



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
REPUBLIK INDONESIA

**Kepada Yth.:**

**Para Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat**

**SURAT EDARAN  
NOMOR : 34/SE/M/2015**

**TENTANG**

**PEDOMAN PERENCANAAN TEKNIS DRAINASE BAWAH PERMUKAAN  
DENGAN MENGGUNAKAN FILTER GEOTEKSTIL**

#### **A. Umum**

Dalam rangka menggantikan penggunaan ijuk pada aplikasi drainase bawah permukaan, perlu menetapkan Pedoman perencanaan teknis drainase bawah permukaan dengan menggunakan filter geotekstil dengan Surat Edaran Menteri.

#### **B. Dasar Pembentukan**

1. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah, Pemerintahan Daerah Provinsi, Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4737);
3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2015 tentang Organisasi Kementerian Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 8);
4. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16);
5. Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 121/P Tahun 2014 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode Tahun 2014-2019;
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 08/PRT/M/2010 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum;

7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 07/PRT/M/2012 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan di Bidang Jalan;
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan.

### **C. Maksud dan Tujuan**

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, perancang, perencana dan pelaksana dalam merencanakan drainase bawah permukaan dengan menggunakan filter geotekstil. Tujuannya agar drainase bawah permukaan dapat menahan perpindahan tanah setempat tanpa terjadinya penyumbatan, pengendalian erosi pada kondisi aliran dinamis dan penggunaan lainnya.

### **D. Ruang Lingkup**

Pedoman perencanaan teknis drainase bawah permukaan dengan menggunakan filter geotekstil menetapkan ketentuan, prosedur perencanaan teknis, dan pelaksanaan filter geotekstil untuk sistem drainase bawah permukaan yang meliputi drainase perkerasan (lapis fondasi permeabel) dan drainase pengontrol air tanah.

### **E. Penutup**

Ketentuan lebih rinci mengenai pedoman ini tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran ini.

**Ditetapkan di Jakarta  
pada tanggal 18 Mei 2015**

**MENTERI PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**



Tembusan disampaikan kepada Yth.:  
Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

LAMPIRAN  
SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT  
NOMOR : 34/SE/M/2015

# **PEDOMAN**

**Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil**

---

**Perencanaan teknis drainase bawah permukaan  
dengan menggunakan filter geotekstil**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT**

## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata.....	iii
Pendahuluan.....	iv
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi.....	2
4 Ketentuan.....	3
4.1 Umum.....	3
4.2 Kriteria perencanaan teknis filter geotekstil.....	5
4.2.1 Kriteria retensi.....	6
4.2.2 Kriteria permeabilitas dan permitivitas.....	8
4.2.3 Kriteria daya tahan terhadap penyumbatan.....	10
4.2.4 Kriteria daya bertahanan durabilitas.....	11
4.3 Kriteria perencanaan teknis drainase perkerasan.....	13
4.3.1 Geometri drainase perkerasan.....	13
4.3.2 Air yang harus dikeluarkan.....	14
4.3.3 Laju pembuangan air.....	25
4.3.4 Time-to-drain.....	25
4.3.5 Kapasitas aliran rencana dari pipa saluran samping.....	27
4.3.6 Spasi <i>outlet</i> .....	27
4.4 Kriteria perencanaan teknis drainase pengontrol air tanah.....	27
4.4.1 Drainase penangkap longitudinal tunggal.....	28
4.4.2 Multidrainase penangkap longitudinal.....	30
4.4.3 Drainase <i>drawdown simetris</i> .....	31
4.5 Kriteria pemasangan filter geotekstil.....	35
4.5.1 Galian.....	35
4.5.2 Pemasangan geotekstil.....	35
4.5.3 Tumpang tindih ( <i>overlap</i> ) dan penyambungan.....	35
4.5.4 Pipa drainase.....	36
4.5.5 Pengendalian mutu pelaksanaan.....	37
5 Prosedur perencanaan teknis dan pemasangan filter geotekstil.....	38
5.1 Prosedur perencanaan teknis.....	38
5.2 Prosedur pemasangan filter geotekstil.....	40
Lampiran A (informatif) Contoh aplikasi filter geotekstil untuk drainase bawah permukaan.....	41
Lampiran B (informatif) Contoh pipa saluran samping ( <i>outlet</i> ).....	45
Lampiran C (informatif) Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk drainase di bawah perkerasan jalan.....	46
Lampiran D (informatif) Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk sebagai drainase penangkap longitudinal di lereng galian.....	54
Lampiran E (informatif) Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk drainase <i>drawdown</i> simetris pada daerah galian ganda ( <i>double cutting</i> ).....	63
Bibliografi.....	72
Gambar 1 - Formasi penyaring.....	3
Gambar 2 - Ilustrasi kondisi lubang bukaantidak tertutup dan tidak tersumbat.....	3
Gambar 3 - Bagan alir prosedur perencanaan.....	5
Gambar 5 - Notasi geometri jalan.....	13
Gambar 6 - Sumber air tanah gravitasi.....	15
Gambar 7 - Sumber air tanah artesis.....	15

Gambar 8 - Grafik untuk menentukan debit aliran air pada drainase lapis fondasi permeabel (atau selimut drainase).....	17
Gambar 10 - Aliran vertikal keluar menuju lapisan tanah yang sangat permeabel.....	20
Gambar 11 - Aliran vertikal keluar dengan bagian bawah adalah lapisan kedap.....	21
Gambar 12 - Grafik untuk menentukan <i>vertical outflow</i> dari perkerasan dari <i>subgrade</i> ke muka air tanah yang miring (untuk kasus Gambar 9.b) .....	22
Gambar 13 - Grafik untuk menentukan <i>vertical outflow</i> dari perkerasan dari <i>subgrade</i> ke lapisan tanah yang sangat permeabel (untuk kasus Gambar 10) .....	23
Gambar 14 - Grafik untuk menentukan <i>vertical outflow</i> dari perkerasan melalui timbunan dan tanah fondasi (untuk kasus Gambar 11) .....	24
Gambar 15 - Grafik <i>time factor</i> untuk derajat kejenuhan drainase 50%.....	26
Gambar 16 - Grafik untuk menetapkan porositas efektif, $n_e$ .....	27
Gambar 17 - Grafik untuk menentukan debit air ke dalam drainase penangkap.....	29
Gambar 18 - Grafik untuk menentukan kurva <i>drawdown</i> .....	30
Gambar 21 - Pembagian drainase <i>drawdown</i> simetris menjadi dua fragmen ekivalen .....	32
Gambar 22 - Grafik untuk menentukan debit air, $q_2$ , ke dalam drainase <i>drowdown</i> simetris.....	33
Gambar 23 - Grafik untuk menentukan kurva <i>drawdown</i> di bawah drainase simetris .....	34
Gambar 24 - Grafik untuk menentukan kurva <i>drawdown</i> pada Fragmen nomor 1 .....	34
Gambar 25 - Gradasi tipikal dan permeabilitas Darcy dari beberapa agregat dan material filter bergradasi .....	39
Tabel 1 - Evaluasi sifat kritis dan tingkat kompleksitas pekerjaan.....	6
Tabel 2 - Nilai koefisien B untuk tanah berbutir kasar.....	7
Tabel 3 - Nilai koefisien B untuk tanah berbutir halus .....	7
Tabel 4 - Estimasi nilai permeabilitas .....	9
Tabel 5 - Persyaratan permitivitas .....	9
Tabel 6 - Berat jenis polimer tipikal (Sumber: Shukla dan Yin, 2006) .....	11
Tabel 7 - Persyaratan kekuatan geotekstil untuk filter geotekstil.....	12
Tabel 8 - Definisi kualitas drainase (SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013) .....	25
Tabel 9 Ketentuan pipa berlubang banyak untuk Kelas 1 .....	36
Tabel 10 Ketentuan pipa berlubang banyak untuk Kelas 2 .....	37
Tabel 11 Ketentuan PVC yang berlubang banyak .....	37

## Prakata

Pedoman perencanaan teknis drainase bawah permukaan dengan menggunakan filter geotekstil disusun dengan mengacu pada FHWA A-TS-80-224-1990 *Highway subdrainage design*, FHWA NHI-05-037-2006 *Geotechnical aspects of pavement*, dan FHWA NHI-07-092-2008 *Geosynthetic design & construction guidelines*.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis 91-01/S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 8:2007 dan dibahas dalam forum konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 31 Oktober 2014 di Bandung, dengan melibatkan para narasumber, pakar, dan lembaga terkait.

## **Pendahuluan**

Fungsi filter geotekstil adalah untuk mengalirkan air ke dalam sistem drainase bawah permukaan dan menahan perpindahan tanah setempat tanpa terjadinya penyumbatan. Filter geotekstil dalam sistem drainase bawah permukaan yang dimaksud dalam pedoman ini adalah untuk aplikasi drainase perkerasan (lapis fondasi permeabel) dan drainase pengontrol air tanah.

Pedoman ini juga diperlukan karena Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Seksi 2.4 telah menyatakan bahwa penggunaan ijuk untuk filter pada aplikasi drainase porus tidak diperkenankan dalam segala hal.

Diharapkan dengan tersedianya pedoman ini dapat memberikan petunjuk kepada praktisi mengenai langkah-langkah perencanaan teknis dan pelaksanaan filter geotekstil dalam sistem drainase bawah permukaan.

# Perencanaan teknis drainase bawah permukaan dengan menggunakan filter geotekstil

## 1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan ketentuan, prosedur perencanaan teknis, dan pelaksanaan filter geotekstil untuk sistem drainase bawah permukaan yang meliputi drainase perkerasan (lapis fondasi permeabel) dan drainase pengontrol air tanah.

Penggunaan geotekstil untuk pengendalian erosi pada kondisi aliran dinamis dan penggunaan lainnya, serta pengujian kinerja untuk tanah tidak stabil tidak termasuk dalam ruang lingkup pedoman ini.

Contoh aplikasi filter geotekstil untuk drainase bawah permukaan yang dimaksud dalam pedoman ini ditunjukkan pada Lampiran A.

## 2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

SNI 3423:2008, *Cara uji analisis ukuran butir tanah.*

Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2013 tentang *Pedoman perencanaan tebal perkerasan lentur.*

ASTM D1987, *Standard test method for biological clogging of geotextile or soil/geotextile filter.*

ASTM D2434, *Standard test method for permeability of granular soil (constant head).*

ASTM D4354, *Standard practice for sampling of geosynthetics and rolled erosion control products (recps) for testing.*

ASTM D4491, *Standard test method for water permeability of geotextiles by permittivity.*

ASTM D4533, *Standard test method for trapezoid tearing strength of geotextiles.*

ASTM D4632, *Standard test method for grab breaking load and elongation of geotextiles.*

ASTM D4759, *Standard practice for determining the specification conformance of geosynthetics.*

ASTM D5084, *Standard test methods for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous materials using a flexible wall permeameter.*

ASTM D5101, *Standard test method for measuring the soil geotextile system clogging potential by the gradient ratio.*

ASTM D5858, *Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter.*

ASTM D6241, *Standard test method for static puncture strength of geotextiles and geotextile-related products using a 50 mm probe.*

AASHTO M176M/ M176-07, *Standard specification for porous concrete pipe.*

AASHTO M252-07, *Standard specification for corrugated polyethylene - Drainage pipe.*

AASHTO M278-12, *Standard specification for class ps 46 poly (vinyl chloride) – (PVC) Pipe.*



### 3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

#### 3.1

##### **arah melintang mesin**

arah pada permukaan contoh uji yang tegak lurus dengan arah geotekstil ketika keluar dari mesin

#### 3.2

##### **arah mesin**

arah pada permukaan contoh uji yang searah dengan arah geotekstil ketika keluar dari mesin

#### 3.3

##### **filter geotekstil**

setiap bahan tekstil yang umumnya lolos air, dapat berupa rajutan (*knitted*), tenun (*woven*) atau nirtunen (*non-woven*), yang dipasang bersama pondasi, tanah, batuan atau material geoteknik lainnya sebagai suatu kesatuan dari sistem struktur, atau suatu produk buatan manusia

#### 3.4

##### **filter butiran**

lapisan filter yang tersusun dari tanah berbutir dengan persyaratan-persyaratan tertentu. Persyaratan tersebut diantaranya adalah harus mampu menahan tanah, air dapat bebas mengalir, dan tidak mengalami penyumbatan selama masa layannya

#### 3.5

##### **gradasi seragam (*uniformly graded*)**

tanah dengan ukuran semua butirannya hampir sama, biasanya disebut juga *open graded*

#### 3.6

##### **gradasi senjang (*gap graded*)**

tanah yang terdapat kekurangan salah satu atau lebih ukuran butir tertentu

#### 3.7

##### **gradasi baik (*well graded*)**

tanah yang memiliki butiran dari ukuran terbesar hingga terkecil (kasar hingga halus), sehingga sering disebut sebagai gradasi menerus (*continuous graded*), gradasi rapat (*dense graded*) atau gradasi tertutup (*close graded*)

#### 3.8

##### **permeabilitas**

kemampuan suatu material/bahan untuk mengalirkan cairan atau air

#### 3.9

##### **permitivitas**

kecepatan aliran air per satuan luas dalam arah tegak lurus permukaan bidang geotekstil

#### 3.10

##### **sifat kritis proyek**

suatu kondisi yang berhubungan dengan risiko hilangnya nyawa dan/atau kerusakan struktural karena runtuhnya saluran, perbandingan biaya, dan potensi penyumbatan yang dapat mendatangkan bencana besar

### 3.11

#### tingkat kompleksitas

suatu kondisi yang berhubungan dengan jenis tanah yang akan dialirkan, gradien hidraulik, dan kondisi aliran

### 3.12

#### ukuran lubang bukaan (*apparent opening size, AOS*)

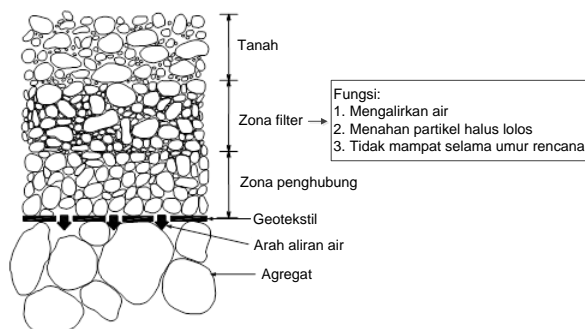
ukuran butiran terbesar yang dapat lolos secara efektif melalui lubang bukaan geotekstil

## 4 Ketentuan

### 4.1 Umum

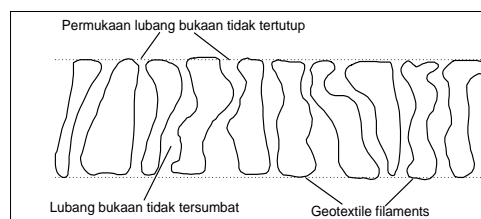
Geotekstil merupakan jenis geosintetik yang umum digunakan sebagai filter dalam sistem drainase bawah permukaan jalan. Tiga prinsip sederhana filter geotekstil adalah:

- Jika lubang bukaan terbesar geotekstil lebih kecil dari ukuran terbesar partikel tanah, tanah akan dapat tertahan oleh filter. Seperti pada filter butiran, partikel tanah yang lebih besar akan membentuk penghubung disekitar lubang bukaan, sehingga filter dapat menyaring partikel tanah yang ukurannya lebih kecil (Gambar 1).



**Gambar 1 - Formasi penyaring**

- Jika lubang bukaan terkecil geotekstil cukup besar untuk dilewati partikel tanah, geotekstil tidak akan tertutup dan tidak akan tersumbat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2 - Ilustrasi kondisi lubang bukaan tidak tertutup dan tidak tersumbat**

- Jumlah lubang bukaan geotekstil harus cukup banyak untuk dapat mempertahankan aliran air, walaupun beberapa lubang bukaan mungkin tertutup.

Berdasarkan konsep filtrasi di atas maka kriteria untuk perencanaan filter geotekstil adalah:

- Kriteria retensi (*retention*): geotekstil harus mampu menahan partikel tanah,
- Kriteria permeabilitas dan perimitivitas: air harus bebas mengalir,
- Kriteria daya tahan terhadap penyumbatan (*clogging resistance*): selama masa layannya, struktur lubang bukaan geotekstil harus tidak tersumbat,
- Kriteria daya bertahan (*survavibility*): agar dapat bekerja secara efektif, geotekstil harus bertahan selama proses pemasangan.

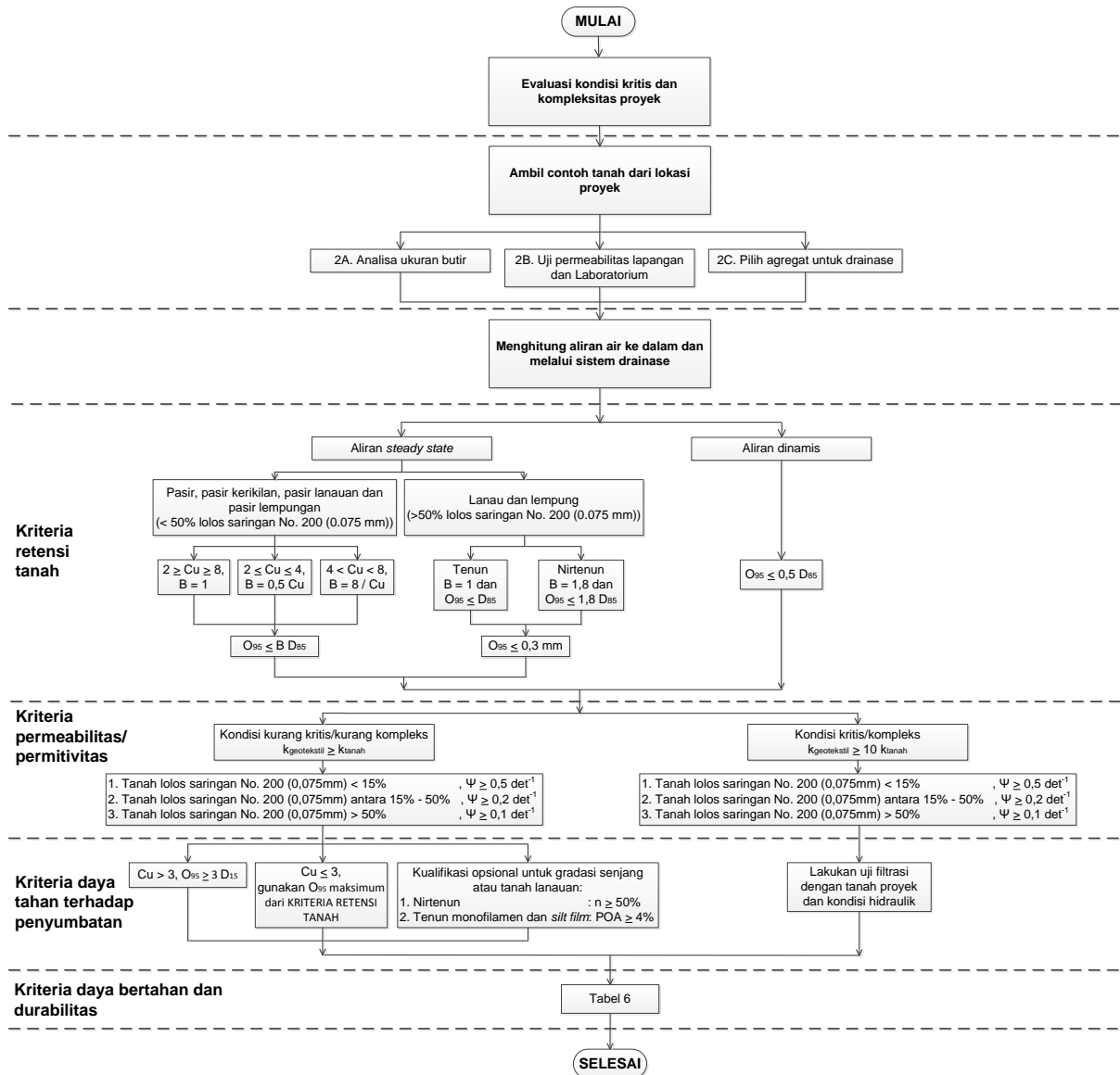
Untuk kriteria perencanaan teknis sistem drainase perkerasan (lapis fondasi permeabel), hal-hal berikut harus diperhatikan, yaitu:

- a. Geometri lapis fondasi permeabel,
- b. Seluruh air yang masuk ke sistem drainase perkerasan harus dipertimbangkan, yaitu:
  - Infiltrasi air
  - Air tanah (gravitasi dan artesis)
  - Aliran air keluar (*vertical outflow*)
- c. Laju pembuangan air (*discharge rate*),
- d. Waktu pengaliran (*time-to-drain*),
- e. Kapasitas aliran rencana dari pipa saluran samping,
- f. Spasi *outlet*.

Sedangkan kriteria perencanaan teknis drainase pengontrol air tanah dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Drainase penangkap longitudinal tunggal,
2. Multi drainase penangkap longitudinal, dan
3. Drainase *drawdown* simetris.

Secara garis besar, perencanaan drainase bawah permukaan yang menggunakan filter geotekstil dimulai dengan melakukan evaluasi terhadap kondisi proyek. Selanjutnya dilakukan pengambilan contoh tanah pada lokasi proyek untuk dilakukan pengujian analisa ukuran butir, permeabilitas dan penentuan agregat untuk drainase. Perhitungan aliran air kedalam dan melalui sistem drainase merupakan tahap berikutnya. Kemudian perencanaan filter geotekstil dilakukan sehingga keempat kriteria (kriteria retensi, kriteria permeabilitas/permitivitas, kriteria daya tahan terhadap penyumbatan, dan daya bertahan dan durabilitas) terpenuhi. Bagan alir perencanaan drainase bawah permukaan yang menggunakan filter geotekstil secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 - Bagan alir prosedur perencanaan

## 4.2 Kriteria perencanaan teknis filter geotekstil

Perencanaan geotekstil sebagai filter harus dimulai dengan menilai sifat kritis dan tingkat kompleksitas pekerjaan (lihat Tabel 1). Kriteria ini berhubungan dengan kriteria lainnya yaitu kriteria permeabilitas dan peritivitas serta kriteria daya tahan terhadap penyumbatan pada 4.2.2 dan 4.2.3.

**Tabel 1 - Evaluasi sifat kritis dan tingkat kompleksitas pekerjaan**

A. Sifat kritis		
Uraian	Kritis	Kurang kritis
1. Risiko hilangnya nyawa dan/atau kerusakan struktural karena runtuhnya saluran.	Ada	Tidak ada
2. Perbandingan biaya perbaikan terhadap biaya pembuatan saluran.	Sangat tinggi	Rendah
3. Tanda-tanda adanya penyumbatan pada saluran sebelum terjadinya keruntuhan yang berpotensi menimbulkan bencana besar.	Tidak ada	Ada
B. Tingkat kompleksitas		
Uraian	Kompleks	Kurang kompleks
1. Jenis tanah yang akan dialirkan.	Gradasi senjang, <i>pipable</i> , atau dispersif	Gradasi baik atau gradasi terbuka
2. Gradien hidrolik	Tinggi	Rendah
3. Kondisi aliran	Kondisi tidak konstan (dinamis atau bergelombang/ <i>pulsating</i> )	Kondisi konstan ( <i>steady state</i> )

#### 4.2.1 Kriteria retensi

Kondisi aliran air berpengaruh terhadap fungsi filter geotekstil. Dua tipe aliran yang mempengaruhi fungsi filter geotekstil yaitu aliran tunak atau tetap (*steady state*) dan aliran dinamis. Aliran air disebut dalam kondisi *steady state* jika debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu, sebaliknya aliran air disebut dalam kondisi dinamis jika debit alirannya berubah menurut waktu.

Contoh penggunaan geotekstil pada kondisi aliran *steady state* di antaranya adalah parit dan penyalir penangkap dan sebagai lapisan dasar yang permeabel di bawah fondasi jalan.

Kondisi aliran dinamis dapat juga terjadi pada aplikasi drainase perkerasan walaupun hal ini sangat jarang terjadi. Kondisi dinamis umumnya terjadi akibat aliran membalik atau keadaan gradien tinggi. Sebagai contoh adalah penggunaan geotekstil dengan *rip rap* untuk melindungi erosi lereng pada daerah pasang surut atau untuk memproteksi tebing sungai.

##### a. Kondisi aliran *steady state*

Untuk kondisi aliran *steady state*, ketentuan untuk kriteria retensi berikut berlaku:

$$\text{AOS atau } O_{95} \text{ (geotekstil)} \leq B.D_{85} \text{ (tanah)} \quad (1)$$

##### Keterangan:

- AOS adalah *Apparent Opening Size*, ukuran lubang bukaan (mm);
- $O_{95}$  adalah lubang bukaan yang sama dengan partikel berukuran  $D_{95}$  dari bahan berbutir yang melewati geotekstil atau produk sejenis lainnya (mm);

- AOS  $\approx O_{95}$ ;  
 B adalah koefisien (tanpa dimensi);  
 D<sub>85</sub> adalah diameter butir yang ditentukan oleh 85% lolos saringan dari kurva distribusi ukuran butir kumulatif (mm).

Nilai koefisien B merupakan fungsi dari jenis tanah yang akan disaring, kepadatan, koefisien keseragaman C<sub>u</sub> (untuk jenis tanah berbutir), jenis geotekstil (tenun atau nirtenun), dan kondisi aliran.

### Untuk tanah berbutir kasar

Nilai koefisien B untuk pasir, pasir kerikilan, pasir lanauan, dan pasir lempungan (lebih dari 50% tertahan saringan No. 200 (0,075 mm) adalah fungsi dari koefisien keseragaman, C<sub>u</sub>, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2 - Nilai koefisien B untuk tanah berbutir kasar**

Kisaran C <sub>u</sub>	B
C <sub>u</sub> ≤ 2 atau ≥ 8	1,0
2 ≤ C <sub>u</sub> ≤ 4	0,5 C <sub>u</sub>
4 < C <sub>u</sub> < 8	8/C <sub>u</sub>

**CATATAN**  
 C<sub>u</sub> adalah koefisien keseragaman yaitu D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>;  
 D<sub>60</sub> adalah diameter butir yang ditentukan oleh 60% lolos saringan dari kurva distribusi ukuran butir kumulatif (mm));  
 D<sub>10</sub> adalah diameter butir yang ditentukan oleh 10% lolos saringan dari kurva distribusi ukuran butir kumulatif (mm).

Tanah berpasir yang tidak seragam cenderung mudah mengalami penutupan di depan lubang bukaan. Untuk itu kriteria retensi dapat menggunakan nilai B=1,0 karena cukup konservatif.

Jika tanah yang dilindungi mengandung partikel-partikel halus, gunakan hanya bagian yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) untuk memilih geotekstil yang sesuai. Singkirkan material yang berukuran lebih besar dari 4,75 mm seperti kerikil dan bongkahan.

### Untuk tanah berbutir halus

Nilai koefisien B untuk lanau dan lempung (lebih dari 50% lolos saringan No. 200 (0,075 mm)) adalah fungsi dari jenis geotekstil seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3 - Nilai koefisien B untuk tanah berbutir halus**

Jenis geotekstil	B	O <sub>95</sub>	AOS atau O <sub>95</sub>
Tenun	1,0	≤ D <sub>85</sub>	≤ 0,3 mm
Nirtenun	1,8	≤ 1,8 D <sub>85</sub>	≤ 0,3 mm

Beberapa jenis geotekstil nirtenun mempunyai karakteristik lubang bukaan yang acak. Geotekstil nirtenun tersebut dapat menahan partikel yang lebih halus dibandingkan dengan

geotekstil tenun walaupun memiliki nilai AOS yang sama. Namun, apabila menghendaki nilai yang lebih konservatif, dapat digunakan  $B=1,0$  untuk geotekstil nirtenun.

b. Kondisi aliran dinamis

Jika terjadi kondisi aliran dinamis yaitu terdapat beban siklik yang menghasilkan gradien hidraulik tinggi, partikel-partikel tanah di bagian belakang geotekstil dapat bergerak. Penggunaan  $B=1,0$  akan menjadi tidak konservatif karena jaringan penghubung tidak dapat terbentuk. Jika retensi merupakan kriteria utama, persyaratan berikut harus dipenuhi:

$$O_{95} \leq 0,5 \cdot D_{85} \quad (2)$$

Untuk aliran membalik atau kondisi gradien tinggi, pemberian beban yang sesuai di atas filter dapat dilakukan untuk mencegah pergerakan atau perpindahan partikel.

c. Tanah stabil dan tanah tidak stabil

Kriteria retensi di atas mengasumsikan bahwa tanah yang akan disaring stabil secara internal. Jika ditemui kondisi tanah yang tidak stabil, pengujian kinerja harus dilakukan untuk memilih jenis geotekstil yang sesuai. Tanah dengan nilai  $C_u > 20$  dan grafik distribusi ukuran butiran cekung ke atas (*concave upward*) cenderung tidak stabil secara internal. Pedoman ini tidak membahas mengenai pengujian kinerja untuk tanah tidak stabil.

#### 4.2.2 Kriteria permeabilitas dan permitivitas

a. Persyaratan permeabilitas

Persyaratan permeabilitas dibedakan berdasarkan sifat kritis dan tingkat kompleksitas pekerjaan seperti dijelaskan pada Tabel 1 yaitu:

- untuk penggunaan kurang kritis dan kondisi kurang kompleks:

$$k_{\text{geotekstil}} \geq k_{\text{tanah}} \quad (3)$$

- untuk penggunaan kritis dan kondisi kompleks:

$$k_{\text{geotekstil}} \geq 10 k_{\text{tanah}} \quad (4)$$

**Keterangan:**

$k_{\text{geotekstil}}$  adalah koefisien permeabilitas geotekstil (m/detik).

