

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan

2.1.1 Pengerian Jalan

Menurut Undang-Undang No 38 Tahun 2004, jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

2.1.2 Klasifikasi Jalan

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 1997, klasifikasi jalan dibagi menurut fungsi jalan, kelas jalan, medan jalan dan wewenang pembinaan jalan.

1. Klasifikasi menurut fungsi jalan terbagi atas:

a. Jalan Arteri

Jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

b. Jalan Kolektor

Jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.

c. Jalan Lokal

Jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

2. Klasifikasi menurut kelas jalan

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton. Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam Tabel 2.1 (Pasal 11, PP. No.43/1993).

Tabel 2.1 Klasifikasi Jalan Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST (Ton)
Arteri	I	>10
	II	8
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	8

Sumber : *Pasal 11, PP. No.43/1993*

3. Klasifikasi menurut medan jalan

Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebagian besar kemiringan medan yang diukur tegak lurus garis kontur. Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat dalam Tabel 2.2. Keseragaman kondisi medan yang diproyeksikan harus mempertimbangkan keseragaman kondisi medan menurut rencana trase jalan dengan mengabaikan perubahan-perubahan pada bagian kecil dari segmen rencana jalan tersebut.

Tabel 2.2 Klasifikasi Jalan Menurut Medan Jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
1	Datar	D	<3
2	Perbukitan	B	3-25
3	Pegunungan	G	>25

Sumber : *Bina Marga 1997*

4. Klasifikasi menurut wewenang pembinaan jalan

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaannya sesuai PP. No.26/1985 adalah jalan Nasional, Jalan Propinsi, Jalan Kabupaten/Kotamadya, Jalan Desa, dan Jalan Khusus.

2.1.3 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai adalah batu pecah atau batu belah atau batu kali ataupun bahan lainnya. Bahan ikat yang dipakai adalah aspal, semen ataupun tanah liat. Fungsi utama perkerasan adalah menyebarkan beban roda kendaraan ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dan perkerasan, sehingga mengurangi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar, yaitu pada tekanan di mana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan. Fungsi perkerasan jalan adalah sebagai berikut:

1. Untuk memberikan struktur yang kokoh dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Untuk memberikan tanahan gelincir atau kekesatan (*skid resistance*) pada permukaan perkerasan.
3. Untuk memberikan permukaan rata/aus bagi pengendara.
4. Untuk mendistribusikan beban roda kendaraan di atas pondasi tanah secara memadai, sehingga dapat melindungi tanah dari tekanan yang besar.
5. Untuk melindungi formasi tanah dari pengaruh perubahan cuaca yang buruk.

2.1.4 Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan menurut Silvia Sukirman (1999) dapat dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh plat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

2.1.5 Kriteria Konstruksi Perkerasan Lentur

Guna dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan, maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi syarat-syarat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

1. Syarat-syarat berlalu lintas

Konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
- b. Permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya.
- c. Permukaan cukup kasar, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga tak mudah selip.
- d. Permukaan tidak mengkilap, tidak silau jika kena sinar matahari.

2. Syarat-Syarat Kekuatan/Struktural

Konstruksi perkerasan jalan dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, haruslah memenuhi syarat-syarat:

- a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban atau muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Untuk dapat memenuhi hal-hal tersebut di atas, perencanaan dan pelaksanaan konstruksi perkerasan lentur jalan haruslah mencakup:

- a. Perencanaan tebal masing-masing lapisan perkerasan

Dengan memperhatikan daya dukung tanah dasar, beban lalu lintas yang akan dipikulnya, keadaan lingkungan, jenis lapisan yang dipilih, dapatlah ditentukan tebal masing-masing lapisan berdasarkan beberapa metode yang ada.

- b. Analisis campuran bahan

Dengan memperhatikan mutu dan jumlah beban setempat yang tersedia, direncanakanlah suatu susunan campuran tertentu sehingga terpenuhi spesifikasi dari jenis lapisan yang dipilih.

c. Pengawasan pelaksanaan pekerjaan

Perencanaan tebal perkerasan yang baik, susunan campuran yang memenuhi syarat, belumlah dapat menjamin dihasilkannya lapisan perkerasan yang memenuhi apa yang diinginkan jika tidak dilakukan pengawasan pelaksanaan yang cermat mulai dari tahap penyiapan lokasi dan material sampai tahap pencampuran atau penghamparan dan akhirnya pada tahap pemadatan dan pemeliharaan.

Disamping itu tidak dapat dilupakan sistem pemeliharaan yang terencana dan tepat selama umur pelayanan, termasuk di dalamnya sistem drainase jalan tersebut.

2.1.6 Faktor-Faktor Kerusakan Jalan

Menurut Silvia Sukirman (1999) kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh:

1. Lalu lintas, yang dapat berupa peningkatan beban, dan repetisi beban.
2. Air, yang dapat berasal dari air hujan, sistem drainase jalan yang tidak baik, naiknya air akibat sifat kapilaritas.
3. Material konstruksi perkerasan. Dalam hal ini dapat disebabkan oleh sistem pengolahan bahan yang tidak baik.
4. Iklim, Indonesia beriklim tropis, dimana suhu udara dan curah hujan umumnya tinggi, yang dapat merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan.
5. Kondisi tanah dasar yang tidak stabil. Kemungkinan disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang kurang baik, atau dapat juga disebabkan oleh sifat tanah dasarnya yang memang jelek.
6. Proses pemadatan lapisan di atas tanah dasar yang kurang baik.

2.1.7 Sistem Penilaian Kondisi Permukaan Menurut *Pavement Condition Index (PCI)*

Pavement condition index (PCI) adalah kualitas dari suatu lapisan permukaan perkerasan yang mengacu pada tingkat kerusakan. PCI ini digunakan untuk mengetahui tingkat kerusakan suatu perkerasan khususnya jalan raya untuk dapat dioperasikan penggunaannya.

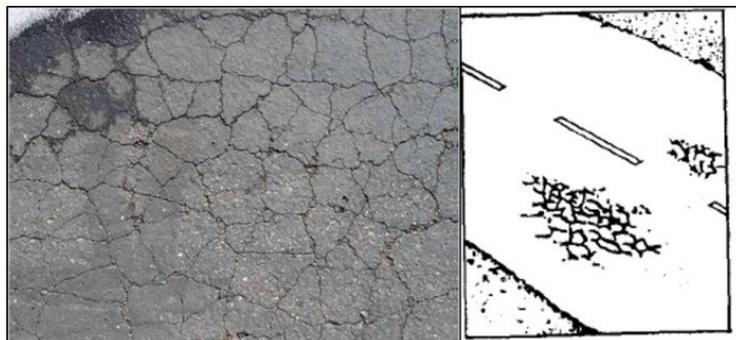
Penelitian terhadap PCI ini awalnya dilakukan pada lapisan perkerasan pelabuhan udara yaitu pada *runway*, *taxiway*, dan *apron*. PCI juga digunakan sebagai acuan dalam usaha pemeliharaan lapisan keras.

2.1.8 Tingkat Kerusakan (*Severity Level*)

Severity level adalah tingkat kerusakan pada tiap-tiap kerusakan yang ada tingkat kerusakan yang digunakan dalam melakukan perhitungan PCI menurut FAA ada 3 (tiga) tingkat yaitu *low severity level*, *medium severity level* dan *high severity level*.

2.1.9 Jenis - Jenis Kerusakan

1. Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracking*)



Gambar 2.1 Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracking*)
Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

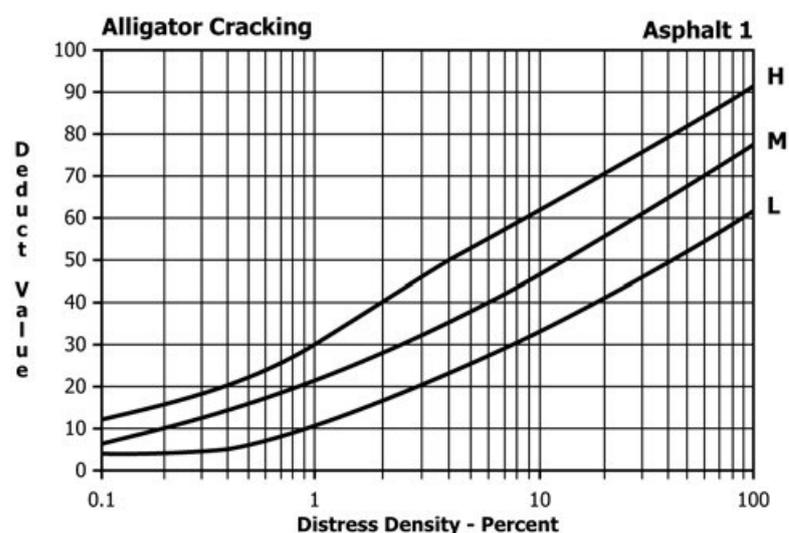
Alligator cracking adalah retak yang saling berhubungan dan berbentuk kulit buaya dengan kotak- kotak kecil yang teratur. Tingkat kerusakan perkerasan untuk

hitungan PCI dan pemeliharaan perbaikannya kerusakan retak kulit buaya (*alligator crack*) ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2.3 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Alligator Cracking*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Retak rambut/halus memanjang sejajar satu dengan yang lain, dengan atau tanpa berhubungan satu sama lain. Retakan tidak mengalami gompal*.	Belum perlu diperbaiki: Penutup permukaan lapisan tambahan (<i>overlay</i>).
M	Jaringan dan pola terus berkembang kedalam pola atau jaringan retakan yang diikuti gumpalan ringan.	Penambalan parsial: Penambalan diseluruh kedalaman, lapisan Tambahan (<i>overlay</i>) rekonstruksi.
H	Jaringan dan pola retak telah berlanjut sehingga pecah – pecahan dapat diketahui dengan mudah dan terjadi gompal dipinggir. Beberapa pecahan mengalami <i>rocking</i> akibat lalu lintas.	Penambalan parsial: Penambalan diseluruh kedalaman; lapisan tambahan (<i>overlay</i>) rekonstruksi.
*retak gompal adalah pecahan material disepanjang sisi retakan.		

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.2 *Deduct Value* Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracking*)

Sumber: *Shahin 1990*

2. Kegemukan (*Bleeding*)



Gambar 2.3 Kegemukan (*Bleeding*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

Bleeding adalah bentuk lapisan tipis pada permukaan jalan yang menimbulkan kilauan seperti kaca. *Bleeding* disebabkan oleh terlalu banyaknya kuantitas dari aspal didalam campuran atau rendahnya kandungan rongga udara. *Bleeding* terjadi pada waktu cuaca panas, aspal pengisi dari campuran memuai naik keluar perkerasan jalan dan tidak dapat kembali lagi setelah cuaca dingin aspal akan tertumpuk dipermukaan.

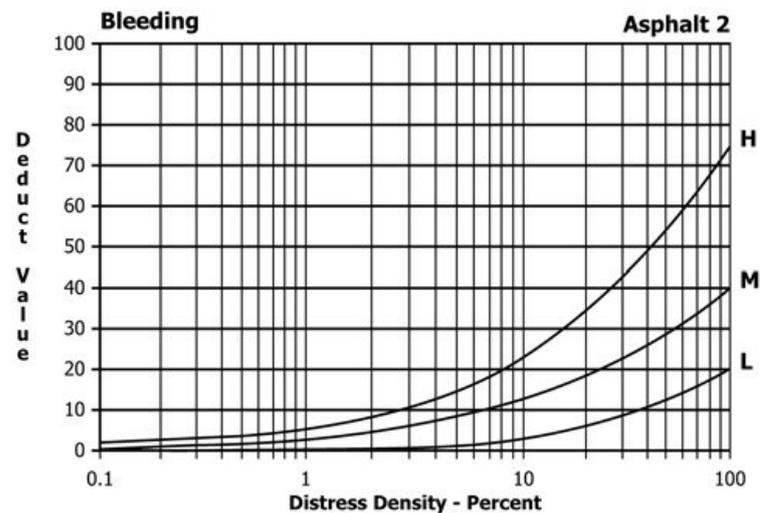
Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan kegemukan (*bleeding*) ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.4 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Bleeding*

Tingkat kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Bleeding terjadi hanya pada derajat rendah, dan kejadiannya nampak terjadi hanya beberapa hari dalam setahun. Aspal tidak melekat pada sepatu atau roda kendaraan.	Belum perlu diperbaiki.
M	Bleeding telah mengakibatkan aspal melekat pada sepatu atau roda kendaraan, dan kejadiannya paling tidak terjadi dalam beberapa minggu dalam setahun.	Tambahkan pasir atau agregat dan padatkan.

Tingkat kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
H	Bleeding telah begitu nyata dan banyak aspal melekat pada sepatu dan roda kendaraan, dan kejadiannya paling tidak lebih dari beberapa minggu dalam setahun.	Tambahkan pasir atau agregat dan padatkan.

