

**PENILAIAN SEMULA NILAI KOEFISIEN AIR LARIAN (C) DALAM
KAEDAH RASIONAL MENGGUNAKAN ALAT HUJAN SIMULASI DI
PERMUKAAN BERBEZA**

oleh

MUKHLISAH BINTI HANAFI @ MOHD GHANI

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sastera**

Oktober 2010

Penghargaan

Pertama sekali, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan kekuatan dan kesabaran kurniaNya dapat saya menyiapkan tesis ini. Setinggi-tinggi penghargaan diberikan kepada penyelia, Dr Zullyadini A. Rahaman yang banyak mencurahkan ilmu, nasihat dan dorongan tak terhingga dalam menyempunakan tesis ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada Prof Madya Dr Wan Ruslan Ismail yang turut memberikan bimbingan kepada saya sepanjang kajian dijalankan. Tidak lupa juga kepada rakan-rakan makmal hidrologi terutamanya ‘budak-budak hujan’, terima kasih di atas pertolongan yang telah diberikan. Berbanyak-banyak terima kasih diucapkan kepada kedua ibubapa dan keluarga yang tidak putus-putus memberikan kasih sayang dan sokongan. Akhir sekali, kepada mereka yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam penghasilan tesis ini, terima kasih saya ucapkan.

**Mukhlisah Mohd Ghani
Lot 1301 Kg Baru Luar
Pasir Pekan
16250 Wakaf Baharu
Kelantan**

ISI KANDUNGAN

Penghargaan.....	ii
Isi kandungan	iii
Senarai Jadual	vi
Senarai Rajah	viii
Senarai Plat.....	x
Senarai singkatan dan simbol.....	xi
Abstrak.....	xiii
Abstract.....	xiv

BAB SATU – PENGENALAN

1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Skop kajian.....	3
1.3 Isu dan Permasalahan Kajian.....	3
1.4 Objektif	5
1.5 Hipotesis kajian.....	5
1.6 Kepentingan kajian.....	7
1.7 Struktur tesis.....	7

BAB DUA – SOROTAN LITERATUR

2.1 Pengenalan.....	9
2.2 Sifat fizik hujan.....	9
2.2.1 Ciri-ciri hujan.....	10
2.2.1.1 Intensiti hujan.....	10
2.2.1.2 Saiz butiran hujan.....	13
2.2.1.3 Halaju terminal.....	21
2.2.1.4 Tenaga kinetik	23
2.3 Air larian.....	24
2.3.1 Faktor- faktor yang mempengaruhi air larian.....	29
2.3.2 Kesan perubahan guna tanah terhadap air larian.....	32
2.3.2.1 Kuantiti air larian.....	33
2.3.2.2 Kualiti air larian dan badan air permukaan.....	38
2.3.2.3 Geomorfologi fluvial.....	40
2.3.3 Kajian tentang air larian.....	40
2.4 Penganggaran luahan puncak.....	47
2.4.1 Model penganggaran luahan puncak.....	49
2.4.1.1 Formula Burkli-Ziegler.....	50
2.4.1.2 Soil Conservation Service (SCS)	50
2.4.1.3 Hydrologic Engineering Center’s Hydrologic Modeling System (HEC-HMS).....	51
2.4.1.4 Hydraulic Engineering Centre River Analysis System (HEC-RAS)..	52
2.4.1.5 Stormwater Management (SWMM)	52
2.4.1.6 MIKE 11.....	53
2.4.1.7 Kaedah Rasional.....	54

2.4.2	Hidrograf.....	57
2.5	Koefisien air larian (C).....	61
2.6	Koefisien dan kaedah regresi.....	68

BAB TIGA – ALAT HUJAN SIMULASI SEBAGAI MODUS OPERANDI KAJIAN

3.1	Pengenalan.....	70
3.2	Objektif menggunakan alat hujan simulasi.....	70
3.3	Kelebihan dan kekurangan/ batasan menggunakan alat hujan simulasi.....	72
3.3.1	Kelebihan menggunakan alat hujan simulasi.....	72
3.3.2	Kekurangan/ batasan menggunakan alat hujan simulasi.....	73
3.4	Jenis-jenis alat hujan simualsi.....	75
3.4.1	Alat hujan simulasi menggunakan tekanan.....	76
3.4.2	Alat hujan simulasi tanpa menggunakan tekanan.....	82
3.4.2.1	Pembentuk titisan yang digunakan pada alat hujan simulasi tanpa menggunakan tekanan.....	84
3.5	Komponen-komponen utama alat hujan simulasi.....	85
3.5.1	Bingkai dan struktur alat hujan simulasi.....	86
3.5.2	Bekalan air dan sistem hidraulik.....	87
3.5.3	Sistem perpaipan.....	87
3.5.4	Pam dan motor.....	88
3.6	Ciri-ciri hujan simulasi yang ideal.....	88
3.6.1	Intensiti.....	88
3.6.2	Saiz butiran hujan, median saiz butiran hujan (D_{50}) dan taburan saiz butiran hujan.....	89
3.6.3	Halaju jatuhan butiran hujan.....	90
3.6.4	Tenaga kinetik hujan.....	93

