

HARY CHRISTADY HARDIYATMO

PERANCANGAN PERKERASAN JALAN DAN PENYELIDIKAN TANAH

- PERKERASAN ASPAL
- PERKERASAN BETON
- SISTEM CAKAR AYAM MODIFIKASI
- SISTEM PELAT TERPAKU

Edisi 3



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

PERANCANGAN PERKERASAN JALAN DAN PENYELIDIKAN TANAH:

Perkerasan Aspal, Perkerasan Beton, Sistem Cakar Ayam Modifikasi,
Sistem Pelat Terpakai

Penulis:

Hary Christady Hardiyatmo

Korektor:

Maarif

Desain sampul:

Pram's

Tata letak isi:

Hary

Penerbit:

Gajah Mada University Press
Anggota IKAPI

Ukuran : 14,8 × 21 cm; xviii + 648 hlm

ISBN : 978-602-386-571-0

1901023-C2E

Redaksi:

Jl. Grafika No. 1, Bulaksumur
Yogyakarta, 55281
Telp./Fax.: (0274) 561037
gmupress@ugm.ac.id | ugmpress.ugm.ac.id

Edisi 3, Cetakan pertama: Agustus 2019

2867.108.08.19

Hak Penerbitan ©2019 Gajah Mada University Press

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

Untuk:

*Ibu, ayah
isteri, anak-anak
dan pula
persembahkan buat
bangsa dan negaraku
Indonesia*

**SEBAIK-BAIK ORANG ADALAH
YANG PALING BERMANFAAT BAGI ORANG LAIN**

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap syukur *Alhamdulillah* dan atas berkat rahmat serta hidayah Allah S.W.T., buku “Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah” Edisi ke-3 ini dapat disusun. Buku ini merupakan penyempurnaan dari buku “Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah” edisi kedua yang telah terbit sejak tahun 2011. Penyempurnaan meliputi beberapa penjelasan yang lebih rinci terkait dengan cara perancangan perkerasan lentur, perkerasan kaku termasuk perancangan sambungannya.

Buku ini terdiri dari sembilan bab dan disusun dengan mengacu pada buku-buku acuan yang terkait masalah perkerasan jalan dan penyelidikan tanah. Bab I membahas tentang macam-macam tipe perkerasan jalan. Bab II tentang tanah-dasar dan material perkerasan jalan. Bab III membahas tentang cara-cara perancangan lalu-lintas. Bab IV dan Bab V membahas tentang cara-cara perancangan perkerasan lentur dan perkerasan kaku, termasuk perancangan tebal lapis tambahan. Bab VI membahas tentang drainase. Cara perancangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dibahas dalam Bab VII. Bab VIII membahas tentang perkerasan beton dengan Sistem Pelat Terpaku. Tipe-tipe penyelidikan tanah dan cara pelaksanaan pengujian tanah untuk perancangan perkerasan jalan, baik di lapangan maupun di laboratorium dibahas dalam Bab IX.

Buku ini dapat dijadikan acuan bagi para konsultan, kontraktor, mahasiswa maupun dosen yang mempelajari masalah perancangan perkerasan jalan dan tipe-tipe penyelidikan tanah yang seharusnya dilakukan. Bagi para mahasiswa, buku ini dapat dijadikan acuan

dalam melakukan penelitian dan penulisan tugas akhir maupun tesis. Untuk memudahkan dalam memahami masalah-masalah perkerasan, dalam buku ini banyak diberikan contoh-contoh soal beserta cara penyelesaiannya.

Walaupun buku ini sudah diusahakan sebaik mungkin penyajiannya, namun penulis percaya masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki dalam penerbitan edisi selanjutnya. Untuk itu, kritik dan saran membangun dari para pembaca sangat diharapkan.