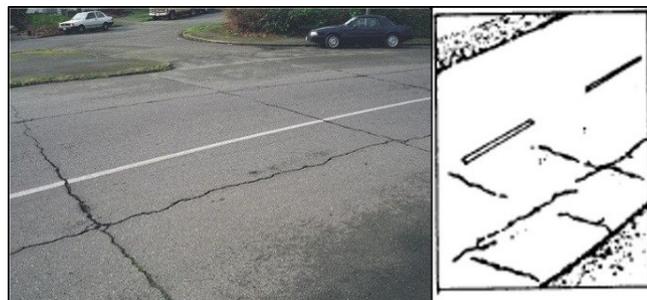
Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.4 Deduct Value Kegemukan (*Bleeding*)

Sumber: *Shahin 1990*

3. Retak Kotak-kotak (*Block cracking*)



Gambar 2.5 Retak Kotak-kotak (*Block Cracking*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

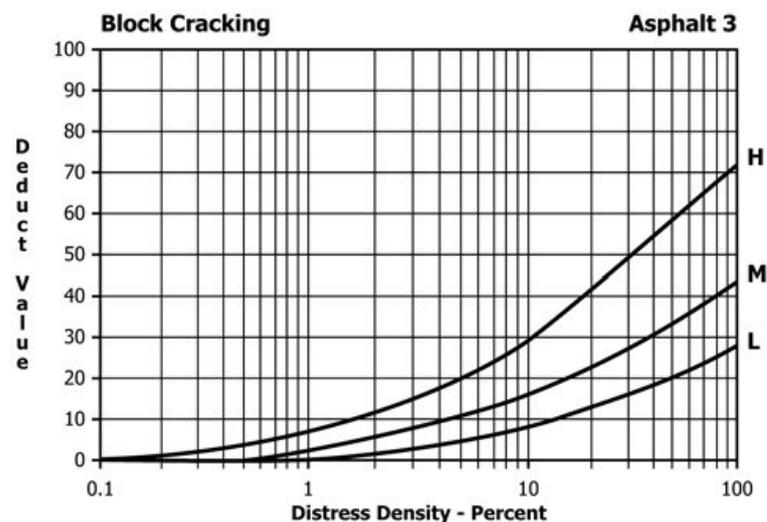
Blocking cracking adalah retak yang disebabkan faktor muai susut aspal beton dan siklus perubahan temperatur. Retak ini saling berhubungan dan membagi permukaan perkerasan menjadi beberapa bagian yang berbentuk empat persegi panjang.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *block cracking* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.5 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Block Cracking*

Tingkat kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Blok didefinisikan oleh retak dengan tingkat kerusakan rendah.	Penutupan retak (<i>seal crack</i>) bila retak melebihi 3 mm (1/8in); penutup permukaan
M	Blok didefinisikan oleh retak dengan tingkat kerusakn tinggi.	Penutupan retak (<i>seal crack</i>) mengembalikan permukaan dikasarkan dengan pemanas dan lapisan tambahan
H	Blok didefinisikan oleh retak dengan tingkat kerusakan tinggi.	Penutupan retak (<i>seal crack</i>) mengembalikan permukaan dikasarkan dengan pemanas dan lapisan tambahan.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.6 *Deduct Value* Retak Kotak-Kotak (*Block Cracking*)

Sumber: *Shahin 1990*

4. *Bump and Sags*

Bumps and sags adalah benjolan kecil, terlokalisasi, perpindahan ke atas dari permukaan perkerasan. Berbeda dengan sorong karena sorong disebabkan oleh perkerasan jalan yang tidak stabil. Benjolan, di sisi lain, bisa disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk:

- a. Tekuk atau penonjolan pelat PCC yang mendasari di *overlay* AC di atas perkerasan PCC.
- b. Embun beku (es, pertumbuhan lensa).
- c. Infiltrasi dan penumpukan material pada retakan yang dikombinasikan dengan pembebanan lalu lintas (kadang disebut "tenting").

Sags adalah perpindahan kecil, tiba-tiba, dan penurunan permukaan perkerasan jalan. Distorsi dan perpindahan yang terjadi pada area permukaan perkerasan yang luas, menyebabkan kemerosotan yang besar dan / atau panjang pada perkerasan jalan disebut "*swelling*".

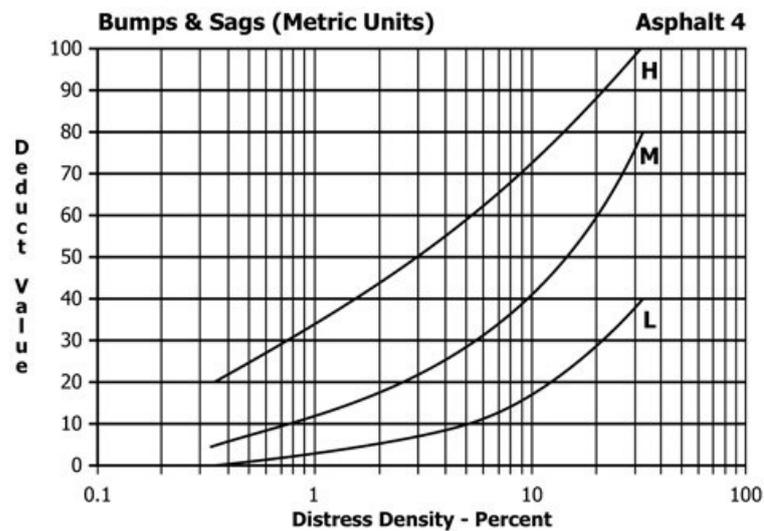
Benjolan atau penurunan diukur dalam kaki linier. Jika tonjolan muncul dalam pola yang tegak lurus dengan arus lalu lintas dan berjarak kurang dari 10 kaki (3 m), bahaya disebut kerutan. Jika benjolan terjadi bersamaan dengan retakan, retakan juga dicatat.

Tabel 2.6 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Bump and sags*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	<i>Bump and sags</i> menyebabkan kualitas kendaraan dengan tingkat keparahan rendah.	Belum ada perbaikan.
M	<i>Bump and sags</i> menyebabkan kualitas pengendalian dengan tingkat keparahan sedang.	<i>Cold mill</i> ; Tambalan dalam yang dangkal, sebagian atau penuh.

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
H	<i>Bump and sags</i> menyebabkan kualitas pengendaraan yang sangat parah.	<i>Cold mill</i> ; Tambalan dalam yang dangkal, sebagian atau penuh; Hamparan.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.7 Deduct Value Retak Bump and Sags

Sumber: *Shahin 1990*

5. Keriting (*Corrugation*)



Gambar 2.8 Keriting (*Corrugation*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

Corrugation merupakan tipe pergeseran plastik yang berupa gelombang melintang pada permukaan perkerasan. *Corrugation* disebabkan oleh terlalu

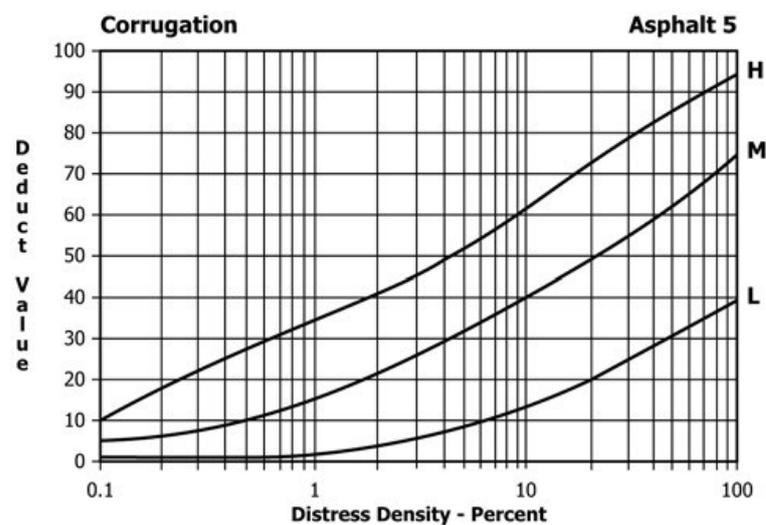
banyaknya butiran halus pada perkerasan. Kadar air yang berlebihan dan lapisan aspal yang kurang stabil.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *corrugation* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.7 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Corrugation*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Corrugation terjadi masih kecil dan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kenyamanan.	Belum perlu diperbaiki.
M	Corrugation sudah mulai terlihat dan sudah mulai terasa serta sudah memberikan pengaruh terhadap tingkat kenyamanan.	Rekonstruksi.
H	Corrugation sudah terlihat dengan jelas dan tingkat kenyamanan berkendara sudah sangat berbahaya.	Rekonstruksi.

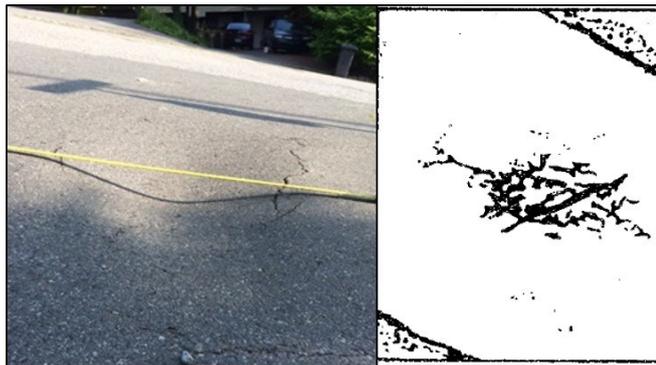
Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.9 *Deduct Value* Keriting (*Corrugation*)

Sumber: *Shahin 1990*

6. Amblas (*Depression*)



Gambar 2.10 Amblas (*Depression*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

Depression adalah daerah setempat dimana terjadi penurunan yang berupa retak-retak atau tidak, *depression* ditandai dengan adanya genangan air pada perkerasan dan bahaya bagi lalu lintas yang melewatinya. Hal ini disebabkan oleh:

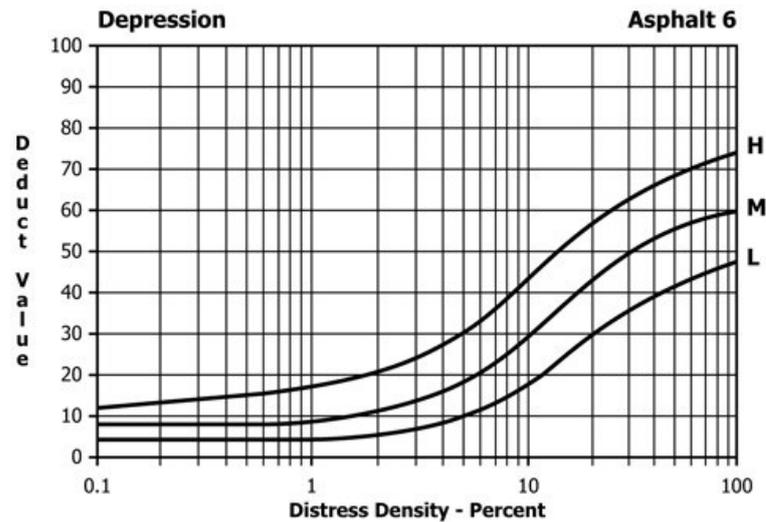
- a. Beban berat pada perkerasan yang melebihi umur rencana,
- b. Penurunan lapisan perkerasan terbawah, dan
- c. Metode perencanaan yang kurang baik.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *depression* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.8 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Depression*

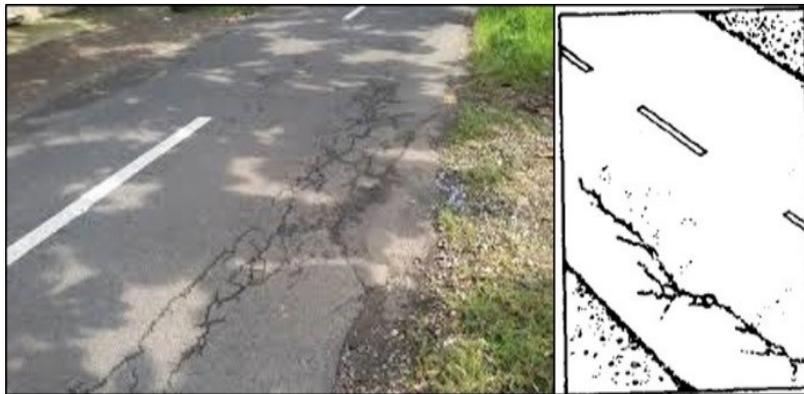
Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Kedalaman maksimal ambblas 13 – 25 mm.	Belum perlu diperbaiki.
M	Kedalaman maksimal ambblas 25,4 – 51 mm.	Penambalan dangkal; penambalan diseluruh kedalaman.
H	Kedalaman maksimal ambblas > 51 mm.	Penambalan dangkal; penambalan diseluruh kedalaman.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.11 *Deduct Value* Amblas (*Depression*)
Sumber: *Shahin 1990*

7. Retak Pinggir (*Edge Cracking*)



Gambar 2.12 Retak Pinggir (*Edge Cracking*)
Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

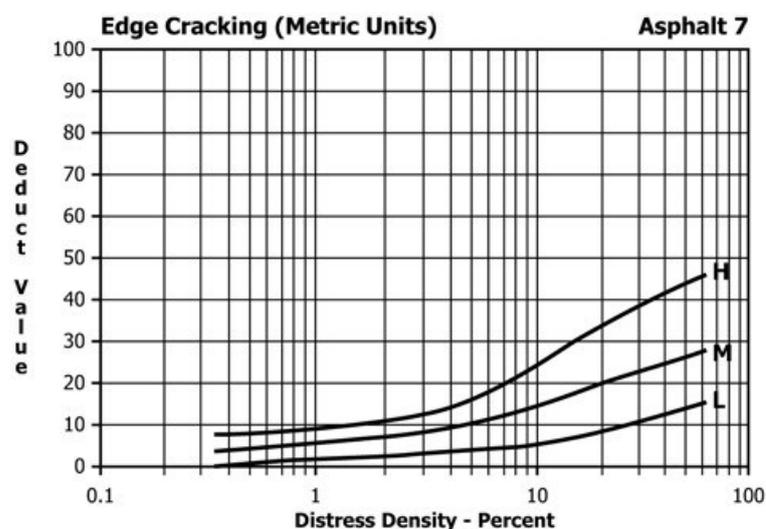
Retakan tepi sejajar dan biasanya dalam jarak 1 hingga 2 kaki (0,3 hingga 0,6 m) dari tepi luar trotoar. *Distress* ini dipercepat oleh beban lalu lintas dan dapat disebabkan oleh dasar yang dilemahkan oleh embun beku atau tanah dasar di dekat tepi perkerasan. Area antara retakan dan tepi perkerasan diklasifikasikan sebagai bergelombang jika pecah (kadang-kadang sejauh potongan-potongannya dihilangkan).

