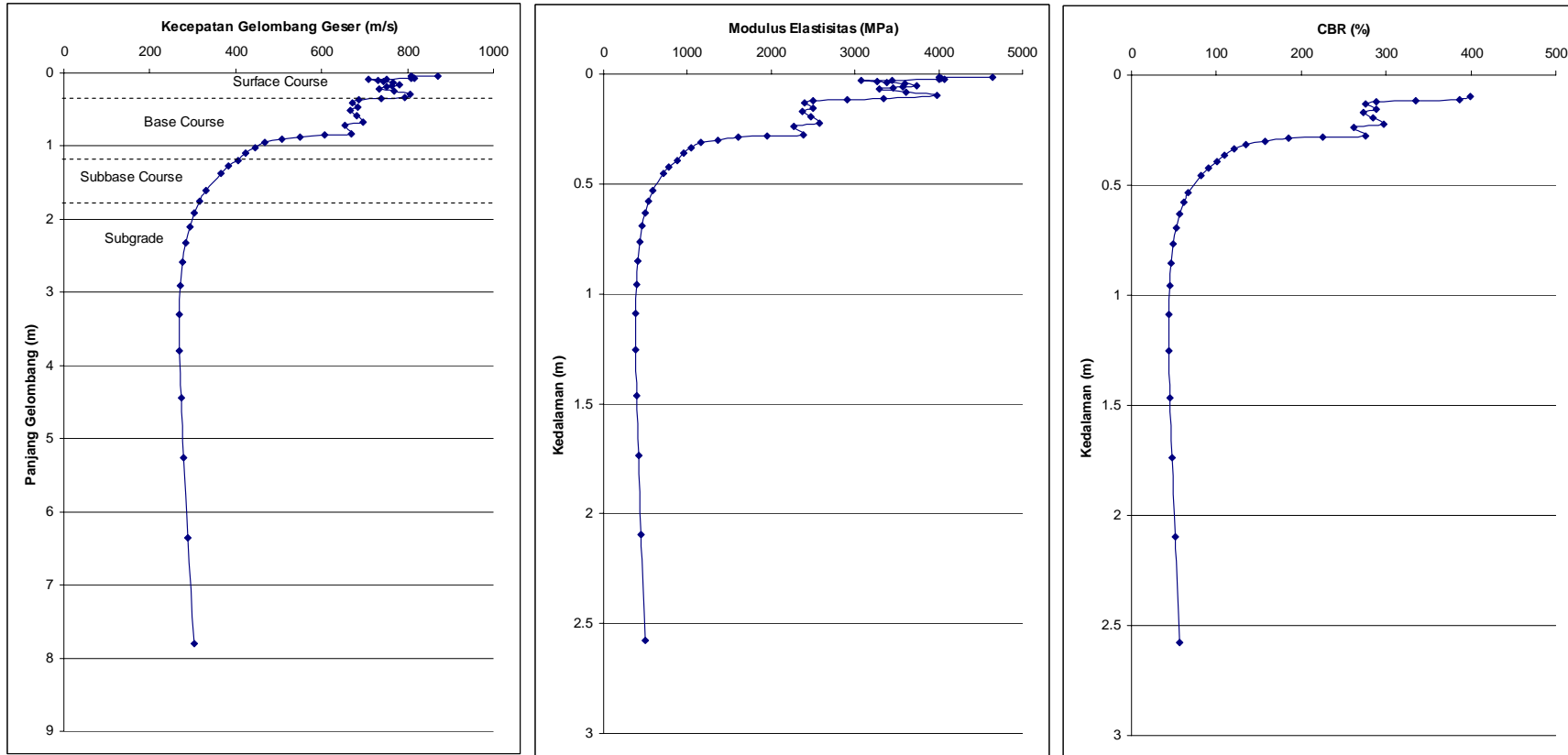
8. Sta. 14 + 000 (KM 27 + 930)



9. Sta. 16 + 000 (KM 29 + 930)



10. Sta. 18 + 000 (KM 31 + 930)



## KESIMPULAN PENGUJIAN SASW PADA JALAN PIYUNGAN-GADING

Pada umumnya hasil pengukuran pada Jalan Piyungan - Gading yang menggunakan metode SASW menghasilkan nilai CBR/DCP yang cukup tinggi dengan nilai CBR di atas 6 % atau nilai DCP 25 mm/blow untuk DCP 60°. Daya dukung tanah (nilai CBR) pada semua lokasi pengujian menunjukkan nilai yang tinggi sehingga tidak dideteksi adanya kondisi tanah lunak pada lokasi pengujian di Jalan Piyungan Gading.