Ucapan terima kasih ditujukan kepada: Ir.H. Wardhani Sartono, M.Sc., Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc., Ph.D., Ir. Djoko Murwono, M.Sc., Ir. Iwan Zarkasi, M.Sc., dan Tri Wibowo Kadarusman. S.T. atas dorongan dan motivasi dalam penerbitan buku ini. Tak Lupa terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengertian, perhatian dan dorongannya ditujukan kepada isteriku: **Dra. Isminarti Rusmiyati** dan anak-anaku: **M. Kammagama Harismina, S.Psi, M.Psi, Egha Muhammad Harismina, ST.** dan **Merlangen Enfani Harismina,ST.**

Yogyakarta, Maret 2019

Hary Christady Hardiyatmo

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
BAB I - PERKERASAN JALAN.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Fungsi Perkerasan.....	3
1.3 Bagian-bagian Jalan.....	4
1.4 Klasifikasi Jalan.....	10
1.5 Tipe-tipe Perkerasan.....	12
1.5.1 Perkerasan Lentur.....	12
1.5.2 Perkerasan Kaku.....	15
1.5.3 Perkerasan Komposit.....	18
1.5.4 Jalan Tak Diperkeras.....	19
1.6 Tipe-Tipe Pembangunan Perkerasan.....	20
1.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Struktur Perkerasan.....	23
1.7.1 Pengaruh Kelembaban.....	23
1.7.2 Pengaruh Temperatur.....	25
1.7.3 Pengaruh Cuaca.....	26
1.7.4 Pengaruh Drainase.....	27

1.8	Kondisi Fungsional dan Struktural	29
1.9	Tahanan Gelincir.....	30

**BAB II - TANAH-DASAR DAN MATERIAL
PERKERASAN JALAN 32**

2.1	Tanah-Dasar	32
2.1.1	Tegangan pada Tanah-Dasar.....	33
2.1.2	Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Tanah-Dasar.....	36
2.1.2.1	Pengaruh Beban Roda	36
2.1.2.2	Pengaruh Daya Dukung Tanah-Dasar.....	39
2.1.2.3	Pengaruh Lingkungan	40
2.1.3	Perlindungan Permukaan Tanah-Dasar	46
2.1.4	Lapis Penutup (<i>Capping Layer</i>)	47
2.1.5	Tanah-Dasar pada Tanah Asli	50
2.1.6	Tanah Dasar pada Timbunan	50
2.1.7	Tanah-Dasar pada Galian	52
2.1.8	Stabilisasi Tanah-Dasar	53
2.1.8.1	Stabilisasi Tanah-Dasar dengan Kapur	53
2.1.8.2	Stabilisasi Tanah-Dasar dengan Semen	54
2.1.9	Pemadatan Tanah-Dasar	55
2.2	Material Perkerasan Jalan	57
2.2.1	Lapis Permukaan	57
2.2.2	Lapis Pondasi (<i>Base Course</i>)	58
2.2.3	Lapis Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>).....	66
2.2.4	Aspal.....	68
2.2.4.1	Semen Aspal (<i>Asphalt Cement, AC</i>)	71
2.2.4.2	<i>Cutback Asphalt</i>	72
2.2.4.3	Emulsi Aspal (<i>Asphalt Emulsion</i>)	74
2.2.4.4	Bahan Susun Campuran Beraspal.....	78
2.2.4.5	Jenis-jenis Campuran Aspal Panas	84
2.2.4.6	Perancangan Campuran Aspal Panas.....	88

2.2.4.7	Prosedur Perancangan Campuran	90
2.2.4.8	Hubungan-hubungan Volume dalam Campuran Aspal.....	91
2.2.5	Beton	105
2.2.5.1	Perbandingan Campuran.....	106
2.2.5.2	Kuat Tekan.....	106
2.2.5.3	Kuat Lentur.....	107
2.2.5.4	Modulus Elastisitas.....	107
2.2.5.5	Kuat Tarik	108
2.2.5.6	Air.....	108
2.2.5.7	Agregat.....	109
2.2.5.8	Semen.....	109
2.2.5.9	Tulangan	110