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *edge cracking* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.9 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Edge Cracking*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Retak rendah atau sedang tanpa putus atau <i>raveling</i> .	Belum ada perbaikan; Segel retak lebih dari 1/8 in. (3 mm).
M	Retakan sedang dengan beberapa pecah dan bergelombang.	Segel retak; <i>Patch</i> kedalaman parsial.
H	Perpisahan yang cukup besar atau bergelombang di sepanjang tepi.	<i>Patch</i> kedalaman parsial.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.13 *Deduct Value* Retak Pinggir (*Edge Cracking*)

Sumber: *Shahin 1990*

8. Retak Sambungan (*Joint reflection cracking*)

Joint reflection cracking adalah retak yang disebabkan oleh karena hal – hal berikut:

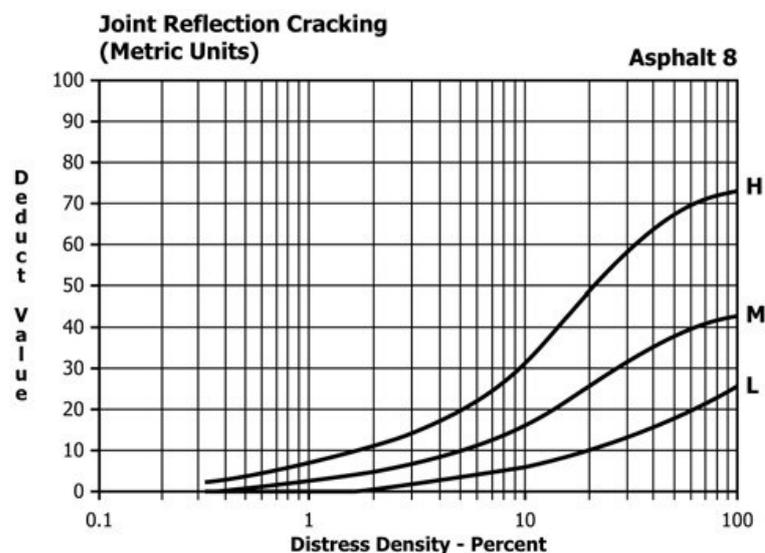
- pergerakan vertikal dan horizontal pada bagian *overlay*,
- kontraksi lapisan perkerasan akibat perubahan temperatur dan kadar air,
- pergerakan tanah dasar dan kehilangan air pada *subgrade*.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *Joint Reflection Cracking* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.10 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Joint Reflection Cracking*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Kondisi retak sedikit mengalami kerontokan partikel atau tidak sama sekali dengan lebar < ¼ inchi.	Belum perlu diperbaiki.
M	Kondisi retak sedikit mengalami kehilangan material (rontok) dengan lebar retak > ¼ inchi.	Rekonstruksi.
H	Terjadi kerontokan dan kehilangan partikel agregat pada jalur retak.	Rekonstruksi.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.14 *Deduct Value* Retak Sambungan (*Joint Reflection Cracking*)

Sumber: *Shahin 1990*

9. Penurunan Bahu Jalan (*Lane / shoulder drop off*)

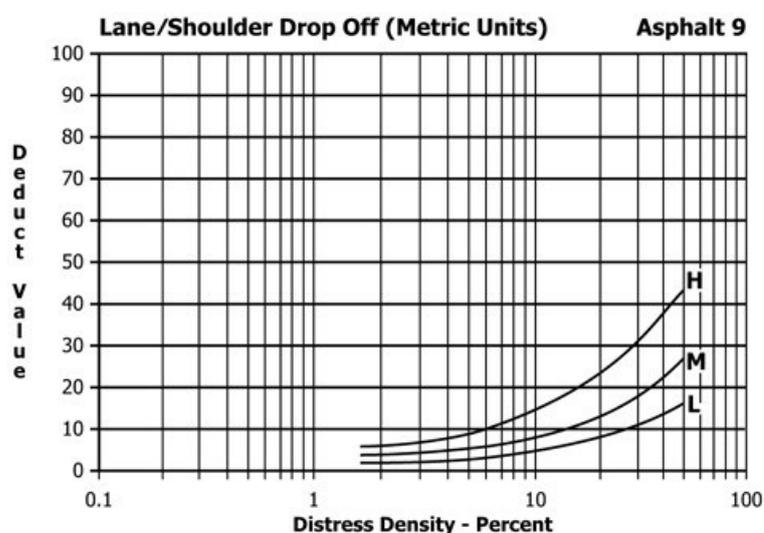
Jalur / bahu turun adalah perbedaan ketinggian antara tepi trotoar dan bahu jalan. *Distress* ini disebabkan oleh erosi bahu, penurunan bahu, atau dengan membangun jalan raya tanpa menyesuaikan ketinggian bahu.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *Lane/Shoulder Drop Off* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.11 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan
Lane/Shoulder Drop Off

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Perbedaan ketinggian antara tepi perkerasan dan bahu adalah 1 sampai 2 inci (25 sampai 51 mm).	<i>Regrade</i> dan isi bahu agar sesuai dengan tinggi jalur.
M	Perbedaan ketinggian lebih dari 2 hingga 4 inci (51 hingga 102 mm).	<i>Regrade</i> dan isi bahu agar sesuai dengan tinggi jalur.
H	Perbedaan ketinggian lebih besar dari 4 inci (102 mm).	<i>Regrade</i> dan isi bahu agar sesuai dengan tinggi jalur.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.15 *Deduct Value* Penurunan / Bahu (*Lane / Shoulder Drop Off*)

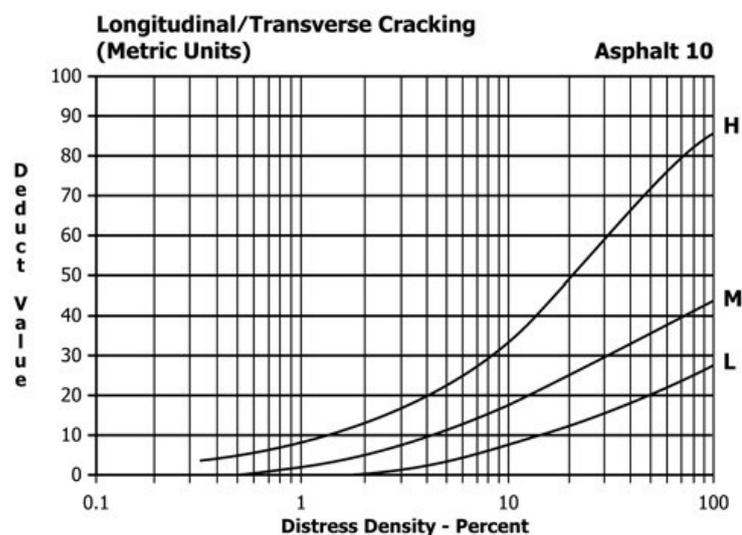
Sumber: *Shahin 1990*

10. Retak Memanjang dan Melintang (*Longitudinal and Transverse Cracking*)

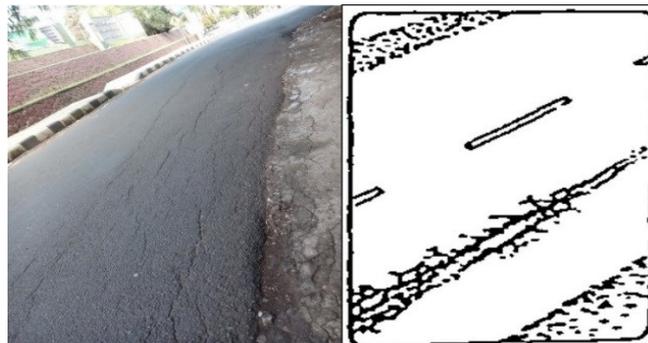
Longitudinal and Transverse Cracking adalah kerusakan yang disebabkan oleh faktor mauisusut pada permukaan perkerasan atau sambungan yang kurang baik. Retak arah horizontal juga disebabkan oleh konstruksi sambungan yang kurang baik. Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *Longitudinal and Transverse Cracking* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.12 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Longitudinal and Transverse Cracking*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Satu dari kondisi yang terjadi : 1. Retak tak terisi, lebar $< 3/9$ in, (10 mm), atau 2. Retak terisi sembarang lebar (pengisi kondisi bagus).	Belum perlu diperbaiki: Pengisi retak (seal crack) $> 1/8$ in.
M	Satu dari kondisi yang terjadi : 1. Retak tak terisi, lebar $< 3/8 - 3$ in (10 -76 mm), 2. Retak tak terisi, sembarang lebar sampai 3 in (76mm) dikelilingi retak acak ringan, 3. Retak terisi, sembarang lebar keliling retak agak acak.	Penutupan retakan
H	Satu dari kondisi yang terjadi : Sembarang retak terisi atau tak berisi dikelilingi oleh retak acak, kerusakan sedang sampai tinggi 1. Retak tak terisi > 3 in (76 mm), 2. Retak sembarang lebar, dengan beberapa inci disekitar retakan.	Penutup retakan penambalan kedalaman parsial.

Sumber: *Shahin 1990*Gambar 2.16 *Deduct Value (Longitudinal and Transverse Cracking)*Sumber: *Shahin 1990*

11. Tambalan (*Patching*)



Gambar 2.17 Tambalan (*Patching*)
Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

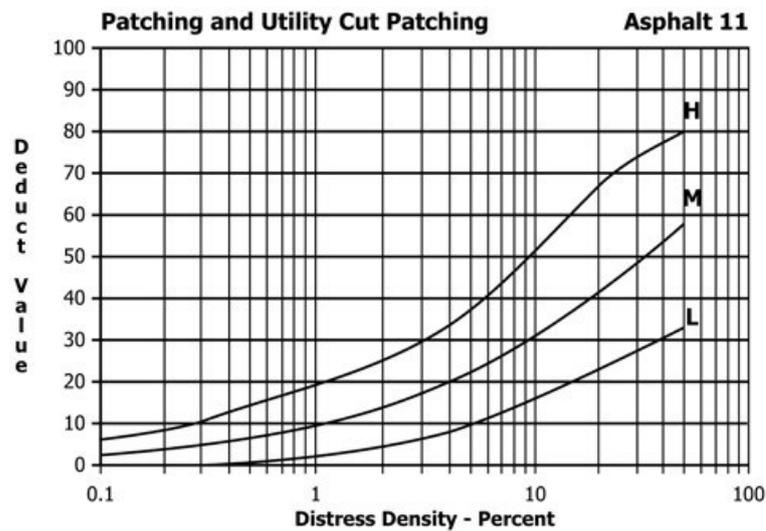
Patching adalah perbaikan pada bagian permukaan perkerasan jalan yang bergelombang dengan cara menambal. Bahan yang dipakai untuk tambalan tersebut adalah bahan yang sama dengan bahan pembentukan perkerasan yang lama. Karena penambalan tersebut bersifat monolit maka saat tambalan tersebut akan lepas.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *Patching* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.13 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Patching*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Kondisi tambalan baik dengan elevasi yang hampir sama dengan lapis perkerasan yang sudah ada (rata).	Belum perlu diperbaiki.
M	Kondisi tambalan agak memburuk dan mempengaruhi kualitas perkerasan yang ada.	Rekonstruksi.
H	Kondisi tambalan sangat buruk dan perlu perbaikan.	Rekonstruksi.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.18 *Deduct Value* Tambalan (*Patching*)

Sumber: *Shahin 1990*

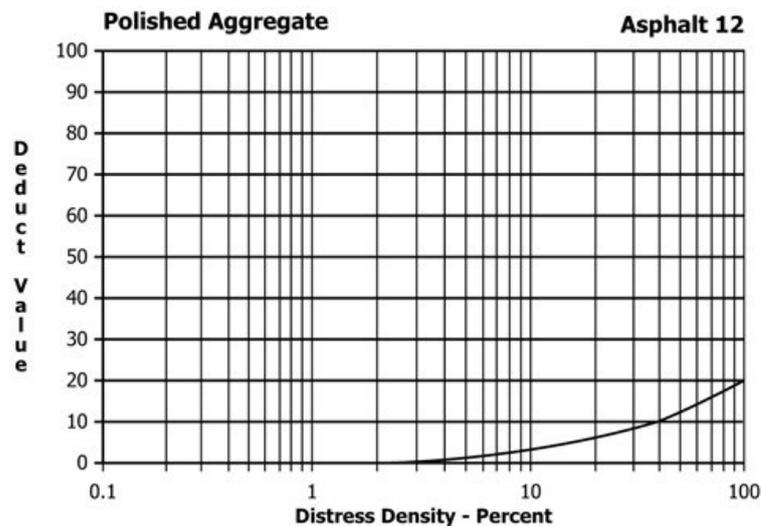
12. Pengausan (*Polished Agregat*)



Gambar 2.19 Pengausan (*Polished Agregat*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

Polished Agregat adalah pengausan yang disebabkan oleh partikel agregat yang kehilangan aspal dan terkikis oleh roda kendaraan secara terus menerus atau disebabkan oleh air. *Polished agregat* tidak dibedakan atas *severity level*.



Gambar 2.20 *Deduct Value* Pengausan (*Polished Agregat*)
 Sumber: *Silvia Sukirman 1990*

13. Lubang (*Potholes*)



Gambar 2.21 Lubang (*Potholes*)
 Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

Lubang kecil - biasanya berdiameter kurang dari 3 kaki (0,9 m) - cekungan berbentuk mangkuk di permukaan perkerasan. Mereka umumnya memiliki tepi yang tajam dan sisi vertikal di dekat bagian atas lubang. Pertumbuhannya dipercepat dengan pengumpulan kelembaban bebas di dalam lubang. Lubang dihasilkan ketika lalu lintas mengikis bagian kecil dari permukaan perkerasan. Perkerasan tersebut kemudian terus hancur karena campuran permukaan yang buruk, titik lemah di dasar atau tanah dasar, atau karena telah mencapai kondisi retak buaya yang sangat parah. Lubang paling sering adalah gangguan yang secara struktural terkait dan tidak boleh disamakan dengan kerikil dan pelapukan. Jika

lubang dibuat oleh retakan aligator yang sangat parah, maka lubang tersebut harus diidentifikasi sebagai lubang, bukan sebagai pelapukan.

Tingkat keparahan lubang dengan diameter kurang dari 30 inci (762 mm) didasarkan pada diameter dan kedalaman lubang. Jika diameter lubang lebih dari 30 inci (76 mm), luasnya harus ditentukan dalam kaki persegi dan dibagi dengan 5 kaki persegi (0,47 m²) untuk menemukan jumlah lubang yang setara. Jika kedalamannya 1 in. (25 mm) atau kurang, lubang dianggap dengan tingkat keparahan sedang. Jika kedalamannya lebih dari 1 in. (25 mm), dianggap sangat parah.

Tabel 2.14 Tingkat Keparahannya Lubang

Kedalaman Lubang Maksimum	Diameter Rata-rata (masuk) (mm)		
	4 sampai 8 In. (102 hingga 203 mm)	8 sampai 18 In. (203 hingga 457 mm)	18 hingga 30 In. (457 hingga 762 mm)
1/2 hingga 1 in. (12,7 hingga 25,4 mm)	L	L	M
> 1 hingga 2 in. (25,4 hingga 50,8 mm)	L	M	H
> 2 In. (50,8 mm)	M	M	H

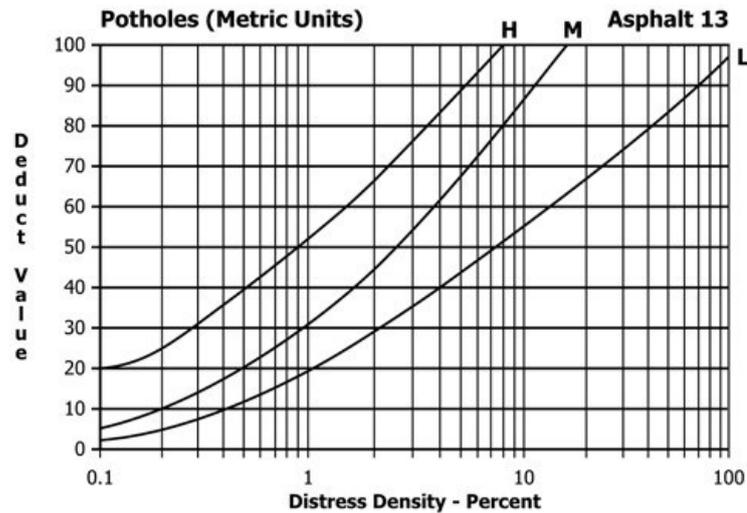
Sumber: *Shahin 1990*

Lubang diukur dengan menghitung angka yang memiliki tingkat keparahan rendah, sedang, dan tinggi dan mencatatnya secara terpisah. Opsi untuk Perbaikan kerusakan lubang adalah sebagai berikut:

L = Belum ada perbaikan; *Patch* kedalaman parsial atau penuh.