BAB EMPAT – BAHAN DAN KAEDAH PERSAMPELAN

4.1	Pengenalan.....	94
4.2	Strategi persampelan.....	94
4.3	Bahan dan model eksperimen.....	97
4.4	Alat hujan simulasi.....	103
4.4.1	Rekabentuk struktur alat hujan simulasi.....	103
4.4.1.1	Sistem hidraulik dan bekalan air.....	107
4.4.1.2	Sempadan plot air larian dan sistem pengumpulan air larian permukaan.....	107
4.4.2	Penentukuran prestasi alat hujan simulasi.....	110
4.4.2.1	Intensiti hujan.....	110
4.4.2.2	Peratus koefisien keseragaman hujan.....	111
4.4.2.3	Taburan saiz butiran hujan.....	113
4.4.2.4	Halaju jatuhan butiran hujan.....	118
4.4.2.5	Tenaga kinetik hujan simulasi.....	118
4.5	Sistem pengumpulan vakum dan persampelan.....	119
4.6	Pengiraan air larian permukaan.....	121
4.7	Kaedah pengukuran luahan di lapangan.....	122

4.7.1	Pengukuran hujan.....	124
4.7.2	Pengukuran aliran air larian pada saluran keluar kawasan kajian.....	124
4.7.2.1	Pengukuran aras air.....	126
4.7.2.2	Pengukuran luahan.....	126
4.8	Analisis menggunakan kaedah statistik.....	129

BAB LIMA – KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

5.1	Pengenalan.....	131
5.2	Nilai koefisien air larian menggunakan alat hujan simulasi.....	131
5.3	Analisis deskriptif nilai C_{kajian}	135
5.4	Perbandingan nilai C_{kajian} terhadap nilai C_{MSMA} dan C_{ASCE}	138
5.5	Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai koefisien air larian kajian.....	144
5.6	Analisis statistik perbandingan nilai C	147
5.7	Perbandingan luahan puncak cerapan dengan luahan puncak model kaedah Rasional.....	152

BAB ENAM – KESIMPULAN DAN CADANGAN

6.1	Pengenalan	171
6.2	Kesimpulan.....	171
6.3	Cadangan.....	175

RUJUKAN		176
----------------	--	-----

SENARAI JADUAL

Jadual 1.1	Perbandingan nilai koefisien air larian berdasarkan jenis gunatanah	5
Jadual 2.1	Klasifikasi Intensiti Hujan	11
Jadual 2.2	Intensiti Hujan di Pulau Pinang	13
Jadual 2.3	Jumlah hujan di Pulau Pinang	13
Jadual 2.4	Pertalian antara tenaga kinetik dan intensiti hujan	23
Jadual 2.5	Klasifikasi air larian (Bruiejnzeel, 1983)	28
Jadual 2.6	Koefisien air larian yang digunakan Jabatan Parit dan Tali Air (1972)	63
Jadual 2.7	Nilai koefisien air larian yang dicadangkan oleh AUSTEC (1974)	63
Jadual 2.8	Koefisien air larian yang dicadangkan oleh Procter dan Redfern (1969)	64
Jadual 2.9	Nilai koefisien air larian yang dicadangkan oleh ASCE (1969)	65
Jadual 3.1	Hubungan antara saiz butiran hujan dengan halaju teminal (Laws, 1941)	92
Jadual 3.2	Hubungan antara saiz butiran hujan dengan halaju terminal (Guns dan Kinzer, 1949)	92
Jadual 4.1	Klasifikasi guna tanah Pulau Pinang dan jenis permukaan yang digunakan	98
Jadual 4.2	Struktur tanah plot eksperimen	101
Jadual 4.3	Taburan saiz butiran hujan simulasi	117
Jadual 4.4	Tenaga kinetik hujan simulasi mengikut intensiti	119
Jadual 4.5	Luas kawasan kajian berdasarkan jenis guna tanah	122
Jadual 5.1	Persamaan regrasi nilai C_{kajian} berdasarkan jenis permukaan	133
Jadual 5.2	Nilai koefisien air larian, C_{kajian}	133
Jadual 5.3	Statistik deskriptif nilai koefisien air larian	137
Jadual 5.4	Peratus perbezaan nilai C	140