Persamaan (3) dapat digunakan pada kondisi yang dinilai tidak menimbulkan masalah pengurangan kapasitas aliran, seperti pada pasir dan kerikil bersih dengan ukuran butiran sedang hingga kasar. Persamaan (4) direkomendasikan untuk memberikan tambahan tingkat keamanan yang lebih konservatif karena beberapa lubang bukaan pada geotekstil dapat terhalang atau tersumbat seiring dengan waktu.

Klasifikasi tanah secara visual di lapangan oleh perencana geoteknik yang berpengalaman dapat memberikan estimasi nilai permeabilitas yang umumnya cukup untuk perencanaan filter. Tabel 4 memberikan estimasi nilai permeabilitas untuk tanah asli.

**Tabel 4 - Estimasi nilai permeabilitas**

Klasifikasi visual	Permeabilitas k (m/detik)
Kerikil bersih	> 0,01
Pasir bersih dan campuran bersih pasir dan kerikil	$10^{-5} < k < 0,01$
Pasir sangat halus, lanau; campuran pasir, lanau, dan lempung; <i>glacial tills</i> ; lempung berlapis ( <i>stratified clays</i> )	$10^{-9} < k < 10^{-5}$
Tanah kedap, lempung utuh dan homogen di bawah zona pelapukan	$k > 10^{-9}$
Tanah kedap, termodifikasi oleh vegetasi, pelapukan, <i>fissured</i> , lempung terkonsolidasi berlebih ( <i>overconsolidated</i> ).	$\approx 5 \times 10^{-8} < k < \approx 5 \times 10^{-5}$

b. Persyaratan perimitivitas

Selain nilai permeabilitas minimum geotekstil, nilai perimitivitas disyaratkan pula pada setiap pekerjaan filter geotekstil. Perimitivitas merupakan suatu parameter yang sesuai untuk mengukur kapasitas aliran dan berguna untuk meyakinkan bahwa filter geotekstil mempunyai kapasitas aliran yang cukup untuk suatu jenis tanah tertentu di lapangan. Perimitivitas diukur dengan pengujian laboratorium yang mengacu pada ASTM D4491.

Persyaratan perimitivitas tergantung pada persentase kandungan butir halus tanah yang akan disaring. Jika kandungan butir halus tanah semakin tinggi, perimitivitas yang dibutuhkan akan semakin kecil. Oleh karena itu, selain persyaratan permeabilitas, persyaratan nilai perimitivitas minimum seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 agar digunakan.

**Tabel 5 - Persyaratan perimitivitas**

Ukuran butiran tanah	$\psi$ (detik <sup>-1</sup> )
Lolos saringan 0,075 mm < 15%	$\geq 0,5$
Lolos saringan 0,075 mm antara 15% - 50%	$\geq 0,2$
Lolos saringan 0,075 mm > 50%	$\geq 0,1$
<p><b>CATATAN</b></p> <p><math>\psi</math> adalah perimitivitas geotekstil (detik<sup>-1</sup>), yang sama dengan <math>k_{\text{geotekstil}}/t_{\text{geotekstil}}</math> dan merupakan fungsi dari tinggi tekan hidrolik (<i>hydraulic head</i>);</p> <p><math>k_{\text{geotekstil}}</math> adalah koefisien permeabilitas geotekstil (m/detik);</p> <p><math>t_{\text{geotekstil}}</math> adalah tebal geotekstil (m).</p>	

Setelah persyaratan permeabilitas dan perimitivitas ditentukan, selanjutnya persyaratan kapasitas aliran geotekstil dihitung dengan menggunakan Persamaan (5) atau Persamaan (6) berikut:

$$q_{\text{dibutuhkan}} = \frac{q_{\text{geotekstil}}}{A_g} \tag{5}$$

atau

$$\left( \frac{k_{\text{geotekstil}}}{t_{\text{geotekstil}}} \right) h \cdot A_g \geq q_{\text{dibutuhkan}} \tag{6}$$



**Keterangan:**

$k_{\text{geotekstil}}/t_{\text{geotekstil}}$	adalah $\psi$ yaitu permissivitas;
$t_{\text{geotekstil}}$	adalah ketebalan geotekstil;
$h$	adalah tinggi tekan ( <i>head</i> ) rata-rata di lapangan;
$A_g$	adalah luas geotekstil yang tersedia untuk aliran ( <b>contoh:</b> apabila 80% dari geotekstil tercakup oleh dinding suatu pipa, $A_g = 0,2 \times$ luas total).

**4.2.3 Kriteria daya tahan terhadap penyumbatan**

Persyaratan daya tahan terhadap penyumbatan dibedakan berdasarkan sifat kritis dan tingkat kompleksitas pekerjaan seperti dijelaskan pada Tabel 1.

## a. Kondisi kurang kritis dan kurang kompleks

Kriteria daya tahan terhadap penyumbatan untuk kondisi kurang kritis dan kurang kompleks adalah:

$$O_{95(\text{geotekstil})} \geq 3 \cdot D_{15(\text{tanah})}; \text{ untuk } C_u > 3 \quad (7)$$

**Keterangan:**

$D_{15}$	adalah diameter butir yang ditentukan oleh 15% lolos saringan dari kurva distribusi ukuran butir kumulatif (mm).
----------	--

Untuk  $C_u \leq 3$ , pilih geotekstil dengan nilai AOS maksimum dari perhitungan untuk memenuhi kriteria retensi (4.2.1).

Pada situasi yang diperkirakan penyumbatan mungkin terjadi, terutama pada tanah bergradasi senjang atau tanah lanau, persyaratan tambahan opsional berikut ini dapat digunakan:

- untuk geotekstil nirtenu:

$$\text{porositas geotekstil, } n \geq 50\% \quad (8)$$

- untuk geotekstil monofilamen tenun dan geotekstil tenun potongan film (*silt film*) *percentage of opening area* (persentase luas bukaan), POA:

$$POA \geq 4\% \quad (9)$$

Geotekstil nirtenu umumnya memiliki porositas lebih besar dari 70%. Untuk geotekstil monofilamen tenun kriteria Persamaan (8) mudah untuk dipenuhi; tetapi geotekstil tenun potongan film yang rapat umumnya tidak dapat memenuhi kriteria Persamaan (8). Untuk itu geotekstil tenun potongan film tidak direkomendasikan untuk digunakan pada drainase bawah permukaan.

Untuk kondisi kurang kritis dan kurang kompleks, cara sederhana untuk menghindari penyumbatan adalah dengan membiarkan partikel halus yang dalam kondisi tersuspensi melewati geotekstil. Setelah itu, zona penghubung (Gambar 1) akan terbentuk oleh partikel kasar yang akan menahan partikel yang lebih halus. Zona penghubung tersebut akan terbentuk secara cepat sehingga jumlah partikel halus yang melewati geotekstil relatif sedikit. Oleh karena itu, untuk kriteria daya tahan terhadap penyumbatan untuk kondisi kurang kritis dan kurang kompleks membutuhkan nilai AOS ( $O_{95}$ ) yang cukup besar dibandingkan partikel halus tanah ( $D_{15}$ ) agar partikel halus dapat melewati geotekstil. Akan tetapi, nilai AOS hanya

mengindikasikan ukuran lubang bukaan dan tidak mengindikasikan jumlah lubang bukaan yang berukuran  $O_{95}$ . Hal ini dapat menyebabkan partikel halus tertahan oleh lubang bukaan geotekstil yang berukuran lebih kecil sehingga dapat menyebabkan pengurangan kapasitas pengaliran.

Oleh karena itu, persyaratan tambahan opsional berupa porositas dan POA pada Persamaan (8) dan Persamaan (9) disarankan untuk mengontrol jumlah lubang bukaan pada geotekstil. Hal ini agar geotekstil mempunyai jumlah lubang bukaan yang cukup (yang dapat dilewati partikel halus) untuk mempertahankan permeabilitas dan kapasitas aliran, walaupun beberapa lubang bukaan tertutup.

POA diukur dengan meja bercahaya atau pembesaran dengan proyektor. Porositas geotekstil adalah volume lubang bukaan dibagi dengan total volume sebagai berikut:

$$n = \frac{V_v}{V} = 1 - \frac{m}{\rho_s \cdot t_{\text{geotekstil}}} = 1 - \frac{\rho_w \cdot G}{\rho_s} \quad (10)$$

**Keterangan:**

- n adalah porositas;
- $V_v$  adalah volume lubang bukaan geotekstil ( $m^3$ );
- V adalah volume total ( $m^3$ );
- m adalah massa per unit luas ( $g/m^2$ ) =  $\rho_w \cdot G \cdot t_{\text{geotekstil}}$ ;
- $\rho_s$  adalah berat isi solid polimer geotekstil ( $g/m^3$ );
- $\rho_w$  adalah berat isi air ( $g/m^3$ );
- G adalah berat jenis polimer, lihat Tabel 6 untuk nilai tipikal setiap polimer;
- $t_{\text{geotekstil}}$  adalah tebal geotekstil (m).

**Tabel 6 - Berat jenis polimer tipikal (Sumber: Shukla dan Yin, 2006)**

Polimer	Berat jenis, G
Polipropilena	0,90 – 0,91
Poliester	1,22 – 1,38
Polietilena	0,91 – 0,96
Polivinilklorida	1,3 – 1,5
Poliamida	1,05 – 1,15

Pengujian filtrasi dapat dipertimbangkan sebagai pilihan lain, terutama untuk pengguna yang belum berpengalaman. Pengujian filtrasi dilakukan dengan metode rasio gradien berdasarkan ASTM D5101.

**b. Kondisi kritis dan kompleks**

Untuk kondisi kritis dan kompleks, pilih geotekstil yang memenuhi kriteria retensi dan permeabilitas dalam 4.2.1 dan 4.2.2. Selanjutnya, lakukan pengujian filtrasi menggunakan contoh tanah dan kondisi hidrolis yang sesuai dengan lokasi proyek. Pengujian filtrasi dilakukan dengan metode rasio gradien berdasarkan ASTM D5101.

**4.2.4 Kriteria daya bertahan dan durabilitas**

Untuk memastikan bahwa geotekstil dapat bertahan selama proses pemasangan, sifat-sifat tertentu seperti kekuatan dan daya tahan dibutuhkan. Persyaratan minimum tersebut diberikan pada Tabel 7 dengan catatan:

- Nilai-nilai tersebut adalah berdasarkan sifat-sifat geotekstil yang secara empiris telah memberikan kinerja yang memenuhi syarat dalam aplikasi drainase bawah permukaan,

- Nilai-nilai tersebut dimaksudkan sebagai pedoman dalam memilih geotekstil untuk pekerjaan-pekerjaan yang umum,
- Nilai-nilai tersebut bukan dimaksudkan untuk mengganti evaluasi kondisi lapangan, pengujian, dan perencanaan.

Untuk kondisi kritis dan kompleks, daya tahan geotekstil harus diverifikasi dengan pengujian lapangan dan penggalian (*test section and exhumation*) atau berdasarkan pengalaman dengan instalasi dan prosedur pelaksanaan yang sama.

Durabilitas geotekstil berkaitan dengan umurnya (*longevity*). Geotekstil pada dasarnya merupakan material stabil pada kondisi lingkungan dan aplikasi yang umum. Namun, aplikasi-aplikasi tertentu dapat menyebabkan geotekstil terkontaminasi oleh aktivitas kimiawi atau biologis yang secara drastis mempengaruhi sifat-sifat filtrasi atau durabilitasnya. Sebagai contoh, dalam penyaliran, filter butiran dan geotekstil dapat tersumbat secara kimiawi oleh endapan besi atau karbonat, dan secara biologis dapat tersumbat oleh ganggang dan lumut. Penyumbatan biologis berpotensi menimbulkan masalah apabila filter tergenang secara periodik dan terekspos udara. Penyumbatan kimia dan biologi yang berlebihan dapat mempengaruhi kinerja filter secara signifikan. Kondisi tersebut, contohnya, terdapat pada tempat penimbunan sampah (*landfills*).

Potensi penyumbatan biologis dapat dievaluasi melalui pengujian di laboratorium dengan mengacu pada ASTM D1987. Jika penyumbatan biologis dianggap sangat penting, dapat digunakan geotekstil dengan porositas yang lebih tinggi dan/atau perencanaan dan pengoperasian penyalir dapat mencakup program inspeksi dan pemeliharaan untuk membersihkan sistem drainase.

Persyaratan kekuatan untuk geotekstil drainase ditunjukkan pada Tabel 7. Nilai yang tercantum dalam tabel tersebut melambangkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (yaitu, hasil pengujian contoh uji laboratorium yang diambil dari setiap gulungan dalam suatu lot harus sama atau melebihi nilai minimum dalam tabel), gunakan nilai dari arah utama terlemah. Pengambilan contoh lot berdasarkan ASTM D4354 dan pengujian contoh uji berdasarkan Prosedur A atau Prosedur B pada ASTM D4354. Penerimaan geotekstil harus mengacu pada ASTM D 4759. Untuk penggunaan ini, tidak boleh digunakan jenis geotekstil tenun potongan film.

**Tabel 7 - Persyaratan kekuatan geotekstil untuk filter geotekstil**

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas 2 <sup>(a, b)</sup>	
			Elongasi < 50% <sup>(c)</sup>	Elongasi ≥ 50% <sup>(c)</sup>
Kuat cekau ( <i>grab</i> )	ASTM D 4632	N	1100	700
Kuat sambungan keliman <sup>(d)</sup>	ASTM D 4632	N	990	630
Kuat sobek	ASTM D 4533	N	400 <sup>(e)</sup>	250
Kuat tusuk	ASTM D 6241	N	2200	1375

(a) Kelas geotekstil yang dibutuhkan merujuk pada Spesifikasi Khusus Interim, Bina Marga. Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.

(b) Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (*minimum average roll value, MARV*) dalam arah utama terlemah.

(c) Elongasi ditentukan berdasarkan ASTM D 4632.

(d) Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*).

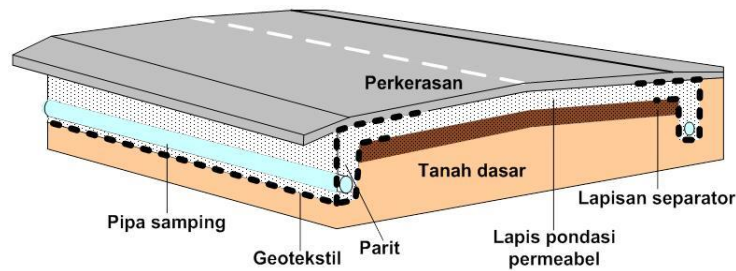
(e) Khusus untuk geotekstil filamen tunggal tenun (*woven monofilamen geotextile*), Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan adalah 250 N.

Sumber: Spesifikasi Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga.

### 4.3 Kriteria perencanaan teknis drainase perkerasan

#### 4.3.1 Geometri drainase perkerasan

Untuk drainase perkerasan dengan lapis fondasi permeabel seperti ditunjukkan Gambar 4, hitung geometri sebagai berikut (penjelasan notasi dapat dilihat pada Gambar 5).



**Gambar 4 - Skema drainase perkerasan dengan lapis fondasi permeabel**

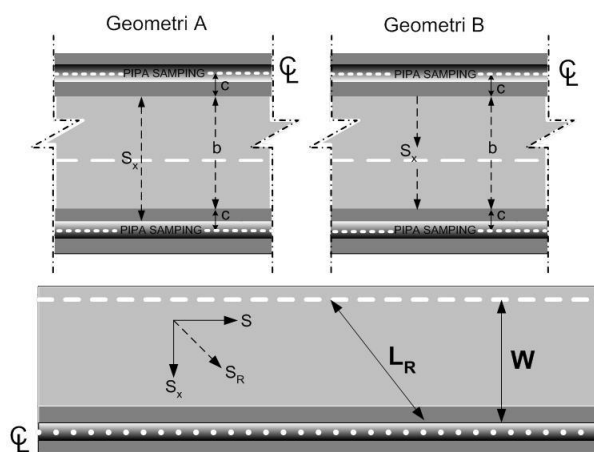
Untuk geometri A:  $W = b/2 + c$  (11)  
 Untuk geometri B:  $W = b + c$  (12)

$$S_R = \sqrt{S^2 + S_X^2} \quad (13)$$

$$L_R = W \sqrt{1 + \left(\frac{S}{S_X}\right)^2} \quad (14)$$

**Keterangan:**

- W adalah lebar lapis fondasi permeabel;
- b adalah lebar perkerasan (m);
- c adalah jarak bahu perkerasan ke tepi lapis fondasi permeabel (m);
- $S_R$  adalah kemiringan resultan lapis fondasi permeabel (m/m);
- S adalah kemiringan lapis fondasi permeabel arah memanjang jalan (m/m);
- $S_X$  adalah kemiringan lapis fondasi permeabel arah melintang jalan (m/m).



**Keterangan:**

- Geometri A adalah jalan dengan arah aliran ke kedua sisi bahu jalan (*crown*);
- Geometri B adalah jalan dengan arah aliran ke satu sisi bahu jalan (*superelevasi*).

**Gambar 5 - Notasi geometri jalan**

### 4.3.2 Air yang harus dikeluarkan

Sumber air yang masuk ke dalam lapis fondasi permeabel berasal dari:

- Infiltrasi air keperkerasan,
- Air tanah, yang bersumber dari air gravitasi dan aliran artesis,
- Aliran air keluar.

Apabila aliran air mengalir dari tanah butir halus menuju tanah yang lebih kasar, maka material lapis fondasi permeabel harus diperiksa kesesuaiannya dengan Spesifikasi Umum Bina Marga tentang Drainase Porous. Hal ini dilakukan untuk melindungi lapis fondasi permeabel dari intrusi tanah butir halus. Jika tidak memenuhi, maka perlu ditambahkan lapisan filter di antara tanah butir halus dan lapis fondasi permeabel untuk mencegah intrusi dan penyumbatan, baik dengan drainase porous atau dengan filter geotekstil sesuai pasal 4.2.

#### 4.3.2.1 Infiltrasi air keperkerasan

Aliran air yang masuk keperkerasan dihitung dengan menggunakan Metode Infiltrasi Retak (*crack infiltration*). Metode lainnya adalah Metode Infiltrasi Rasio (*ratio infiltration*). Metode Infiltrasi Retak lebih rasional karena berdasarkan pengukuran lapangan sedangkan Metode Infiltrasi Rasio bersifat empiris. Oleh karena itu, disarankan menggunakan Metode Infiltrasi Retak. Metode Infiltrasi Rasio dapat digunakan sebagai pembandingan Metode Infiltrasi Retak. Pada Metode Infiltrasi Retak, besarnya infiltrasi air ke perkerasan dihitung dengan menggunakan Persamaan (15).

$$q_i = I_c \left[ \frac{N_c}{W} + \frac{W_c}{W \cdot C_s} \right] + k_p \quad (15)$$

#### Keterangan:

- $q_i$  adalah infiltrasi air ke dalam perkerasan ( $m^3/hari/m^2$ );  
 $I_c$  adalah laju infiltrasi retak ( $m^3/hari/m$ );  
 $N_c$  adalah jumlah retak longitudinal;  
 $W_c$  adalah panjang sambungan melintang atau panjang retakan yang berkontribusi terhadap infiltrasi (m);  
 $W$  adalah lebar lapis fondasi permeabel (m);  
 $C_s$  adalah spasi sambungan melintang atau spasi retakan yang berkontribusi terhadap infiltrasi (m);  
 $k_p$  adalah permeabilitas perkerasan (m/hari).

Pada Persamaan (15), FHWA (1990) merekomendasikan:

- $I_c = 0,223 m^3/hari/m$ ,
- Untuk perkerasan baru,  $N_c = N + 1$ , N adalah jumlah lajur jalan,
- Untuk perkerasan kaku baru:  $C_s =$  sambungan melintang,
- Untuk perkerasan lentur baru:  $C_s = 40 \text{ feet} = 12 \text{ m}$ .

Pada Metode Infiltrasi Rasio, besarnya infiltrasi air ke perkerasan dihitung dengan Persamaan (16).

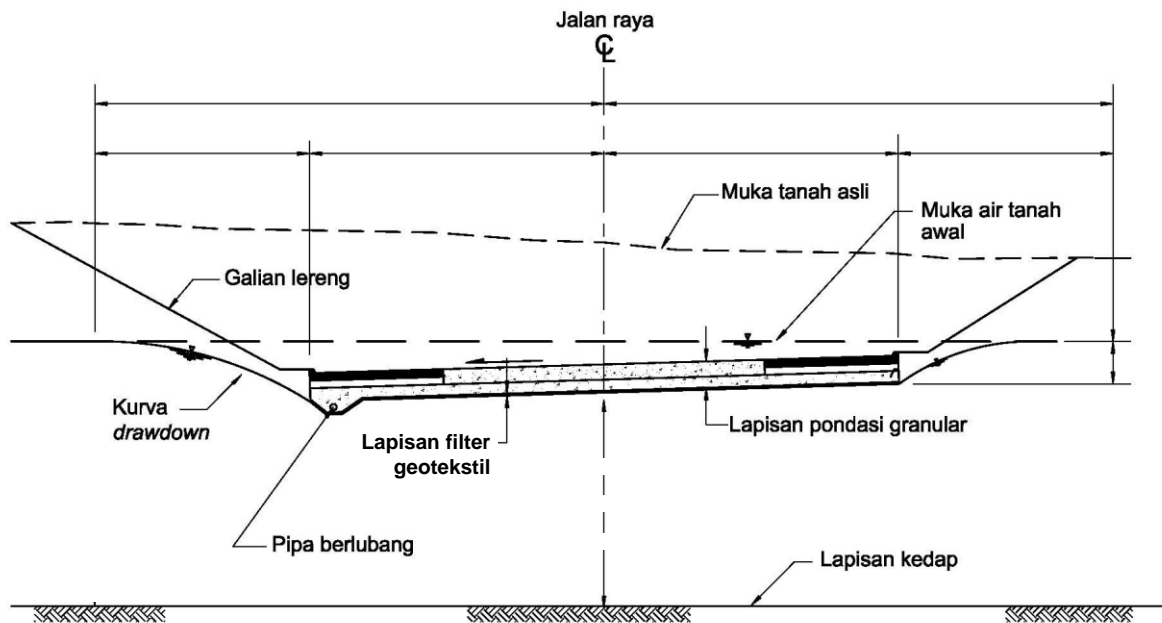
$$q_i = C.R.F \quad (16)$$

#### Keterangan:

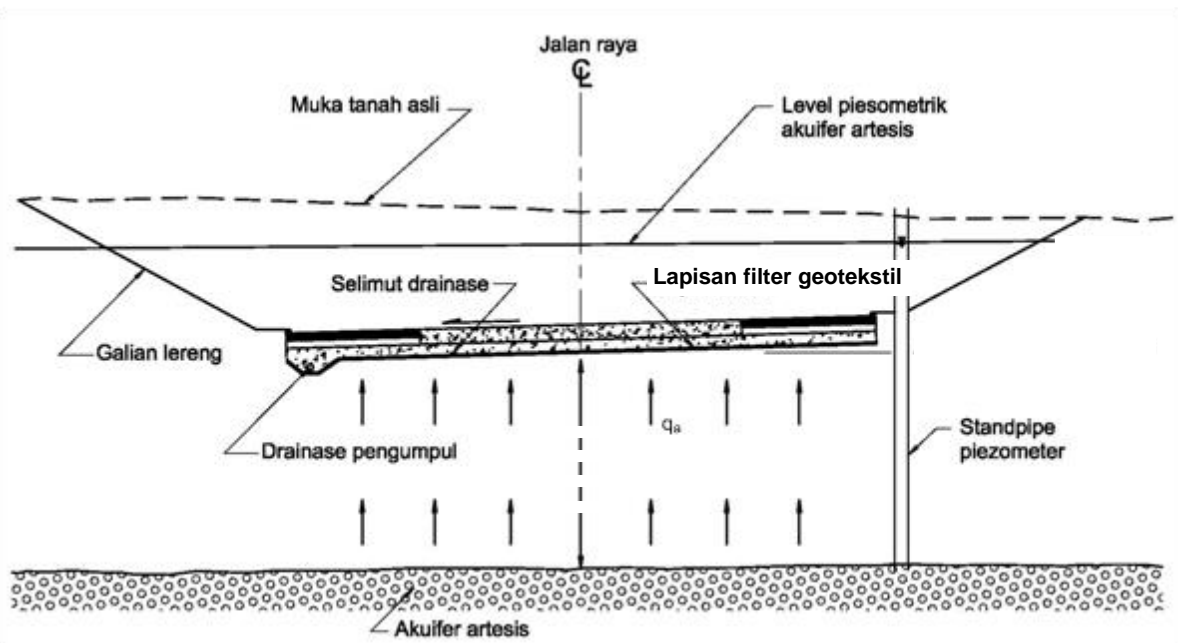
- $q_i$  adalah infiltrasi air ke dalam perkerasan ( $m^3/hari/m^2$ );  
C adalah rasio infiltrasi;  
Untuk perkerasan kaku  $C = 0,5$  sampai  $0,67$ ;  
Untuk perkerasan beton aspal  $C = 0,3$  sampai  $0,5$ ;  
R adalah curah hujan (mm/jam), disarankan menggunakan durasi 1 jam dengan frekuensi 2 tahun;  
F adalah faktor konversi =  $0,24$  untuk curah hujan dengan satuan mm/jam.

### 4.3.2.2 Air tanah

Dua sumber air tanah yang harus dipertimbangkan adalah air gravitasi dan aliran artesis seperti dicontohkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 - Sumber air tanah gravitasi



Gambar 7 - Sumber air tanah artesis

Untuk aliran air gravitasi, debit aliran air gravitasi ( $q_g$ ) dapat dihitung dengan analisis *flownet* atau menggunakan grafik pada Gambar 8. Merujuk pada Gambar 8, debit aliran air yang masuk ke dalam drainase dihitung dengan menggunakan Persamaan (17).

$$q_g = \frac{q_2}{0,5.W} \quad (17)$$

**Keterangan:**

$q_g$  adalah debit air gravitasi ( $m^3/detik/ m^2$ );

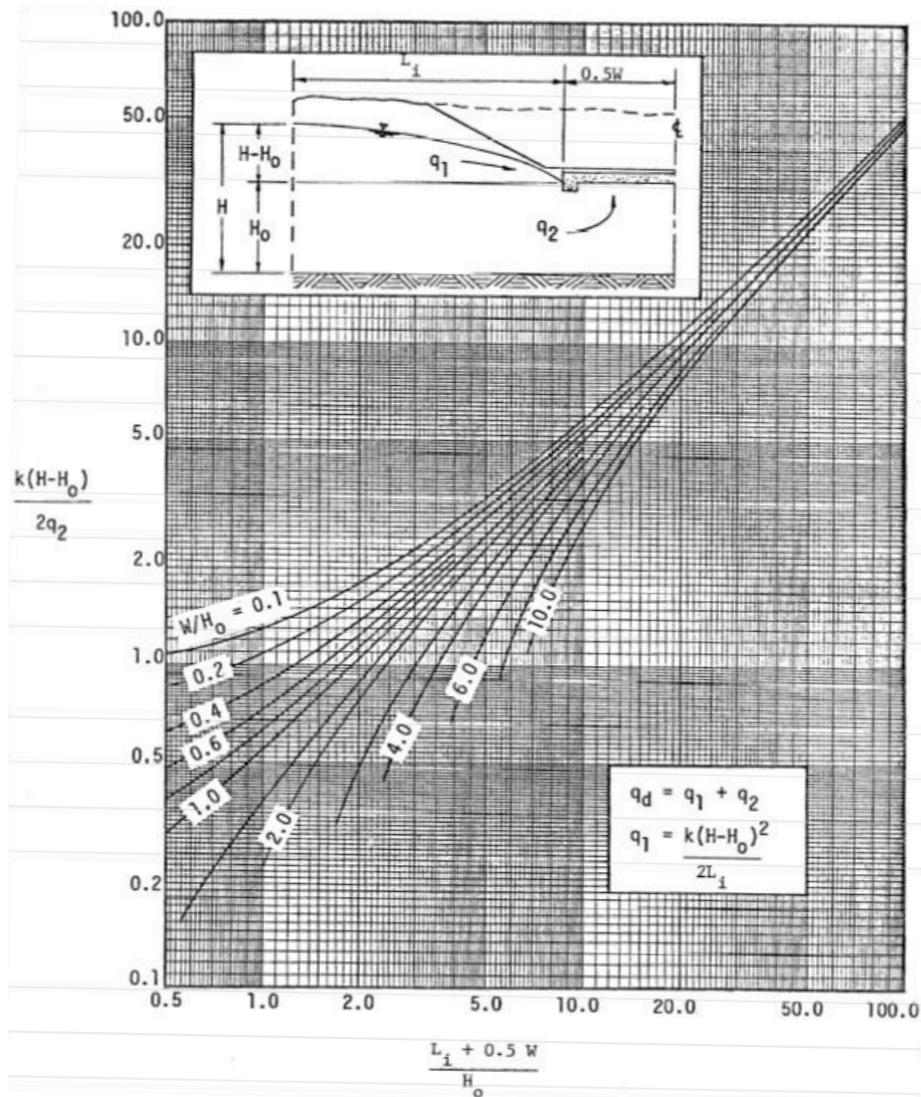
$q_2$  adalah debit aliran air ke atas, *upward*, ke setengah dari lebar drainase ( $m^3/hari/ m$ );

$W$  adalah lebar lapisan drainase (m).