M = *Patch* kedalaman parsial atau penuh.

H = *Patch* kedalaman penuh.

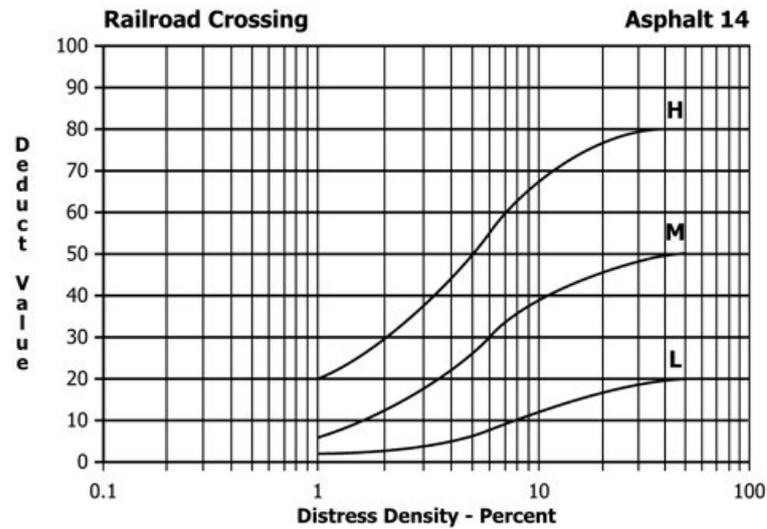
Gambar 2.22 *Deduct Value* Lubang (*Potholes*)Sumber: *Shahin 1990*14. *Perlintasan Rel Kereta (Railroad Crossing)*

Kerusakan berupa cekungan atau gundukan di sekitar dan / atau di antara rel. Mengukur kerusakan ini adalah luas persimpangan diukur dalam luas permukaan. Jika penyeberangan tidak mempengaruhi kualitas pengendaraan, hal itu tidak dihitung. Setiap tonjolan besar yang dibuat oleh trek harus dihitung.

Tabel 2.15 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Railroad Crossing*

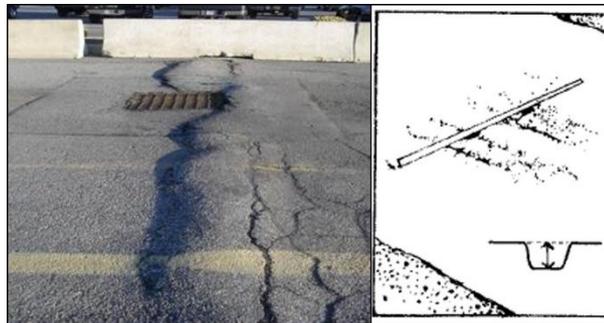
Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Persimpangan rel kereta api menyebabkan kualitas perjalanan dengan tingkat keparahan rendah.	Belum ada perbaikan.
M	Persimpangan rel kereta api menyebabkan kualitas perjalanan dengan tingkat keparahan sedang.	Pendekatan <i>patch</i> kedalaman dangkal atau parsial, Rekonstruksi persimpangan.
H	Persimpangan rel kereta api menyebabkan kualitas perjalanan yang sangat parah.	Pendekatan <i>patch</i> kedalaman dangkal atau parsial; Rekonstruksi penyeberangan.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.23 *Deduct Value* Perlintasan Rel Kereta (*Railroad Crossing*)
Sumber: *Shahin 1990*

15. Alur (*Rutting*)



Gambar 2.24 Alur (*Rutting*)
Sumber: *Silvia Sukirman*

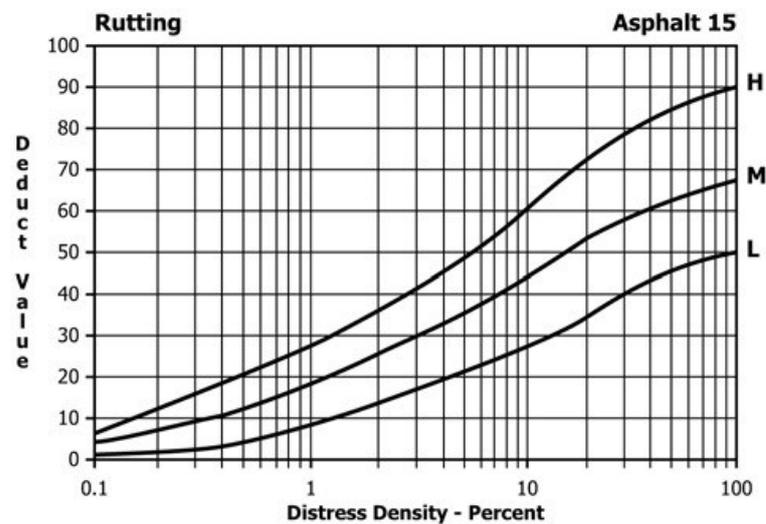
Rutting merupakan karakteristik yang berbentuk akibat tekanan roda kendaraan pada permukaan perkerasan. Pada beberapa bagian alur ini hanya kelihatan setelah turun hujan diaman air menggenangi alur tersebut. Kerusakan ini disebabkan oleh deformasi permanen dari beberapa lapisan permukaan.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *rutting* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.16 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Rutting*

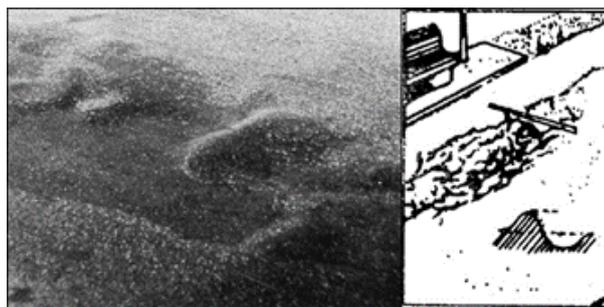
Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Kedalaman alur rata -rata 6 – 13 mm.	Belum perlu diperbaiki: lapis tambahan.
M	Kedalaman alur rata -rata 13 – 25,4 mm.	Penambahan permukaan atau seluruh kedalaman; lapis tambahan.
H	Kedalaman alur rata – rata > 25,4 mm.	Penambahan permukaan atau seluruh kedalaman; lapis tambahan.

Sumber: *Shahin 1990*

Gambar 2.25 *Deduct Value* Allur (*Rutting*)

Sumber: *Shahin 1990*

16. Sungkur (*Shoving*)

Gambar 2.26 Sungkur (*Shoving*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

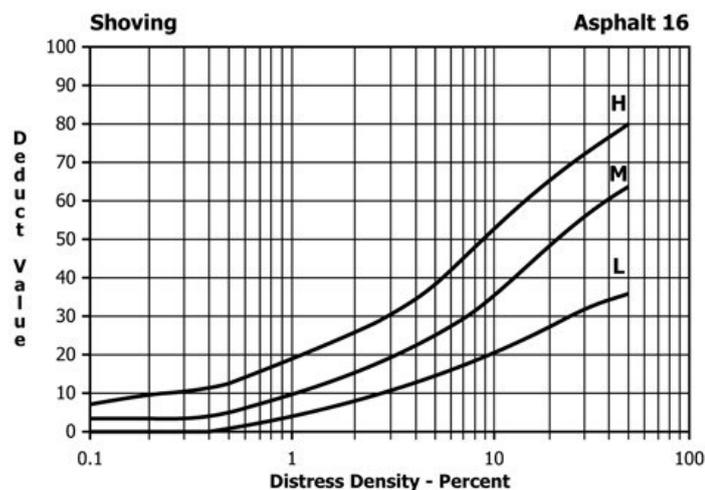
Shoving adalah suatu pergeseran plastis yang menghasilkan tonjolan setempat dari permukaan perkerasan. Hal ini disebabkan oleh lapisan aspal yang kurang stabil. Kadar air yang berlebihan dan butiran halus yang terlalu banyak pada campuran perkerasan. Biasanya terjadi pada daerah dimana lalu lintas mulai bergerak dan berhenti dan juga pada daerah yang sering terjadi pengereman dan tikungan tajam.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *shoving* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.17 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Shoving*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Shoving menyebabkan sedikit gangguan kenyamanan.	Belum perlu diperbaiki.
M	Shoving menyebabkan cukup gangguan kenyamanan berkendara.	Penambalan permukaan; penambalan diseluruh kedalaman.
H	Shoving menyebabkan gangguan besar kenyamanan berkendara.	Penambalan permukaan; penambalan diseluruh kedalaman.

Sumber: *Shahin 1990*

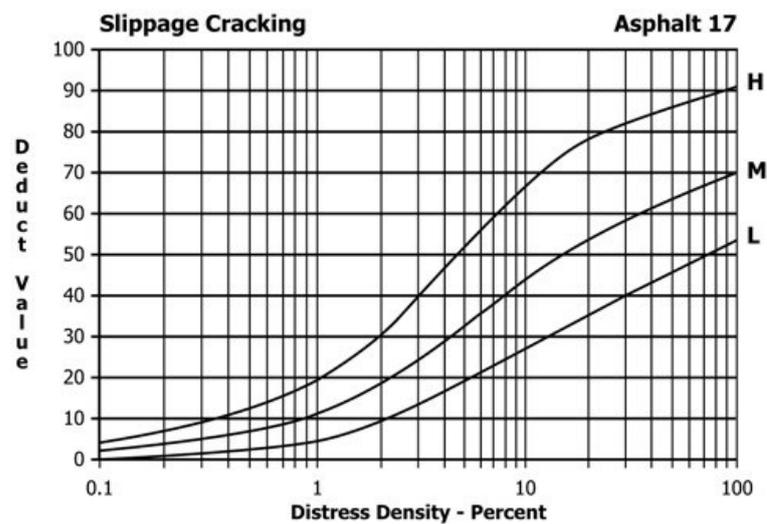


Gambar 2.27 *Deduct Value* Sungkur (*Shoving*)

Sumber: *Shahin 1990*

17. Retak Bulan Sabit (*Slippage cracking*)

Slippage cracking adalah retak yang disebabkan oleh pengereman dan putaran roda yang mengakibatkan permukaan perkerasan memiliki kekuatan yang kecil atau tekanan yang lemah antara lapis permukaan dengan lapisan dibawahnya dari struktur perkerasan. *Slippage cracking* tidak dibedakan atas *severity level* atau tingkat kerusakan.



Gambar 2.28 *Deduct Value* Retak Bulan Sabit (*Slippage Cracking*)

Sumber: *Shahin 1990*

18. Mengembang (*Swell*)



Gambar 2.29 Mengembang (*Swell*)

Sumber: *Silvia Sukirman 1999*

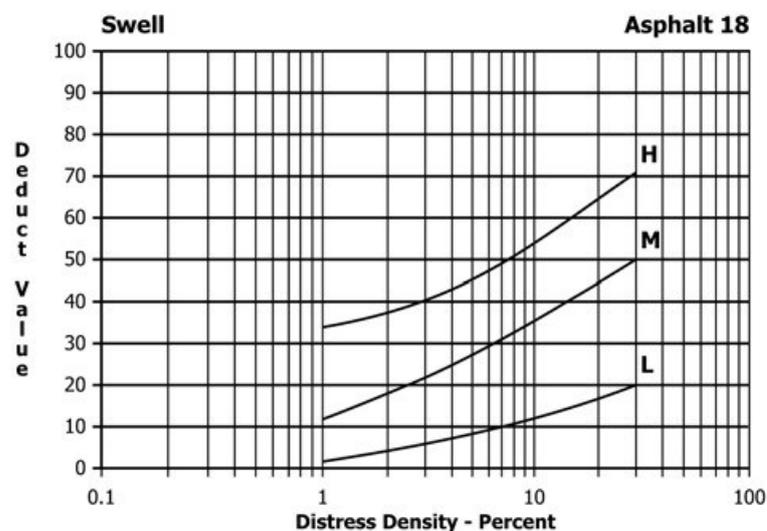
Swell adalah kenaikan setempat akibat perpindahan perkerasan sehubungan dengan pengembangan *subgrade* atau bagian perkerasan. Penyebabnya adalah *expansion* dari lapisan bawah perkerasan atau tanah dasar.

Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *swell* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.18 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Swell*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Pengembangan menyebabkan sedikit gangguan keamanan kendaraan. Kerusakan ini sulit dilihat, tapi dapat dideteksi dengan keberadaan cepat, gerakan keatas terjadi bila ada pengembangan.	Belum perlu diperbaiki.
M	Pengembangan menyebabkan cukup gangguan kenyamanan kendaraan.	Rekonstruksi.
H	Pengembangan menyebabkan gangguan besar pada kenyamanan berkendara.	Rekonstruksi.

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.30 *Deduct Value* Mengembang (*Swell*)

Sumber: *Shahin 1990*

19. Pelepasan Butir (*Raveling and Weathering*)



Gambar 2.31 Pelepasan Butir (*Raveling and Weathering*)
Sumber: Silvia Sukirman 1999

Raveling (pelepasan butiran) disebabkan oleh terlepasnya partikel batuan dan hilangnya bahan pengikat aspal. Bila pelepasan butiran berlanjut maka kehilangan agregat yang lebih besar akan terjadi dan akan kehilangan seperti bergigi.