BAB III - PERANCANGAN LALU-LINTAS 111

3.1	Pendahuluan.....	111
3.2	Umur Rancangan	112
3.3	Kemampuan Pelayanan (<i>Serviceability</i>).....	114
3.4	Hitungan Lalu-Lintas Rancangan	120
3.4.1	Metoda Hitungan.....	120
3.4.2	<i>Equivalent Single Axle Load</i> (Esal).....	121
3.4.3	Konfigurasi Gandar	122
3.4.4	Faktor Beban Gandar Ekuivalen	124
3.4.4.1	Faktor Ekuivalensi Beban Gandar Perkerasan Lentur	127
3.4.4.2	Faktor Ekuivalensi Beban Gandar Perkerasan Kaku	127
3.4.5	Faktor Truk.....	131
3.4.6	Faktor Distribusi Arah dan Lajur	137
3.4.7	Pertumbuhan Lalu-Lintas.....	138
3.4.8	Lalu-Lintas Rancangan Total	140
3.5	Tekanan Kontak Ban.....	150

BAB IV - PERKERASAN ASPAL..... 153

4.1 Pendahuluan..... 153

4.2 Komponen-komponen Perkerasan Lentur 154

4.3 Lapis Permukaan 156

4.4 Lapis Pondasi..... 160

4.5 Lapis Pondasi Bawah..... 161

4.6 Perancangan Perkerasan Lentur 163

 4.6.1 Metoda AASHTO (1993)..... 166

 4.6.1.1 Kemampuan Pelayanan (*Serviceability*)... 166

 4.6.1.2 Reliabilitas (*Reliability, R*)..... 167

 4.6.1.3 Deviasi Standar Keseluruhan (S_o)..... 169

 4.6.1.4 Koefisien Lapisan (*Layer Coefficient*) 170

 4.6.1.5 Kualitas Drainase 172

 4.6.1.6 Persen Perkerasan Terkena Air 176

 4.6.1.7 Koefisien Drainase (m_i) 177

 4.6.1.8 Angka Struktural (*Structural Number, SN*) 179

 4.6.1.9 Modulus *Resilient* (M_R) dan Nilai-*R* (*R-Value*) 182

 4.6.1.10 Penentuan M_R Efektif..... 186

 4.6.1.11 Hubungan Modulus Dengan CBR dan Nilai-*R* Untuk Lapis Pondasi dan Pondasi Bawah 189

 4.6.1.12 Hubungan M_R dengan CBR..... 190

 4.6.1.13 Hubungan M_R dengan Nilai-*R*..... 191

 4.6.1.14 Penentuan Nilai M_R untuk Perancangan ... 191

 4.6.1.15 Perancangan Perkerasan Lentur dengan Metoda AASHTO (1993)..... 193

4.7 Lapis Tambahan (*Overlay*) 206

 4.7.1 Evaluasi Perkerasan..... 207

 4.7.1.1 Uji Merusak 208

 4.7.1.2 Uji Tak Merusak 209

4.7.2	Tipe-Tipe Alat Uji NDT	212
4.7.2.1	FWD (<i>Falling Weight Deflectometer</i>).....	212
4.7.2.2	Alat Uji <i>Steady-State Dynamic Deflection</i>	221
4.7.2.3	Alat Uji Defleksi Statis	223
4.7.3	Penentuan Modulus Lapisan dengan Metoda Hitungan Balik	224
4.7.4	Lapis Tambahan Pada Perkerasan Lentur.....	225
4.7.4.1	Tipe-Tipe Lapis Tambahan	226
4.7.4.2	Perancangan Lapis Tambahan.....	230
4.7.4.3	Prosedur Perancangan Lapis Tambahan Semen Aspal (AC) Di Atas Perkerasan Lentur.....	231
4.7.4.3.1	Penentuan SN_{eff}	232
4.7.4.3.2	Penentuan SN_f	237
4.7.4.3.3	Penentuan Tebal Tapis Tambahan	241