Nilai  $L_i$  pada Gambar 8 dapat dihitung dengan Persamaan (18).

$$L_i = 3,8(H - H_o) \quad (18)$$

Walaupun grafik pada Gambar 8 didasarkan pada konfigurasi simetris dari aliran gravitasi, kesalahan yang akan terjadi jika kondisi aliran air gravitasi tidak simetris adalah kecil karena adanya kemiringan melintang jalan, variasi kedalaman batas lapisan tanah kedap, dan sebagainya. Untuk kondisi ini, gunakan nilai rata-rata  $H$ ,  $H_o$  dan  $L_i$  pada Gambar 8.



Keterangan:

- $q_g$  adalah debit air gravitasi ( $\text{m}^3/\text{detik}/ \text{m}^2$ );
- $q_2$  adalah debit aliran air ke atas, *upward*, ke setengah dari lebar drainase ( $\text{m}^3/\text{hari}/ \text{m}$ );
- $k$  adalah permeabilitas tanah ( $\text{m}/\text{hari}$ );
- $W$  adalah lebar lapisan drainase ( $\text{m}$ );
- $H$  adalah tinggi muka air awal yang diukur dari lapisan tanah kedap ( $\text{m}$ );
- $H_0$  adalah jarak bagian bawah drainase ke lapisan tanah kedap ( $\text{m}$ );
- $L_i$  adalah radius pengaruh atau jarak pengaruh *drawdown* ( $\text{m}$ ).

**Gambar 8 - Grafik untuk menentukan debit aliran air pada drainase lapis fondasi permeabel (atau selimut drainase)**

Pada contoh kasus di Gambar 6, selain  $q_g$ , aliran (*seepage*) gravitasi juga harus dipertimbangkan. *Seepage* gravitasi adalah  $q_1$  seperti terlihat pada Gambar 8. Aliran  $q_1$  dari sisi kiri dipertimbangkan hanya untuk mendesain drainase pengumpul. Akan tetapi, pada contoh kasus di Gambar 6 (jalan mempunyai satu kemiringan ke kiri),  $q_1$  dari sisi kanan harus dialirkan ke sisi kiri ke drainase pengumpul, oleh karena itu  $q_1$  juga harus dipertimbangkan dalam mendesain drainase perkerasan dengan lapis fondasi permeabel (atau disebut juga selimut drainase). *Seepage* gravitasi ( $q_1$ ) tersebut dihitung dengan Persamaan (19).



$$q_1 = \frac{k(H-H_0)^2}{2L_i} \quad (19)$$

Untuk aliran air artesis seperti pada contoh Gambar 7, debit aliran rata-rata dapat dihitung dengan *flownet* atau dengan hukum Darcy sebagai berikut:

$$q_a = k \frac{\Delta H}{H_0} \quad (20)$$

**Keterangan:**

- $q_a$  adalah debit aliran air artesis ( $m^3/detik/ m^2$ );
- $k$  adalah permeabilitas tanah ( $m^3/detik/ m^2$ );
- $\Delta H$  adalah tinggi tekan artesis ekses (m);
- $H_0$  adalah ketebalan tanah antara lapisan akuifer dan lapisan drainase (m).

Nilai debit aliran air artesis yang mengalir ke dalam lapisan drainase biasanya lebih kecil dibandingkan nilai debit air akibat infiltrasi. Akan tetapi, perencana tetap harus memperhitungkan aliran air dari semua sumber, karena efek kumulatif dari beberapa aliran air yang jumlahnya kecil akan menjadi signifikan.

#### 4.3.2.3 Aliran air keluar vertikal

Pada kondisi tertentu, sejumlah air yang terinfiltrasi dan terakumulasi di dalam struktur perkerasan dapat mengalir keluar dari lapisan-lapisan perkerasan secara vertikal melalui lapisan tanah di bawahnya. Aliran vertikal cenderung mengurangi jumlah air yang harus dialirkan oleh sistem drainase perkerasan. Oleh karena itu harus dipertimbangkan secara hati-hati.

Terdapat beberapa jenis kondisi tanah dasar yang memungkinkan terjadinya aliran vertikal. Tetapi, secara umum terdapat tiga kategori kondisi, yaitu:

1. Aliran langsung ke muka air tanah, baik muka air horizontal atau miring, yang berada di bawah perkerasan seperti diperlihatkan pada Gambar 9.
2. Tanah dasar (*subgrade*) atau timbunan berada di atas lapisan tanah dengan permeabilitas yang sangat tinggi dibandingkan dengan *subgrade* atau timbunan tersebut seperti diperlihatkan pada Gambar 10.
3. Aliran air langsung secara vertikal dan lateral melalui timbunan dan fondasinya seperti diperlihatkan pada Gambar 11.

Debit aliran langsung vertikal ke muka air tanah yang horizontal (Gambar 9.a), dapat dihitung dengan Persamaan (21).

$$q_v = \frac{q}{0,5.W.k} \quad (21)$$

**Keterangan:**

- $q_v$  adalah debit aliran air vertikal rata-rata ( $m^3/detik/ m^2$ );
- $k$  adalah permeabilitas tanah (m/hari);
- $W$  adalah lebar lapisandrainase (m);
- $q$  adalah debit aliran air keluar (*outflow*) total ( $m^3/detik/ m$ ).

Debit aliran air keluar (*outflow*) total,  $q$ , dihitung analisis *flownet* dengan Persamaan (22).

$$q = k. \Delta H. \frac{N_f}{N_d} \quad (22)$$

**Keterangan:**

- k adalah permeabilitas tanah (m/hari);
- $\Delta H$  adalah total kehilangan tinggi tekan (m);
- $N_f$  adalah jumlah saluran aliran air (*flow channel*);
- $N_d$  adalah jumlah penurunan potensial (*potential drop*).

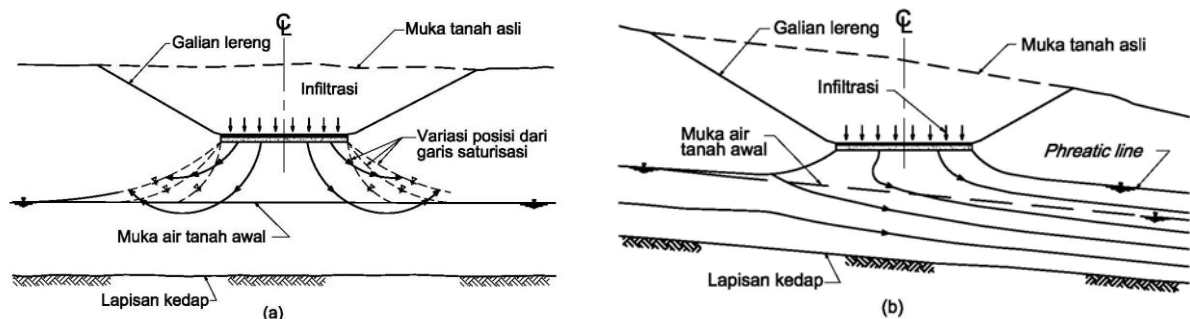
Metode perhitungan aliran air keluar vertikal harus digunakan dengan hati-hati. Hal ini karena curah hujan dengan periode yang cukup lama akan mengakibatkan meningkatnya muka air tanah dan kemudian akan mengurangi *outflow* dari perkerasan. Jika dapat dibuktikan bahwa muka air tanah akan tetap jauh berada di bawah perkerasan walaupun dengan durasi hujan yang lama, *vertikal outflow* harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Akan tetapi, jika tidak tersedia data, *vertikal outflow* menuju muka air horizontal dapat diabaikan.

*Vertical outflow* ke muka air tanah yang miring (Gambar 9.b), dapat dihitung dengan analisis *flow net* atau dengan menggunakan grafik pada Gambar 12.

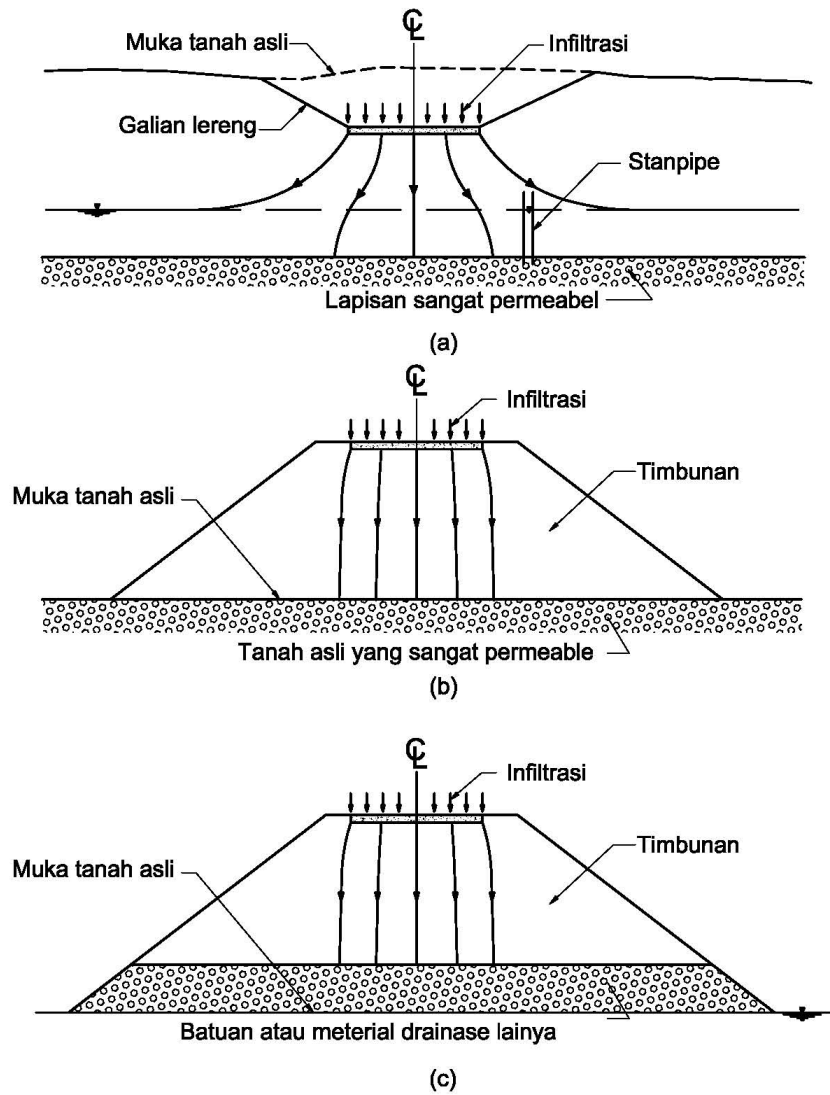
*Vertical outflow* dari tanah dasar (*subgrade*) atau timbunan yang berada di atas lapisan tanah dengan permeabilitas yang sangat tinggi (Gambar 10) dapat dihitung dengan menggunakan grafik pada Gambar 13.

*Vertical outflow* melalui timbunan dan fondasinya (Gambar 11.a) dapat dihitung dengan menggunakan grafik pada Gambar 14.

Khusus untuk kasus seperti pada Gambar 11.b (lereng dengan geometri yang tidak simetris, maka gunakan nilai  $W$  sebesar 2 kali dari lebar aktual. Misal jika lebar aktual perkerasan  $W = 7$  m, maka gunakan  $W = 14$  m pada grafik Gambar 14.

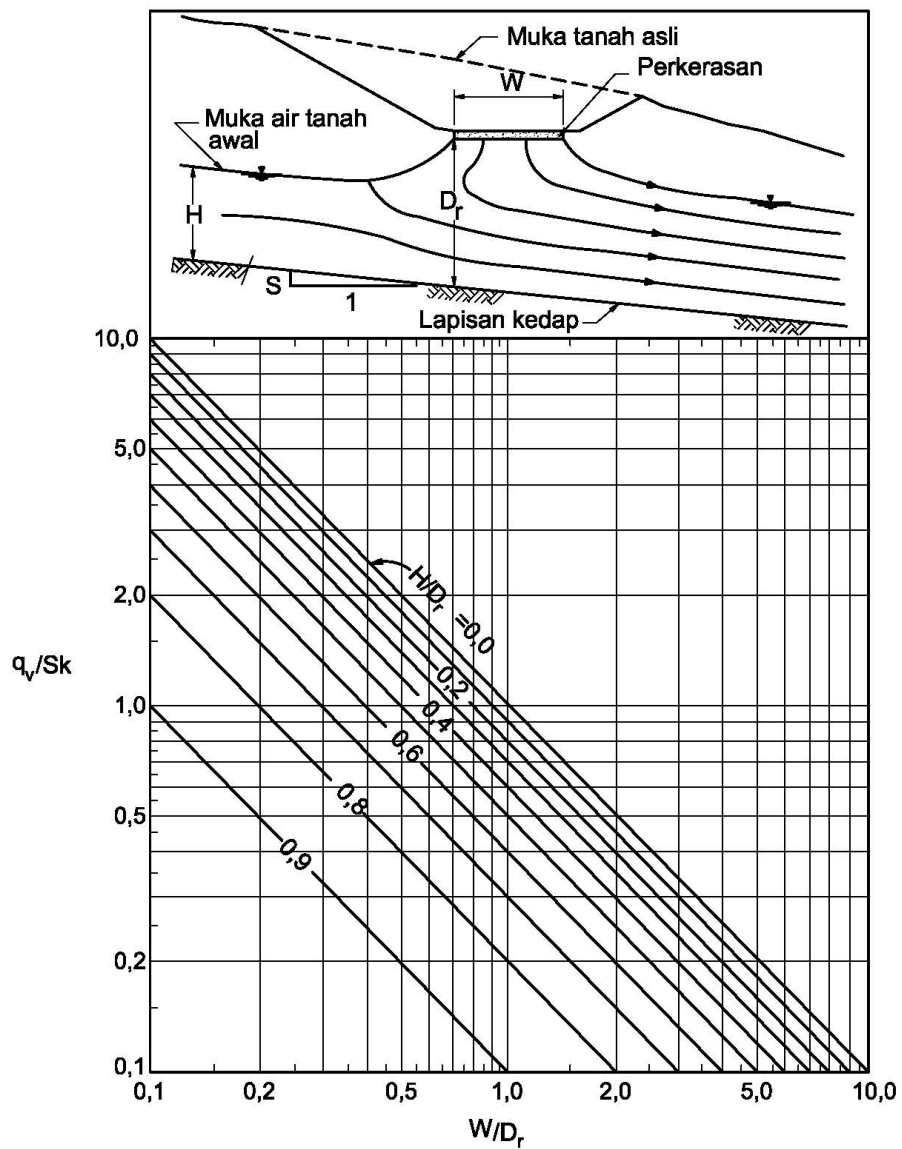


**Gambar 9 - Aliran vertikal keluar menuju muka air di bagian bawah**

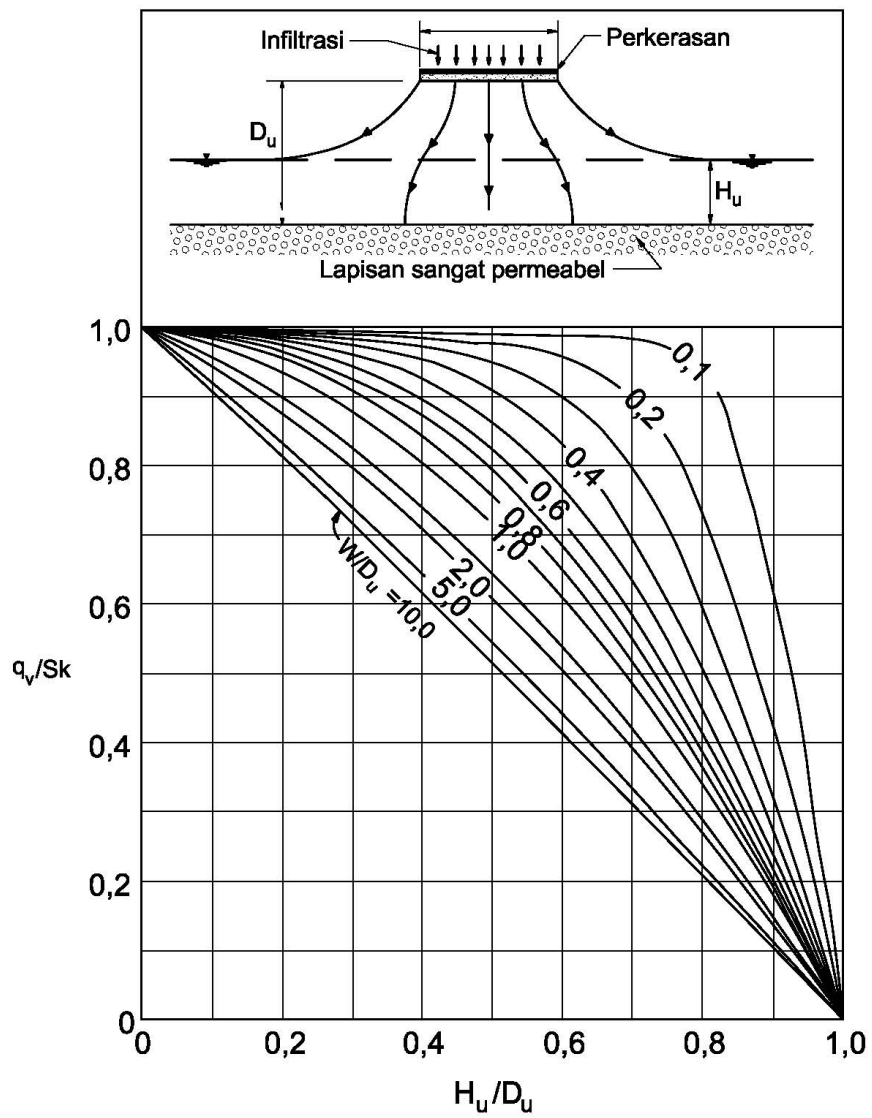


Gambar 10 - Aliran vertikal keluar menuju lapisan tanah yang sangat permeabel

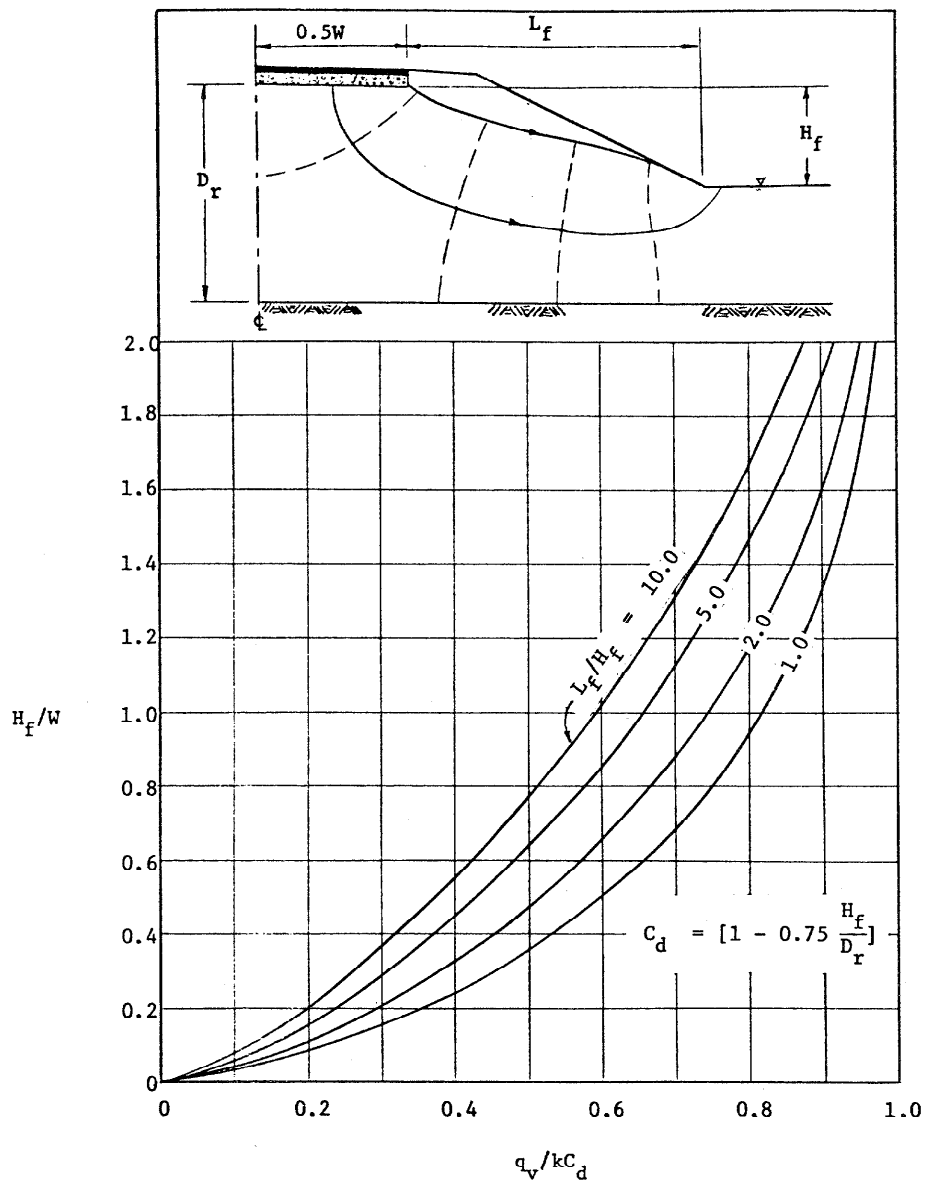




Gambar 12 - Grafik untuk menentukan *vertical outflow* dari perkerasan dari *subgrade* ke muka air tanah yang miring (untuk kasus Gambar 9.b)



Gambar 13 - Grafik untuk menentukan *vertical outflow* dari perkerasan dari *subgrade* ke lapisan tanah yang sangat permeabel (untuk kasus Gambar 10)



Gambar 14 - Grafik untuk menentukan *vertical outflow* dari perkerasan melalui timbunan dan tanah fondasi (untuk kasus Gambar 11)

#### 4.3.2.4 Debit aliran masuk net(*net inflow*)

Debit *net inflow* atau  $q_n$  pada sistem drainase perkerasan merupakan *inflow* dari seluruh sumber air yang memungkinkan, termasuk *vertical outflow* yang mungkin dapat terjadi. Dalam memilih kombinasi dari beberapa sumber air, harus diingat bahwa mekanisme yang terjadi tidak selalu saling menambahkan. Gunakan persamaan kombinasi berikut untuk menentukan debit desain *net inflow* ( $q_n$ ):

$$q_n = q_i \quad (23)$$

$$q_n = q_i + q_g \quad (24)$$

$$q_n = q_i + q_a \quad (25)$$

$$q_n = q_i - q_v \quad (26)$$

**Keterangan:**

- q<sub>n</sub> adalah debit disain *net inflow* (m<sup>3</sup>/detik/ m<sup>2</sup>);
- q<sub>i</sub> adalah infiltrasi air ke dalam perkerasan (m<sup>3</sup>/hari/m<sup>2</sup>);
- q<sub>g</sub> adalah debit air gravitasi (m<sup>3</sup>/detik/ m<sup>2</sup>);
- q<sub>a</sub> adalah debit aliran air artesis (m<sup>3</sup>/detik/ m<sup>2</sup>);
- q<sub>v</sub> adalah debit aliran air vertikal rata-rata (m<sup>3</sup>/detik/ m<sup>2</sup>).

**4.3.3 Laju pembuangan air**

Laju pembuangan airdari lapis fondasi permeabel dihitung dengan persamaan menurut FHWA (2006):

$$Q_d = q_n \cdot L_R \tag{27}$$

**Keterangan:**

- q<sub>d</sub> adalah laju pembuangan air (m<sup>3</sup>/hari/m);
- q<sub>n</sub> adalah debit desain *net inflow* (m<sup>3</sup>/hari/m<sup>2</sup>), merupakan yang paling besar dari Persamaan (23) sampai dengan Persamaan (26);
- L<sub>R</sub> adalah resultan panjang (m), dihitung dengan Persamaan (14).

**4.3.4 Time-to-drain**

*Time-to-drain* adalah waktu untuk mengalirkan air dari lapis fondasi permeabel. Nilai *time-to-drain* berhubungan dengan kualitas drainase lapis fondasi permeabel (SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013). Semakin kecil nilai *time-to-drain* maka kapasitas pengaliran air dari lapis fondasi permeabel semakin baik seperti diperlihatkan pada Tabel 8.

Jika hasil perhitungan menghasilkan nilai *time-to-drain* yang tidak sesuai dengan perencanaan tebal perkerasan lentur, maka alternatif yang dapat diambil adalah mempertebal lapis fondasi permeabel atau menggunakan material lapis fondasi yang lebih permeabel.

**Tabel 8 - Definisi kualitas drainase (SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013)**

Kualitas drainase	<i>Time-to-drain</i> (air hilang dalam)
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Jelek	1 bulan
Jelek sekali	air tidak akan mengalir

Nilai *time-to-drain* dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$t = T_{50} \cdot m_d \cdot 24 \tag{28}$$

**Keterangan:**

- t adalah *time-to-drain* (jam);
- T<sub>50</sub> adalah *time factor* untuk derajat kejenuhan 50%;
- m<sub>d</sub> adalah faktor yang berhubungan dengan porositas efektif, permeabilitas, resultan panjang serta tebal lapisan drainase.

Nilai *time factor* (T<sub>50</sub>) ditentukan oleh geometri lapisan drainase. Geometri lapisan drainase terdiri atas kemiringan resultan (*resultant slope*, S<sub>R</sub>), panjang pengaliran resultan (*resultant length*, L<sub>R</sub>) dan ketebalan lapisan drainase. Ilustrasi dari geometri jalan disajikan pada



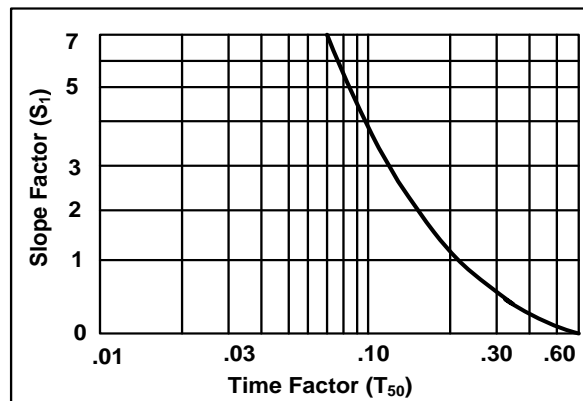
Gambar 5. Faktor-faktor geometri tersebut dipakai untuk menghitung nilai faktor kemiringan (*slope factor*,  $S_1$ ) dengan persamaan berikut:

$$S_1 = \frac{L_R \cdot S_R}{H} \quad (29)$$

**Keterangan:**

- $S_R$  adalah kemiringan resultan (m/m), dihitung dengan Persamaan (13);
- $L_R$  adalah resultan panjang (m), dihitung dengan Persamaan (14);
- $H$  adalah tebal dari lapisan permeabel (m).

Untuk menentukan nilai  $T_{50}$  digunakan suatu grafik seperti pada Gambar 15. Grafik ini hanya dapat digunakan untuk satu derajat kejenuhan drainase saja yaitu  $U = 50\%$ .



**Gambar 15 - Grafik *time factor* untuk derajat kejenuhan drainase 50%**

Nilai " $m_d$ " pada Persamaan (28) dihitung dengan Persamaan berikut:

$$m_d = \frac{n_e \cdot L_R^2}{k \cdot H} \quad (30)$$

**Keterangan:**

- $n_e$  adalah porositas efektif lapisan drainase (tanpa satuan), dapat ditentukan melalui korelasi dengan nilai permeabilitas pada Gambar 16;
- $L_R$  adalah resultan panjang (m), dihitung dengan Persamaan (14);
- $k$  adalah permeabilitas lapisan drainase (m/hari);
- $H$  adalah tebal lapisan drainase (m).

Nilai permeabilitas untuk lapis berbutir dapat dihitung menggunakan rumus empiris sebagai berikut (SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013):

$$k = \frac{6,214 \cdot 10^5 \cdot D_{10}^{1,478} \cdot n^{6,654}}{P_{200}^{0,597}} \quad (31)$$

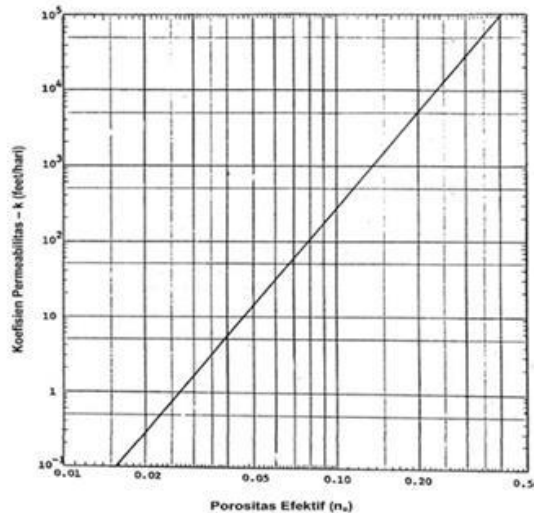
**Keterangan:**

- $k$  adalah permeabilitas lapisan drainase (ft/hari); untuk mengkonversi ke satuan SI, gunakan:  $k$  (m/hari) = 0,3048 x  $k$  (ft/hari);
- $P_{200}$  adalah persentase lolos saringan No. 200 (%). Sebagai contoh, untuk nilai  $P_{200} = 2\%$ , gunakan nilai 2 dalam Persamaan (31);
- $D_{10}$  adalah diameter butir yang ditentukan oleh 10% lolos saringan dari kurva distribusi ukuran butir kumulatif (mm);
- $n$  adalah porositas material (tanpa satuan)

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w \cdot G_s} \quad (32)$$

**Keterangan:**

- $\gamma_d$  adalah berat isi kering (kN/m<sup>3</sup>);
- $\gamma_w$  adalah berat isi air (kN/m<sup>3</sup>);
- $G_s$  adalah berat jenis curah (*bulk*), biasanya sekitar 2,5 - 2,7.