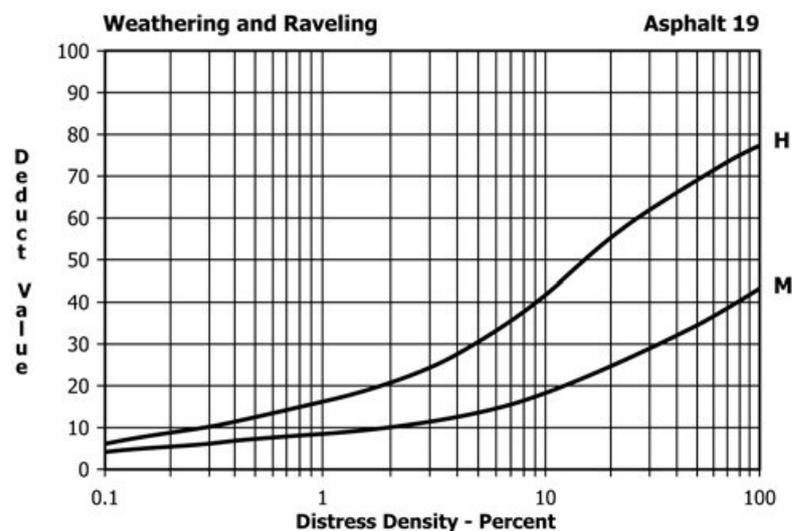
Tingkatan kerusakan perkerasan untuk hitungan PCI dan pemilihan perbaikan kerusakan *weathering and raveling* ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.19 Tingkat Kerusakan, Identifikasi dan Pilihan Perbaikan Kerusakan *Weathering and Raveling*

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
L	Agregat atau bahan pengikat mulai lepas. Dibeberapa tempat, permukaan mulai berlubang. Jika ada tumpahan oli, genangan oli dapat terlihat, tetapi permukaannya keras, tak dapat ditembus mata uang logam.	Belum perlu diperbaiki; penutup permukaan; perawatan permukaan.
M*	Agregat atau bahan pengikat telah lepas, tekstur permukaan agak kasar dan berlubang. Jika ada tumpahan oli dipermukaannya lunak, dan dapat ditembus mata uang logam.	Penutup permukaan; perawatan permukaan; lapis tambahan.

Tingkat Kerusakan	Identifikasi	Pilihan Untuk Perbaikan
H*	Agregat atau bahan pengikat telah banyak lepas, tekstur permukaan sangat kasar dan mengakibatkan banyak lubang. Diameternya luasan lubang < 10 mm dan kedalaman 13 mm. jika ada tumpahan oli permukaannya lunak, pengikat aspal telah hilang ikatannya sehingga agregat menjadi longgar.	Perawatan permukaan; lapis tambahan; penambahan diseluruh kedalaman.
* Bila lokal, yaitu akibat tumpahan oli, maka ditambal secara parsial		

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.32 *Deduct Value* Pelepasan Butir (*Raveling and Weathering*)

Sumber: *Shahin 1990*

2.1.10 Standar Penilaian

1. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan adalah persentase luasan atau panjang total dari suatu jenis kerusakan terhadap luasan atau panjang total bagian jalan yang di ukur, bisa dalam sq.ft atau dalam *feet* atau meter. Dengan demikian, kerapatan kerusakan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Kerapatan (density)(\%)} = \frac{Ad}{As} \times 100\% \quad (2.1)$$

Atau

$$\text{Kerapatan (density) (\%)} = \frac{Ld}{Ls} \times 100\% \quad (2.2)$$

dengan,

A_d = Luas total dari satu jenis perkerasan untuk setiap tingkat keparahan kerusakan (sq.ft atau *feet* atau meter²).

A_s = Luas total unit sampel (sq.ft atau *feet* atau meter²).

L_d = Panjang total dari satu jenis perkerasan untuk setiap tingkat keparahan kerusakan (feet atau meter)

L_s = Panjang total unit sampel (feet atau meter)

2. Nilai pengurang total (*Total Deduct Value*, TDV)

Nilai pengurang total Atau TDV adalah nilai pengurangan total dari individual nilai pengurangan (*individu deduct value*) untuk tiap jenis kerusakan dan tingkat kerusakan yang ada pada suatu unit sampel.

Total deduct value (TDV) dengan menyusun nilai DV dalam nilai menurun. Untuk menentukan jumlah pengurangan izin (*allowable number of deduct*) menggunakan Persamaan:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times (100 - HDV_i) \quad (2.3)$$

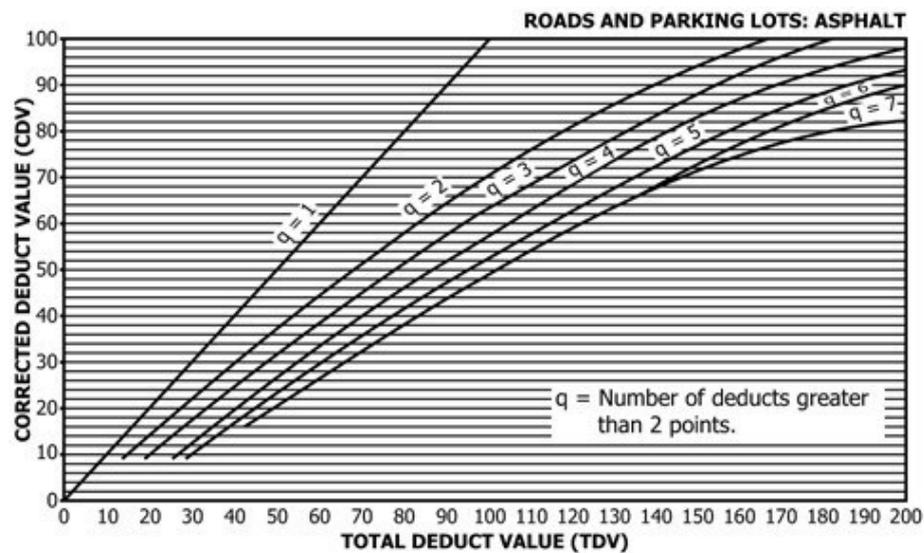
dengan,

M = Jumlah pengurangan izin, termasuk pecahan, untuk unit sampel yang ditinjau.

HDV_i = Nilai pengurang individual tertinggi (*highest individual deduct value*).

3. Nilai pengurang terkoreksi (*Corrected Deduct Value*, CDV)

Nilai pengurang terkoreksi atau CDV diperoleh dari kurva hubungan antara nilai pengurang total (TDV) dan nilai pengurang (DV) dengan memilih kurva yang sesuai. Jika nilai CDV yang diperoleh lebih kecil dari nilai pengurang tertinggi (*High Deduct Value*, HVD), maka CDV yang digunakan adalah nilai pengurang individual yang tertinggi.



Gambar 2.33 Koreksi Kurva untuk Jalan dengan Perkerasan Aspal
Sumber: *Shahin 1990*

4. Nilai PCI

Setelah CDV diperoleh, maka PCI untuk setiap unit sampel dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$PCIs = 100 - CDV \quad (2.4)$$

dengan :

PCIs = PCI untuk setiap unit segmen atau unit penelitian

CDV = CDV dari setiap unit sampel

Nilai PCI perkerasan secara keseluruhan pada ruas jalan tertentu adalah:

$$PCI_f = \sum \frac{PCI_s}{N} \quad (2.5)$$

dengan,

PCI_f = Nilai PCI rata – rata dari seluruh area penelitian

PCI_s = Nilai PCI untuk setiap unit sampel

N = jumlah unit sampel

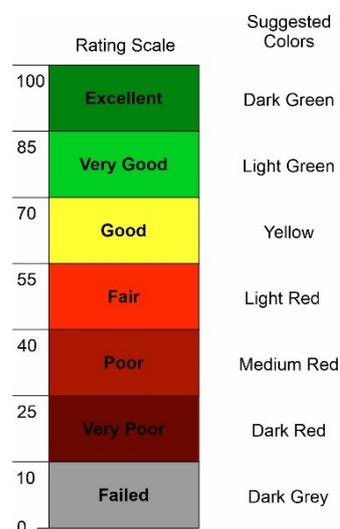
5. Rating

Rating adalah *index* kondisi tingkat keparahan dari perkerasan, yang diperoleh setelah nilai *pavement condition index* (PCI) diketahui. Begitu juga untuk PCI rata – rata. Kondisi *rating* dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 2.20 Nilai PCI dan Kondisi

Nilai PCI	Kondisi
0 – 10	Gagal (<i>failed</i>)
11 – 25	Sangat buruk (<i>very poor</i>)
26 – 40	Buruk (<i>poor</i>)
41 – 55	Sedang (<i>fair</i>)
56 – 70	Baik (<i>good</i>)
71 – 85	Sangat baik (<i>very good</i>)
86 – 100	Sempurna (<i>excellent</i>)

Sumber: *Shahin 1990*



Gambar 2.34 Diagram Nilai PCI

Sumber: *Shahin 1990*

2.2 Drainase Jalan

2.2.1 Pengertian Drainase

Drainase yang berasal dari Bahasa Inggris yaitu *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalirkan air. Secara umum drainase dapat didefinisikan Sistem drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal (Suripin, 2004). Drainase perkotaan adalah suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air baik yang berasal dari air hujan, rembesan maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/lahan sehingga fungsi kawasan/lahan tersebut tidak terganggu (Suripin, 2004).

Adapun fungsi drainase menurut R. J. Kodoatie (dalam Defiana, 2017) adalah membebaskan suatu wilayah (terutama yang padat dari permukiman) dari genangan air, erosi, dan banjir, karena aliran lancar maka drainase juga berfungsi memperkecil resiko kesehatan lingkungan bebas dari malaria (nyamuk) dan penyakit lainnya, kegunaan tanah permukiman padat akan menjadi lebih baik karena terhindar dari kelembaban, dengan sistem yang baik tata guna lahan dapat dioptimalkan dan juga memperkecil kerusakan-kerusakan struktur tanah untuk jalan dan bangunan lainnya.

Menurut R. J. Kodoatie (dalam Defiana, 2017) sistem jaringan drainase di dalam wilayah kota dibagi atas 2 (dua) bagian yaitu sistem drainase mayor adalah sistem saluran yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Biasanya sistem ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer. Sistem drainase minor adalah sistem

saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan hujan dimana sebagian besar di dalam wilayah kota, contohnya seperti saluran atau selokan air hujan di sekitar bangunan. Dari segi konstruksinya sistem ini dapat dibedakan menjadi sistem saluran tertutup dan sistem saluran terbuka.

2.2.2 Jenis Drainase

Jenis dan pola drainase sangat beragam, sehingga untuk memudahkan dalam pemahamannya Wesli (2021) mengelompokkan jenis-jenis drainase menjadi beberapa bagian yaitu :

2.2.2.1 Drainase Berdasarkan Cara Terbentuknya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan cara terbentuknya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase alamiah (*natural drainage*)

Drainase alamiah terbentuk melalui proses alamiah yang berlangsung lama. Saluran drainase terbentuk akibat gerusan air sesuai dengan kontur tanah. Drainase alamiah ini terbentuk pada kondisi tanah yang cukup kemiringannya, sehingga air akan mengalir dengan sendirinya, masuk ke sungai-sungai. Pada tanah yang cukup porous, air yang ada di permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi). Air yang meresap berubah menjadi aliran antara (*sub-surface flow*) mengalir menuju sungai, dan dapat juga mengalir masuk ke dalam tanah (perkolasi) hingga ke air tanah yang kemudian bersama-sama dengan air tanah mengalir sebagai aliran air tanah menuju sungai. Umumnya drainase alamiah ini berupa sungai beserta anak-anak sungainya yang membentuk suatu jaringan alur sungai.

2. Drainase buatan (*artificial drainage*)

Drainase buatan adalah sistem yang dibuat dengan maksud tertentu dan merupakan hasil rekayasa berdasarkan hasil hitungan-hitungan yang dilakukan untuk upaya penyempurnaan atau melengkapi kekurangan sistem drainase alamiah. Pada sistem drainase buatan memerlukan biaya-biaya baik pada perencanaannya maupun pada pembuatannya.

2.2.2.2 Drainase Berdasarkan Sistem Pengalirannya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari sistem pengalirannya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase dengan sistem jaringan

Drainase dengan sistem jaringan adalah suatu sistem pengeringan atau pengaliran air pada suatu kawasan yang dilakukan dengan mengalirkan air melalui sistem tata saluran dengan bangunan-bangunan pelengkapannya.

2. Drainase dengan sistem resapan

Drainase dengan sistem resapan adalah sistem pengeringan atau pengaliran air yang dilakukan dengan meresapkan air ke dalam tanah. Cara resapan ini dapat dilakukan langsung terhadap genangan air di permukaan tanah ke dalam tanah atau melalui sumuran/saluran resapan. Sistem resapan ini sangat menguntungkan bagi usaha konservasi air.

2.2.2.3 Drainase Berdasarkan Tujuan/Sasarannya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari tujuan/sasarannya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase perkotaan

Drainase perkotaan adalah pengeringan atau pengaliran air dari wilayah perkotaan ke sungai yang melintasi wilayah perkotaan ke sungai yang melintasi wilayah perkotaan tersebut sehingga wilayah perkotaan tidak digenangi air.

2. Drainase daerah pertanian

Drainase daerah pertanian adalah pengeringan atau pengaliran air di daerah pertanian baik di persawahan maupun daerah sekitarnya yang bertujuan untuk mencegah kelebihan air agar pertumbuhan tanaman tidak terganggu.

3. Drainase lapangan terbang

Drainase lapangan terbang adalah pengeringan atau pengaliran air di kawasan lapangan terbang terutama pada landasan pacu dan *taxiway* sehingga kegiatan penerbangan baik *takeoff*, landing maupun *taxing* tidak terhambat. Pada lapangan terbang drainase juga bertujuan untuk keselamatan terutama pada saat landing dan *takeoff* yang apabila tergenang air dapat mengakibatkan tergelincirnya pesawat terbang.

4. Drainase jalan raya

Drainase jalan raya adalah pengeringan atau pengaliran air di permukaan jalan yang bertujuan untuk menghindari kerusakan pada badan jalan dan menghindari kecelakaan lalu lintas. Drainase jalan raya biasanya berupa saluran di kiri-kanan jalan serta gorong-gorong yang melintas di bawah badan jalan.

5. Drainase jalan kereta api

Drainase jalan kereta api adalah pengeringan atau pengaliran air di sepanjang jalur rel kereta api yang bertujuan untuk menghindari kerusakan pada jalur rel kereta api.

6. Drainase pada tanggul dan dam

Drainase pada tanggul dan dam adalah pengaliran air di daerah sisi luar tanggul dan dam yang bertujuan untuk mencegah keruntuhan tanggul dan dam akibat erosi rembesan aliran air.