Jadual 5.5	Keputusan analisis ujian t-bebas terhadap nilai C	150
Jadual 5.6	Keputusan analisis Mann-Whitney U dan Wilcoxon W terhadap nilai C	151
Jadual 5.7	Perbandingan nilai luahan puncak	154
Jadual 5.8	Deskriptif statistik luahan puncak	167
Jadual 5.9	Ujian normaliti terhadap nilai luahan puncak	167
Jadual 5.10	Keputusan perbandingan berganda bagi luahan puncak	170
Jadual 5.11	Keputusan perbandingan subset sama luahan puncak	170

SENARAI RAJAH

Rajah 2.1	Taburan Hujan Tahunan di Malaysia (DID, 2000)	12
Rajah 2.2	Tentukuran kaedah pelet gandum	15
Rajah 2.3	Graf isipadu median diameter butiran hujan (D_{50})	17
Rajah 2.4	Taburan saiz butiran hujan pada intensiti sederhana dan rendah	19
Rajah 2.5	Taburan saiz butiran hujan pada intensiti tinggi	19
Rajah 2.6	Hubungan antara D_{50} dan intensiti hujan di kawasan yang berbeza	20
Rajah 2.7	Halaju terminal butiran hujan	22
Rajah 2.8	Komponen air larian	27
Rajah 2.9	Ciri- ciri hidrograf sebelum dan selepas urbanisasi	37
Rajah 2.10	Konsep hidrograf	59
Rajah 2.11	Koefisien air larian (DID, 2000)	66
Rajah 3.1	Jenis-jenis mekanisma alat hujan simulasi	77
Rajah 4.1	Kerangka kaedah kajian	96
Rajah 4.2	Struktur model bumbung	99
Rajah 4.3	Segitiga tekstur tanah USDA	102
Rajah 4.4	Struktur alat hujan simulasi	105
Rajah 4.5	Ciri – ciri semburan hujan simulasi menggunakan nozel Fulljet 1/2HH-50WSQ	106
Rajah 4.6	Jenis permukaan dan kawasan kajian yang digunakan	123
Rajah 4.7	Pengiraan kuahan berdasarkan kaedah luas keratan rentas (Shaw, 1988)	128
Rajah 5.1	Nilai koefisien air larian (C) pada jenis permukaan berbeza mengikut intensiti	134
Rajah 5.2	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan tar	141

Rajah 5.3	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan konkrit	141
Rajah 5.4	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan zink	141
Rajah 5.5	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan bata	142
Rajah 5.6	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan asbestos	142
Rajah 5.7	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan genting	142
Rajah 5.8	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan rumput	143
Rajah 5.9	Perbandingan nilai C mengikut intensiti bagi jenis permukaan tanah terdedah	143
Rajah 5.10	Hubungan korelasi luahan puncak cerapan ($Q_{p_{\text{sebenar}}}$) dengan kedalaman aras air	158
Rajah 5.11	Hubungan korelasi luahan puncak cerapan ($Q_{p_{\text{sebenar}}}$) dengan jumlah hujan	158
Rajah 5.12	Pertalian luahan puncak berdasarkan jumlah hujan	162
Rajah 5.13	Pertalian luahan puncak daripada kaedah Rasional dengan $Q_{p_{\text{sebenar}}}$	164
Rajah 5.14	Boxplot data luahan yang di-log	168

SENARAI PLAT

Plat 4.1	Jenis-jenis permukaan yang diuji a) batu bata, b) tar; c) rumput; d) tanah terdedah	99
Plat 4.2	Nozel hujan simulasi model Fulljet 1/2HH-50WSQ	106
Plat 4.3	Komponen-komponen alat hujan simulasi	106
Plat 4.4	Pam air	109
Plat 4.5	Plot menggunakan <i>trough</i>	109
Plat 4.6	Plot menggunakan sesalur	109
Plat 4.7	Kedudukan bikar yang digunakan untuk menentukan intensiti dan keseragaman taburan hujan simulasi	112
Plat 4.8	Sampel tepung gandum yang membentuk pepejal (pelet)	116
Plat 4.9	Penyedut vakum	120
Plat 4.10	Perakam tolok hujan Casella London	125

SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL

<	=	kurang daripada
>	=	lebih daripada
°C	=	darjah Celsius
Σ	=	Jumlah
f	=	Fungsi
A	=	Luas
AHP	=	Analytical process hieraki
AR&R	=	Australian Rainfall And Runoff
ARI	=	Average recurrent interval / Purata tempoh ulangan
ASCE	=	American Society Of Civil Engineer
ASCE	=	American Society of Civil Engineers
BMP	=	Best Management Practice
C	=	koefisien air larian
C	=	Koefisien air larian
C _{ASCE}	=	Koefisien air larian yang dicadangkan oleh ASCE (1969)
C _{kajian}	=	Koefisien air larian kajian yang diperolehi menggunakan alat hujan simulasi
cm ²	=	sentimeter persegi
cm ³	=	sentimeter padu
C _{MSMA}	=	Koefisien air larian yang dicadangkan oleh DID (2000)
CN	=	number lengkung air larian
CN	=	Curve number / nombor lengkung
CU	=	keseragaman christiansen
D ₅₀	=	isipadu median diameter butiran hujan
DID	=	Department Of Irrigation And Drainage / Jabatan Pengairan Dan Saliran
DID	=	Department of Irrigataion and Drainage
GIS	=	Geography Information System / Sistem maklumat geografi
GPS	=	Global positioning system
HEC-1	=	Hidrologic Engineering Centre
HEC-HMS	=	Hidrologic Engineering Centre – Hydrologic modeling system
HEC-RAS	=	Hidrologic Engineering Centre – River analysis system
HP	=	Hydrological Procedure
I	=	Intensity
In	=	Inci
J	=	Jam
J	=	Joule
JPBD	=	Jabatan Perancang Bandar dan Desa
JPT	=	Jabatan Parit dan Taliair
Kaki ³	=	kaki persegi (ft ³)
KE	=	tenaga kinetic
Kg	=	Kilogram
km ²	=	kilometer persegi
kPa	=	Kilopascal
L	=	Liter

LACWS	=	Los Angeles County Department of Public Works
M	=	Meter
M	=	Jisim
m ³	=	meter padu
Min	=	Minit
ml	=	Milliliter
Mm	=	Millimeter
MPPP	=	Majlis Perbandaran Pulau Pinang
MSMA	=	Manual Of Storm Water Management Atau Manual Saliran Mesra Alam
MSMA	=	Manual Saliran Mesra Alam
N	=	Normality
NAASRA	=	National Association of Australian State Road Authorities
P	=	kebarangkalian berlaku hujan
P	=	jumlah hujan
P _d	=	kebarangkalian rekabentuk hujan
Psi	=	lb ² /inci
Qp	=	Luahan puncak
Q _p _{sebenar}	=	Luahan puncak bagi suatu kejadian rebut yang dicerap di lapangan
R	=	jumlah air larian
R ²	=	penentuan koefisien
RSNPP	=	Rancangan Struktur Negeri Pulau Pinang
S	=	saat
SCS	=	Soil Conservation Service
SPSS	=	Statistical Package for Social Sciences
SWMM	=	Storm water management
t _c	=	masa tumpuan
TOPMODEL	=	Topography-based hydrological model
USDA	=	United States Department Of Agricultural
USGS	=	U. S. Geological Survey
USM	=	Universiti Sains Malaysia
V	=	Halaju

PENILAIAN SEMULA NILAI KOEFISIEN AIR LARIAN (C) DALAM KAEDAH RASIONAL MENGGUNAKAN ALAT HUJAN SIMULASI DI PERMUKAAN BERBEZA