BAB V - PERKERASAN BETON..... 252

5.1	Pendahuluan.....	252
5.2	Tegangan Pada Pelat Akibat Beban	255
5.3	Tipe-Tipe Perkerasan Kaku	261
5.3.1	Perkerasan Beton Tak Bertulang	264
5.3.2	Perkerasan Beton Bertulang	266
5.3.3	Perkerasan Beton Ditutup Aspal	268
5.4	Pertimbangan Pemilihan Tipe Perkerasan Kaku.....	268
5.5	Pengaruh Lingkungan dan Beban Lalu-Lintas	270
5.6	Kegagalan Perkerasan Kaku	273
5.7	Bahu Jalan.....	274
5.8	Lapis Pondasi Bawah.....	276
5.9	Membran Kedap Air	280
5.10	Aksi Pemompaan (<i>Pumping</i>)	281

5.11 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku.....	282
5.11.1 Metoda AASHTO (1993)	282
5.11.1.1 Reliabilitas (R)	284
5.11.1.2 Deviasi Standar Keseluruhan (S_o).....	284
5.11.1.3 Koefisien Drainase (C_d)	284
5.11.1.4 Material Beton	286
5.11.1.5 Modulus Reaksi Tanah-Dasar Efektif.....	290
5.11.1.6 Koefisien Tranfer Beban (J).....	302
5.11.1.7 Penentuan Tebal Pelat Beton (D).....	303
5.11.2 Metoda Portland Cement Association (PCA)	308
5.11.2.1 Perancangan Didasarkan pada Kelelahan .	308
5.11.2.2 Perancangan Didasarkan pada Erosi.....	317
5.12 Sambungan-sambungan.....	322
5.12.1 Proses Terjadinya Retak.....	322
5.12.2 Fungsi Sambungan	324
5.12.3 Penguncian Antar Agregat (<i>Aggregate Interlock</i>)	326
5.12.4 Penyaluran Beban (<i>Load Transfer</i>)	327
5.12.5 Jarak Sambungan.....	329
5.12.6 Sambungan Miring	331
5.12.7 Tipe-tipe Sambungan.....	332
5.12.7.1 Sambungan Pelaksanaan (<i>Construction Joint</i>)	332
5.12.7.2 Sambungan Muai (<i>Expansion Joint</i>)	336
5.12.7.3 Sambungan Susut/Kontraksi (<i>Contraction Joint</i>).....	339
5.12.7.4 Sambungan Lengkung (<i>Warping joint</i>) atau Sendi (<i>Hinge</i>)	345
5.12.7.5 Sambungan Isolasi (<i>Isolation Joint</i>)	347
5.12.7.6 Penutup (<i>Sealant</i>) dan Pengisi (<i>Filler</i>) Sambungan.....	347
5.12.7.7 Batang Penyangga (<i>Backer rod</i>).....	350
5.12.7.8 <i>Dowel</i>	351
5.12.7.9 <i>Tie-bar</i>	356
5.12.7.10 Bahan-bahan Untuk Sambungan	361