7. Drainase lapangan olahraga

Drainase lapangan olahraga adalah pengeringan atau pengaliran air pada suatu lapangan olahraga seperti lapangan bola kaki dan lainnya yang bertujuan agar kegiatan olahraga tidak terganggu meskipun dalam kondisi hujan.

8. Drainase untuk keindahan kota

Drainase untuk keindahan kota adalah bagian dari drainase perkotaan, namun pembuatan drainase ini lebih ditujukan lebih pada sisi estetika seperti tempat rekreasi dan lainnya.

9. Drainase untuk kesehatan lingkungan

Drainase untuk kesehatan lingkungan merupakan bagian dari drainase perkotaan, di mana pengeringan dan pengaliran air bertujuan untuk mencegah genangan yang dapat menimbulkan wabah penyakit.

10. Drainase untuk penambahan areal

Drainase untuk penambahan areal adalah adalah pengeringan atau pengaliran air pada daerah rawa ataupun laut yang tujuannya sebagai upaya menambah areal.

2.2.2.4 Drainase Berdasarkan Tata Letaknya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari tata letaknya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase permukaan tanah (*surface drainage*)

Drainase permukaan tanah adalah sistem drainase yang salurannya berada di atas permukaan tanah yang mengalirkan air terjadi karena adanya beda tinggi permukaan saluran.

2. Drainase bawah permukaan (*surface drainage*)

Drainase bawah permukaan tanah adalah sistem drainase yang dialirkan di bawah tanah (ditanam) biasanya karena sisi artistik atau pada suatu areal yang tidak memungkinkan untuk mengalirkan air di atas permukaan tanah seperti pada lapangan olahraga, lapangan terbang, taman dan lainnya.

2.2.2.5 Drainase Berdasarkan Fungsinya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari fungsinya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase *single purpose*

Drainase *single purpose* adalah saluran drainase yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan misalnya air hujan atau air limbah atau lainnya.

2. Drainase *multi purpose*

Drainase *multi purpose* adalah saluran drainase yang berfungsi mengalirkan lebih dari satu air buangan baik secara bercampur maupun bergantian misalnya campuran air hujan dan air limbah.

2.2.2.6 Drainase Berdasarkan Konstruksinya

Jenis drainase ditinjau berdasarkan dari konstruksinya, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Drainase saluran terbuka

Drainase saluran terbuka adalah sistem saluran yang permukaannya terpengaruh dengan udara luar (atmosfir). Drainase saluran terbuka biasanya

mempunyai luasan yang cukup dan digunakan untuk mengalirkan air hujan atau air limbah yang tidak membahayakan kesehatan lingkungan dan tidak mengganggu keindahan.

2. Drainase saluran tertutup

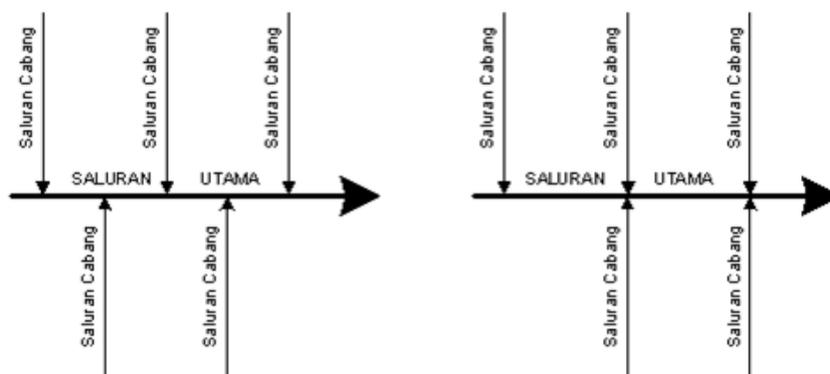
Drainase saluran tertutup adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar. Saluran drainase saluran tertutup sering digunakan untuk mengalirkan air limbah atau air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan dan mengganggu keindahan.

2.2.3 Pola Drainase

Pada sistem jaringan drainase terdiri beberapa saluran yang saling berhubungan sehingga membentuk suatu pola jaringan. Menurut Wesli (2021) dari bentuk pola jaringan dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Pola siku

Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuangan akhir berada di tengah kota.

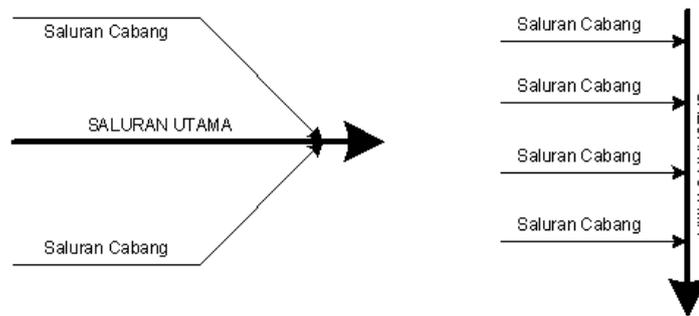


Gambar 2.35 Pola Jaringan Drainase Siku

Sumber: *Wesli 2021*

2. Pola paralel

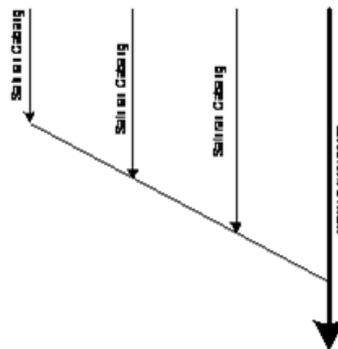
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Gambar 2.36 Pola Jaringan Drainase Pararel
Sumber: *Wesli 2021*

3. Pola *grid iron*

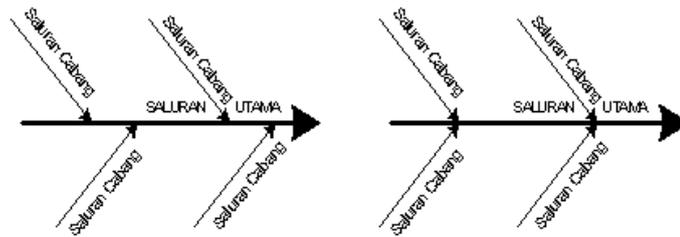
Untuk daerah dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2.37 Pola Jaringan Drainase *Grid Iron*
Sumber: *Wesli 2021*

4. Pola alamiah

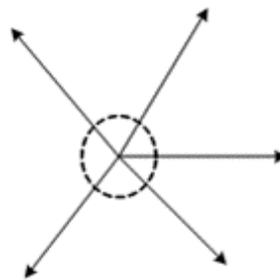
Pola alamiah adalah suatu pola jaringan drainase yang hampir sama dengan pola siku, di mana sungai sebagai saluran utama berada di tengah kota namun jaringan saluran cabang tidak selalu berbentuk siku terhadap saluran utama.



Gambar 2.38 Pola Jaringan Drainase Alamiah
Sumber: *Wesli 2021*

5. Pola radial

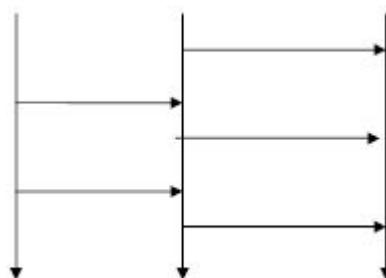
Pola radial adalah pola jaringan drainase yang mengalirkan air dari pusat sumber air memencar ke berbagai arah, pola ini cocok digunakan pada daerah yang berbukit.



Gambar 2.39 Pola Jaringan Drainase Radial
Sumber: *Wesli 2021*

6. Pola jarring-jaring

Pola jarring-jaring adalah pola drainase yang mempunyai saluran-saluran pembuang mengikuti arah jalan raya. Pola ini sangat cocok untuk daerah yang topografinya datar.



Gambar 2.40 Pola Jaringan Drainase Jaring-jaring
Sumber: *Wesli 2021*

2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (Suripin, 2004). Fenomena hidrologi sebagai mana telah dijelaskan di bagian sebelumnya adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi. Fenomena hidrologi seperti besarnya curah hujan, temperature, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air, akan selalu berubah menurut waktu. Untuk suatu tujuan tertentu data-data hidrologi dapat dikumpulkan, dihitung, disajikan, dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu.

Hujan merupakan komponen yang amat penting dalam analisis hidrologi pada perancangan debit untuk menentukan dimensi saluran drainase. Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan sangat luas tidak bisa diwakili satu titik pos pengukuran. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa pos pengukuran hujan yang ada disekitar kawasan tersebut. Ada 3 macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan : (a) rata-rata aljabar, (b) poligon *thiessen* dan (c) *isohyet*.

a. Metode Rerata Aritmatik

Metode rerata aritmatik adalah metode paling sederhana untuk menghitung hujan rerata di suatu daerah. Tinggi hujan terukur di beberapa stasiun dalam waktu bersamaan dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata, alat penakar tersebar merata dan harga curah hujan masing-

masing tidak berbeda jauh dengan harga curah hujan rata-rata. Metode kurang akurat bila digunakan untuk menghitung hujan di suatu daerah dengan variasi hujan di tiap stasiun cukup besar.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.6)$$

dengan,

P : hujan rerata kawasan

n : jumlah stasiun

b. Metode Poligon Thiessen

Metode poligon Thiessen merupakan metode yang memperhitungkan bobot dari masing-masing alat pengukur hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Dalam suatu luasan di suatu DAS (Daerah Aliran Sungai) dianggap bahwa hujan di tempat tersebut sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat di suatu titik mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan, bila penyebaran stasiun hujan di suatu daerah yang ditinjau tidak merata. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk poligon Thiessen adalah sebagai berikut:

- 1) Stasiun hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang letaknya berdekatan.
- 2) Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang tidak terlalu berbeda.

- 3) Garis berat dibuat pada sisi-sisi segitiga dengan membuat garis tegak lurus tepat di tengah-tengah sisi-sisi segitiga tersebut.
- 4) Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS menjadi batas poligon.
- 5) Luas tiap poligon diukur dan dikalikan dengan tinggi hujan di stasiun yang berada di dalam poligon.
- 6) Jumlah dari perkalian antara luas poligon dan tinggi hujan dibagi dengan total luas daerah yang ditinjau.

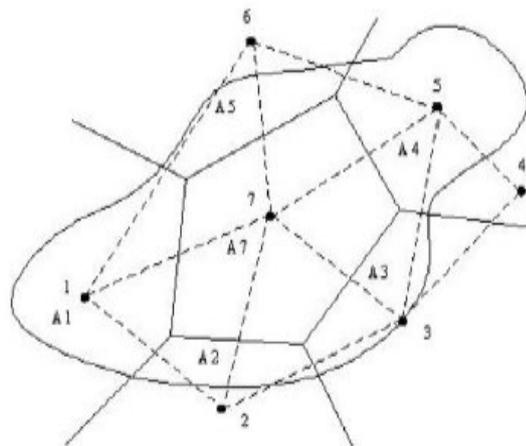
$$\bar{p} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.7)$$

dengan,

\bar{p} : hujan rerata kawasan

P_n : hujan di stasiun 1, 2, ..., n

A_n : luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 2.41 Metode Thiessen
Sumber : Suripin 2004

c. Isohyet

Metode ini adalah garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi hujan yang sama. Metode isohyet memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap tiap pos penakar hujan. Pada metode isohyet, dianggap bahwa data hujan pada suatu luasan di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan rerata dari nilai kedua garis isohyet tersebut. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan garis isohyet adalah sebagai berikut.

- 1) Lokasi stasiun hujan dan tinggi hujan digambarkan pada peta DAS yang akan ditinjau.
- 2) Dari nilai tinggi hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi sesuai pertambahan nilai yang ditetapkan.
- 3) Kurva dibuat menghubungkan titik-titik interpolasi yang memiliki tinggi hujan yang sama.
- 4) Luas daerah antara dua garis isohyet yang berurutan diukur dan dikalikan dengan nilai tinggi hujan rerata dari nilai kedua garis isohyet.
- 5) Jumlah perhitungan dari langkah 4 untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau untuk mendapatkan tinggi hujan rerata di daerah tersebut.

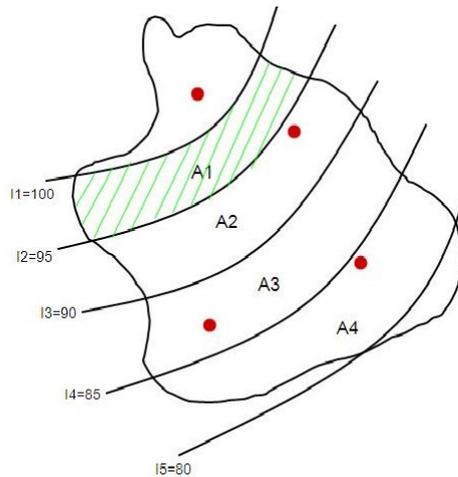
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + A_3 \frac{I_3 + I_4}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.8)$$

dengan,

\bar{P} = curah hujan rata-rata

I_n = curah hujan pada masing – masing stasiun

A_n = luas areal dari titik I



Gambar 2.42 Metode Isohyet
Sumber : *Suripin 2004*

2.3.1 Perbaikan Data

Pengukuran curah hujan sering mengalami masalah. Seperti tidak tercatatnya data hujan karena rusaknya alat atau kesalahan pengamat. Maupun karena adanya perubahan kondisi di lokasi pencatatan selama suatu periode pencatatan. Data hujan yang hilang di suatu stasiun dapat diisi dengan nilai perkiraan berdasar data dari stasiun-stasiun di sekitarnya.

a. Metode Perbandingan Normal (*Normal Ratio Method*)

Data yang hilang diperkirakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right) \quad (2.9)$$

dengan,

P_x = hujan yang hilang di stasiun x

P_n = data hujan di stasiun sekitar pada periode yang sama

N_x = Hujan tahunan di stasiun x

N_n = hujan tahunan di stasiun sekitar x

n = jumlah stasiun sekitar x

b. *Reciprocal Method* (Kantor Cuaca Amerika)

Metode ini menggunakan data curah hujan referensi dengan mempertimbangkan jarak stasiun yang akan melengkapi datanya dengan stasiun referensi tersebut, dengan persamaan (2.10) berikut.