Nilai lapisan permukaan (*surface course*) diukur dalam modulus elastisitas dalam rentang 3.000 – 7200 MPa atau 800 - 1084 m/s, sedangkan untuk lapisan fondasi atas 1000 – 2400 MPa atau 500 – 700 m/s dan lapisan fondasi bawah 480 – 600 MPa atau 260 – 300 m/s. Untuk lapisan subgrade dalam nilai modulus elastisitas 86 – 400 MPa atau 120 – 250 m/s.

**TABEL KESIMPULAN PENGUJIAN  
JALAN NASIONAL PIYUNGAN - GADING**

PROFILE	Sta 0+000			Sta 2+000			Sta 4+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.027219	14342.1		0.015825	4877.651		0.015924	4995.501	
	0.047655	14352.51		0.017164	4332.354		0.021143	5315.041	
	0.066203	14130.24		0.020841	4823.131		0.024599	5588.578	
	0.073514	13917.48		0.027246	4699.837		0.036429	5743.104	
	0.075155	11616.21		0.03754	2899.585		0.083786	4006.454	
	0.094009	11583.86		0.040806	2586.71		0.096896	4156.39	
	0.157192	4186.837					0.11363	4432.807	
	0.172775	4017.638					0.12641	4253.235	
							0.155456	2991.306	
							0.177618	3022.743	
BASE COURSE	0.205326	2458.282	283.4721	0.044074	1720.011		0.267191	2122.441	244.7075
	0.220861	2249.56	259.3796	0.080625	1226.932		0.281521	1817.442	209.5084
	0.311149	1346.202	155.1366	0.088648	1119.539	128.9909	0.368762	1090.705	125.6653
	0.330093	1183.775	136.4	0.100331	1082.316	124.6978	0.395414	960.6258	110.6635
	0.350565	1039.904	119.8062	0.117542	1121.049	129.165	0.417468	818.5348	94.27886
				0.130714	1046.161	120.5279			
				0.149044	1026.249	118.2315			
				0.174946	1066.71	122.8979			
				0.202908	1082.415	124.7092			
				0.229746	1046.592	120.5776			
SUBBASE COURSE	0.465107	645.7942	74.36408	0.396198	569.9637	65.62349	0.520962	560.478	64.5302
	0.503106	574.1498	66.10597	0.444508	539.9778	62.16749	0.56449	497.031	57.21807
	0.546417	510.6467	58.78716	0.491877	497.4015	57.26075	0.614959	443.6179	51.06307
	0.596284	454.3284	52.29722	0.545422	459.8159	52.92954			
SUBGRADE	0.654358	404.3174	46.53481	0.605856	426.2789	49.06518	0.673751	398.4379	45.8574
	0.722862	359.8004	41.40607	0.6739	395.9547	45.57131	0.742493	359.9116	41.41887
	0.804853	320.0107	36.82251	0.750237	368.0986	42.36204	0.823067	326.6306	37.58505
	0.904644	284.204	32.69829	0.835462	342.0446	39.36062	0.91761	297.307	34.20743
	1.02848	251.6225	28.94601	0.929992	317.1971	36.49842	1.028436	270.7221	31.14557
	1.185682	221.4348	25.46987	1.033951	293.0259	33.71434	1.157832	245.674	28.261
	1.390619	192.6266	22.15306	1.146992	269.0656	30.9548	1.307532	220.9236	25.41101
	1.66599	163.7813	18.83249	1.268052	244.9193	28.17409	1.477479	195.1429	22.44275
	2.046881	132.5936	15.24298	1.394998	220.2673	25.33545	1.662868	166.8829	19.18951
				1.524114	194.8827	22.4128	1.846852	134.6163	15.47574
				1.649372	168.6548	19.39347	1.930995	54.32002	6.238786
				1.761352	141.6231	16.28213	1.981326	97.04219	11.15232
				1.84566	114.0259	13.10635			
				1.880549	86.37116	9.924769			

Keterangan Tabel Kesimpulan :