**Gambar 16 - Grafik untuk menetapkan porositas efektif, ne**

#### 4.3.5 Kapasitas aliran rencana dari pipa saluran samping

Kapasitas aliran rencana dari pipa saluran samping dihitung dengan persamaan:

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot S^{1/2} \cdot D^{8/3}}{4^{5/3} \cdot n} \quad (33)$$

**Keterangan:**

- Q adalah kapasitas pengaliran pipa (m<sup>3</sup>/detik);
- K adalah faktor konversi = 1 (m<sup>1/3</sup>/detik);
- S adalah kemiringan pipa saluran (m/m);
- D adalah diameter pipa (m);
- n adalah koefisien manning; 0,012 untuk pipa mulus dan 0,024 untuk pipa bergelombang (*corrugated*).

#### 4.3.6 Spasi outlet

Spasi *outlet* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L_o = \frac{Q}{q_d} \quad (34)$$

**Keterangan:**

- $L_o$  adalah spasi *outlet* (m);
- Q adalah kapasitas pengaliran pipa (m<sup>3</sup>/detik), dari Persamaan (33);
- $q_d$  adalah *discharge rate* (m<sup>3</sup>/hari/m), dari Persamaan (27).

Direkomendasikan diameter pipa minimum adalah 100 mm (untuk memudahkan inspeksi dan pembersihan) dan spasi *outlet* maksimal 75 m (FHWA, 2006). Contoh *outlet* diperlihatkan pada Lampiran B.

#### 4.4 Kriteria perencanaan teknis drainase pengontrol air tanah

Drainase pengontrol air tanah berfungsi untuk membantu kestabilan lereng dengan mengontrol elevasi muka air tanah. Drainase pengontrol air tanah yang dimaksud dalam pedoman ini adalah drainase penangkap (*interceptor*) longitudinal tunggal, multidrainase penangkap longitudinal, dan drainase penurun muka air tanah (*drawdown*) simetris.

#### 4.4.1 Drainase penangkap longitudinal tunggal

Debit air yang masuk ke dalam drainase penangkap longitudinal tunggal dapat dihitung menggunakan dua cara yaitu dengan menggunakan analisis *flownet* atau dengan menggunakan grafik.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung debit air menggunakan *flownet* adalah:

$$q_d = k \cdot \Delta H \cdot \frac{N_f}{N_d} \quad (35)$$

**Keterangan:**

$q_d$  adalah debit air yang masuk ke drainase penangkap ( $m^3/hari/m$ );

$k$  adalah permeabilitas tanah ( $m/hari$ );

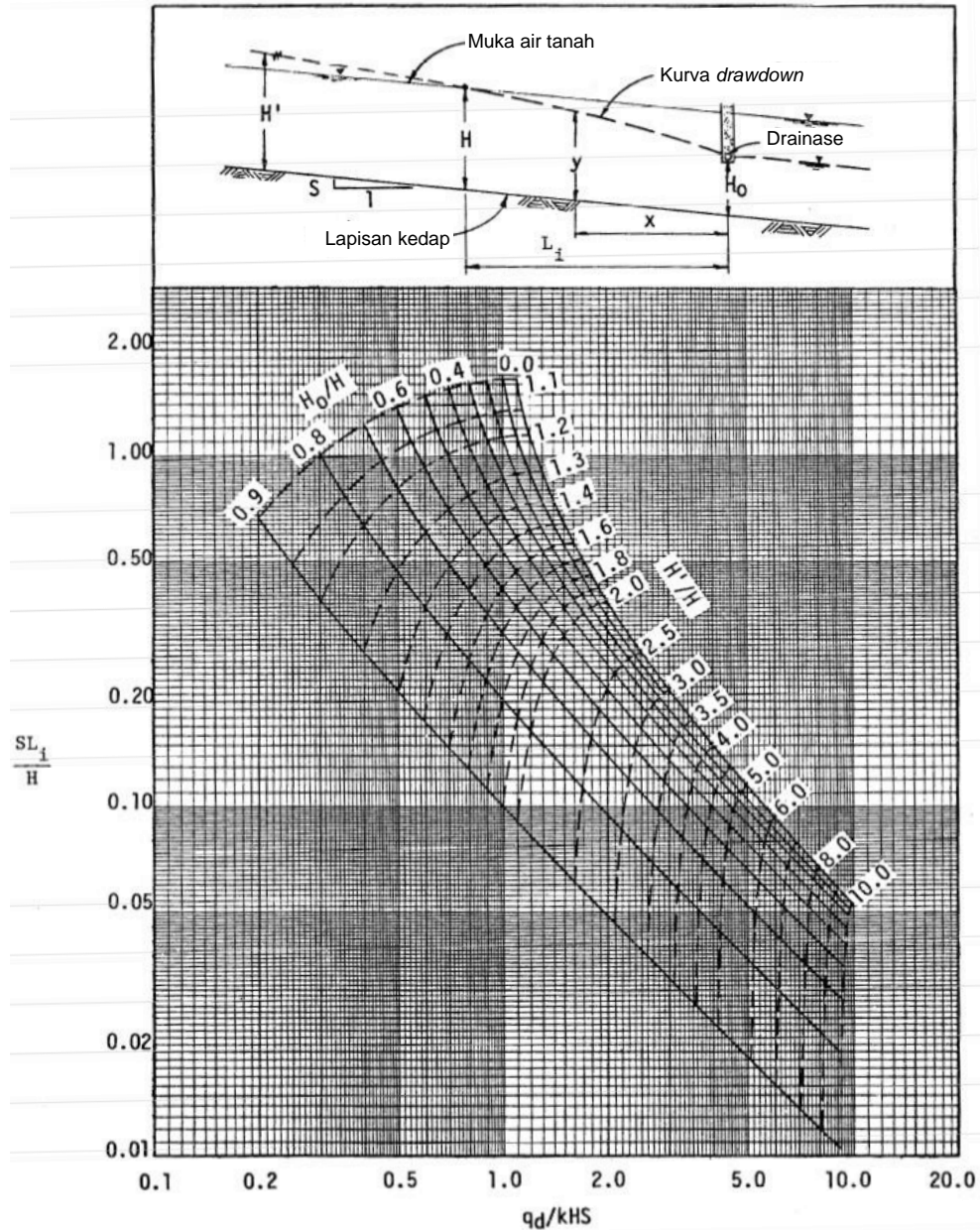
$\Delta H$  adalah perbedaan tinggi muka air atau total kehilangan tinggi tekan ( $m$ );

$N_f$  adalah jumlah saluran aliran air (*flow channel*);

$N_d$  adalah jumlah penurunan potensial (*potential drop*).

Perhitungan aliran air yang masuk ke drainase penangkap dengan menggunakan grafik diperlihatkan pada Gambar 17 sedangkan untuk memperkirakan *drawdown* dengan menggunakan grafik diberikan pada Gambar 18.

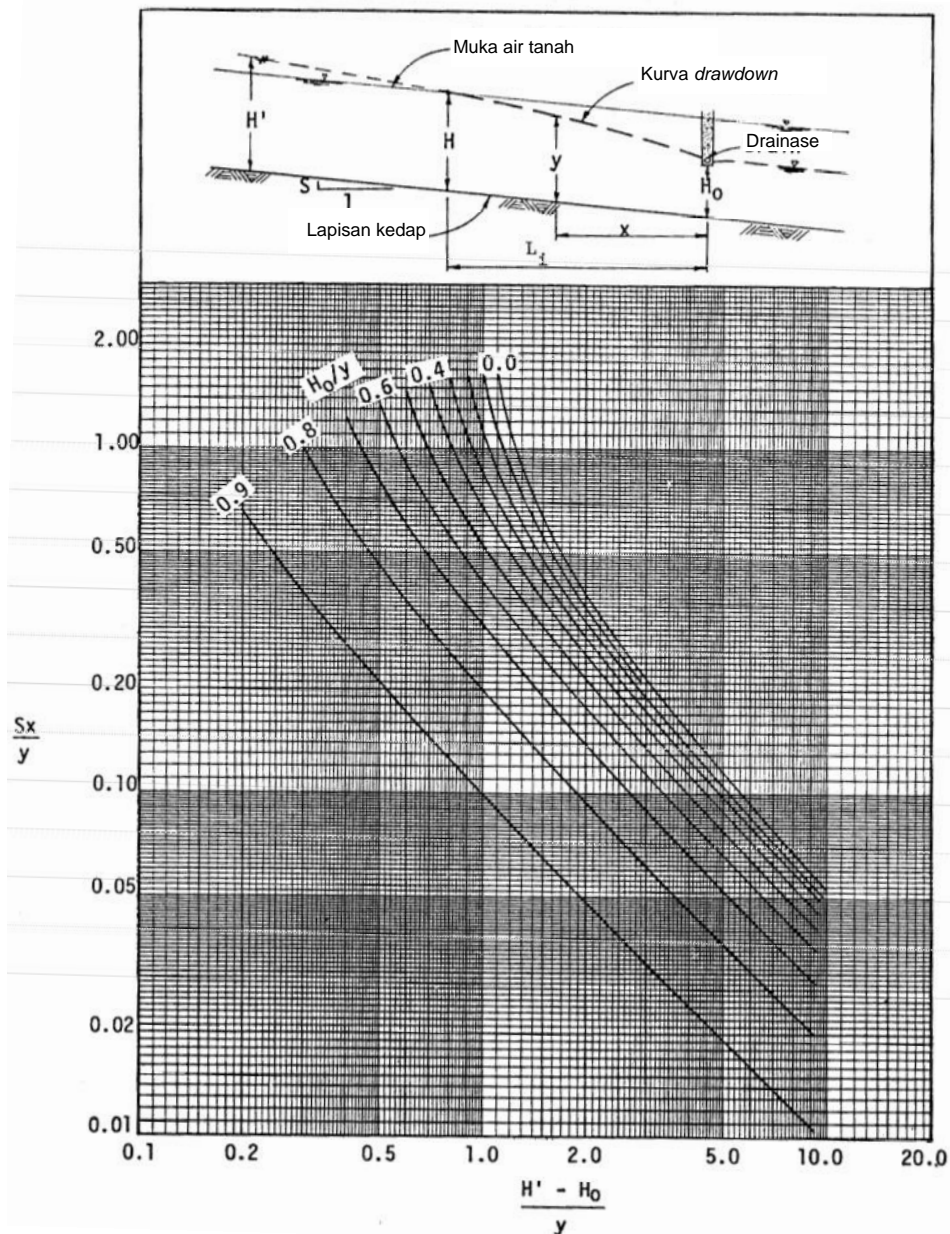
Nilai  $L_i$  pada Gambar 17 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (18). Dari grafik pada Gambar 17 diperoleh nilai  $q_d$  yaitu dengan memplotkan nilai  $S.L_i/H$  kemudian menarik garis secara horizontal sampai memotong nilai  $H_o/H$ . Setelah ditentukan perpotongan dengan  $H_o/H$ , tarik garis vertikal ke bawah sehingga diperoleh nilai  $q_d/(k.H.S)$ . Dari grafik pada Gambar 17 diperoleh juga nilai  $H'/H$  untuk mendapatkan kurva *drawdown* pada Gambar 18.



Keterangan:

- x dan y adalah koordinat suatu titik pada kurva *drawdown*;
- H adalah tinggi muka air awal yang diukur dari lapisan tanah kedap (m);
- $H_0$  adalah jarak bagian bawah drainase penangkap ke lapisan tanah kedap (m);
- $H'$  adalah tinggi suatu titik pada garis perpanjangan fiktif dari kurva *drawdown* ke lapisan tanah kedap (m);
- S adalah kemiringan lapisan tanah kedap;
- $L_i$  adalah radius pengaruh atau jarak pengaruh *drawdown* (m).

**Gambar 17 - Grafik untuk menentukan debit air ke dalam drainase penangkap**



Keterangan:

- x dan y adalah koordinat suatu titik pada kurva *drawdown*;
- H adalah tinggi muka air awal yang diukur dari lapisan tanah kedap (m);
- $H_0$  adalah jarak bagian bawah drainase penangkap ke lapisan tanah kedap (m);
- $H'$  adalah tinggi suatu titik pada garis perpanjangan fiktif dari kurva *drawdown* ke lapisan tanah kedap (m);
- S adalah kemiringan lapisan tanah kedap;
- $L_i$  adalah radius pengaruh atau jarak pengaruh *drawdown* (m).

**Gambar 18 - Grafik untuk menentukan kurva *drawdown***

#### 4.4.2 Multidrainase penangkap longitudinal

Sistem drainase bawah permukaan dapat terdiri dari beberapa drainase penangkap seperti diperlihatkan pada Gambar 19. Sistem drainase ini dapat direncanakan menggunakan prinsip drainase penangkap longitudinal tunggal seperti dijelaskan pada 4.4.1. Namun, suatu batas kedap harus ditentukan untuk setiap drainase bagian atas yang kurang lebih sejajar terhadap batas lapisan kedap bagian bawah yang miring. Batas kedap untuk drainase

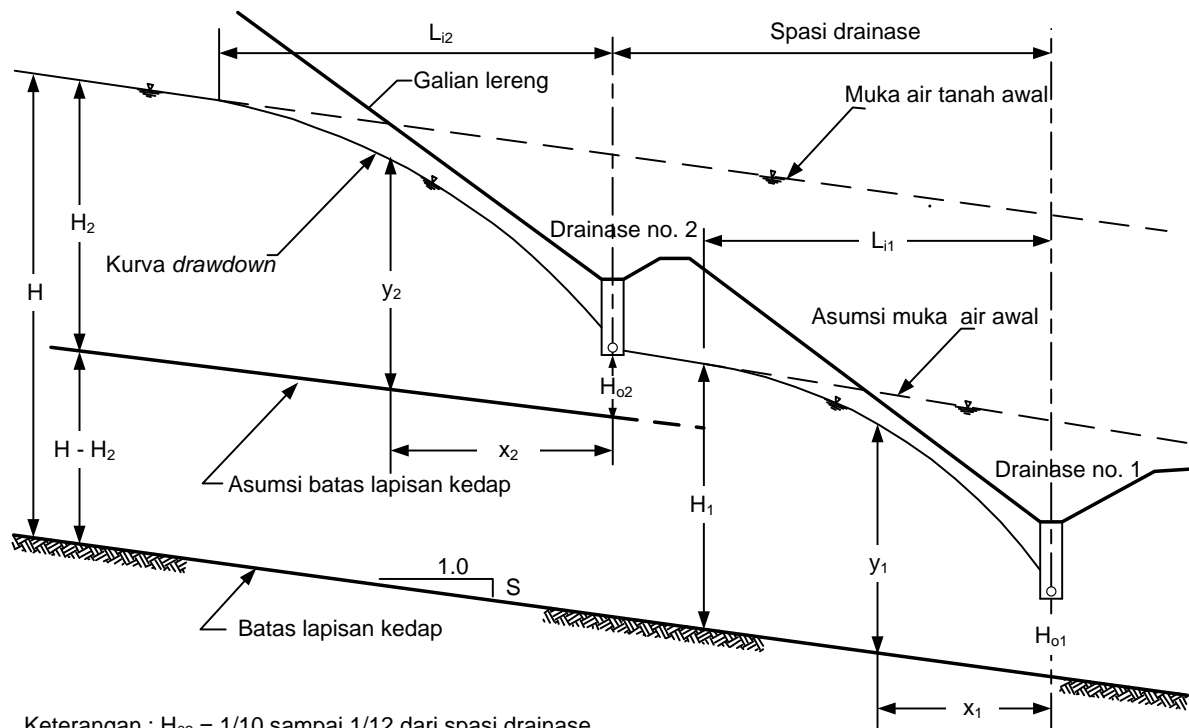
bagian atas ditentukan dengan menggambar suatu garis paralel terhadap batas lapisan kedap pada kedalaman 1/10 sampai 1/12 dari spasi drainase.

Nilai  $L_{i1}$ ,  $L_{i2}$ , dan  $H_{o2}$  pada Gambar 19 dihitung dengan persamaan:

$$L_{i1} = 3,8(H_1 - H_{o1}) \quad (36)$$

$$L_{i2} = 3,8(H_2 - H_{o2}) \quad (37)$$

$$H_{o2} = 1/10 \text{ sampai } 1/12 \text{ dari spasi drainase} \quad (38)$$



Keterangan :  $H_{o2} = 1/10$  sampai  $1/12$  dari spasi drainase

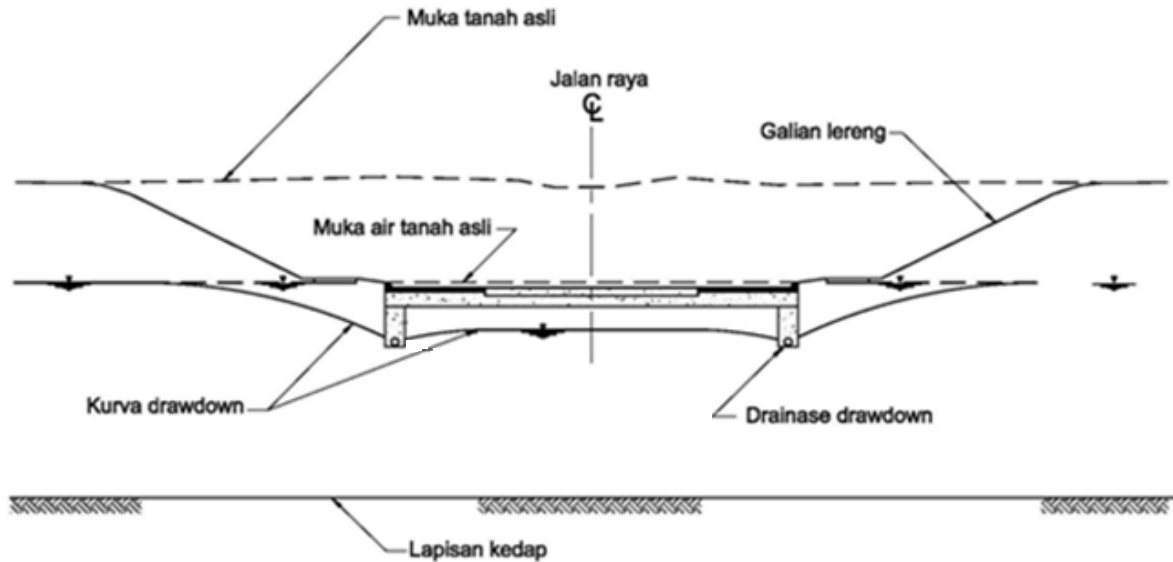
Keterangan:

- $x_1$  dan  $y_1$  adalah koordinat suatu titik pada kurva *drawdown* untuk drainase nomor 1;
- $H$  adalah tinggi muka air awal yang diukur dari lapisan tanah kedap (m);
- $H_1$  adalah tinggi muka air untuk drainase penangkap nomor 1 yang diukur dari batas lapisan kedap ke asumsi tinggi muka air awal (m);
- $H_2$  adalah tinggi muka air untuk drainase penangkap nomor 2 yang diukur dari asumsi batas lapisan kedap ke tinggi muka air awal (m);
- $S$  adalah kemiringan lapisan tanah kedap air;
- $L_{i1}$  adalah radius pengaruh untuk drainase penangkap nomor 1 (m);
- $L_{i2}$  adalah radius pengaruh untuk drainase penangkap nomor 2 (m);
- $H_{o1}$  adalah jarak dari bagian bawah drainase penangkap nomor 1 ke batas lapisan kedap (m);
- $H_{o2}$  adalah jarak dari bagian bawah drainase penangkap nomor 2 ke asumsi batas lapisan kedap (m).

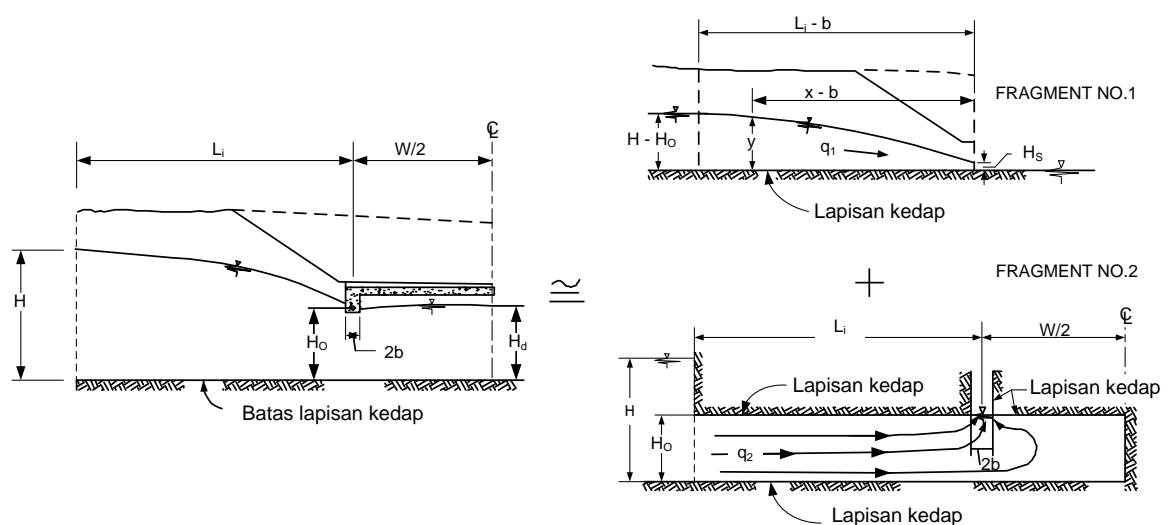
**Gambar 19 - Sistem multidrainase penangkap longitudinal**

#### 4.4.3 Drainase *drawdown* simetris

Penggunaan drainase *drawdown* simetris diperlihatkan pada Gambar 20. Gunakan metode fragmen seperti diperlihatkan pada Gambar 21. Pada dasarnya, metode ini mengasumsikan adanya suatu aliran horizontal pada bagian atas drainase.



Gambar 20 - Drainase *drawdown* simetris untuk menurunkan muka air tanah



Keterangan:

$2b$  adalah lebar drainase samping (m);

$L_i$  adalah radius pengaruh atau jarak pengaruh *drawdown* (m), dihitung dengan Persamaan (36);

$W$  adalah lebar lapisan fondasi permeabel yang diukur dari as ke as drainase samping (m);

$H_d$  adalah tinggi muka air antara kurva *drawdown* dan lapisan kedap (m).

Gambar 21 - Pembagian drainase *drawdown* simetris menjadi dua fragmen ekuivalen

Merujuk pada Gambar 21, debit aliran air yang masuk ke dalam drainase dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q_d = q_1 + q_2 \quad (39)$$

$$q_1 = \frac{k(H-H_0)^2}{2(L_i-b)} \quad (40)$$

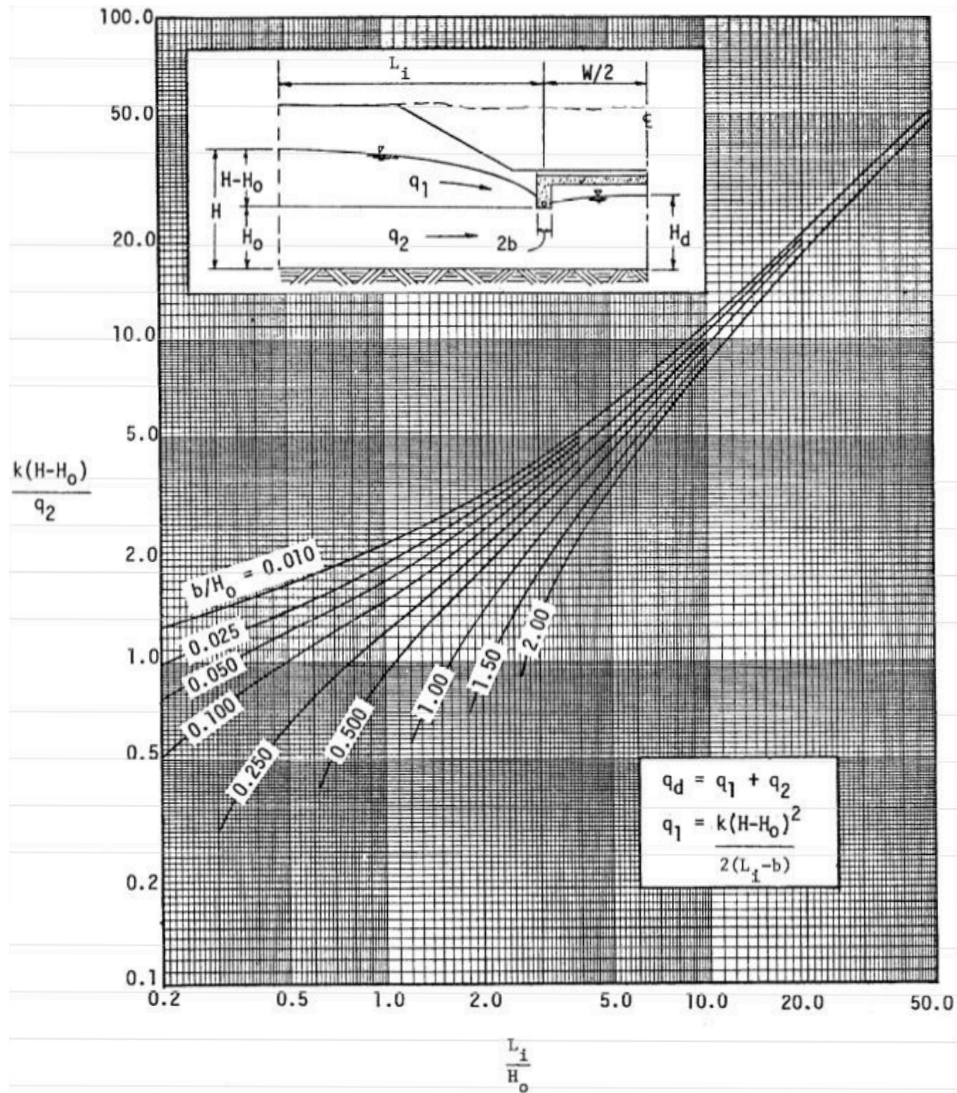
**Keterangan:**

$q_d$  adalah debit air yang masuk ke drainase penangkap ( $m^3/hari/m$ );

$q_1$  adalah debit air yang masuk ke drainase penangkap dari Fragmen nomor 1 ( $m^3/hari/m$ );

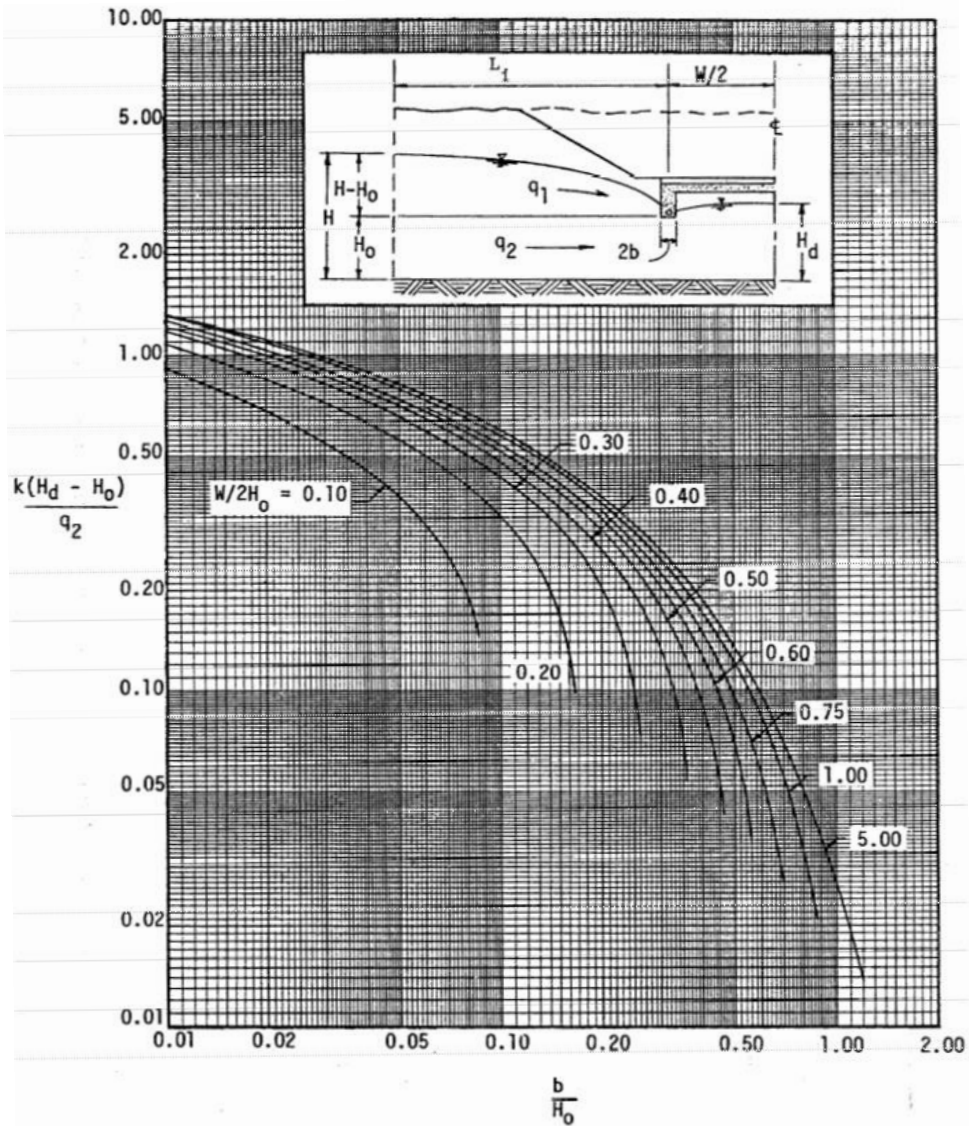
$q_2$  adalah debit air yang masuk ke drainase penangkap dari Fragmen nomor 2 ( $m^3/hari/m$ ).