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (2.10)$$

dengan,

P_x = hujan di stasiun x yang akan dilengkapi

P_i = Hujan di stasiun referensi yang akan dilengkapi

L_i = jarak stasiun referensi dengan data stasiun

2.3.2 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (*ekstrim*), seperti hujan lebat, banjir dan kekeringan. Besarnya peristiwa berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa kejadiannya sangat langka. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak serta bersifat stokastik. Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos pengukuran hujan, baik manual maupun otomatis.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama

dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu. Ada dua macam seri data yang dipergunakan dalam analisis frekuensi, yaitu:

a. Data maksimum tahunan

Data tiap tahun diambil hanya satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya. Seri data seperti ini dikenal dengan seri data maksimum (*maximum anual series*). Jumlah data dalam seri akan sama dengan panjang data yang tersedia. Dalam cara ini, besaran data maksimum kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari besaran data maksimum dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis.

b. Seri parsial

Data dalam seri dapat ditetapkan suatu besaran tertentu sebagai batas bawah, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis seperti biasa. Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat, di mana semua besaran data yang cukup besar diambil, kemudian diurutkan dari besar ke kecil. Data yang diambil untuk analisis selanjutnya adalah sesuai dengan panjang data dan diambil dari besaran data yang paling besar. Dalam hal ini dimungkinkan dalam satu tahun data yang diambil lebih dari satu data, sementara tahun yang lain tidak ada data yang di ambil.

Dalam analisis frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan

empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi sebagai berikut.

a. Distribusi Normal

Distribusi normal disebut juga dengan Distribusi Gauss. Fungsi densitas peluang normal (PDF = *probability density function*) yang paling dikenal adalah bentuk belah dan dikenal sebagai distribusi normal. PDF distribusi normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut:

$$X_T = \mu + K_T \sigma \quad (2.11)$$

$$X_T = \bar{X} + K_T S \quad (2.12)$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \quad (2.13)$$

dengan,

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

\bar{X} = nilai rata-rata hitung variat

S = deviasi standar nilai variat

K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Tabel 2.21 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.050
2	1.005	0.995	-2.580
3	1.010	0.990	-2.330
4	1.050	0.950	-1.640
5	1.110	0.900	-1.280
6	1.250	0.800	-0.840
7	1.330	0.750	-0.670

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
8	1.430	0.700	-0.520
9	1.670	0.600	-0.250
10	2.000	0.500	0.000
11	2.500	0.400	0.250
12	3.330	0.300	0.520
13	4.000	0.250	0.670
14	5.000	0.200	0.840
15	10.000	0.100	1.280
16	20.000	0.050	1.620
17	50.000	0.200	2.050
18	100.000	0.010	2.330
19	200.000	0.005	2.580
20	500.000	0.002	2.880
21	1000.000	0.001	3.090

Sumber: *Suripin 2004*

b. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal. PDF (*probability density function*) untuk distribusi log normal dapat dituliskan dalam bentuk rata-rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut:

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \quad (2.14)$$

dengan,

Y_T : Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang Tahunan

\bar{Y} : Nilai rata-rata hitung variat

S : Deviasi standar nilai variat

K_T : Faktor Frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik disrtibusi peluang

$$\log X_T = \overline{\log x} + (K_T \times S_{\log x}) \quad (2.15)$$

$$\text{atau } Y_T = \bar{Y} + (K_T \times S_Y) \quad (2.16)$$

$$\text{atau } X_T = 10^{Y_T} \quad (2.17)$$

$$\bar{Y} = \overline{\log x} = \frac{1}{n} \times \left(\sum \log x \right) \quad (2.18)$$

$$S_y = S_{\log} \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \overline{\log x})^2}{(n-1)}} \quad (2.19)$$

$$C_s = \frac{n \times \sum (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(S_y)^2} \quad (2.20)$$

dengan,

Y_T = hujan maksimum dimana periode ulang T tahun,

\bar{Y} = curah hujan rata-rata dalam log x,

K_T = faktor frekuensi,

S_y = standard deviasi,

C_s = koefisien skewnes.

c. Distribusi Log-Person III

Parameter yang di gunakan dalam Distribusi Log Person Type III adalah:

1. Rata-rata Logaritma

$$\overline{\log x} = \frac{1}{n} \times \left(\sum \log x \right) \quad (2.21)$$

2. Standar Devisiasi logaritma

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \overline{\log x})^2}{(n-1)}} \quad (2.22)$$

3. Koefisien Skewness

$$C_s = \frac{n \times \sum (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(s)^2} \quad (2.23)$$

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (2.24)$$

dengan K adalah variable standar (*standardized variable*) untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan atau skewness.

Tabel 2.22 Nilai K_T Metode Log Person Type III

No.	Koefisien Skewnes	Periode Ulang (tahun)						
		2	5	10	20	25	50	100
1	3.0	-0.396	0.420	1.180	2.003	2.278	3.152	4.501
2	2.8	-0.384	0.460	1.210	2.009	2.275	3.114	3.973
3	2.6	-0.368	0.499	1.238	2.013	2.267	3.071	3.889
4	2.4	-0.351	0.537	1.262	2.011	2.256	3.023	3.800
5	2.2	-0.333	0.574	1.264	2.006	2.240	2.970	3.705
6	2.0	-0.307	0.609	1.302	1.996	2.219	2.912	3.605
7	1.8	-0.282	0.643	1.318	1.981	2.193	2.848	3.499
8	1.6	-0.254	0.675	1.329	1.962	2.163	2.780	3.388
9	1.4	-0.225	0.705	1.337	1.938	2.128	2.706	3.271
10	1.2	-0.195	0.732	1.340	1.910	2.087	2.626	3.149
11	1.0	-0.164	0.758	1.340	1.877	2.043	2.542	3.022
12	0.8	-0.132	0.780	1.336	1.839	1.993	2.453	2.891
13	0.6	-0.099	0.800	1.328	1.797	1.939	2.359	2.755
14	0.4	-0.066	0.816	1.317	1.750	1.880	2.261	2.615
15	0.2	-0.033	0.830	1.301	1.700	1.818	2.159	2.472
16	0.0	0.000	0.842	1.282	1.645	1.751	2.054	2.326
17	-0.2	0.033	0.850	1.258	1.586	1.680	1.945	2.178
18	-0.4	0.066	0.855	1.231	1.524	1.606	1.834	2.029
19	-0.6	0.099	0.857	1.200	1.458	1.528	1.720	1.880
20	-0.8	0.132	0.856	1.166	1.389	1.448	1.648	1.733
21	-1.0	0.164	0.852	1.128	1.317	1.366	1.492	1.588
22	-1.2	0.195	0.844	1.086	1.243	1.282	1.379	1.449
23	-1.4	0.225	0.832	1.041	1.168	1.198	1.270	1.318
24	-1.6	0.254	0.817	0.994	1.049	1.116	1.197	1.197
25	-1.8	0.282	0.799	0.945	1.019	1.035	1.069	1.087
26	-2.0	0.307	0.777	0.895	0.949	0.959	0.980	0.990
27	-2.2	0.333	0.725	0.884	0.882	0.888	0.900	0.905
28	-2.4	0.351	0.725	0.7950	0.819	0.823	0.830	0.832
29	-2.6	0.368	0.969	0.747	0.762	0.764	0.768	0.769
30	-2.8	0.384	0.384	0.666	0.702	0.711	0.712	0.714
31	-30	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.666	0.667

Sumber: Suripin 2004

d. Distribusi Gumbel

Metode distribusi Gumbel Type I ini disebut juga dengan metode distribusi ekstrim. Umumnya digunakan untuk analisa data maksimum. Persamaan yang digunakan pada metode distribusi Gumbel sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + (K_T \times S_x) \quad (2.25)$$

$$K_T = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (2.26)$$

$$Y_T = -1 \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2.27)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X_i) - (X_a \sum X_i)}{(n-1)}} \quad (2.28)$$

$$X_T = \bar{X} \frac{Y_T - Y_n}{S_n} S \quad (2.29)$$

dengan,

X_T = hujan maksimum dalam periode ulang T tahun,

Y_t = reduce mean,

Y_n = reduce mean,

S_n = reduce standard deviation,

S_x = standard deviation,

x_i = harga besaran pada pengamatan,

n = jumlah tahun pengamatan,

x_a = harga besaran rata rata.

Tabel 2.23 *Reduce Standard Deviation (Sn) Gumbel*

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.949	0.937	0.988	0.997	1.009	1.020	1.103	1.041	1.049	1.036
20	1.062	1.069	1.073	1.081	1.086	1.091	1.096	1.100	1.104	1.108
30	1.112	1.113	1.119	1.122	1.125	1.128	1.131	1.133	1.136	1.138
40	1.141	1.143	1.145	1.148	1.149	1.157	1.153	1.155	1.137	1.139

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	1.160	1.162	1.163	1.163	1.166	1.168	1.169	1.170	1.172	1.173
60	1.174	1.175	1.177	1.177	1.179	1.180	1.184	1.182	1.183	1.184
70	1.185	1.186	1.186	1.187	1.189	1.190	1.196	1.191	1.192	1.193
80	1.194	1.194	1.195	1.195	1.197	1.197	1.198	1.199	1.199	1.200
90	1.201	1.201	1.202	1.202	1.203	1.204	1.204	1.205	1.205	1.206
100	1.207	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209	1.210
1000	1.270									

Sumber: Suripin 2004

Tabel 2.24 Return Periode as a fuction of Reduce Variate (Yt)

Periode ulang	Reduce variate
2	0.3665
5	14.999
10	22.502
25	31.985
50	39.019
100	46.001
1000	69.000

Sumber: Suripin 2004

Tabel 2.25 Reduce Mean (Yn) Gumbel

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.499	0.503	0.507	0.51	0.51	0.513	0.52	0.522	0.522
20	0.523	0.523	0.526	0.528	0.53	0.53	0.532	0.533	0.535	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.538	0.54	0.54	0.541	0.541	0.543	0.543
40	0.543	0.544	0.544	0.545	0.546	0.546	0.546	0.547	0.548	0.548
50	0.546	0.549	0.549	0.549	0.55	0.5	0.55	0.551	0.551	0.551
60	0.532	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.554
70	0.534	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.556	0.556	0.556
80	0.536	0.557	0.557	0.557	0.557	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558
90	0.558	0.558	0.558	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559
100	0.56	0.5602	0.5603	0.5604	0.506	0.5607	0.5608	0.5609	0.561	0.5611
1000	0.575									

Sumber: Suripin 2004

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien skewness (kecondongan atau kemencengan).

2.3.3 Uji Kecocokan Sebaran

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fittest test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi.

Pengujian parameter yang sering dipakai adalah Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov (Suripin, 2004).

a. Uji Chi-Kuadrat

Uji kecocokan Chi-Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 , yang dapat dihitung dengan rumus berikut (Suripin, 2004):

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.30)$$

dengan,

χ_h^2 = harga Chi-Kuadrat terhitung

O_i = jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i

E_i = jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i

G = jumlah sub kelompok

Parameter χ_h^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai χ_h^2 sama atau lebih besar dari pada nilai Chi-Kuadrat yang sebenarnya (χ^2).

Dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.26 Nilai Kritis Untuk Distribusi Chi-Kuadrat

dk	α							
	derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.97	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.21	10.597
3	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.86
5	0.412	0.554	0.831	1.145	11.07	12.832	15.086	16.75
6	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.69	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.18	2.733	15.507	17.535	20.090	21.955

dk	α							
	derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.97	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
9	1.735	2.088	2.7	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.94	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.388	29.819
14	4.075	4.66	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.448	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.39	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.114	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.26	9.591	10.851	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.26	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.52	11.524	13.12	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.16	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.92	41.113	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.733	46.979	50.892	53.672

Sumber : Soewarno 1995

Prosedur uji kecocokan Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
2. Kelompokkan data menjadi G sub-grup, tiap-tiap sub-grup minimal terdapat 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup.
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i .
5. Tiap-tiap sub-group hitung nilai :

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

6. Jumlah seluruh G sub-group nilai $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R=2$, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai $R=1$, untuk distribusi Poisson) (Soewarnno, 1995).

Derajat kebebasan yang digunakan pada perhitungan ini adalah dengan sebagai berikut :

$$dK = n - 3 \quad (2.31)$$

dengan,

dk = derajat kebebasan

n = banyaknya data

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
 2. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
 3. Apabila peluang lebih kecil dari 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu penambahan data.
- b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan ini sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Suripin, 2004).

Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya masing-masing data tersebut :

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

- Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) :

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P'(X_n)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

- Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_n) - P'(X_n)] \quad (2.32)$$

- Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov – Kolmogorov test), tentukan harga D_0 .

Tabel 2.27 Nilai Kritis D_0 Untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	<i>Level of Significance (a)</i>			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.18	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23

N	<i>Level of Significance (α)</i>			
	0.20	0.10	0.05	0.01
N > 50	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$

Sumber: Suripin 2004

2.3.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas Durasi Frekuensi (IDF = *Intensity Duration Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Selanjutnya, berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut lengkung IDF dapat dibuat dengan salah satu dari persamaan berikut :

a. Rumus Talbot

Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (2.33)$$

dengan,

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

a & b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi

b. Rumus Sherman

Rumus ini mungkin cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.34)$$

dengan,

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

n = konstanta

c. Rumus Ishiguro

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \quad (2.35)$$

dengan,

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (mm)

a & b = konstanta

d. Rumus Mononobe

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.36)$$

dengan,

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)

2.3.5 Waktu Konsentrasi

Lama hujan (*time of concentration*) t_c di sini dianggap lamanya hujan yang akan menyebabkan debit banjir dan t_c dihitung dengan rumus :

$$t_c = (0,87 \times L^2 / 1000 \times S) 0.385 \quad (2.37)$$

dengan,

t_c = Waktu Konsentrasi (jam)

L = Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik di tinjau (km)

S = Kemiringan rata-rata daerah lintasan air.