H = Kedalaman dalam meter

E = Modulus Elastisitas dalam MPa

Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

PROFILE	Sta 6+000			Sta 8+000			Sta 10+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.018527	6408.855		0.019408	3872.849		0.022706772	5048.137	
	0.018211	5913.07		0.021908	3667.876		0.026131908	5455.24	
	0.023417	6886.599		0.026003	3841.123		0.047225145	5236.013	
	0.024724	6919.481		0.030729	3987.867		0.053149668	5403.05	
	0.030057	6890.438		0.035843	4033.724		0.059795736	5569.557	
	0.053026	6602.609		0.042517	4220.384		0.066896742	5675.123	
	0.058821	6686.255		0.057748	3203.465		0.075205944	5836.878	
	0.065693	6686.303		0.069215	3424.073		0.081231447	5539.136	
	0.075173	6999.456					0.093470058	5962.672	
0.084318	6821.391								
BASE COURSE	0.181657	2837.768	327.2811	0.092828	1410.506		0.096882654	2781.748	
	0.214361	2975.853	343.2237	0.102797	1289.642		0.105289437	2661.936	266.9015
	0.278266	1466.19	168.9792	0.110685	1115.398		0.119671101	2783.545	279.1078
	0.320617	1234.216	142.2183	0.181743	611.4074	70.40035	0.135644718	2891.736	289.9677
				0.193976	522.5369	60.15745	0.148311834	1958.277	225.7611
				0.207651	449.9334	51.79079	0.166985742	1999.334	230.4993
				0.243061	464.0037	53.41211	0.187668591	2030.447	234.0902
				0.266661	421.191	48.47895	0.208400478	2009.448	231.6666
				0.353485	423.953	48.79719			
				0.394153	400.6304	46.11001			
SUBBASE COURSE	0.493432	651.5173	75.02379	0.43537	372.7442	42.89724	0.300613335	502.8145	57.88456
	0.544239	429.2426	49.40667	0.477118	342.6548	39.43092	0.313887552	422.4706	48.62639
				0.519599	312.3829	35.94389	0.361625352	428.5726	49.32948
				0.563301	283.5533	32.62334	0.40286367	402.5534	46.33157
SUBGRADE	0.6463	457.0634	52.61237	0.609069	257.387	29.60985	0.540687477	400.0117	46.03873
	0.788849	350.8984	40.38056	0.658162	234.7292	27.00068	0.648283878	416.7962	47.97259
	0.919304	331.7076	38.16987	0.712282	216.1059	24.8563	0.790758111	439.816	50.62499
	0.977644	328.3393	37.78187	0.773573	201.7946	23.20856	0.97508367	461.3495	53.10627
	1.035966	326.3913	37.55748	0.844566	191.9001	22.06942	1.204066314	467.9669	53.86881
	1.294143	323.5757	37.23315	0.92807	186.4216	21.43871	1.462277091	436.9263	50.29201
	1.733316	311.7855	35.87509	1.027003	185.3058	21.31027	1.66535259	334.1036	38.44586
	1.850291	304.3833	35.02248	1.144171	188.4792	21.67559			
	1.948406	296.2179	34.08199	1.282016	195.8579	22.52507			
				1.442349	207.3404	23.84706			
				1.626117	222.7868	25.62555			
				1.833223	241.9944	27.83728			
				2.062448	264.6762	30.4493			
				2.311464	290.45	33.41767			
			2.576968	318.8402	36.68768				

Keterangan Tabel Kesimpulan :

- H = Kedalaman dalam meter
- E = Modulus Elastisitas dalam MPa
- Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