Untuk menentukan  $q_2$ , gunakan grafik pada Gambar 22. Untuk menentukan kurva *drawdown* bawah drainase simetris gunakan grafik pada Gambar 23 sedangkan untuk kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1 gunakan grafik pada Gambar 24.

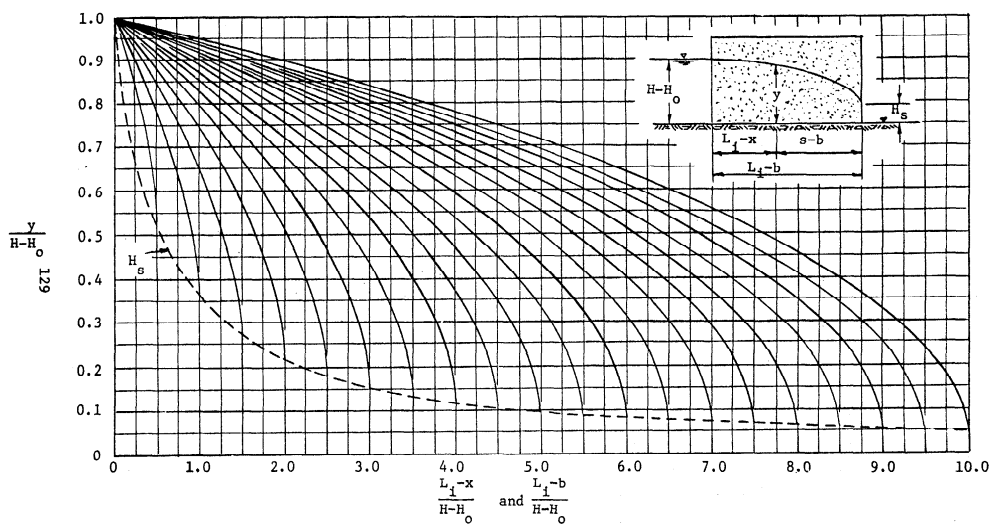


**Gambar 22 - Grafik untuk menentukan debit air,  $q_2$ , ke dalam drainase *drawdown* simetris**





Gambar 23 - Grafik untuk menentukan kurva *drawdown* di bawah drainase simetris



Gambar 24 - Grafik untuk menentukan kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1

## 4.5 Kriteria pemasangan filter geotekstil

### 4.5.1 Galian

Untuk pelaksanaan pekerjaan galian, hal-hal berikut harus diperhatikan:

1. Profil memanjang lokasi rencana pemasangan drainase bawah permukaan diberi tanda dengan patok-patok.
2. Permukaan tempat geotekstil akan dipasang harus digali hingga elevasi rencana dengan permukaan yang halus dan kemiringan sesuai rencana, serta bebas dari kotoran dan lubang yang besar.
3. Penggalian dimulai dari arah hilir aliran ke arah hulu dan dilakukan secara segmental.

### 4.5.2 Pemasangan geotekstil

Saat melakukan pemasangan geotekstil, perhatikan hal-hal berikut:

1. Pada sistem drainase, geotekstil ditempatkan dengan arah mesinnya mengikuti arah aliran air.
2. Untuk perkerasan, penempatan geotekstil harus paralel terhadap jalan.
3. Geotekstil harus ditempatkan secara longgar (tidak tegang), namun tidak boleh ada kerutan atau lipatan.
4. Geotekstil yang dipasang harus bersentuhan dengan tanah sehingga tidak terdapat ruang kosong di belakangnya.
5. Untuk mencegah geotekstil terkena sinar matahari, kotoran, kerusakan, dan lain sebagainya, penempatan agregat drainase atau agregat untuk fondasi jalan harus dilakukan sesegera mungkin setelah geotekstil dihamparkan.
6. Geotekstil harus ditutupi oleh agregat lepas minimal setebal 0,3 m sebelum dilakukan pemadatan. Apabila digunakan lapisan agregat yang lebih tipis, dibutuhkan geotekstil dengan daya bertahan yang lebih tinggi.
7. Untuk parit penyalir, minimal agregat setebal 0,1 m harus ditempatkan sebagai lapisan dasar di bawah pipa kolektor (jika diperlukan), dengan agregat tambahan yang ditempatkan hingga kedalaman konstruksi minimum yang dibutuhkan.
8. Pemadatan dibutuhkan untuk menempatkan sistem drainase pada tanah asli dan untuk mengurangi penurunan di dalam penyalir. Agregat harus dipadatkan menggunakan peralatan getar hingga mencapai minimum 95% kepadatan berdasarkan SNI 3423:2008 kecuali apabila parit dibutuhkan untuk penyokong struktural. Apabila dibutuhkan usaha pemadatan yang lebih besar, maka harus digunakan geotekstil dengan daya bertahan yang lebih tinggi dari Tabel 7.

### 4.5.3 Tumpang tindih (*overlap*) dan penyambungan

Untuk tumpang tindih geotekstil pada penggunaan ini harus memperhatikan hal-hal berikut:

1. Geotekstil harus dipotong (jika diperlukan) hingga lebar yang diinginkan. Lebar ini termasuk tambahan untuk penempatan secara lepas (*non tight*) pada parit dan sambungan tumpang tindih di gulungan yang berdekatan. Cara lainnya, geotekstil dipotong pada bagian atas parit setelah penghamparan agregat drainase.
2. Geotekstil bagian hulu harus menumpang diatas geotekstil bagian hilir.
3. Ujung dari gulungan-gulungan geotekstil yang berurutan dan gulungan-gulungan yang sejajar harus ditumpangtindihkan minimum 0,3 m pada konstruksi jalan dan 0,3 m hingga 0,6 m pada penyalir, tergantung pada tingkat parahnya aliran hidrolis yang diantisipasi dan kondisi penempatan.
4. Untuk kondisi aliran hidrolis yang tinggi dan pelaksanaan yang sulit, seperti pada parit-parit yang dalam atau terdapat batuan besar, tumpang tindih harus lebih lebar.
5. Untuk lokasi-lokasi proyek terbuka yang luas yang menggunakan penyalir dasar, tumpang tindih harus dijepit atau diangkur untuk menahan geotekstil pada tempatnya sampai agregat selesai dihamparkan.

- Untuk memastikan bahwa tumpang tindih kuat dan tidak terlepas dapat dilakukan penyambungan dengan pemanasan pada bagian tumpang tindih. Dengan pemanasan maka bagian tumpang tindih tersebut akan saling melekat dengan kuat.

#### 4.5.4 Pipa drainase

Ketentuan mengenai pipa berlubang banyak pada pedoman ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga, Revisi 3, yaitu:

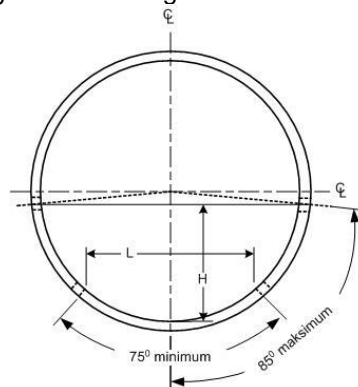
- Jika bahan arah hilir (setelah bahan porous) dari bahan porous yang ditimbun kembali bukan material berbutir, tetapi digunakan lubang sulingan atau pipa berlubang banyak (*perforated pipes*) maka pemilihan dan persetujuan atas bahan porous untuk penimbunan kembali harus didasarkan atas kriteria berikut ini:
  - $D_{85}$  (bahan untuk penimbunan kembali)  $> 0,2D$  (lubang), dan
  - $D_{50}$  (bahan untuk penimbunan kembali)  $> 0,04D$  (lubang).
- Pipa berlubang banyak untuk drainase bawah tanah harus merupakan pipa beton yang berlubang banyak atau PVC yang berlubang banyak atau jenis saluran polyethylene bergelombang yang berlubang banyak dengan diameter bagian dalam sekitar 10 cm dan memenuhi ketentuan yang disyaratkan AASHTO M176M/ M176-07, AASHTO M252-07, dan AASHTO M278-12.
- Untuk pipa berlubang banyak bergelombang (*corrugated*), sesuai AASHTO M252-07 maka pipa yang akan digunakan untuk kedalaman  $> 1,0$  m menggunakan Kelas 1 sedangkan pipa yang akan digunakan untuk kedalaman  $< 1,0$  m menggunakan Kelas 2. Ketentuan pipa berlubang banyak untuk Kelas 1 mengacu pada Tabel 9, sedangkan Kelas 2 mengacu pada Tabel 10. Untuk Kelas 2, disyaratkan bagian yang dilubangi minimal  $20 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

**Tabel 9 Ketentuan pipa berlubang banyak untuk Kelas 1**

Diameter pipa (mm)	Diameter lubang <i>perforated</i> maksimum (mm)	Jumlah baris yang dilubangi	H <sub>maks</sub> (mm)	L <sub>min</sub> (mm)
100	5	2	45	50
150	5	2	70	65
200	10	4	94	95
250	10	4	120	130

**CATATAN**

H adalah ketinggian dari dasar sampai garis tengah baris lubang paling atas  
L adalah panjang bagian yang tidak dilubangi



**Tabel 10 Ketentuan pipa berlubang banyak untuk Kelas 2**

Diameter pipa (mm)	Diameter lubang <i>perforated</i> (mm)	Celah lubang ( <i>Slotted holes</i> )	
		Lebar (mm)	Panjang (mm)
100	4,75	3	25
150	4,75	3	25
200	6,25	3	30
250	8,00	3	30

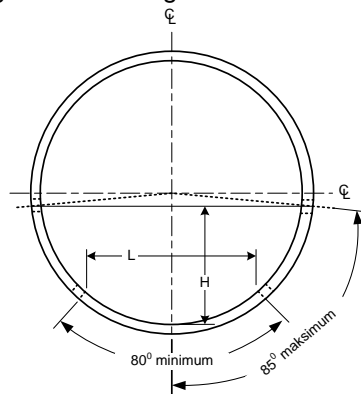
4. Untuk PVC yang berlubang banyak, sesuai AASHTO M278-12, ketentuan mengacu pada Tabel 11.

**Tabel 11 Ketentuan PVC yang berlubang banyak**

Diameter pipa (mm)	Diameter lubang <i>perforated</i> maksimum (mm)	Jumlah baris yang dilubangi	H <sub>maks</sub> (mm)	L <sub>min</sub> (mm)
100	4,9 - 9,5	2	46	65
150	4,9 - 9,5	4	70	98
200	4,9 - 9,5	4	94	130
250	4,9 - 9,5	4	116	164
300	4,9 - 9,5	6	140	194
375	4,9 - 9,5	6	175	244

**CATATAN**

H adalah ketinggian dari dasar sampai garis tengah baris lubang paling atas  
L adalah panjang bagian yang tidak dilubangi



5. Selain kriteria di atas, kriteria lainnya dalam AASHTO M252-07, dan AASHTO M278-12 dan Spesifikasi Umum harus dipenuhi.

**4.5.5 Pengendalian mutu pelaksanaan**

- Periksa gulungan geotekstil ketika sampai di lokasi pekerjaan untuk memastikan bahwa geotekstil tersebut disimpan dengan baik dan periksa apakah terdapat kerusakan.
- Periksa gulungan dan nomor lot untuk memverifikasi kesesuaiannya dengan dokumen sertifikasi.
- Potong dari setiap gulungan, dua buah contoh berbentuk persegi dengan ukuran 100 mm x 150 mm. Lampirkan satu contoh pada fotokopi sertifikasi sebagai pembanding untuk pengiriman berikutnya dan kirim satu contoh lainnya kepada perencana untuk persetujuan atau sebagai informasi.

- d. Amati setiap gulungan material untuk memastikan bahwa setiap gulungan merupakan material yang sama. Amati setiap gulungan material terhadap kerusakan atau ketidakseragaman.
- e. Lakukan pengujian pada contoh uji geotekstil sesuai dengan persyaratan spesifikasi dari gulungan yang dipilih secara acak. Tandai arah mesin pada setiap contoh uji dan catat nomor gulungan. Ambil minimal satu arsip contoh dari setiap geotekstil, meskipun jika pengujian tidak diperlukan.
- f. Periksa pengiriman berikutnya terhadap pengiriman sebelumnya yang telah disetujui dan ambil contoh uji tambahan.
- g. Selama tahap penyiapan tanah dasar dan tahap konstruksi lainnya, geotekstil harus dilindungi dengan baik untuk mencegah degradasi karena terpapar berbagai unsur.
- h. Pelaksanaan harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kontaminasi pada geotekstil. Apabila geotekstil terkontaminasi, geotekstil harus diangkat dan diganti dengan material yang baru.

## 5 Prosedur perencanaan teknis dan pemasangan filter geotekstil

### 5.1 Prosedur perencanaan teknis

#### Tahap 1: Mengevaluasi sifat kritis proyek dan tingkat kompleksitas pekerjaan

Sifat kritis dan kompleksitas pekerjaan mengacu pada Tabel 1. Keputusan yang rasional harus digunakan dalam mengkategorikan suatu pekerjaan, karena mungkin terdapat perbedaan biaya yang signifikan untuk geotekstil dalam kondisi kritis atau kompleks. Pemilihan akhir tidak harus berdasarkan biaya material terendah saja dan biaya tidak boleh dikurangi dengan menghilangkan pengujian kinerja tanah dengan geotekstil di laboratorium jika pengujian tersebut diperlukan.

#### Tahap 2: Mengambil contoh uji dari lokasi

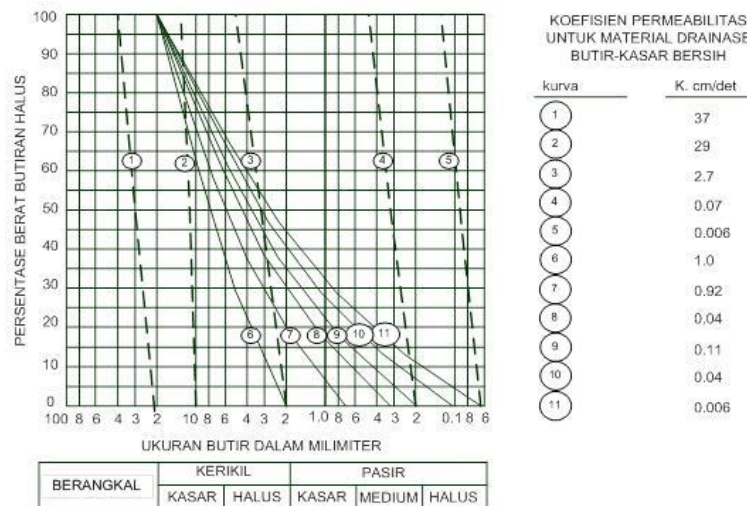
- a. Tahap 2.A: Melakukan analisis ukuran butir.
  - Menghitung  $C_u$  sesuai Tabel 2.
  - Memilih kasus tanah yang paling jelek untuk retensi (umumnya tanah dengan  $B.D_{85}$  terkecil).

**CATATAN** Apabila tanah mengandung partikel 25 mm dan lebih besar, gunakan hanya gradasi tanah yang lolos saringan ukuran 4,75 mm dalam memilih geotekstil (hilangkan material dengan ukuran yang lebih besar dari 4,75 mm misalnya kerikil dan bongkah).

- b. Tahap 2.B: Melakukan pengujian permeabilitas di lapangan atau di laboratorium.
  - Memilih permeabilitas,  $k$ , tanah yang paling tinggi.
  - Permeabilitas pasir bersih dengan  $0,1 \text{ mm} < D_{10} < 3 \text{ mm}$  dan  $C_u < 5$  dapat diperkirakan menggunakan formula Hazen,  $k = (D_{10})^2$  ( $k$  dalam cm/detik;  $D_{10}$  dalam mm). Formula ini tidak boleh digunakan untuk tanah dengan jumlah partikel halus lebih dari 50%.
  - Uji permeabilitas di laboratorium dapat mengacu pada ASTM D2434 untuk tanah berbutir. Untuk tanah dengan kandungan butir halus, uji permeabilitas di laboratorium dapat mengacu pada ASTM D5858 dengan menggunakan permeameter *mold* pemadatan, dan ASTM D5084 yang menggunakan permeameter dinding fleksibel. Uji permeabilitas di lapangan mencakup uji pompa dalam lubang bor dan uji infiltrometer.

c. Tahap 2.C: Memilih agregat drainase.

Persyaratan agregat drainase mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, Seksi 2.4 atau gunakan material yang dapat mengalirkan air dengan gradasi seragam dan tentukan permeabilitasnya (dapat digunakan Gambar 25). Jika memungkinkan, hindari agregat yang tajam dan bersudut. Jika terpaksa harus digunakan, maka harus ditetapkan suatu geotekstil yang memenuhi persyaratan berdaya tahan yang lebih tinggi dari Tabel 7 (gunakan geotekstil Kelas 1 pada Spesifikasi Umum Bina Marga). Untuk perbandingan biaya yang akurat, bandingkan biaya agregat dengan gradasi seragam terhadap agregat dengan gradasi baik.



**Gambar 25 - Gradasi tipikal dan permeabilitas Darcy dari beberapa agregat dan material filter bergradasi**

**Tahap 3: Menghitung aliran air ke dalam dan melalui sistem drainase**

Tahap 3 adalah menghitung debit aliran air yang menuju dan melalui sistem drainase serta menghitung dimensi sistem drainase. Gunakan pipa pengumpul untuk mengurangi ukuran penyalir.

Tahapan perhitungan aliran air ke dalam sistem drainase dengan lapis fondasi permeabel diterangkan pada item A, sedangkan untuk sistem drainase penangkap di lereng diterangkan pada item B.

**A. Sistem drainase perkerasan**

- a. Tahap 3.A: Menghitung geometri untuk drainase perkerasan dengan lapis fondasi permeabel sesuai dengan 4.3.1.
- b. Tahap 3.B: Menghitung aliran air yang masuk ke perkerasan (infiltrasi) sesuai dengan 4.3.2.
- c. Tahap 3.C: Menghitung laju pembuangan air sesuai dengan 4.3.3.
- d. Tahap 3.D: Menghitung *time-to-drain* sesuai dengan 4.3.4.
- e. Tahap 3.E: Menghitung kapasitas aliran rencana dari pipa saluran samping sesuai dengan 4.3.5.
- f. Tahap 3.F: Menghitung spasi *outlet* sesuai dengan 4.3.6.

## B. Sistem drainase pengontrol muka air tanah

- a. Tahap 3.A: Menentukan muka air tanah.
- b. Tahap 3.B: Menentukan dimensi dan posisi drainase penangkap dengan cara coba-coba.
- c. Tahap 3.C: Menentukan debit aliran yang masuk ke setiap drainase penangkap longitudinal sesuai dengan 4.4.
- d. Tahap 3.D: Menghitung kapasitas aliran rencana dari pipa drainase penangkap dengan Persamaan (33).
- e. Tahap 3.E: Memeriksa kurva *drawdown* sesuai dengan 4.4.

### Tahap 4: Menentukan persyaratan geotekstil

- a. Tahap 4.A: Kriteria retensi.  
Untuk Tahap 2A, tentukan  $D_{85}$  dan  $C_u$ ; kemudian tentukan lubang bukaan terbesar yang diizinkan dengan menggunakan Persamaan (1) untuk kondisi aliran *steady state* dan Persamaan (2) untuk kondisi aliran dinamis.
- b. Tahap 4.B: Kriteria permeabilitas dan permitivitas  
Tentukan kriteria permeabilitas, permitivitas dan kapasitas aliran geotekstil seperti dijelaskan pada 4.2.2.
- c. Tahap 4.C: Kriteria penyumbatan.  
Tentukan kriteria penyumbatan dengan menggunakan ketentuan-ketentuan pada 4.2.3. Untuk  $C_u \leq 3$ , pilih geotekstil dengan nilai AOS maksimum dari pasal 4.2.1 (kriteria retensi).
- d. Tahap 4.D: Kriteria daya bertahan dan durabilitas.  
Pilihlah sifat-sifat (kriteria) geotekstil yang dibutuhkan sesuai daya tahan dari Tabel 6. Tambahkan persyaratan durabilitas jika tersedia.

Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk drainase bawah perkerasan jalan, untuk drainase penangkap longitudinal di lereng galian, dan untuk drainase *drawdown* simetris pada daerah galian ganda (*double cutting*) dapat dilihat secara berturut-turut pada Lampiran C, Lampiran D, dan Lampiran E.

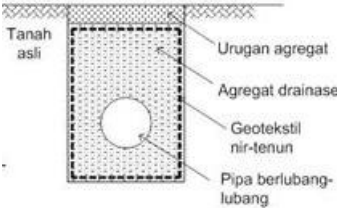
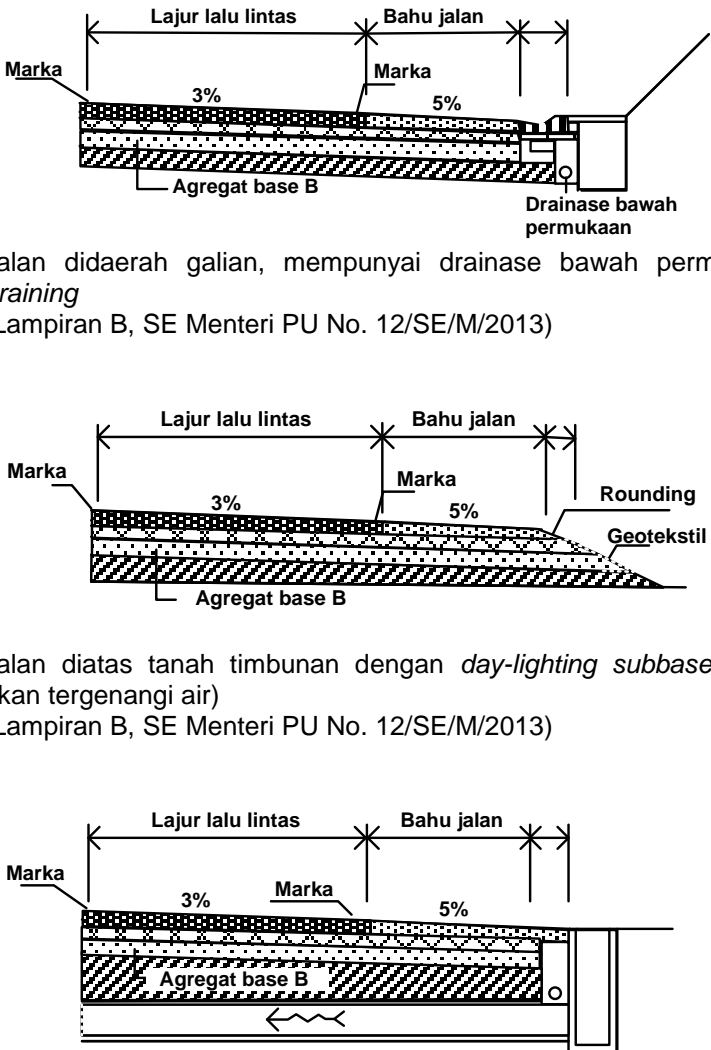
## 5.2 Prosedur pemasangan filter geotekstil

Prosedur pelaksanaan pemasangan filter geotekstil adalah sebagai berikut:

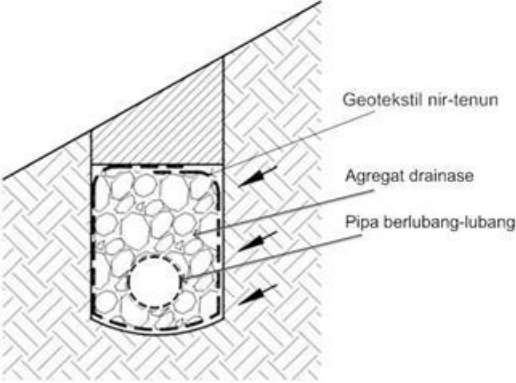
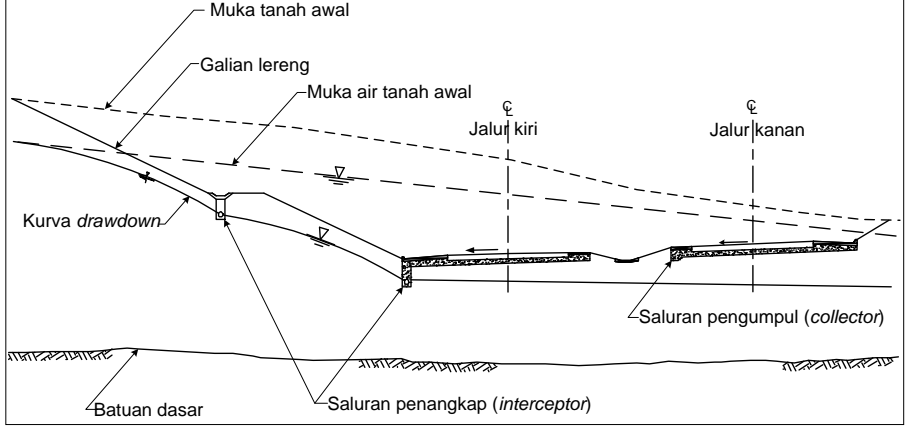
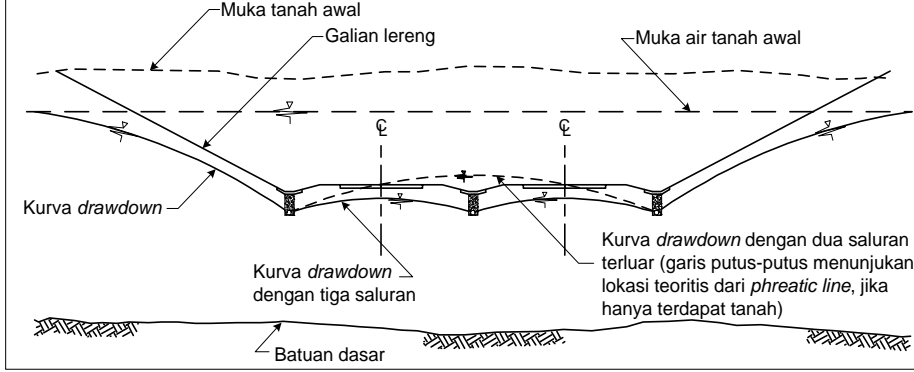
- a. Lakukan penggalian sesuai dengan ketentuan pada 4.5.1,
- b. Pasang geotekstil sesuai dengan ketentuan pada 4.5.2,
- c. Periksa geosintetik setelah penempatan agregat terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan, jika memungkinkan. Hal ini dapat dilakukan melalui percobaan pelaksanaan pemasangan atau dengan memindahkan bagian kecil agregat dan mengamati geosintetik setelah penempatan dan pemadatan agregat pada awal proyek. Jika terjadi lubang, sobekan atau kerusakan lainnya, hubungi perencana segera,
- d. Lakukan tumpang tindih dan penyambungan sesuai dengan ketentuan pada 4.5.3,
- e. Setelah menyelesaikan tumpang tindih, urugan harus ditempatkan dan dipadatkan hingga mencapai ketinggian akhir yang diinginkan,
- f. Sisa tanah galian diratakan sehingga tidak mengganggu aliran air permukaan,
- g. Pastikan selama proses pelaksanaan, material geotekstil sesuai dengan ketentuan 4.5.5,
- h. Amati pelaksanaan untuk memastikan pelaksana memenuhi persyaratan spesifikasi untuk pemasangan.