ABSTRAK

Perbezaan nilai anggaran luahan puncak menggunakan model Kaedah Rasional dikatakan berpunca daripada kepelbagaian kaedah dalam menentukan parameter koefisien air larian (C). Nilai koefisien air larian boleh ditakrifkan sebagai perkadaran jumlah hujan yang terbentuk menjadi air larian. Pelbagai kajian yang dijalankan telah menghasilkan nilai C yang berbeza. Sebagai contoh, nilai C yang dicadangkan oleh Manual Saliran Mesra Alam (MSMA) dan American Society of Civil Engineers (ASCE) adalah tidak konsisten atau berbeza-beza, klasifikasi gunatanah nilai C yang sukar difahami, tidak tersusun dan tidak seragam serta kesesuaian nilai C yang dicadangkan diragui penggunaannya di Malaysia. Justeru, kajian ini memberi fokus kepada anggaran nilai C berdasarkan klasifikasi guna tanah bandar di Pulau Pinang menggunakan alat hujan simulasi. Nilai koefisien air larian dijana daripada jenis permukaan yang berbeza secara eksperimen pada skala plot yang mewakili guna tanah kawasan bandar. Dapatan kajian menunjukkan bahawa nilai C yang diperolehi daripada eksperimen ialah 0.80 - 0.86 (tar), 0.84 - 0.91 (konkrit), 0.77 - 0.90 (zink), 0.72 - 0.84 (bata), 0.83 - 0.95 (asbestos), 0.79 - 0.90 (genting), 0.21 - 0.39 (rumput 2° - 7°) dan 0.23 - 0.64 (tanah terdedah 2° - 7°). Variasi nilai C yang diperolehi adalah sangat dipengaruhi oleh jumlah hujan, ketelapan permukaan, kelembapan tanah, ciri-ciri permukaan dan tanah, cerun dan litupan tumbuhan. Perbezaan signifikan nilai C diperolehi apabila perbandingan dilakukan antara nilai C_{kajian} dengan nilai C_{MSMA} (bagi jenis permukaan tar, zink, bata, genting, rumput dan tanah terdedah) dan nilai C_{kajian} dengan nilai C_{ASCE} (bagi jenis permukaan konkrit, asbestos, rumput dan tanah terdedah). Empat faktor yang mempengaruhi perbezaan purata nilai C dalam kajian ini ialah keadaan persekitaran kajian, skala, keadaan fizikal permukaan dan kelembapan anteseden. Perbandingan yang dibuat antara luahan puncak yang dianggar menggunakan nilai C_{kajian} adalah paling hampir dengan nilai luahan puncak yang dicerap di lapangan. Namun begitu, luahan puncak menggunakan kaedah Rasional menunjukkan perbezaan signifikan berbanding luahan puncak cerapan apabila ujian statistik perbandingan berganda dilakukan. Sebaliknya, nilai luahan puncak menggunakan kaedah Rasional dengan aplikasi nilai C berbeza tidak menunjukkan perbezaan secara statistik. Secara kesimpulan, kajian ini mendapati bahawa alat hujan simulasi boleh digunakan sebagai modus operandi yang sesuai dan efisien dari segi kos dan masa dalam kajian-kajian air larian permukaan.

THE EVALUATION OF RUNOFF COEFFICIENT VALUES (C) IN RATIONAL METHOD USING RAINFALL SIMULATOR AT DIFFERENT SURFACES

ABSTRACT

The different values of peak discharge estimated in the Rational Method model is said to be caused by the various methods used in determining the runoff coefficient (C) parameter. The runoff coefficient value can be defined as the total amount of rainfall that is generated to become runoff. Various studies that have been conducted produced C values that differ from one to another. For example, the C values suggested by the Manual of Storm Water Management (MSMA) and the American Society of Civil Engineers (ASCE) were inconsistent or different, the landuse classification confusing, unorganized and not uniform, and also the application of suggested C value is still doubtful to be applied in Malaysia. Thus, this research focused on the estimation of C values based on the landuse classification for urban areas in Penang using a rainfall simulator. The runoff coefficient was generated from various surface types at a plot scale which represents the urban landuse. The results obtained show that the C value is 0.80-0.86 (asphalt), 0.84-0.91 (concrete), 0.77-0.90 (zinc), 0.72-0.84 (brick), 0.83-0.95 (asbestos), 0.79-0.90 (tiled roof), 0.21-0.39 (grass 2° - 7°) and 0.23-0.64 (bare soil 2° - 7°). The variation of C value was influenced by the total amount of rainfall, surface imperviousness, soil moisture, soil and surface characteristics, slope and vegetation cover. There are significant differences in the C value obtained in this study when compared to the C value of MSMA (asphalt, zinc, bricks, tiled roof, grass and exposed soil), and C value of ASCE (concrete and asbestos, grass and exposed soil). The four factors found to influence the differences of C values in this research are environment condition, scale, surface physical condition and soil antecedent moisture. Multiple Comparison test shows that there is a significant difference in the peak discharge estimated using Rational method compared to the gauged peak discharge. Nevertheless, peak discharge estimated from various C values in the Rational method does not show any statistical differences. As a conclusion, this study found that the rainfall simulator can be use as a suitable and efficient modus operandi in terms of cost and time for runoff studies.

BAB SATU

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Perubahan guna tanah daripada kawasan pedalaman kepada bandar atau kawasan industri telah mengubah struktur semulajadi kepada struktur tepu bina atau kawasan tidak telap air. Pelbagai isu dan masalah di bandar terutama di Malaysia adalah berkait rapat dengan jumlah hujan yang lebat dan kerap diterima, bentuk fisiologi kawasan tadahan dan corak urbanisasi dengan mutu perkhidmatan pengurusan bandar yang rendah. Apabila berlakunya kejadian hujan ribut, secara tidak langsung akan memberi kesan air larian terhadap aliran, kualiti dan ekologi jasad air permukaan. Selain masalah hakisan dan pemendapan yang berkait rapat dengan pembangunan, aliran ribut turut menyumbangkan jumlah beban seperti nutrien, sedimen, logam berat, bakteria dan sebagainya yang tinggi kepada jasad air permukaan.