PROFILE	Sta 12+000			Sta 14+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.017978	6415.871		0.015624	4891.042	
	0.018011	5023.687		0.016311	5113.313	
	0.021814	5748.706		0.017089	5349.698	
	0.022841	4916.682		0.026399	7177.874	
	0.047509	4788.607		0.028533	7407.301	
	0.054673	4944.957		0.030953	7608.502	
	0.06097	4794.754		0.033699	7773.146	
	0.069074	4797.54		0.036814	7892.685	
	0.072408	4109.42		0.040347	7958.636	
				0.044355	7962.895	
				0.048902	6833.354	
				0.05406	6698.186	
			0.103296	4090.331		
BASE COURSE	0.106653	1550.55		0.184789	1419.987	163.6488
	0.130944	1581.267	182.2563	0.208206	1456.776	167.8931
	0.143315	1473.115	169.7782	0.234771	1499.803	172.8572
	0.153995	1322.182	152.3657	0.264904	1344.913	154.9879
	0.174556	1319.92	152.1047			
	0.197249	1308.742	150.8152			
	0.237784	1144.416	131.8602			
	0.256762	1033.799	119.1022			
	0.383492	821.4961	94.62029			
	0.423393	770.7371	88.7679			
0.459462	697.2759	80.29874				
SUBBASE COURSE	0.497249	626.006	72.08309	0.381851	467.5532	53.82113
	0.534443	552.9056	63.65745	0.431748	358.0487	41.20426
	0.57057	480.399	55.30141	0.488351	340.1653	39.14414
	0.60522	410.6419	47.26349			
SUBGRADE	0.638153	345.4708	39.7553	0.55256	320.1451	36.83799
	0.669463	286.3669	32.94739	0.625397	274.0381	31.52746
	0.699853	234.4383	26.96718	0.708021	245.2886	28.21662
	0.731099	190.4242	21.8995	0.801748	229.9012	26.44474
	0.766808	154.7342	17.79115	0.908069	203.1869	23.36886
	0.813727	127.542	14.66164	1.028677	184.1305	21.17496
	0.884026	108.9746	12.52515	1.165492	183.2734	21.07629
	0.999409	99.48113	11.43291	1.320692	201.9762	23.22947
	1.198812	100.551	11.556	1.496746	224.8432	25.86233
	1.553506	116.1557	13.35142	1.696458	192.7741	22.17004
	2.198519	155.7769	17.91116	1.923006	140.7896	16.1862

Keterangan Tabel Kesimpulan :

H = Kedalaman dalam meter

E = Modulus Elastisitas dalam MPa

Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).

PROFILE	Sta 16 +000			Sta 18+000		
	H	E	CBR	H	E	CBR
SURFACE LAYER	0.023703306	7188.754		0.016322	4000.927	
	0.026833917	7131.493		0.01843	4012.606	
	0.029688978	6757.587		0.020822	4029.304	
	0.033017424	6469.766		0.023582	4065.474	
	0.050372058	6986.872		0.027595	3444.558	
	0.078956889	6170.753		0.029417	3078.882	
	0.08271912	5245.214		0.034168	3267.029	
	0.092607042	5091.825		0.039184	3379.213	
	0.104731737	5044.551		0.045593	3597.959	
	0.147103473	3587.865		0.05238	3734.268	
	0.163970037	3455.768		0.057806	3576.247	
	0.186506166	3466.781		0.064142	3462.001	
BASE COURSE				0.098619	3975.243	
	0.257349312	2081.004	239.925	0.120519	2504.478	288.8047
	0.27487119	1843.932	212.5653	0.133016	2396.311	276.3186
	0.354586023	1122.976	129.3873	0.153274	2498.622	288.1288
				0.168502	2370.794	273.3731
				0.194143	2470.141	284.841
				0.223738	2574.009	296.8313
				0.237167	2268.464	261.5615
SUBBASE COURSE	0.384272724	1027.624	118.3901	0.29988	1365.975	157.4176
	0.421754685	965.367	111.2103	0.313181	1165.359	134.2758
				0.336124	1049.192	120.8774
				0.421253	782.3524	90.10709
SUBGRADE				0.454322	708.2123	81.55951
	0.640378035	653.6282	75.26713	0.531729	584.8607	67.3405
	0.681728124	582.511	67.06967	0.577929	534.9828	61.59182
	0.723483948	516.9449	59.513	0.630877	492.545	56.70109
	0.76654446	458.2994	52.7548	0.692439	457.2855	52.63796
	0.812302524	407.4682	46.89783	0.765106	429.0159	49.38056
	0.862751802	364.9474	41.99902	0.852227	407.6522	46.91903
	0.920593179	330.9352	38.0809	0.958331	393.2527	45.26
	0.989332212	305.4428	35.14452	1.089592	386.0702	44.4325
	1.073356515	288.4105	33.18276	1.2545	386.6212	44.49598
	1.177979649	279.8167	32.19299	1.464874	395.7828	45.5515
	1.309437657	279.7728	32.18794	1.737381	414.9313	47.75772
	1.474821876	288.5936	33.20386	2.095925	446.1466	51.35444
	1.681935684	306.8361	35.305	2.575465	492.5221	56.69846
	1.939064556	335.3021	38.58393			
2.254656822	375.0024	43.1574				

Keterangan Tabel Kesimpulan :

H = Kedalaman dalam meter

E = Modulus Elastisitas dalam MPa

Bearing Capacity dalam nilai CBR (%).