## Lampiran A (informatif)

### Contoh aplikasi filter geotekstil untuk drainase bawah permukaan

No	Aplikasi	Ilustrasi
1.	Sebagai filter di sekeliling saluran parit dan saluran samping – untuk mencegah perpindahan tanah ke dalam agregat drainase dan tetap mengalirkan air ke dalam sistem drainase.	 <p>(Hardiatmo, 2008)</p>
2.	Sebagai filter di bawah lapis fondasi jalan yang lolos air perkerasan jalan, selimut drainase dan agregat lapis fondasi perkerasan. Parit yang diselimuti geotekstil juga digunakan pada konstruksi saluran tepi perkerasan.	 <p>Jalan didaerah galian, mempunyai drainase bawah permukaan dan <i>free draining</i> (Lampiran B, SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013)</p> <p>Jalan diatas tanah timbunan dengan <i>day-lighting subbase</i> (dianggap tidak akan tergenangi air) (Lampiran B, SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013)</p> <p>Jalan berada pada daerah relatif datar dan level tanah asli dan mempunyai drainase bawah permukaan (Lampiran B, SE Menteri PU No. 12/SE/M/2013)</p>



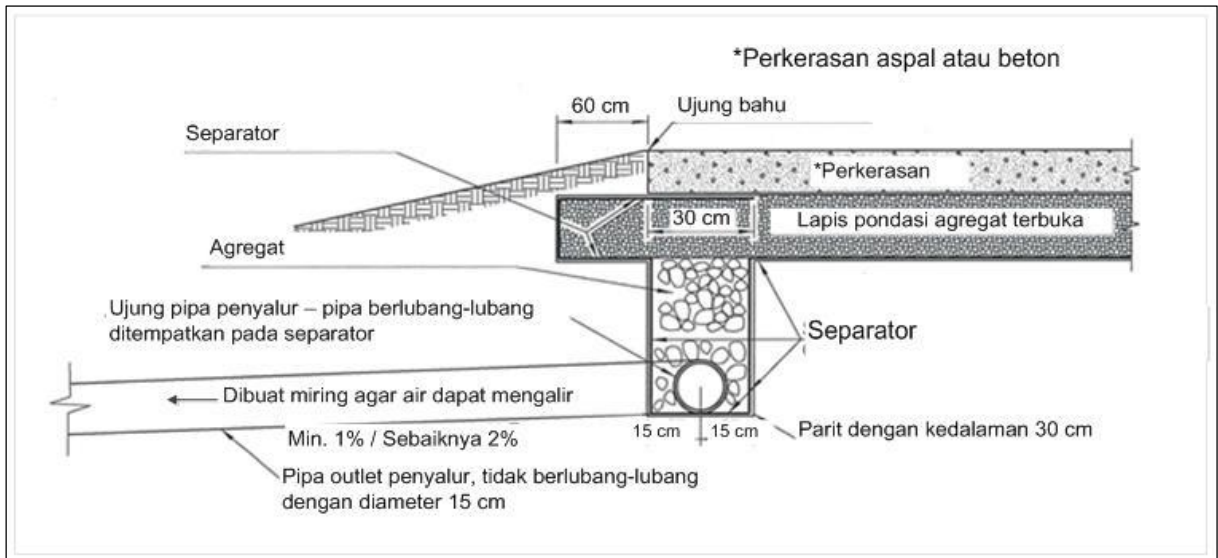
No	Aplikasi	Ilustrasi
3.	Saluran penangkap ( <i>interceptor</i> ), saluran kaki ( <i>toe drain</i> ), dan saluran permukaan ( <i>surface drain</i> )— untuk membantu stabilisasi lereng dengan mendisipasi tekanan pori eksek yang ada di dalam lereng dan mencegah erosi permukaan.	 <p>(FHWA NHI-07-092-2008)</p>
4.	Sebagai saluran penangkap multi pada kasus jalan yang memotong bukit (lereng galian). Berfungsi untuk memotong <i>seepage</i> dan menurunkan muka air tanah.	 <p>(FHWA-TS-80-224)</p>
5.	Sebagai saluran penangkap di lereng galianganda ( <i>double cutting</i> ). Berfungsi untuk menurunkan muka air tanah.	 <p>(FHWA-TS-80-224)</p>

No	Aplikasi	Ilustrasi
6.	Sebagai saluran penangkap melintang pada kasus alinyemen jalan yang tegak lurus terhadap kontur bukit.	<p>(FHWA-TS-80-224)</p>
7.	Sebagai selimut drainase untuk mengalirkan aliran air dari akuifer artesis dan untuk mengalirkan air dari infiltrasi air dari permukaan jalan.	<p>(a) Infiltrasi dan aliran air tanah dari artesis</p> <p>(b) Infiltrasi</p> <p>(FHWA-TS-80-224)</p>

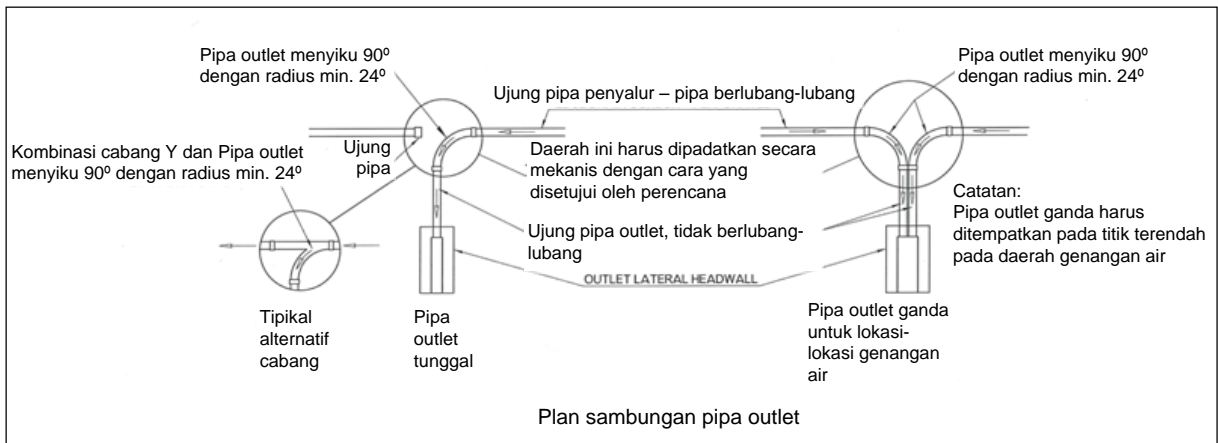
No	Aplikasi	Ilustrasi
8.	Sebagai selimut drainase pada daerah galian untuk mencegah keluarnya air di kaki bukit.	<p>(FHWA-TS-80-224)</p>
9.	Sebagai selimut drainase di bawah timbunan untuk mengalirkan air yang tertimpa timbunan.	<p>(FHWA-TS-80-224)</p>

**Lampiran B**  
(informatif)

**Contoh pipa saluran samping (*outlet*)**



**Gambar B.1 - Contoh pipa saluran samping (*outlet*)**



**Gambar B.2 - Contoh sambungan pipa saluran samping (*outlet*)**

## Lampiran C (informatif)

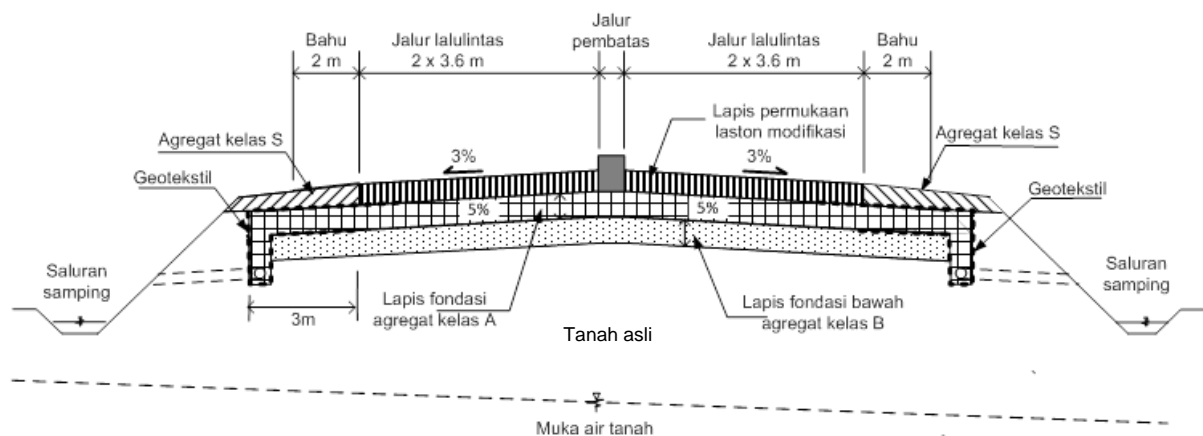
### Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk drainase di bawah perkerasan jalan

#### Diketahui:

Pada jalan nasional sepanjang 5 km yang merupakan jalan antarkota akan dibangun jalan baru dengan konstruksi perkerasan lentur. Ruas jalan tersebut terdiri atas 4 lajur 2 arah dengan pemisah lajur. Jalan ini terletak di daerah relatif datar dengan kelandaian 2% dan temperatur maksimum rata-rata selama seminggu adalah 60°C.

Tipe tanah asli pada lokasi yang akan dibangun ditunjukkan pada Tabel C 2.

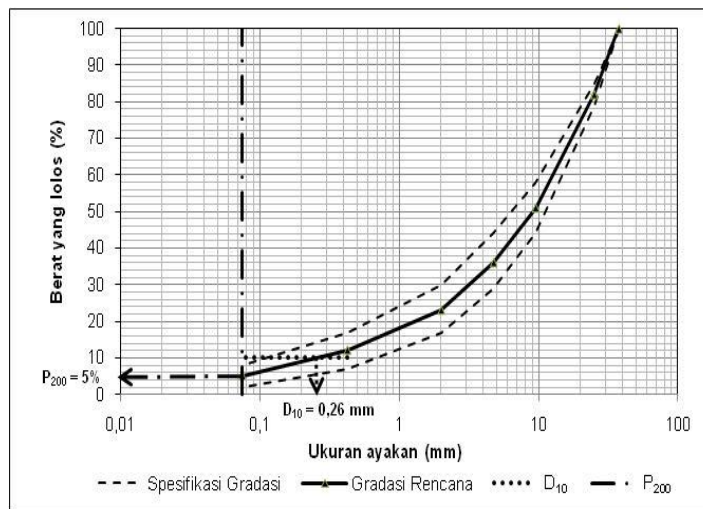
Konstruksi perkerasan lentur yang akan dibangun termasuk pada daerah dengan kondisi basah dan kering yang seimbang dan akan dilengkapi dengan sistem drainase yang baik sehingga air dapat keluar dari perkerasan. Gambar tipikal konstruksi perkerasan lentur yang akan dibangun seperti disajikan pada Gambar C.1. Lapis permukaan adalah lapis beton aspal atau laston lapis permukaan modifikasi (ACWC-mod).



**Gambar C.1 - Konstruksi perkerasan lentur rencana**

Tebal lapis fondasi dari agregat kelas A direncanakan 15 cm. Agregat kelas A hasil pengujian memiliki berat isi ( $\gamma_d$ ) sebesar 93,742 lb/feet<sup>3</sup> (15 kN/m<sup>3</sup>) dan berat jenis curah/bulk ( $G_s$ ) sebesar 2,5. Lapis fondasi agregat mempunyai distribusi ukuran butir seperti diperlihatkan pada Tabel C.1 dan Gambar C.2.

Ukuran saringan		Persen berat yang lolos
ASTM	(mm)	
1 1/2"	37,5	100
1"	25	82,0
3/8"	9,5	51,0
No.4	4,75	36,0
No.10	2	23,0
No.40	0,425	12,0
No.200	0,075	5,0



**Gambar C.2 - Kurva gradasi lapis fondasi agregat kelas A**

**Kebutuhan desain:**

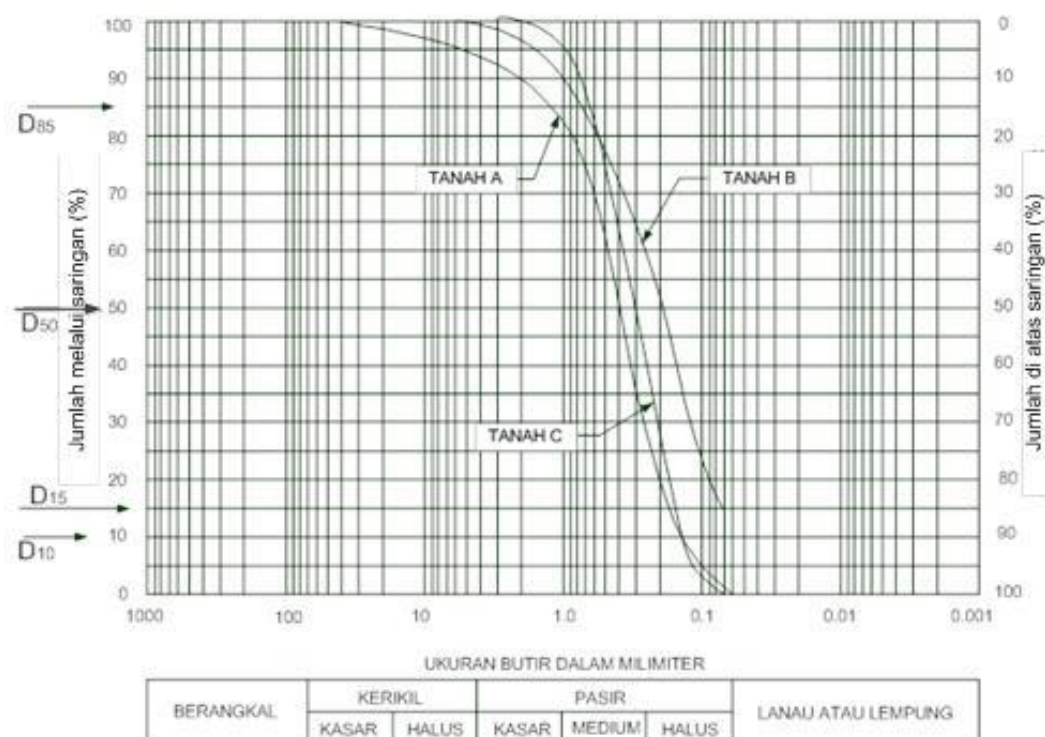
- a. Spesifikasi geotekstil filter untuk drainase bawah permukaan.
- b. Saluran samping:
  - a. Material agregat drainase;
  - b. *Outlet*: diameter *outlet* dan spasi.

**Perhitungan:**

- **Tahap 1: Mengevaluasi sifat kritis proyek dan tingkat kompleksitas proyek**  
Berdasarkan data proyek, proyek tersebut termasuk kondisi kurang kritis dan kurang kompleks.
- **Tahap 2: Mengambil contoh uji dari lokasi**
  - o Tahap 2A : Melakukan analisis ukuran butir  
Setelah dilakukan pengambilan contoh tanah setempat, dari 3 benda uji diperoleh analisis ukuran butir pada Tabel C.2 dan Gambar C.3.

**Tabel C.2 - Hasil pengujian analisis ukuran butir tanah setempat**

Ukuran ayakan		Persen berat yang lolos		
ASTM	(mm)	Contoh A	Contoh B	Contoh C
1 1/2"	37,5	99	100	100
1"	25	97	100	100
3/8"	9,5	95	100	100
No.4	4,75	90	96	100
No.10	2	78	86	93
No.40	0,425	55	74	70
No.200	0,075	10	40	11



**Gambar C.3 - Kurva distribusi ukuran butir tanah setempat**

Menghitung  $C_u = D_{60}/D_{10}$  sesuai dengan Tabel 1, hasil perhitungan diperlihatkan pada Gambar C.3.

**Tabel C.3 - Perhitungan  $C_u$  tanah setempat**

Contoh tanah	$D_{60}$ (dari Gambar C.3)	$D_{10}$ (dari Gambar C.3)	$C_u = D_{60}/D_{10}$
Contoh A	0,48	0,15	3,2
Contoh B	0,25	0,06	4,2
Contoh C	0,36	0,14	2,6

- Tahap 2.B: Melakukan pengujian permeabilitas di lapangan atau di laboratorium  
Penggunaan nonkritis, penyalir akan direncanakan secara konservatif dengan permeabilitas perkiraan.

Nilai  $D_{10}$  terbesar mengendalikan permeabilitas, dengan demikian tanah dari Contoh A dengan  $D_{10} = 0,15$  mm menentukan. Nilai permeabilitas dihitung dengan formula Hazen:

$$k \approx (D_{10})^2 = (0,15)^2 = 2(10)^{-2} \text{ cm/detik} = 2(10)^{-4} \text{ m/detik}$$

- Tahap 2.C: Memilih agregat drainase  
Batu penyalir direncanakan dari agregat bundar.
- **Tahap 3: Menghitung aliran air ke dalam dan melalui sistem drainase**  
Perhitungan aliran air ke dalam sistem drainase lapis fondasi permeabel mengacu pada pasal 5.1 Tahap 3 (A) sebagai berikut:
  - Tahap 3.A: Menghitung geometri untuk lapis fondasi permeabel  
Berhubung jalan memiliki kemiringan ke kedua sisi bahu jalan (*crown*), maka lebar lapis fondasi permeabel ditentukan dengan Persamaan (11):  
 $b = \text{lebar perkerasan} = 4 \text{ lajur} \times 3,6 \text{ m} = 14,4 \text{ m}$   
 $c = \text{lebar lapis fondasi permeabel dari sisi perkerasan} = 3 \text{ m}$   
 $W = b/2 + c = 14,4/2 + 3 = 10,2 \text{ m}$ 

Kemiringan resultan ( $S_R$ ) dihitung dengan Persamaan (13):  
 $S = \text{kemiringan lapis fondasi permeabel arah memanjang jalan diambil } 2 \%$   
 $S_x = \text{kemiringan lapis fondasi permeabel arah melintang jalan diambil } 5\%$   
 $S_R = \sqrt{0,02^2 + 0,05^2} = 0,054 \text{ m/m} = 5,4\%$

Panjang resultan lintasan aliran ( $L_R$ ) melalui lapis fondasi permeabel dihitung dengan Persamaan (14):

$$L_R = W \sqrt{1 + \left(\frac{S}{S_x}\right)^2} = 10,2 \sqrt{1 + \left(\frac{0,02}{0,05}\right)^2} = 10,99 \text{ m}$$
  - Tahap 3.B: Menghitung aliran air yang masuk ke perkerasan (infiltrasi)  
Aliran air ( $q_i$ ) yang masuk ke perkerasan dihitung dengan Metode Infiltrasi Retak dengan Persamaan (15):  
 $I_c = 0,223 \text{ m}^3/\text{hari/m}$   
 $N_c = 2 \text{ lajur} + 1 = 3$   
 $W_c = 7,2 \text{ m}$   
 $W = 10,2 \text{ m}$   
 $C_s = 12 \text{ m}$   
 $k_p$  diasumsikan  $0 \text{ m/hari}$ 

$$q_i = I_c \left[ \frac{N_c}{W} + \frac{W_c}{W \cdot C_s} \right] + k_p = 0,223 \left[ \frac{3}{10,2} + \frac{7,2}{10,2 \times 12} \right] + 0 = 0,079 \text{ m}^3/\text{hari/m}^2$$
  - Tahap 3.C: Menghitung laju pembuangan air ( $q_d$ , *discharge rate*) dari lapis fondasi permeabel
    - Karena sumber air hanyalah infiltrasi, maka *net inflow* hanya bersumber dari infiltrasi sesuai dengan Persamaan (23):  
 $q_n = q_i = 0,079 \text{ m}^3/\text{hari/m}^2$
    - Laju pembuangan air (*discharge rate*) yang dibutuhkan dihitung dengan Persamaan (27):  
 $q_d = q_n \cdot L_R = 0,079 \times 10,99 = 0,87 \text{ m}^3/\text{hari/m}$
  - Tahap 3.D: Menghitung *time-to-drain*  
Menghitung faktor kemiringan atau *slope factor* ( $S_1$ ) dengan menggunakan Persamaan (29):



H = tebal lapis fondasi permeabel = 15 cm = 0,15 m

$$S_1 = \frac{L_R \times S_R}{H} = \frac{10,99 \times 0,054}{0,15} = 3,96$$

Menghitung nilai porositas (n) dengan Persamaan (32):

$$\gamma_d = 93,742 \text{ lb/feet}^3 (15 \text{ kN/m}^3)$$

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

$$G = 2,5$$

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w \cdot G_s} = 1 - \frac{15}{9,8 \times 2,5} = 0,40$$

Menghitung permeabilitas lapis fondasi permeabel dengan Persamaan (31):

Dari data Tabel C.1 dan Gambar C.2 diketahui:

$$P_{200} = 5\%$$

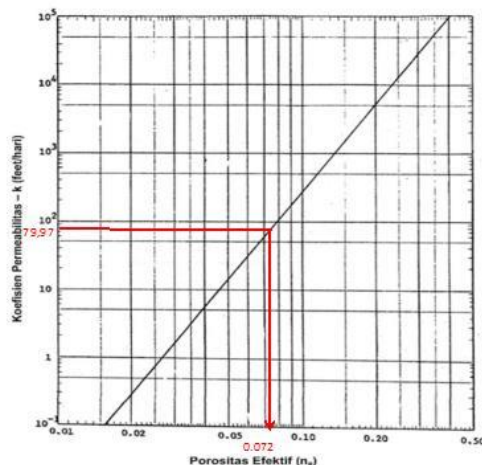
$$D_{10} = 0,26 \text{ mm}$$

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times D_{10}^{1,478} \times n^{6,654}}{P_{200}^{0,597}}$$

$$k = \frac{6,214 \times 10^5 \times 0,26^{1,478} \times 0,40^{6,654}}{5^{0,597}} = 79,97 \text{ ft/hari atau } k = 24,37 \text{ m/hari}$$

Menghitung nilai porositas efektif ( $n_e$ ):

Untuk nilai permeabilitas  $k=79,97$  ft/hari, dari gambar di bawah ini didapat  $n_e = 0,072$ .

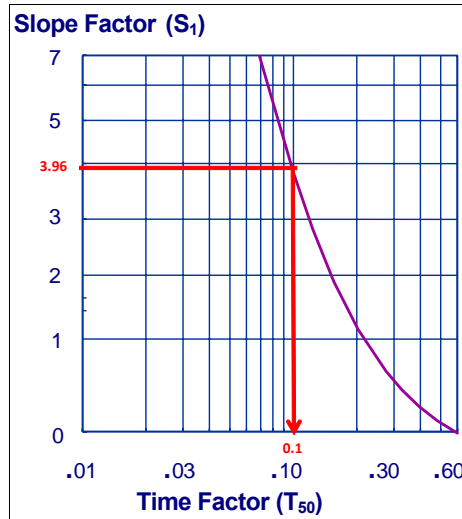


Menghitung  $m_d$  dengan Persamaan (30):

$$m_d = \frac{n_e \cdot L_R^2}{k \cdot H} = \frac{0,072 \times 10,99^2}{0,15 \times 24,37} = 2,38 \text{ hari}$$

Menentukan *time factor*,  $T_{50}$ :

*Time factor*,  $T_{50}$ , diperoleh seperti diperlihatkan pada gambar di bawah. Untuk *slope factor* ( $S_1$ ) = 3,96, diperoleh  $T_{50} = 0,1$ .



Setelah  $T_{50}$  dan  $m_d$  diperoleh, *time-to-drain* dihitung dengan Persamaan (28):  
 $t = T_{50} \times m_d \times 24 = 0,1 \times 2,38 \times 24 = 5,7$  jam

Dari Tabel 8 terlihat bahwa kualitas drainase adalah Baik.

- Tahap 3.E: Menghitung kapasitas aliran rencana dari pipa saluran samping  
 Kapasitas aliran rencana (Q) dari pipa saluran samping dihitung dengan Persamaan (33):

$$K = 1 \text{ (m}^{1/3}\text{/detik)}$$

$$S = 2\%$$

$$D = 0,1 \text{ m}$$

$$n = 0,024$$

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot S^{1/2} \cdot D^{8/3}}{4^{5/3} \cdot n} = \frac{\pi \times 1 \times 0,02^{1/2} \times 0,1^{8/3}}{4^{5/3} \times 0,024} = 0,004 \text{ m}^3\text{/detik} = 345,6 \text{ m}^3\text{/hari}$$

- Tahap 3.F: Menghitung spasi *outlet* dengan Persamaan (34):  
 $L_o = Q/q_d = 345,6/0,87 = 397$  m, diambil  $L_o = 75$  m sesuai rekomendasi FHWA (2006).

**- Tahap 4: Menentukan persyaratan geotekstil**

- Tahap 4.A Kriteria retensi

Nilai AOS dihitung dengan Persamaan (1) untuk aliran *steady state* dan nilai B diperoleh dari Tabel 2 sesuai dengan nilai  $C_u$ . Perhitungan AOS diperlihatkan pada Tabel C.4. Nilai  $C_u$  yang telah dihitung disajikan pada Tabel C.3.

**Tabel C.4 - Perhitungan AOS kriteria retensi**

Contoh Uji	$C_u$	B	AOS (mm) $\leq B \times D_{85}$
A	3,2	$0,5C_u = 0,5 \times 3,2 = 1,6$	$1,6 \times 1,0 = 1,6$
B	4,2	$8 : C_u = 8 : 4,2 = 1,9$	$1,9 \times 0,75 = 1,4$
C	2,6	$0,5C_u = 0,5 \times 2,6 = 1,3$	$1,3 \times 0,55 = 0,72$

Kondisi tanah terburuk untuk retensi (yaitu yang memiliki  $B \times D_{85}$  terkecil) adalah Tanah C. Oleh karena itu untuk kriteria retensi diambil:  
 AOS atau  $O_{95} \leq 0,72$  mm

- Tahap 4.B: Kriteria permeabilitas dan permitivitas

- Kriteria permeabilitas:  
 Karena proyek bersifat kurang kritis dan kurang kompleks, maka sesuai Persamaan (3):  
 $k_{\text{geotekstil}} \geq k_{\text{tanah}}$   
 $k_{\text{geotekstil}} \geq 2(10)^{-4} \text{ m/detik}$   
 Permeabilitas tanah ( $k_{\text{tanah}}$ ) diperoleh pada Tahap 2.B.
- Kriteria permitivitas:  
 Ketiga jenis tanah memiliki lolos saringan  $0,075\text{mm} < 15\%$ , oleh karena itu  $\psi \geq 0,5 \text{ detik}^{-1}$  sesuai dengan Tabel 5.
- o Tahap 4.C: Kriteria penyumbatan  
 Dari data yang diberikan, telah ditentukan bahwa penggunaan ini merupakan penggunaan kurang kritis/kurang kompleks, dan Tanah A dan B memiliki nilai  $C_u$  lebih besar dari 3. Oleh karena itu, untuk tanah A dan B,  $O_{95} \geq 3.D_{15}$  dengan Persamaan (7), seperti diperlihatkan pada Tabel C.5.

**Tabel C.5 - Perhitungan O95 untuk kriteria penyumbatan**

Contoh Uji	$C_u$	$D_{15}$ , mm (dari Gambar C.3)	Kasus	$O_{95}$ (mm)
A	3,2	0,15	Kasus $C_u > 3$ : $O_{95} \geq 3.D_{15}$	$3 \times 0,15 \geq 0,45$
B	4,2	0,075	Kasus $C_u > 3$ : $O_{95} \geq 3.D_{15}$	$3 \times 0,075 \geq 0,22$

Tanah A menentukan partikel berukuran pasir secara tipikal tidak memberikan masalah penyumbatan. Oleh karena itu, Tanah B dapat digunakan sebagai kontrol perencanaan ( $AOS \geq 0,45 \text{ mm}$ ).

Untuk Tanah C, geotekstil dengan nilai AOS maksimum yang ditentukan dari kriteria retensi harus digunakan. Oleh karena itu,  $AOS \approx 0,72 \text{ mm}$ .

Selain itu juga, porositas geotekstil tak-teranyam  $\geq 50\%$  (Persamaan(8)) dan persentase luas terbuka geotekstil teranyam  $\geq 4\%$  (Persamaan(9)).

Untuk fungsi utama sebagai filtrasi, geotekstil harus memiliki:

- $0,45 \text{ mm} \leq AOS \leq 0,72 \text{ mm}$ ;
- $k_{\text{geotekstil}} > 2(10)^{-4} \text{ m/detik}$ ;
- $\psi \geq 0,5 \text{ detik}^{-1}$ ;
- Geotekstil potongan film teranyam tidak diizinkan.

- o Tahap 4.D: Kriteria daya bertahan dan durabilitas  
 Persyaratan daya bertahan dan durabilitas mengacu pada nilai-nilai minimum dari Tabel 7.

**Kesimpulan perencanaan:**

1. Untuk fungsi utama sebagai filtrasi, geotekstil harus memiliki:
  - $0,45 \text{ mm} \leq AOS \leq 0,72 \text{ mm}$ ;
  - $k_{\text{geotekstil}} > 2(10)^{-4} \text{ m/detik}$ ;
  - $\psi \geq 0,5 \text{ detik}^{-1}$ ;
  - Geotekstil potongan film teranyam tidak diizinkan;
  - Daya bertahan dan durabilitas sesuai dengan tabel berikut:

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas 2 <sup>(a, b)</sup>	
			Elongasi < 50% <sup>(c)</sup>	Elongasi ≥ 50% <sup>(c)</sup>
Kuat cekau ( <i>grab</i> )	ASTM D 4632	N	1100	700
Kuat sambungan keliman <sup>(d)</sup>	ASTM D 4632	N	990	630
Kuat sobek	ASTM D 4533	N	400 <sup>(e)</sup>	250
Kuat tusuk	ASTM D 6241	N	2200	1375

(a) Kelas geotekstil yang dibutuhkan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga. Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.

(b) Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (*minimum average roll value, MARV*) dalam arah utama terlemah.

(c) Elongasi ditentukan berdasarkan ASTM D 4632.

(d) Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*).