Banjir kilat telah menyebabkan kerugian harta benda, penurunan kualiti air, memberi kesan terhadap aktiviti perikanan, rekreasi dan mengganggu hidupan akuatik. Badan-badan air permukaan adalah sensitif terhadap peningkatan kadar isipadu air larian dan luahan bahan pencemar yang tinggi. Air larian dengan kandungan bahan pencemar yang tinggi akan mengurangkan jumlah isipadu sistem saliran dan boleh menyebabkan sistem saliran tersumbat. Pengalaman terdahulu telah menunjukkan konsep saliran yang digunakan secara meluas di Malaysia adalah bersifat pembuangan yang cepat, terhad, reaktif dan bersifat satu fungsi (DID, 2000).

Walaupun kaedah pembangunan berbeza di setiap negeri atau kawasan, kaedah Rasional telah digunakan secara meluas dalam pengukuran struktur sistem

dua manual rekabentuk dan pemodelan luahan puncak
kehidupan Rasional iaitu Prosedur Hidrologi No. 5 (HP 5)-
Formula Rasional bagi pengiraan banjir untuk kawasan tadahan pedalaman di
Semenanjung Malaysia dan Prosedur Hidrologi No. 16 (HP 16)- Pengiraan banjir
untuk kawasan bandar di Semenanjung Malaysia. Perbezaan kedua-dua manual ini
ialah HP 5 menggunakan formula rasional $Q = CIA$ untuk menganggar luahan
puncak lembangan pedalaman manakala HP 16 menggunakan formula rasional yang
telah diubahsuai, $Q = C_sIA$ untuk menganggar luahan puncak dalam lembangan
bandar. Walau bagaimanapun, pada tahun 2000, pihak Jabatan Pengairan dan Saliran
telah membuat penambahbaikan terhadap HP 16 dan menghasilkan Manual Saliran
Mesra Alam. Namun begitu, praktis prosedur rekabentuk dan pemodelan hujan-air
larian di kawasan bandar di Malaysia kebanyakannya diadaptasi daripada kawasan
beriklim temperat.

Menyedari hakikat itu, kajian ciri-ciri kawasan bandar di Malaysia adalah
sangat penting namun masih kurang dilakukan. Tambahan pula, kekurangan data
hidrologi dari segi kuantiti, kualiti dan panjang rekod yang mana sangat berguna dan
diperlukan bagi tujuan merekabentuk sistem saliran yang baik turut menjadi punca
kepada pengurusan sistem aliran ribut yang lemah.

Masalah kejadian hujan yang sukar diramal dengan tepat telah mendorong
kepada penghasilan pelbagai kaedah dan teknologi baru yang digunakan secara
meluas di negara-negara barat serta pendekatan alternatif untuk mengkaji dan
memahami dengan lebih mendalam tentang proses-proses hidrologi yang terlibat.
Sebagai contoh, penggunaan alat hujan simulasi akan membantu para penyelidik
memahami proses-proses hidrologi dan geomorfologi dengan lebih terperinci.

1.2 Skop Kajian

Kajian ini akan memberi fokus kepada kaedah Rasional yang merupakan salah satu kaedah hidrologi bandar yang sering digunakan di Malaysia (DID, 2000). Penekanan dalam kajian ini diberikan kepada nilai koefisien air larian, nilai C yang terdapat dalam persamaan kaedah Rasional. Koefisien air larian memberikan nilai yang berbeza-beza mengikut jenis guna tanah. Pelbagai nilai koefisien air larian dalam literatur diterbitkan sebagai rujukan dan digunakan untuk merekabentuk sistem saliran dan pengurusan aliran ribut (Jadual 1.1). Antara nilai koefisien air larian yang terdapat dalam literatur adalah seperti yang dicadangkan oleh ASCE (1969), Proctor dan Redfern (1969), Jabatan Parit dan Taliair (1972), AUSTEC (1974) dan DID (2000).