5.13 Perancangan tulangan	361
5.13.1 Penulangan pada Perkerasan Beton Bertulang Bersambungan JRJP	362
5.13.1.1 Koefisien Gesek (F)	362
5.13.1.2 Perancangan Tulangan	363
5.13.2 Kuat Tarik Tulangan	365
5.13.3 Selimut Beton dan Jarak Ujung Tulangan	367
5.14 Perkerasan Beton Bertulang Kontinyu	370
5.14.1 Tulangan	371
5.14.1.1 Tulangan Susut	371
5.14.1.2 Tulangan Temperatur	373
5.14.2 Perancangan Tebal Perkerasan	374
5.14.3 Perancangan Tulangan	375
5.14.4 Perancangan Tulangan Arah Memanjang	375
5.14.4.1 Kriteria Batas	376
5.14.4.2 Hitungan Kebutuhan Tulangan Memanjang	377
5.14.5 Perancangan Tulangan Arah Melintang	383
5.14.6 Tebal Selimut Beton dan Letak Tulangan	387
5.14.7 Sambungan-sambungan pada CRCP	388
5.14.7.1 Sambungan Kontak Melintang	388
5.14.7.2 Sambungan Memanjang	389
5.14.7.3 Sambungan Akhir	389
5.14.7.4 <i>Tie-bar</i>	390
5.15 Lapis Tambahan Pada Perkerasan Kaku	391
5.15.1 Tipe-tipe Lapis Tambahan	392
5.15.2 Perancangan Lapis Tambahan	394
5.15.2.1 Metoda U.S. Corp of Engineer	394
5.15.2.2 Prosedur AASHTO (1993)	395
5.16 Perkerasan Beton Dengan Penebalan Di Pinggir	407
5.17 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tebal Pelat Beton	408
5.17.1 Pengaruh Tekanan Ban	409
5.17.2 Pengaruh k terhadap Tebal Pelat Beton	409
5.17.3 Pengaruh Kombinasi	411

5.17.4 Pengaruh k dan Tebal Pelat Beton (D) terhadap Tegangan Lengkung	412
--	-----

BAB VI - DRAINASE 414

6.1 Pendahuluan.....	414
6.1.1 Pengaruh Air terhadap Struktur Perkerasan	415
6.1.2 Air Hujan.....	416
6.1.3 Sumber Masuknya Air ke dalam Perkerasan.....	416
6.2 Fungsi Drainase Pada Perkerasan.....	418
6.2.1 Membuang Air di Permukaan Struktur Perkerasan...	418
6.2.2 Menurunkan Muka Air Tanah	419
6.2.3 Mereduksi Tekanan Hidrostatik.....	420
6.2.4 Mencegah Erosi.....	421
6.3 Tipe-tipe Drainase Jalan	421
6.3.1 Drainase Permukaan.....	422
6.3.2 Drainase Bawah Permukaan	422
6.4 Bahu Jalan dan Median Mudah Meloloskan Air	425
6.5 Lapis Agregat Pondasi	426
6.6 Persyaratan Komponen-komponen Sistem Drainase.....	427
6.7 Hal-hal yang Perlu Diperhatikan	430
6.8 Sistem Drainase untuk Pelebaran Jalan	431

BAB VII - SISTEM CAKAR AYAM MODIFIKASI 435

7.1 Pendahuluan	435
7.2 Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo.....	437
7.3 Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM).....	437
7.4 Perkerasan Kaku dengan Sistem Cakar Ayam.....	441
7.5 Keuntungan dan Kerugian	444
7.5 Pengertian Dasar	445
7.6.1 Peran Cakar sebagai "Paku"	445
7.6.2 Reaksi Perlawanan Cakar	446

7.7	Penelitian-penelitian yang Telah Dilakukan	448
7.8	Pengaruh Pembebanan	450
7.8.1	Beban Statis	450
7.8.2	Beban Dinamis	453
7.9	Metoda Perancangan.....	454
7.9.1	Beban Rancangan	454
7.9.2	Metoda Bambang Suhendro (1992; 2006)	455
7.9.3	Metoda Hary Christady Hardiyatmo (2010)	457
7.10	Modulus Reaksi Tanah-Dasar Efektif	464
7.11	Metoda Perancangan Sistem CAM	466
7.11.1	Perancangan Tulagan.....	466
7.11.1.1	Faktor Beban.....	468
7.11.1.2	Tulangan Lentur.....	468
7.11.1.3	Kuat Geser Pelat Beton	472
7.11.1.4	Pengendalian Retak pada Pelat.....	476
7.11.2	Pengaruh lebar Perkerasan.....	477
7.11.3	Langkah perancangan	478
7.11.4	Batasan-batasan	479
7.11.5	Perancangan Sistem CAM.....	479
7.11.5.1	Lebar Perkerasan Sistem CAM 7,50 m.....	480
7.11.5.2	Lebar Perkerasan Sistem CAM 7,20 m.....	489
7.11.5.3	Lebar Perkerasan Sistem CAM 15.....	493
7.12	Sistem Cakar Ayam pada Tanah Ekspasif.....	498
7.12.1	Tanah Ekspansif	498
7.12.2	Perancangan Sistem Cakar Ayam pada Tanah Ekspansif.....	499
7.13	Tipe-tipe Tanah Dasar.....	502
7.14	Pipa Cakar.....	502
BAB VIII - SISTEM PELAT TERPAKU		506
8.1	Pendahuluan.....	506
8.2	Sistem Pelat Terpaku	507