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat t_o dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran t_d , sehingga

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.38)$$

dengan,

$$t_o = \left[\frac{2}{3} \times 3.28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \quad (2.39)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60V} \quad (2.40)$$

dengan,

n = angka kekasaran Manning,

S = Kemiringan lahan

L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m),

L_s = panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m),

V = kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

2.3.6 Debit Rencana

Debit air hujan atau debit limpasan adalah apabila intensitas hujan yang jatuh di suatu Daerah Aliran Sungai melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan – cekungan pada permukaan tanah. Setelah cekungan – cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir diatas permukaan tanah. Debit air hujan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2.41)$$

dengan,

Q = Debit aliran air limpasan (m³/detik)

C = Koefisien *run off* (berdasarkan standar baku)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (ha)

0,00278 = Konstanta

2.3.7 Koefisien Aliran Permukaan (C)

Koefisien C didefinisikan sebagai misbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor ini merupakan variabel yang paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Koefisien limpasan juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi menurun pada hujan yang terus menerus dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya (Suripin, 2004). Harga C untuk berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.28 Koefisien Limpasan C

Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Business	
Perkotaan	0.70-0.95
Pinggiran	0.50-0.70

Deskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Perumahan	
Rumah tunggal	0.30-0.50
Multiunit, terpisah	0.40-0.60
Multiunit, tergabung	0.60-0.75
perkampungan	0.25-0.40
apartemen	0.50-0.70
Industri	
Ringan	0.50-0.80
Berat	0.60-0.90
Perkerasan	
Aspal dan beton	0.70-0.95
Batu bata, paving	0.50-0.70
Atap	0.75-0.95
Halaman, tanah berpasir	
Datar 2%	0.05-0.10
Rata-rata 2-7%	0.10-0.15
Curam, 7%	0.15-0.20
Halaman, tanah berat	
Datar 2%	0.05-0.10
Rata-rata, 2-7%	0.18-0.22
Curam, 7%	0.25-0.35
Halaman kereta api	0.10-0.35
Taman tempai bermain	0.20-0.35
Taman , pekuburan	0.10-0.25
Hutan	
Datar, 0-5%	0.10-0.40
Bergelombang, 5-10%	0.25-0.50
Berbukit, 10-30%	0.30-0.60

Sumber: McGuen, 1989 dalam buku Suripin, 2004

Tabel 2.29 Koefisien *Runoff* dan Persentase Kedap Air

Tata guna lahan	Karakteristik	C	Im(%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0.90	100	
Industry	Bangunan Penuh	0.80	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh.
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha	0.48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0.55	40	
	40 rmh/ha	0.65	60	
	60 rmh/ha	0.75	75	
Permukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0.40	<20	CN=85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0.30	0	

Tata guna lahan	Karakteristik	C	Im(%)	Keterangan
Pedesaan	Tanah berpasir		0	C = 0.20; CN = 60
	Tanah berat (heavy soil)		0	C = 0.35; CN = 75
	Daerah irigasi		0	C = 0.50; CN = 85

Sumber: US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, June 1986

2.4 Analisis Hidrolika

2.4.1 Jenis Pengaliran

a. Saluran terbuka

Aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*) (Suripin, 2004). Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer. Saluran ini berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan atau air hujan yang terletak di daerah yang mempunyai luasan cukup, ataupun drainase air non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan / mengganggu lingkungan. Contoh saluran terbuka antara lain : sungai, saluran irigasi, selokan, talud dan estuari. Persamaan Bernoulli untuk aliran terbuka dalam saluran yaitu :

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.42)$$

dengan,

h = ketinggian (m)

P = tekanan hidrostatik (N/m²)

ρ = rapat massa air (kg/m³)

V = kecepatan aliran (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

b. Saluran tertutup

Aliran saluran tertutup memungkinkan adanya permukaan bebas dan aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Saluran tertutup kemungkinan dapat terjadi aliran bebas maupun aliran tertekan pada saat yang berbeda. Saluran ini bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa). Hal ini dikarenakan tuntutan artistik atau tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang dan lain-lain. Saluran ini umumnya sering dipakai untuk aliran air kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tengah kota. Contoh saluran tertutup antara lain : terowongan, pipa, *aqueduct*, gorong-gorong dan siphon.

Persamaan bernoulli untuk aliran tertutup dalam saluran yaitu :

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.43)$$

dengan,

h = ketinggian (m)

V = kecepatan aliran (m/detik)

g = gaya gravitasi (m/detik²)

Dalam aliran fluida pipa akan terjadi gesekan antara air dengan pipa. Besarnya gesekan ini tergantung pada viskositas dan kecepatan aliran. Untuk mengatasi gesekan didalam mekanika fluida diterapkan kehilangan energi (h_f). Hubungan kehilangan energi (h_f) dengan kecepatan aliran dan gaya kekentalan (viskositas) diberikan rumus Darcy-Weisbach sebagai berikut.

$$h_f = \frac{f l V^2}{2gd} \quad (2.44)$$

dengan,

f = koefisien gesekan

l = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran (m/detik)

d = diameter pipa (m)

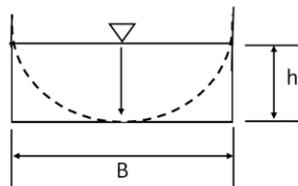
g = gaya gravitasi (m/detik)

Koefisien gesekan sangat bergantung pada viskositas cairan. Hal ini ditunjukkan f sebagai fungsi bilangan reynold (N_{re}). Rumus Darcy-Weisbach berlaku untuk aliran laminar maupun turbulen.

2.4.2 Bentuk Saluran

Menurut Suripin (2004), penampang melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Menentukan dimensi penampang melintang saluran yang ekonomis untuk berbagai macam bentuk adalah sebagai berikut:

a. Penampang Berbentuk Persegi yang Ekonomis



Gambar 2.43 Saluran Bentuk Persegi

Sumber: *Suripin 2004*

Penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar B dan kedalaman air h , maka

$$A = Bh \text{ atau } B = \frac{A}{h} \quad (2.45)$$

$$P = B + 2h \quad (2.46)$$

jika disubstitusikan maka,

$$P = \frac{A}{h} + 2h \quad (2.47)$$

dengan asumsi luas penampang, A adalah konstan, maka Persamaan (2.47) dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh harga P minimum.

$$\frac{\partial P}{\partial h} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0 \quad (2.48)$$

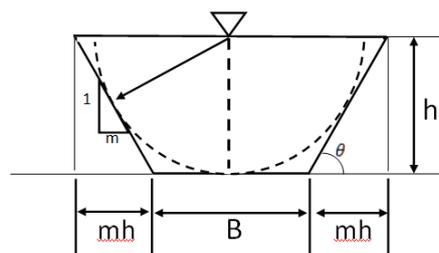
$$A = 2h^2 = Bh \text{ atau } B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2} \quad (2.49)$$

jari-jari hidraulik,

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B + 2h} \text{ atau } R = \frac{2h^2}{2h + 2h} = \frac{h}{2} \quad (2.50)$$

Maka dari itu, bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air.

b. Penampang Berbentuk Trapesium yang Ekonomis



Gambar 2.44 Saluran Bentuk Trapesium

Sumber: *Suripin 2004*

Luas penampang melintang, A dan keliling basah, P , saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapezium dengan lebar dasar B , kedalaman aliran h , dan kemiringan dinding $1:m$

$$A = (B + mh)h \quad (2.51)$$

$$P = B + 2h\sqrt{m^2 + 1} \text{ atau } B = P - 2h\sqrt{m^2 + 1} \quad (2.52)$$

Jika nilai B disubstitusikan pada A maka,

$$A = (P - 2h\sqrt{m^2 + 1})h + mh^2 \quad (2.53)$$

$$\text{atau } A = Ph - 2h^2\sqrt{m^2 + 1} + mh^2$$

Asumsikan luas penampang A dan kemiringan dinding m , adalah konstan maka persamaan diatas dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh kondisi P minimum.

$$\frac{\partial A}{\partial h} = P - 4h\sqrt{m^2 + 1} + 2mh = 0 \quad (2.54)$$

$$\text{atau } P = 4\sqrt{m^2 + 1} - 2mh \quad (2.55)$$

dengan menganggap h konstan, mendiferensial persamaan (2.55) dan membuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{\partial P}{\partial m} = \frac{1}{2} \left(4h \frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} \right) - 2h = 0 \quad (2.56)$$

atau

$$\frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} = 1 \quad (2.57)$$

$$4m^2 = 1 + m^2; m = \sqrt{\frac{1}{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (2.58)$$

Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (2.59) maka persamaan yang diperoleh adalah

$$P = \frac{8}{3}h\sqrt{3} - \frac{2}{3}h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3} \quad (2.59)$$

Jika nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (2.60), maka persamaan yang diperoleh adalah

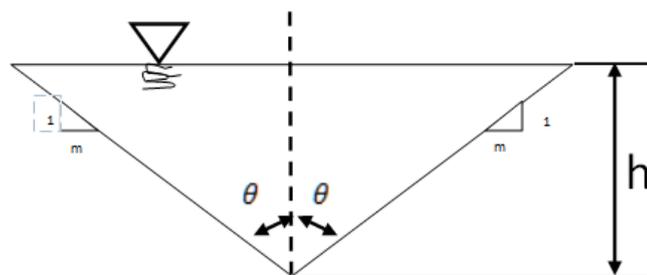
$$B = 2h\sqrt{3} - \frac{4}{3}h\sqrt{3} = \frac{2}{3}h\sqrt{3} \quad (2.60)$$

Selanjutnya, jika nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (2.61), maka diperoleh persamaan berikut:

$$A = \left(\frac{2}{3}h\sqrt{3} + \frac{1}{3}h\sqrt{3}\right)h = h^2\sqrt{3} \quad (2.61)$$

Jadi, penampang trapezium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = (1/\sqrt{3})$, atau $\theta = 60^\circ$. Trapezium yang berbentuk berupa setengah segienam beraturan (heksagonal).

c. Penampang Berbentuk Segitiga yang Ekonomis



Gambar 2.45 Saluran Bentuk Segitiga

Sumber : *Suripin 2004*

Pada potongan melintang saluran yang berbentuk segitiga dengan kemiringan sisi terhadap garis vertikal, θ , dan kedalaman air, h , maka penampang basah = A_m dan keliling basah, P , dapat ditulis sebagai berikut :

$$A = h^2 \tan \theta \text{ atau} \quad (2.62)$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{\tan \theta}} \quad (2.63)$$

$$P = (2h) \sec \theta \quad (2.64)$$

$$P = \frac{2\sqrt{A}}{\sqrt{\tan \theta}} (\sec \theta) \quad (2.65)$$

Pada luas penampang, A , konstan, dengan mendeferensialkan persamaan (2.65) terhadap θ dan dibuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dP}{d\theta} = 2\sqrt{A} \left[\frac{\sec \theta \tan \theta}{\sqrt{\tan \theta}} - \frac{\sec^3 \theta}{2(\tan)^{\frac{3}{2}}} \right] = 0 \quad (2.66)$$

atau

$$\sec \theta (\tan^2 \theta - \sec^2 \theta) = 0 \quad (2.67)$$

karena $\sec \theta \neq 0$, maka

$$2 \tan^2 \theta - \sec^2 \theta = 0 \quad (2.68)$$

atau

$$\sqrt{2 \tan \theta} = \sec \theta \quad (2.69)$$

jadi, $\theta = 45^\circ$, atau $m = 1$

Dengan demikian, saluran berbentuk segitiga yang paling ekonomis adalah jika kemiringan dindingnya membentuk sudut 45° dengan garis vertikal.

2.5 Analisis Varians (*Analysis of Variance*)

Anova atau Anava merupakan bagian dari metode analisis statistika yang biasanya digunakan untuk menguji perbandingan dua atau lebih rata-rata suatu data

populasi atau sampel. Anova sering diistilahkan sebagai uji-F atau Fisher Test, yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari uji-t. Uji-t atau uji-z biasanya digunakan untuk studi komparatif dua rata-rata dari sekumpulan data populasi, sedangkan uji-F atau Anova bisa lebih (Bustami, dkk. 2014).

Misalkan data Anova,

A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
X	X	X	X
X	X	X	X
X	X	X	X
.	.	.	.
N ₁	N ₂	N ₃	N ₄

Maka nilai Anova atau F (F_{hitung}) adalah :

$$F_{hitung} = \frac{V_A}{V_D} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{JK_A/db_A}{JK_D/db_D} \quad (2.70)$$

$$= \frac{\text{Varian antar grup}}{\text{Varian dalam grup}}$$

Varian dalam grup dapat juga disebut varian galat, dan dirumuskan sebagai :

$$JK_A = \sum \frac{(X_{Ai})^2}{n_{Ai}} - \frac{(X_T)^2}{N} \quad (2.71)$$

$$\text{untuk } db_A = A - 1 \quad (2.72)$$

$$JK_D = \sum X_T^2 - \sum \frac{(X_{Ai})^2}{n_{Ai}} \quad (2.73)$$

$$\text{untuk } db_d = N - A \quad (2.74)$$

Dengan,

$$\frac{(X_T)^2}{N} = \text{faktor koreksi}$$

N = Jumlah keseluruhan sampel

A = Jumlah keseluruhan grup sampel

2.5.1 Algoritma Uji Anova Satu Jalur

Menurut Riduwan dalam (Bustami, dkk. 2014) dalam Langkah-langkah uji Anova satu jalur adalah :

1. Sebelum Anova dihitung, data harus bersifat random dalam pengambilannya, berdistribusi normal, dan memiliki varian homogen.
2. Tentukan hipotesis (H_a dan H_0) dalam bentuk kalimat.
3. Tentukan hipotesis (H_a dan H_0) dalam bentuk statistik.
4. Buat daftar statistik induk.
5. Hitung jumlah kuadrat antar grup (JK_A) dengan persamaan (2.71)
6. Hitung derajat bebas antar grup dengan persamaan (2.72)
7. Hitung kuadrat rerata antar grup (KR_A) dengan rumus

$$KR_A = \frac{JK_A}{db_A} \quad (2.75)$$

8. Hitung jumlah kuadrat dalam antar grup (JK_D) dengan persamaan (2.73)
9. Hitung derajat bebas dalam grup dengan persamaan (2.74)
10. Hitung kuadrat rerata dalam grup (KR_D) dengan rumus

$$KR_D = \frac{JK_D}{db_D} \quad (2.76)$$

11. Cari F_{hitung} dengan persamaan (2.70)
12. Tentukan taraf signifikansi, misalkan $\alpha = 0,05$.

13. Cari F_{tabel} dengan rumus

$$F_{\text{tabel}} = F_{(1-\alpha)(db_A, db_D)} \quad (2.77)$$

14. Buat tabel ringkasan ANOVA

Tabel 2.30 Ringkasan ANOVA

Sumber Varian (SV)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat bebas (db)	Kuadrat rerata (KR)	(F_{hitung})	(F_{tabel})
Antar Grup (A)	$\sum \frac{(X_{Ai})^2}{n_{Ai}} - \frac{(X_T)^2}{N}$	A - 1	$\frac{JK_A}{db_A}$	$\frac{KR_A}{KR_D}$	
Dalam Grup (D)	$\sum X_T^2 - \sum \frac{(X_{Ai})^2}{n_{Ai}}$	N - A	$\frac{JK_D}{db_D}$		
Total		N - 1	-	-	-

Sumber : *Bustami 2014*

15. Tentukan kriteria pengujian : jika ($F_{\text{hitung}} \geq F_{\text{tabel}}$), maka tolak H_0

16. Ambil kesimpulan.