1.3 Isu Dan Permasalahan Kajian

Beberapa isu dan masalah telah timbul berkenaan nilai koefisien air larian dalam kaedah Rasional yang sesuai untuk diaplikasi di sesebuah lembagan adalah seperti berikut:

- 1) nilai koefisien air larian yang tidak konsisten dan memberi nilai C yang berbeza-beza
- 2) Klasifikasi nilai C yang sukar difahami, tidak tersusun dan tidak seragam
- 3) Kesesuaian nilai C yang terdapat dalam Manual Pengurusan Aliran Ribut di Bandar (DID, 2000) yang mengikut piawai Australian Rainfall and Runoff (1977).

juruterapi mendapati nilai koefisien air larian yang telah berbeza antara satu sama lain (Jadual 1.1). Julat nilai C juga adalah tidak tetap dan seragam. Nilai C yang tidak konsisten menyebabkan kekeliruan dalam pemilihan nilai C yang sesuai untuk digunakan bagi merekabentuk sistem saliran yang baik. Klasifikasi guna tanah yang tidak seragam, tidak sesuai dan sukar difahami turut mempengaruhi ketepatan pemilihan nilai C untuk digunakan. Keadaan ini telah menunjukkan pemilihan nilai C oleh para juruterapi dalam kaedah Rasional lebih bersifat andaian semata-mata dan bukan berdasarkan data (Pilgrim & Cordery, 1993). Penerbitan Manual Saliran Mesra Alam (MSMA) oleh Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia pada tahun 2000 telah menyediakan satu panduan khas dalam pengurusan aliran ribut di kawasan bandar Malaysia dan merupakan satu langkah bijak dalam menangani masalah ini. Walau bagaimanapun, manual ini masih menggunakan piawaian daripada Australian Rainfall and Runoff (1977) bagi menepati situasi di Malaysia. Ini termasuklah nilai koefisien air larian dalam kaedah Rasional yang masih menggunakan nilai koefisien air larian berdasarkan piawai Australian Rainfall and Runoff (1977), yang masih boleh diuji kesesuaian penggunaannya di Malaysia.

Terdapat juga beberapa permasalahan yang timbul ekoran isu yang telah dibangkitkan. Kekurangan data hidrologi seperti data hujan dan luahan terutamanya akan menimbulkan masalah dalam proses menginterpretasi penganggaran luahan puncak. Ekoran itu, keperluan kepada kaedah baru seperti menghasilkan hujan simulasi haruslah diuji keberkesanan aplikasinya untuk kajian-kajian hidrologi di Malaysia. Selain itu, kajian guna tanah bandar di Malaysia masih berkurangan yang menyukarkan penentuan peratus jenis guna tanah di Malaysia.

Nilai Koefisien Air Larian Berdasarkan Jenis Gunatanah

Guna tanah	Nilai koefisien air larian (C)				
	DID (2000)	JPT (1972)	AUSTEC (1974)	Proctor & Redfern (1969)	ASCE (1969)
Petempatan	0.8-0.9	0.25-0.5	0.6	0.1-0.8	0.3-0.7
Bumbung	0.8-0.9	-	-	-	0.75-0.95
Tar/ jalan	0.8-0.9	0.7-0.95	0.9	0.9	0.7-0.95
Permukaan	0.6-0.9	0.7-0.95	0.9	0.9	0.7-0.95
Taman	0.1-0.63	-	-	-	0.1-0.35
Tanah lapang	0.4-0.85	-	-	0.1	-
Kawasan terbiar	0.1-0.63	0.1-0.3	-	-	0.1-0.3
Kawasan terbuka	0.1-0.5	-	0.3	0.1	-
Kawasan industri ringan	-	0.5-0.8	-	0.6	0.5-0.8
Kawasan industri berat	-	-	-	-	0.6-0.9
Institusi	-	-	-	0.4	
Komersil	0.6-0.9	0.7-0.95	-	0.8	0.5-0.95

1.4 Objektif

Kajian ini telah menggariskan tiga objektif utama untuk dicapai iaitu:

- 1) Membina alat hujan simulasi untuk menganggar nilai koefisien air larian (nilai C).
- 2) Menilai atau menguji kesesuaian nilai C yang sedia ada.
- 3) Menghasilkan jadual nilai C yang sesuai pada jenis permukaan yang berbeza.

1.5 Hipotesis Kajian

Berdasarkan objektif kajian yang kedua, iaitu untuk menguji nilai koefisien air larian, perbandingan nilai C_{kajian} dijalankan terhadap nilai C_{MSMA} yang dicadangkan oleh

g dicadangkan oleh ASCE (1969). Oleh itu, kajian ini seperti di bawah:

Hipotesis nul (H_0): Tidak terdapat perbezaan signifikan di antara purata nilai C_{kajian} berbanding purata nilai C_{MSMA} .