8.3	Keuntungan dan Kerugian	510
8.4	Modulus Reaksi Tanah-Dasar	511
8.4.1	Modulus Reaksi Tanah-Dasar dengan Memperhatikan Pengaruh Dukungan Tiang.....	512
8.4.2	Metoda Hary Christady Hardiyatmo (2011).....	512
8.5	Metoda Perancangan.....	520
8.5.1	Metoda Analisis Struktur	521
8.5.2	Metoda AASHTO.....	530
8.6	Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Ekspansif.....	532
8.7	Tipe-tipe Tanah-Dasar	533

BAB IX - PENYELIDIKAN TANAH 534

9.1	Pendahuluan.....	534
9.2	Penyelidikan Tanah untuk Pembangunan Perkerasan	535
9.2.1	Penyelidikan Pendahuluan	536
9.2.2	Pengeboran	537
9.2.3	Jarak Titik Penyelidikan	537
9.2.4	Kedalaman Pengeboran.....	537
9.2.5	Jumlah Pengambilan Contoh Tanah	541
9.2.6	Klasifikasi Tanah	541
9.2.7	Laporan Hasil Pengeboran	541
9.2.8	Deskripsi Lapisan Tanah	545
9.2.8	Penyajian Hasil Penyelidikan Tanah	545
9.3	Tipe-tipe Penyelidikan Tanah	547
9.3.1	Pembangunan Jalan Baru	548
9.3.2	Pembangunan Kembali	549
9.3.3	Rehabilitasi.....	550
9.4	Pengujian Tanah di Laboratorium.....	552
9.5	Penyelidikan Tanah di Lapangan.....	555
9.5.1	Uji Penetrasi Standar (SPT)	556
9.5.2	Uji Penetrasi Kerucut Statis (Sondir).....	566
9.5.3	Uji Geser Kipas di Lapangan	569

9.6	Uji Kekuatan Tanah-Dasar.....	572
9.6.1	Uji Beban Pelat.....	572
9.6.1.1	Penentuan k Menurut AASHTO	575
9.6.1.2	Penentuan k Menurut NAVFAC-DM 5.4..	578
9.6.2	Uji CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	583
9.6.2.1	Uji CBR pada Kepadatan dan Kadar Air Tertentu.....	591
9.6.2.2	Uji CBR Terendam (<i>Soaked CBR</i>).....	593
9.6.2.3	Prosedur Uji CBR di Laboratorium	593
9.6.2.4	Prosedur Uji CBR di Lapangan	596
9.6.2.5	Kesalahan-kesalahan Dalam Uji CBR.....	597
9.6.2.6	Nilai CBR Tanah-Dasar Untuk Perancangan.....	598
9.6.2.7	Estimasi CBR Berdasarkan Jenis Tanah...	598
9.6.2.8	Hubungan Kepadatan dan CBR.....	600
9.6.2.9	Hubungan CBR dengan Tahanan Konus (q_c).....	603
9.6.3	Uji Penetrometer Kerucut Dinamik (DCP)	604
9.7	Tipe-Tipe dan Prosedur Pengujian Tanah.....	610
	DAFTAR PUSTAKA.....	615
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	625
	TABEL KONVERSI.....	644
	TENTANG PENULIS.....	648