(e) Khusus untuk geotekstil filamen tunggal tenun (*woven monofilamen geotextile*), Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan adalah 250 N.

2. Drainase perkerasan (lapis fondasi permeabel):
- Batu penyalir adalah agregat bundar;
  - Kapasitas aliran rencana pipa samping adalah 345,6 m<sup>3</sup>/hari;
  - Pipa yang digunakan adalah bergelombang;
  - Kemiringan pipa samping adalah 2%;
  - Diameter pipa adalah 0,1 m;
  - Spasi *outlet* 75 m.

## Lampiran D (informatif)

### Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk sebagai drainase penangkap longitudinal dilembar galian

#### Diketahui:

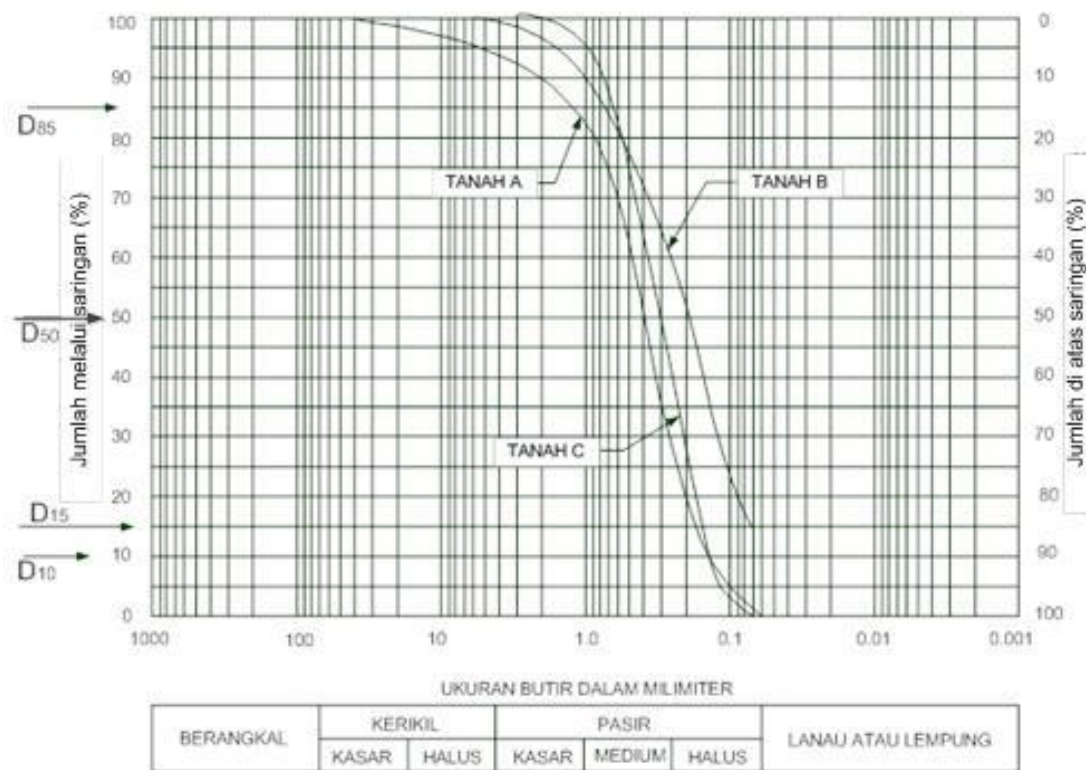
Suatu jalan memotong bukit sehingga diperlukan desain drainase penangkap untuk memotong dan menurunkan muka air tanah. Drainase penangkap tersebut dibutuhkan untuk mencegah aliran air keluar lereng dan menjaga aliran air tidak masuk ke dalam struktur perkerasan.

#### Perhitungan:

- **Tahap 1: Mengevaluasi sifat kritis proyek dan tingkat kompleksitas proyek**  
Berdasarkan data proyek, proyek tersebut termasuk kondisi kurang kritis dan kurang kompleks.
- **Tahap 2: Mengambil contoh uji dari lokasi**
  - o Tahap 2A: Melakukan analisis ukuran butir  
Setelah dilakukan pengambilan contoh tanah setempat, dari 3 benda uji diperoleh analisis ukuran butir pada Tabel D.1 dan Gambar D.1.

**Tabel D.1 - Hasil pengujian analisis ukuran butir tanah setempat**

Ukuran ayakan		Persen berat yang lolos		
ASTM	(mm)	Contoh A	Contoh B	Contoh C
1 ½"	37,5	99	100	100
1"	25	97	100	100
3/8"	9,5	95	100	100
No.4	4,75	90	96	100
No.10	2	78	86	93
No.40	0,425	55	74	70
No.200	0,075	10	40	11



**Gambar D.1 - Kurva distribusi ukuran butir tanah setempat**

Menghitung  $C_u = D_{60}/D_{10}$  sesuai dengan Tabel 2, hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel D.2.

**Tabel D.2 - Perhitungan  $C_u$  tanah setempat**

Contoh tanah	$D_{60}$ (dari Gambar D.1)	$D_{10}$ (dari Gambar D.1)	$C_u = D_{60}/D_{10}$
Contoh A	0,48	0,15	3,2
Contoh B	0,25	0,06	4,2
Contoh C	0,36	0,14	2,6

- Tahap 2.B: Melakukan pengujian permeabilitas di lapangan atau di laboratorium. Penggunaan nonkritis, penyalir akan direncanakan secara konservatif dengan permeabilitas perkiraan.

Nilai  $D_{10}$  terbesar mengendalikan permeabilitas, dengan demikian tanah dari Contoh A dengan  $D_{10} = 0,15$  mm. Menentukan nilai permeabilitas dihitung dengan formula Hazen:

$$k \approx (D_{10})^2 = (0,15)^2 = 2(10)^{-2} \text{ cm/detik} = 2(10)^{-4} \text{ m/detik} = 17,3 \text{ m/hari}$$

- Tahap 2.C: Memilih agregat drainase. Batu penyalir direncanakan dari agregat bundar.

**- Tahap 3: Menghitung aliran air ke dalam dan melalui sistem drainase**

Perhitungan aliran air ke dalam sistem drainase mengacu pada pasal 5.1. Tahap 3 (B) sebagai berikut:

- Tahap 3.A: Menentukan muka air tanah  
Dari hasil penyelidikan lapangan diperoleh:
  - Profil muka air tanah diperlihatkan pada Gambar D.2.
  - Tinggi muka air tanah dari lapisan kedap (H) sebesar 10 m.
  - Lapisan tanah kedap mempunyai kemiringan 1:0,15 (sehingga  $S=0,15$ ).
- Tahap 3.B: Menentukan dimensi dan posisi drainase penangkap dengan cara coba-coba  
Dimensi drainase penangkap dicoba lebar 0,5 m dan tinggi 2,0 m. Dengan dimensi tersebut, untuk drainase penangkap nomor 1, dari geometri pada Gambar D.2 diperoleh  $H_{01} = 1,8$  m.

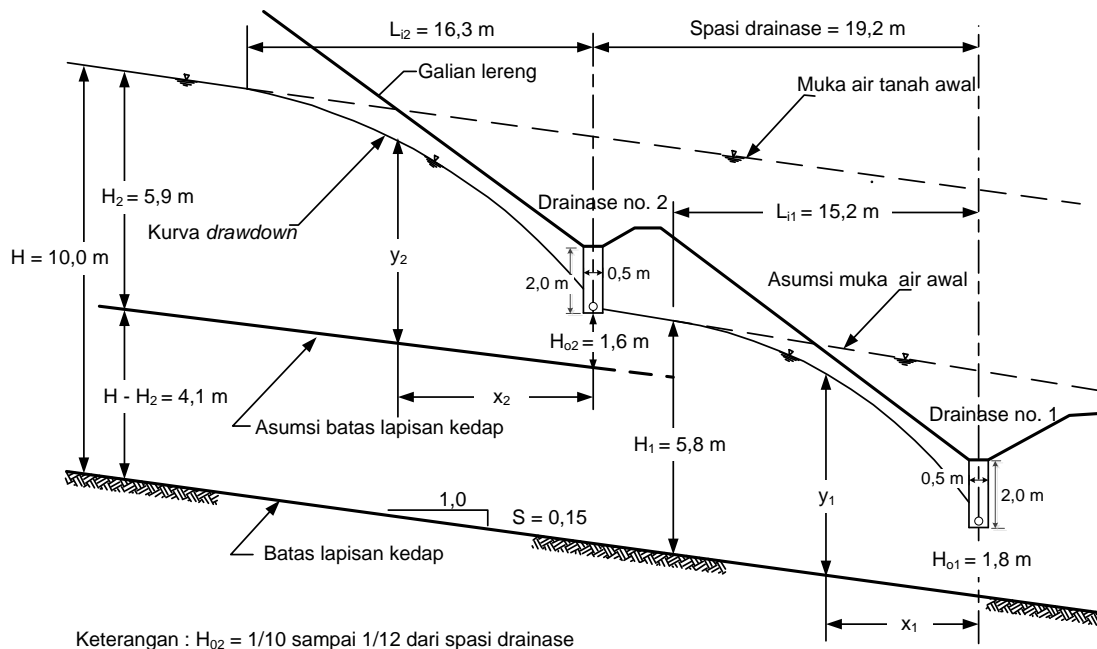
Dicoba dua buah drainase penangkap dengan spasi antar drainase sebesar 19,2 m seperti diperlihatkan pada Gambar D.2.

Dari geometri pada Gambar D.2, ditarik garis yang sejajar dengan muka air tanah awal melewati bagian bawah drainase nomor 2 sehingga diperoleh:

- $H_1 = 5,8$  m
- Dengan Persamaan (37), diperoleh  $L_{11} = 3,8(H_1 - H_{01}) = 3,8(5,8 - 1,8) = 15,2$  m.

Dengan Persamaan (39) didapat:  $H_{02} = 1/12 * 19,2 = 1,6$  m. Setelah  $H_{02}$  didapat, ditarik garis "asumsi batas lapisan kedap" yang sejajar dengan batas lapisan tanah kedap sejarak  $H_{02} = 1,6$  m dari bawah drainase nomor 2, sehingga diperoleh:

- $H_2 = 5,9$  m
- Dengan Persamaan (38), diperoleh  $L_{12} = 3,8(H_2 - H_{02}) = 3,8(5,9 - 1,6) = 16,3$  m.



**Gambar D.2 - Potongan melintang lereng dan rencana drainase penangkap**

- Tahap 3.C: Menentukan debit aliran yang masuk ke setiap drainase penangkap longitudinal

Untuk menentukan debit aliran yang masuk ke drainase penangkap nomor 1 dan nomor 2 digunakan grafik pada Gambar 17.

Untuk drainase nomor 1, sebelum menggunakan grafik tersebut dihitung:

- $S.L_1/H_1 = 0,15 \cdot 15,2/5,8 = 0,4$
- $H_{o1}/H_1 = 1,8/5,8 = 0,3$
- Dengan menggunakan kedua nilai tersebut pada Gambar D.3 di bawah ini diperoleh:

$$H_1'/H_1 = 1,9 \text{ sehingga } H_1' = H_1 \cdot 1,9 = 5,8 \cdot 1,9 = 11,0 \text{ m}$$

$$q_{d1}/k.H_1.S = 1,6 \text{ sehingga } q_{d1} = k.H_1.S \cdot 1,58 = 17,3 \cdot 5,8 \cdot 0,15 \cdot 1,6 = 24,1 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$

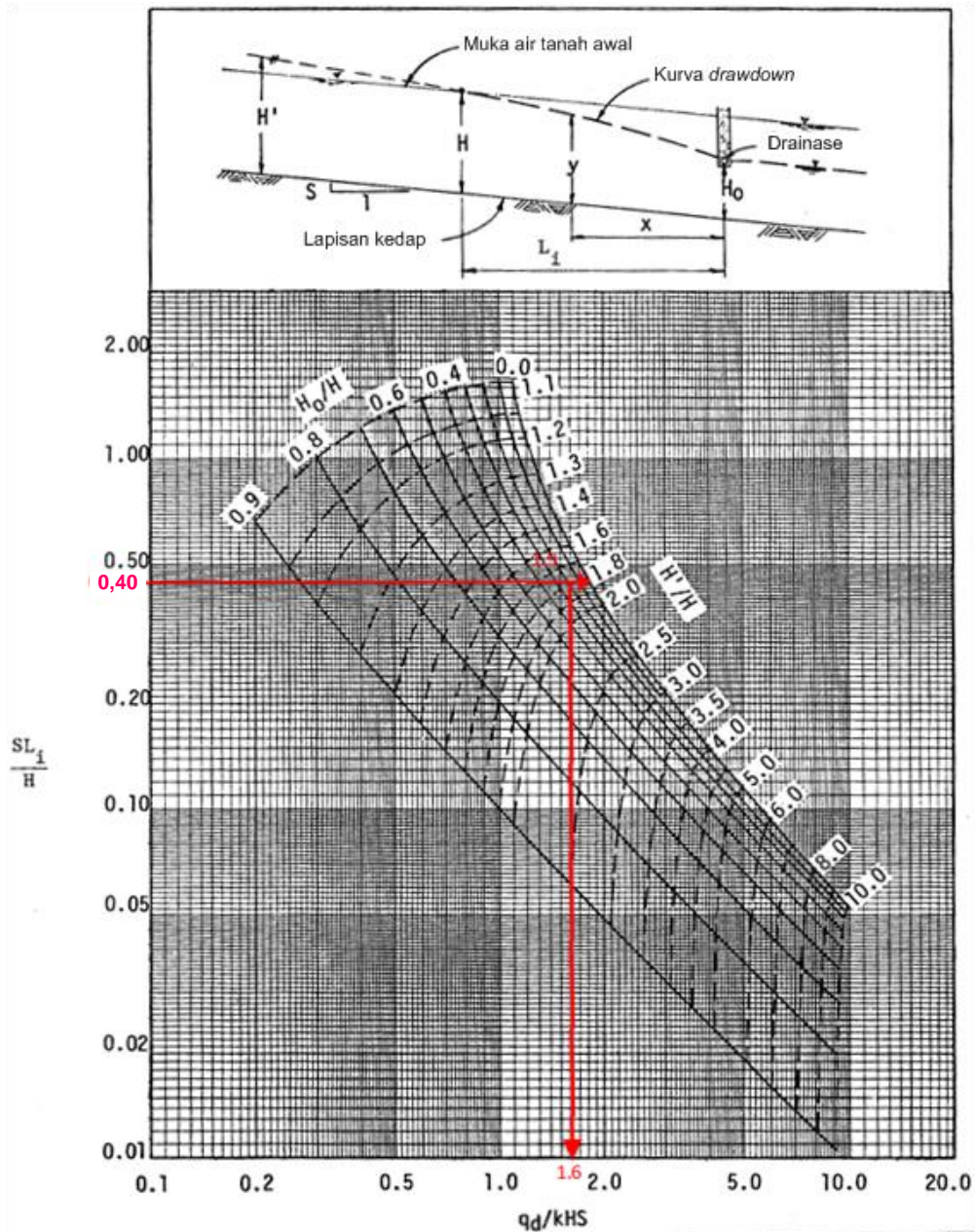
Untuk drainase nomor 2, sebelum menggunakan grafik tersebut dihitung:

- $S.L_2/H_2 = 0,15 \cdot 16,3/5,9 = 0,4$
- $H_{o2}/H_2 = 1,6/5,9 = 0,3$
- Dengan menggunakan kedua nilai tersebut pada Gambar D.3 di bawah ini diperoleh:

$$H_2'/H_2 = 1,85 \text{ sehingga } H_2' = H_2 \cdot 1,85 = 5,9 \cdot 1,85 = 10,9 \text{ m}$$

$$q_{d2}/k.H_2.S = 1,6 \text{ sehingga } q_{d2} = k.H_2.S \cdot 1,57 = 17,3 \cdot 5,9 \cdot 0,15 \cdot 1,6 = 24,5 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$





**Gambar D.3 - Penentuan debit aliran air ke dalam drainase penangkap**

- o Tahap 3.D: Menghitung kapasitas aliran rencana dari pipa drainase pengumpul

Untuk kedua drainase penangkap longitudinal, direncanakan menggunakan pipa bergelombang yang sama, masing-masing dengan diameter 0,1 m.

Kapasitas aliran rencana (Q) dari pipa saluran samping dihitung dengan Persamaan (33):

$$K = 1 \text{ (m}^{1/3}\text{/detik)}$$

$$S = 2\%$$

$$D = 0,1 \text{ m}$$

$$n = 0,024$$

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot S^{1/2} \cdot D^{8/3}}{4^{5/3} \cdot n} = \frac{\pi \times 1 \times 0,02^{1/2} \times 0,1^{8/3}}{4^{5/3} \times 0,024} = 0,004 \text{ m}^3\text{/detik} = 345,6 \text{ m}^3\text{/hari}$$

Terlihat bahwa  $Q > q_{d1}$  dan  $Q > q_{d2}$  sehingga kapasitas pipa drainase penangkap memenuhi dan dapat digunakan.

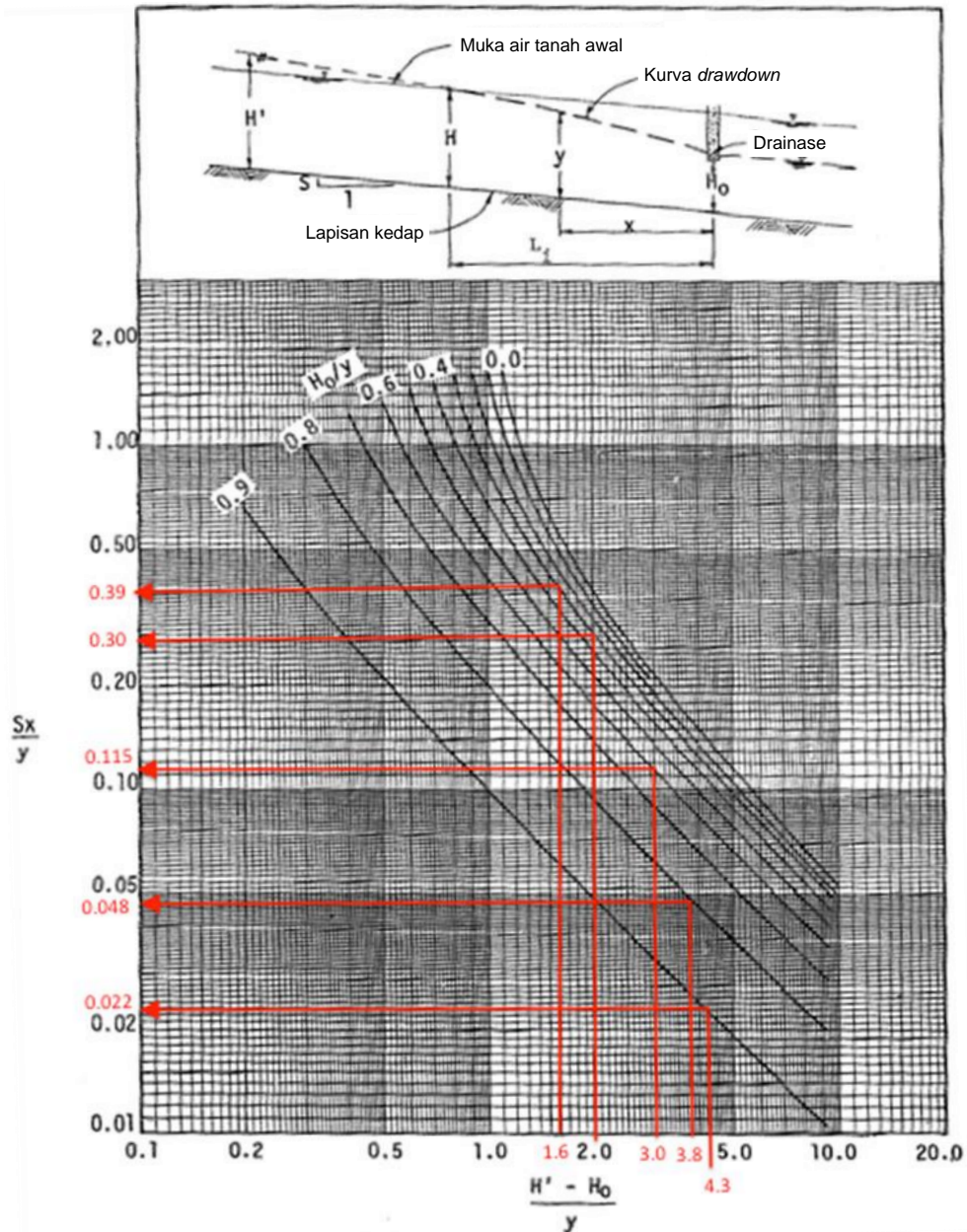
- Tahap 3.E: Memeriksa kurva *drawdown*

Dengan dimensi dan posisi drainase penangkap nomor 1 dan nomor 2 perlu diperiksa agar aliran air tidak memotong lereng dengan menggambarkan kurva *drawdown*.

Kurva *drawdown* dibuat dengan menggunakan grafik pada Gambar 18. Untuk kurva *drawdown* dari drainase nomor 1, dipilih beberapa nilai  $y_1$  kemudian dari Gambar 18 diperoleh nilai  $x_1$  (lihat Tabel D.3 dan Gambar D.4 di bawah ini). Kurva *drawdown* untuk drainase penangkap nomor 2 dibuat dengan cara yang sama dan tidak diperlihatkan pada Contoh ini.

**Tabel D.3 - Penentuan koordinat kurva *drawdown* drainase penangkap nomor 1**

$y_1$ (m)	$H_{o1}/y_1$	$(H'_1 - H_{o1})/y_1$	$S \cdot x_1/y_1$	$x_1$ (m), dari Gambar 18, lihat Gambar D.4
5,8	0,3	1,6	0,39	14,9
4,6	0,4	2,0	0,30	9,1
3,0	0,6	3,0	0,115	2,3
2,4	0,8	3,8	0,05	0,8
2,1	0,9	4,3	0,022	0,3



**Gambar D.4 - Penentuan koordinat kurva *drawdown* drainase penangkap nomor 1**

Setelah koordinat  $x_1$ ,  $y_1$  dan  $x_2$ ,  $y_2$ , diperoleh, kedua kurva *drawdown* untuk drainase penangkap nomor 1 dan nomor 2 diplot seperti diperlihatkan pada Gambar D.5.

Sebagai perbandingan, dalam contoh ini kurva *drawdown* tersebut dibandingkan dengan *flownet* (lihat garis putus-putus pada Gambar D.5.). Disimpulkan bahwa dimensi dan posisi drainase penangkap sudah tepat karena kurva *drawdown* tidak memotong lereng dan jauh di bawah perkerasan.

Sebagai perbandingan dalam contoh ini, debit aliran air yang masuk ke dalam drainase penangkap dapat dibandingkan juga dengan metode *flownet* menggunakan Persamaan (35). Dari pat diketahui:

- Drainase penangkap nomor 1:
  - $\Delta H_1 = 6,9\text{m}$
  - $N_f = \text{jumlah saluran aliran air (flow channel)} = 3$
  - $N_d = \text{jumlah penurunan potensial (potential drop)} = 15$

$$q_{d1} = k \cdot \Delta H_1 \cdot \frac{N_f}{N_d} = 17,3 * 6,9 * \frac{3}{15} = 23,7 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$

- Drainase penangkap nomor 1:

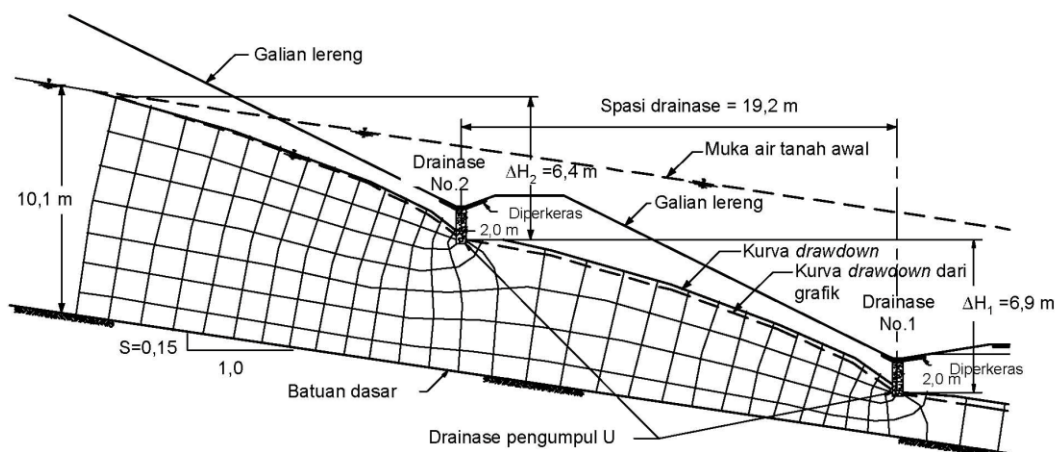
$$\Delta H_2 = 6,4 \text{ m}$$

$N_f$  = jumlah saluran aliran air (*flow channel*) = 3

$N_d$  = jumlah penurunan potensial (*potential drop*) = 14

$$q_{d2} = k \cdot \Delta H_2 \cdot \frac{N_f}{N_d} = 17,3 * 6,4 * \frac{3}{14} = 23,7 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$

Terlihat bahwa debit aliran air yang masuk ke drainase nomor 1 ( $q_{d1}$ ) dan drainase nomor 2 ( $q_{d2}$ ) yang dihitung dengan grafik dan dengan *flow net* memberikan hasil yang tidak terlalu jauh berbeda.



**Gambar D.5 - Kurva *drawdown* untuk drainase penangkap multi**

Material tanah setempat pada Contoh Lampiran D ini sama dengan Contoh Lampiran C, maka penentuan sifat-sifat geotekstil filter (Tahap 4) sama dengan Lampiran C.

#### Kesimpulan perencanaan:

1. Untuk fungsi utama sebagai filtrasi, geotekstil harus memiliki:
  - $0,45 \text{ mm} \leq \text{AOS} \leq 0,72 \text{ mm}$ ;
  - $k_{\text{geotekstil}} > 2(10)^{-4} \text{ m/detik}$ ;
  - $\psi \geq 0,5 \text{ detik}^{-1}$ ;
  - Geotekstil potongan film teranyam tidak diizinkan;
  - Daya bertahan dan durabilitas sesuai dengan tabel berikut:

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas 2 <sup>(a, b)</sup>
-------	------------	--------	---------------------------

			Elongasi < 50% <sup>(c)</sup>	Elongasi ≥ 50% <sup>(c)</sup>
Kuat cekau ( <i>grab</i> )	ASTM D 4632	N	1100	700
Kuat sambungan keliman <sup>(d)</sup>	ASTM D 4632	N	990	630
Kuat sobek	ASTM D 4533	N	400 <sup>(e)</sup>	250
Kuat tusuk	ASTM D 6241	N	2200	1375
<p>(a) Kelas geotekstil yang dibutuhkan merujuk pada Spesifikasi Khusus Interim, Bina Marga. Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.</p> <p>(b) Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (<i>minimum average roll value, MARV</i>) dalam arah utama terlemah.</p> <p>(c) Elongasi ditentukan berdasarkan ASTM D 4632.</p> <p>(d) Jika dibutuhkan sambungan keliman (<i>sewn seam</i>).</p> <p>(e) Khusus untuk geotekstil filamen tunggal tenun (<i>woven monofilamen geotextile</i>), Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan adalah 250 N.</p>				

2. Drainase penangkap longitudinal dilereng galian

- Dimensi saluran 1 dan 2 adalah tinggi 2,0 m dan lebar 0,5 m;
- Kapasitas aliran rencana pipa samping adalah 345,6 m<sup>3</sup>/hari;
- Untuk kedua drainase penangkap longitudinal akan menggunakan pipa bergelombang yang sama, masing-masing dengan diameter 0,1 m;
- Kemiringan pipa samping adalah 2%;
- Perbedaan tinggi dasar saluran 1 dan 2 adalah 6,9 m;
- Spasi drainase penangkap longitudinal 1 dan 2 adalah 19,2 m.

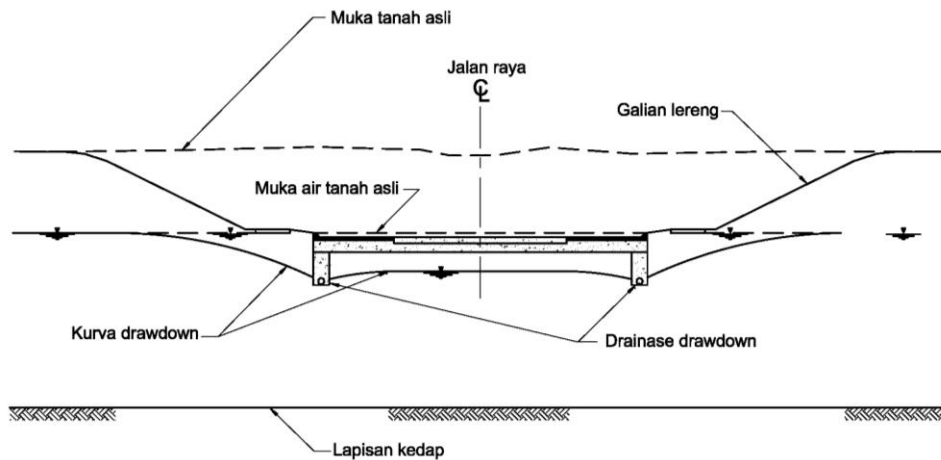
## Lampiran E

(informatif)

### Contoh perhitungan perencanaan filter geotekstil untuk drainase *drawdown* simetris pada daerah galian ganda (*double cutting*)

#### Diketahui:

Direncanakan untuk membangun jalan dua jalur di daerah galian ganda (*double cutting*). Untuk itu diperlukan adanya suatu sistem drainase bawah permukaan untuk menurunkan muka air tanah di bawah lapis fondasi jalan seperti diperlihatkan pada Gambar E.1. Untuk mempermudah pelaksanaan, galian drainase dibatasi maksimum 1,5 m.



Gambar E.1 - Rencana jalan di daerah galian

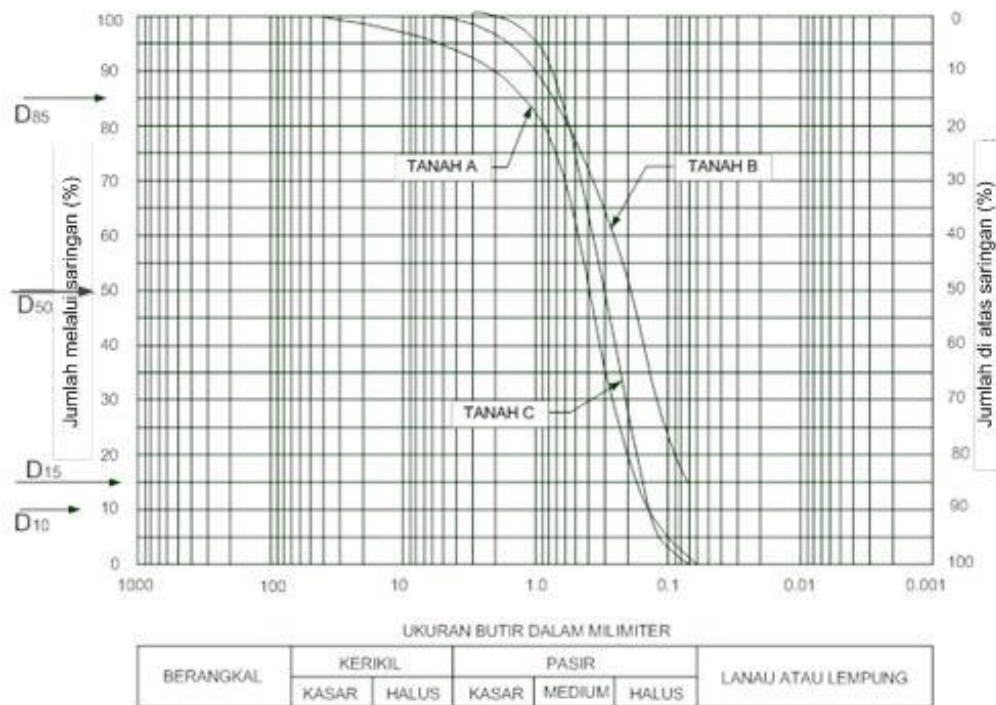
#### Perhitungan:

- **Tahap 1: Mengevaluasi sifat kritis proyek dan tingkat kompleksitas proyek**  
Berdasarkan data proyek, proyek tersebut termasuk kondisi kurang kritis dan kurang kompleks.
- **Tahap 2: Mengambil contoh uji dari lokasi**
  - o Tahap 2A: Melakukan analisis ukuran butir  
Setelah dilakukan pengambilan contoh tanah setempat, dari 3 benda uji diperoleh analisis ukuran butir pada Tabel E.1 dan Gambar E.2.

Tabel E.1 - Hasil pengujian analisis ukuran butir tanah setempat

Ukuran ayakan		Persen berat yang lolos		
ASTM	(mm)	Contoh A	Contoh B	Contoh C
1 1/2"	37,5	99	100	100
1"	25	97	100	100
3/8"	9,5	95	100	100
No.4	4,75	90	96	100
No.10	2	78	86	93
No.40	0,425	55	74	70
No.200	0,075	10	40	11





**Gambar E.2 - Kurva distribusi ukuran butir tanah setempat**

Menghitung  $C_u = D_{60}/D_{10}$  sesuai dengan Tabel 2, hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel E.2.

**Tabel E.2 - Perhitungan  $C_u$  tanah setempat**

Contoh tanah	$D_{60}$ (dari Gambar E.2)	$D_{10}$ (dari Gambar E.2)	$C_u = D_{60}/D_{10}$
Contoh A	0,48	0,15	3,2
Contoh B	0,25	0,06	4,2
Contoh C	0,36	0,14	2,6

- Tahap 2.B: Melakukan pengujian permeabilitas di lapangan atau di laboratorium. Penggunaan nonkritis, penyalir akan direncanakan secara konservatif dengan permeabilitas perkiraan.

Nilai  $D_{10}$  terbesar mengendalikan permeabilitas, dengan demikian tanah dari Contoh A dengan  $D_{10} = 0,15$  mm menentukan. Nilai permeabilitas dihitung dengan formula Hazen:

$$k \approx (D_{10})^2 = (0,15)^2 = 2(10)^{-2} \text{ cm/detik} = 2(10)^{-4} \text{ m/detik} = 17,3 \text{ m/hari}$$

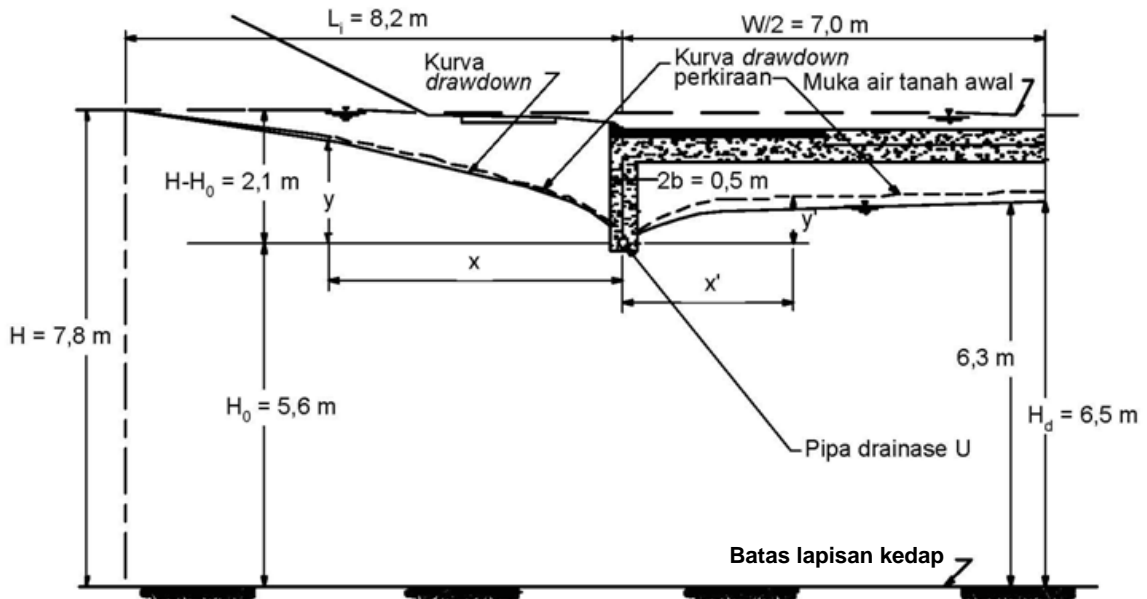
- Tahap 2.C: Memilih agregat drainase. Batu penyalir direncanakan dari agregat bundar.

**- Tahap 3: Menghitung aliran air ke dalam dan melalui sistem drainase**

- Tahap 3.A: Menentukan muka air tanah. Dari hasil peyelidikan lapangan diperoleh:
  - Profil muka air tanah diperlihatkan pada Gambar E.3.
  - Tinggi muka air tanah dari lapisan kedap (H) sebesar 7,8 m.

- Tahap 3.B: Menentukan dimensi dan posisi drainase penangkap  
Dimensi drainase penangkap dicoba lebar 0,5 m dan tinggi 1,5 m. Dengan dimensi tersebut, untuk drainase penangkap nomor 1, dari geometri pada Gambar E.3. diperoleh:
  - Lebar drainase =  $2b = 0,5$  m, sehingga  $b = 0,25$  m.
  - Lebar jalan dari *centerline* jalan ke as drainase:  $W = 14$  m.
  - $H_0 = 5,6$  m.

Dengan Persamaan (36), diperoleh  $L_i = 3,8(H - H_0) = 3,8(7,8 - 5,6) = 8,2$  m.



**Gambar E.3 - Penampang melintang lereng dan rencana drainase**

- Tahap 3.C: Menentukan debit aliran yang masuk ke drainase penangkap longitudinal

Merujuk pada Gambar 21, drainase simetris dimodelkan menjadi dua fragmen. Untuk menentukan debit aliran air yang masuk ke drainase pada Fragmen nomor 1 ( $q_1$ ) digunakan Persamaan (40) sebagai berikut:

$$q_1 = \frac{k(H - H_0)^2}{2(L_i - b)} = \frac{17,3(7,8 - 5,6)^2}{2(8,2 - 0,25)} = 5,2 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$

Untuk menentukan debit aliran air yang masuk ke drainase pada Fragmen nomor 2 ( $q_2$ ) digunakan grafik pada Gambar 22. Sebelum menggunakan grafik tersebut dihitung:

- $b/H_0 = 0,25/5,6 = 0,041$
- $L_i/H_0 = 8,2/5,6 = 1,4$
- Dengan menggunakan kedua nilai tersebut pada Gambar E.4 di bawah ini diperoleh:

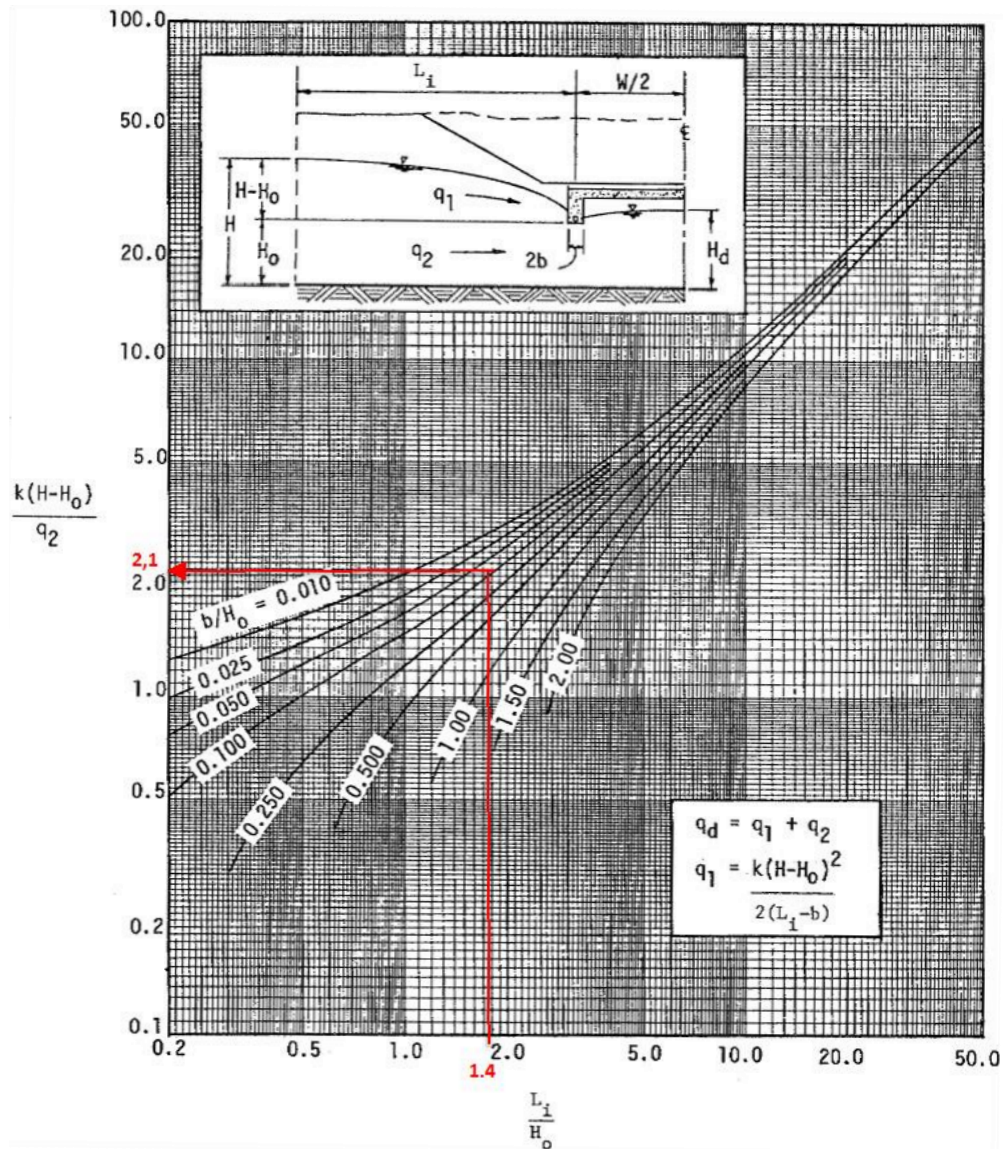
$$\frac{k(H - H_0)}{q_2} = 2,1$$

$$q_2 = \frac{k(H - H_0)}{2,1} = \frac{17,3(7,8 - 5,6)}{2,1} = 18,12 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$



Dengan menggunakan Persamaan (39) diperoleh debit aliran total ( $q_d$ ) sebagai berikut:

$$q_d = q_1 + q_2 = 5,2 + 18,12 = 23,32 \text{ m}^3/\text{hari/m}$$



Gambar E.4 - Penentuan debit aliran air ke dalam drainase simetris Fragmen nomor 2

- Tahap 3.D: Menghitung kapasitas aliran rencana dari pipa drainase pengumpul  
 Pada drainase pengumpul, direncanakan menggunakan pipa bergelombang yang sama, masing-masing dengan diameter 0,1 m.

Kapasitas aliran rencana ( $Q$ ) dari drainase pengumpul dihitung dengan Persamaan (33):

$$K = 1 \text{ (m}^{1/3}/\text{detik)}$$

$$S = 2\%$$

$$D = 0,1 \text{ m}$$

$$n = 0,024$$

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot S^{1/2} \cdot D^{8/3}}{4^{5/3} \cdot n} = \frac{\pi \times 1 \times 0,02^{1/2} \times 0,1^{8/3}}{4^{5/3} \times 0,024} = 0,004 \text{ m}^3/\text{detik} = 345,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Terlihat bahwa  $Q > q_d$  sehingga kapasitas pipa drainase memenuhi dan dapat digunakan.

o Tahap 3.E: Memeriksa kurva *drawdown*

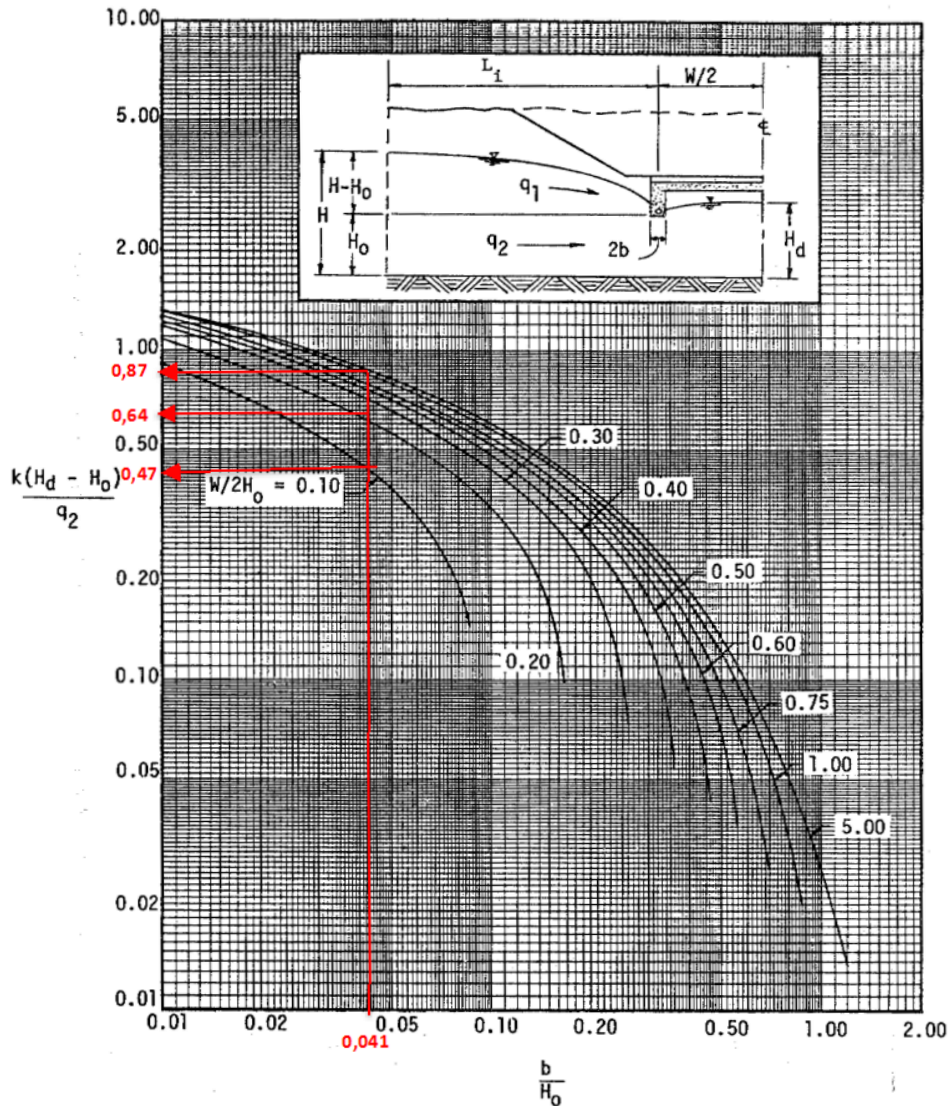
Dengan dimensi dan posisi drainase yang direncanakan, perlu diperiksa agar aliran air tidak masuk ke perkerasan jalan menggambarkan kurva *drawdown*.

- Kurva *drawdown* di bawah drainase simetris  
 Kurva *drawdown* di bawah drainase simetris dibuat dengan menggunakan grafik pada Gambar 23. Sebelum menggunakan grafik tersebut dihitung:  
 $b/H_o = 0,25/5,6 = 0,041$   
 $q_2/k = 18,12/17,3 = 1,05 \text{ m}$

Untuk menggunakan grafik pada Gambar 23, ditentukan berbagai nilai  $x'$  sebagai  $W/2$  dan berbagai nilai  $y'$  sebagai  $(H_d - H_o)$ . Penentuan koordinat kurva *drawdown* ( $x'$  dan  $y'$ ) diperlihatkan pada Tabel E.3 dan Gambar E.5.

**Tabel E.3- Penentuan koordinat kurva *drawdown* di bawah drainase simetris**

$x'=W/2$ (m)	W (m)	$W/2.H_o$	$k.(H_d-H_o)/q_2$	$y'=(H_d-H_o)$ (m)
(1)	(2)=(1)*2	(3)=(2)/2.H <sub>o</sub>	(4)=dari grafik Gambar E.5	(5)=(4)*q <sub>2</sub> /k
0,6	1,2	0,11	0,47	0,49
1,2	2,4	0,21	0,64	0,67
1,8	3,6	0,32	0,73	0,76
2,4	4,8	0,43	0,78	0,82
4,6	9,2	0,82	0,85	0,89
7,0	14,0	1,25	0,87	0,91



Gambar E.5 - Penentuan koordinat kurva *drawdown* di bawah drainase simetris

- Kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1  
Kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1 dibuat dengan menggunakan grafik pada Gambar 24. Sebelum menggunakan grafik tersebut dihitung:

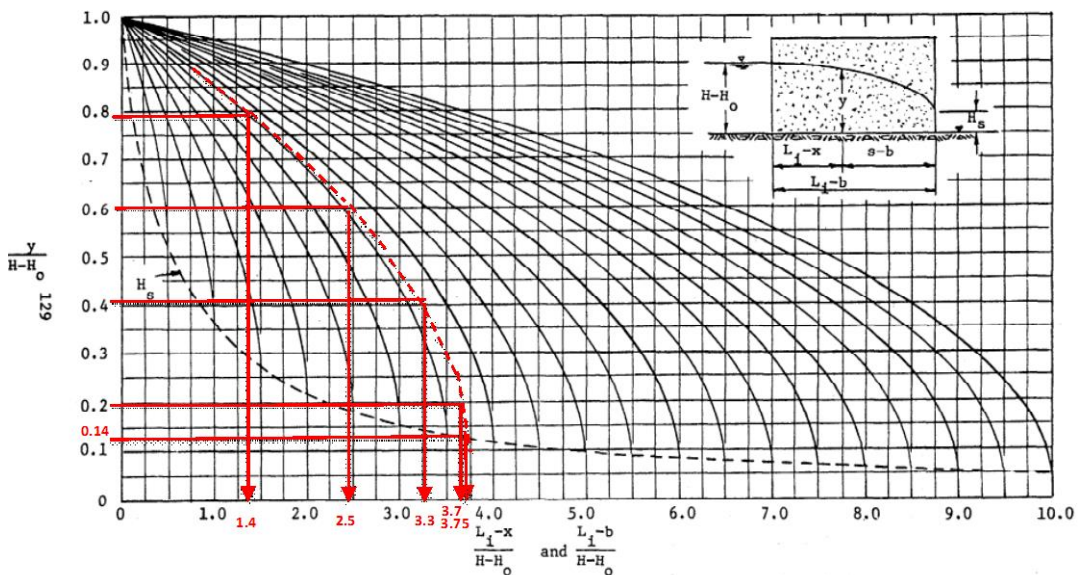
$$\frac{(L_i - b)}{(H - H_o)} = \frac{8,2 - 0,25}{7,8 - 5,6} = 3,61$$

Pada grafik Gambar 24, dibuat garis lengkung dengan nilai  $\frac{(L_i - b)}{(H - H_o)} = 3,61$ , kemudian dari setiap nilai  $y/(H - H_o)$  ditarik garis horizontal hingga memotong garis lengkung tersebut sehingga didapatkan nilai  $\frac{(L_i - x)}{(H - H_o)}$ . Penentuan koordinat kurva *drawdown* (x dan y) diperlihatkan pada Tabel E.4 dan Gambar E.6.



**Tabel E.4 - Penentuan koordinat kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1**

y (m)	y/(H-H <sub>o</sub> )	(L <sub>1</sub> -x)/(H-H <sub>o</sub> )	L <sub>1</sub> -x (m)	x (m)
(1)	(2)=(1)*(H-H <sub>o</sub> )	(3)=dari Gambar E.6	(4)=(3)*(H-H <sub>o</sub> )	(5)=L <sub>1</sub> -(4)
0,3	0,14	3,75	8,0	0,2
0,4	0,18	3,7	7,9	0,3
0,9	0,41	3,3	7,0	1,2
1,3	0,59	2,5	5,3	2,9
1,7	0,77	1,4	3,0	5,2
2,1	0,95	0	0	8,2



**Gambar E.6 - Penentuan koordinat kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1**

Setelah koordinat ( $x'$ ,  $y'$ ) dan ( $x$ ,  $y$ ), diperoleh, digambarkan kurva *drawdown* di bawah drainase simetris dan kurva *drawdown* pada Fragmen nomor 1 seperti diperlihatkan pada Gambar E.3.

Sebagai perbandingan, dalam Contoh ini kurva *drawdown* tersebut dibandingkan dengan *flownet* (lihat garis putus-putus pada Gambar E.3.). Disimpulkan bahwa dimensi dan posisi drainase penangkap sudah tepat karena kurva *drawdown* tidak memotong lereng dan jauh di bawah perkerasan.

Sebagai perbandingan dalam Contoh ini, debit aliran air yang masuk ke dalam drainase penangkap dapat dibandingkan juga dengan metode *flownet* menggunakan Persamaan (35). Dari Gambar E.7. dapat diketahui:

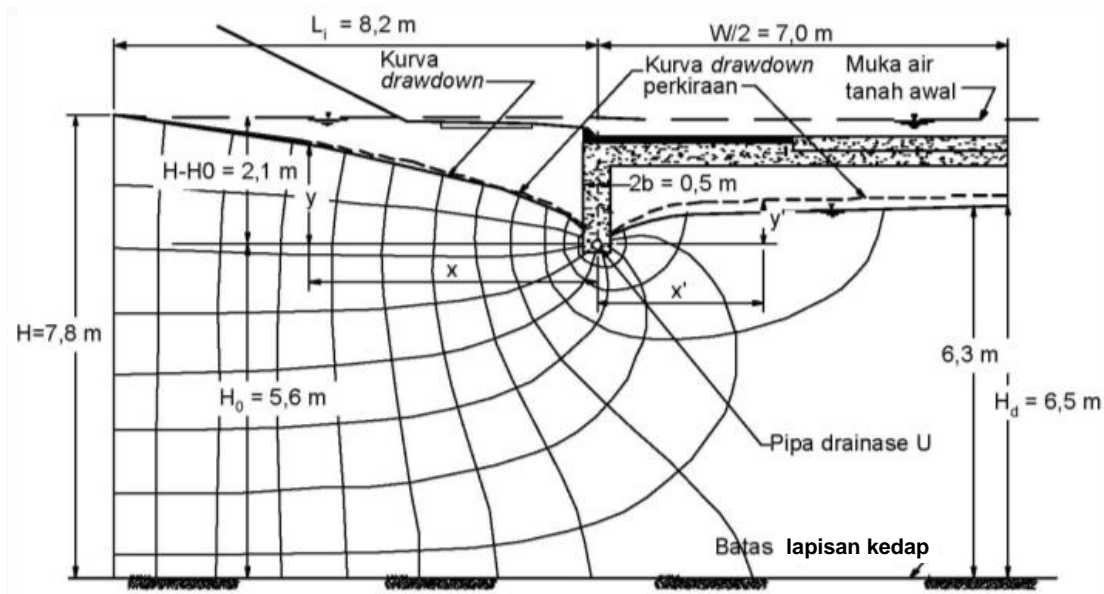
$$\Delta H = 2,2 \text{ m}$$

$$N_f = \text{jumlah saluran aliran air (flow channel)} = 8$$

$$N_d = \text{jumlah penurunan potensial (potential drop)} = 12$$

$$q_{d1} = k \cdot \Delta H_1 \cdot \frac{N_f}{N_d} = 17,3 * 2,2 * \frac{8}{12} = 25,4 \quad \text{m}^3/\text{hari}/\text{m}$$

Terlihat bahwa debit aliran air yang masuk ke drainase ( $q_d$ ) yang dihitung dengan grafik dan dengan *flownet* memberikan hasil yang terlalu jauh berbeda.



**Gambar E.7 - Analisis *flownet* drainase simetris**

Material tanah setempat pada Contoh Lampiran E ini sama dengan Contoh Lampiran C, maka penentuan sifat-sifat geotekstil filter (Tahap 4) sama dengan Lampiran C.

#### Kesimpulan perencanaan:

1. Untuk fungsi utama sebagai filtrasi, geotekstil harus memiliki:
  - $0,45 \text{ mm} \leq \text{AOS} \leq 0,72 \text{ mm}$ ;
  - $k_{\text{geotekstil}} > 2(10)^{-4} \text{ m/detik}$ ;
  - $\psi \geq 0,5 \text{ detik}^{-1}$ ;
  - Geotekstil potongan film teranyam tidak diizinkan;
  - Daya bertahan dan durabilitas sesuai dengan tabel berikut:

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas 2 <sup>(a, b)</sup>	
			Elongasi < 50% <sup>(c)</sup>	Elongasi $\geq 50\%$ <sup>(c)</sup>
Kuat cekau ( <i>grab</i> )	ASTM D 4632	N	1100	700
Kuat sambungan keliman <sup>(d)</sup>	ASTM D 4632	N	990	630
Kuat sobek	ASTM D 4533	N	400 <sup>(e)</sup>	250
Kuat tusuk	ASTM D 6241	N	2200	1375

(a) Kelas geotekstil yang dibutuhkan merujuk pada Spesifikasi Khusus Interim, Bina Marga. Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.

(b) Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (*minimum average roll value, MARV*) dalam arah utama terlemah.

(c) Elongasi ditentukan berdasarkan ASTM D 4632.

(d) Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*).

(e) Khusus untuk geotekstil filamen tunggal tenun (*woven monofilamen geotextile*), Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan adalah 250 N.

2. Drainase *drawdown* simetris pada daerah galian ganda (*double cutting*)
  - Dimensi saluran adalah tinggi 1,5 m dan lebar 0,5 m;
  - Kapasitas aliran rencana pipa samping adalah 345,6 m<sup>3</sup>/hari;
  - Digunakan pipa bergelombang dengan diameter 0,1 m;
  - Kemiringan pipa samping adalah 2%.

## Bibliografi

- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum Bina Marga*. Kementerian Pekerjaan Umum (DPU), Jakarta.
- Hardiatmo, H.C. 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya - Perancangan dan Aplikasi*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Shukla, S.J, dan Yin, Jan Hua. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. Taylor and Francis. ISBN13 978-0-415-39444-4.

**Ditetapkan di Jakarta  
pada tanggal 18 Mei 2015**

**MENTERI PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**



**M. BASUKI HADIMULJONO**