Hipotesis alternatif (H_1) : Terdapat perbezaan signifikan di antara purata nilai C_{kajian} berbanding purata nilai C_{MSMA} .

dan;

Hipotesis nul (H_0): Tidak terdapat perbezaan signifikan diantara purata nilai C_{kajian} berbanding purata nilai C_{ASCE} .

Hipotesis alternatif (H_1) : Terdapat perbezaan signifikan di antara purata nilai C_{kajian} berbanding purata nilai C_{ASCE} .

Perbandingan luahan puncak secara statistik turut dilakukan terhadap nilai luahan puncak yang dicerap di lapangan (Q_{psebenar}) dan nilai luahan puncak menggunakan kaedah Rasional. Hipotesis untuk analisis statistik ini ialah:

Hipotesis nul (H_0): Tidak terdapat perbezaan signifikan di antara purata nilai Q_{psebenar} berbanding nilai luahan puncak menggunakan kaedah Rasional.

Hipotesis alternatif (H_1) : Terdapat perbezaan signifikan di antara purata nilai Q_{psebenar} berbanding nilai luahan puncak menggunakan kaedah Rasional.

kan mempunyai beberapa kepentingan dan sumbangan dalam bidang hidrologi khususnya. Antara kepentingan dan sumbangan hasil daripada kajian ini ialah:

- 1) Dapat mengenal pasti nilai C yang sesuai digunakan untuk aplikasi pengurusan aliran ribut di kawasan bandar di Malaysia, khususnya di bandar Pulau Pinang
- 2) Dapat membina jadual koefisien air larian, nilai C yang sesuai untuk digunapakai di kawasan bandar di Pulau Pinang.
- 3) Penilaian koefisien air larian dalam kaedah Rasional berdasarkan hujan simulasi akan mewujudkan satu pendekatan baru yang lebih mudah dan fleksibel untuk digunapakai.

1.7 Struktur Tesis

Tesis ini mengandungi enam bab yang merangkumi pengenalan, sorotan literatur, bahan dan kaedah persampelan, keputusan dan perbincangan dan kesimpulan dan cadangan. Ringkasan struktur tesis adalah seperti berikut:

a) Bab Satu

Bab ini merupakan pendahuluan kepada tesis yang menghuraikan isu-isu berkenaan air larian permukaan serta praktis hidrologi di kawasan bandar. Selain itu, skop dan objektif kajian turut dijelaskan dalam bab ini.

b) Bab Dua

Bab dua iaitu sorotan literatur menghuraikan teori-teori asas berkaitan kajian yang dijalankan serta himpunan kajian-kajian air larian yang telah dilakukan.

memperkenalkan alat hujan simulasi sebagai modus operandi kajian. Tinjauan literatur tentang alat hujan simulasi dilakukan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kelebihan menggunakan alat ini.

d) Bab Empat

Bahan dan kaedah persampelan yang digunakan dalam kajian dihuraikan dengan terperinci dalam bab ini. Kerangka kaedah dibina dan dipersembahkan untuk menghuraikan secara ringkas aliran kajian yang dijalankan.

e) Bab Lima

Bab lima iaitu keputusan dan perbincangan menghuraikan hasil dapatan kajian yang merangkumi tiga komponen utama iaitu, nilai koefisien air larian yang diperolehi daripada alat hujan simulasi, perbandingan nilai C_{kajian} dengan nilai C_{MSMA} dan C_{ASCE} dan justifikasi nilai C_{kajian} melalui aplikasi dalam kaedah Rasional.

f) Bab Enam

Ini merupakan bab terakhir dalam tesis yang menghuraikan kesimpulan kajian serta cadangan penambahbaikan kajian pada masa hadapan.

BAB DUA

SOROTAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Perkembangan tamadun dan aktiviti manusia sedikit demi sedikit telah mengganggu keadaan asal persekitaran badan air semulajadi, mengganggu keseimbangan dinamik kitaran hidrologi yang menyebabkan permulaan kepada proses baru. Menurut Bras (1990) kitaran hidrologi didefinisikan sebagai proses pemindahan dan saling interaksi jisim air (air dalam pelbagai bentuk) yang hadir di atmosfera, permukaan tanah, dan laut. Sifat hidrologi sesuatu kawasan ditentukan oleh pola cuaca serta faktor fizikal seperti topografi, geologi dan tumbuhan. Dalam kitaran hidrologi, kerpasan merupakan salah satu komponen kompleks yang penting untuk difahami. Lembangan pula merupakan sistem fizikal yang memberikan tindak balas terhadap input kerpasan. Justeru, bab ini akan membincangkan tentang ciri-ciri fizikal hujan, tindakbalas komponen hidrologi seperti hujan dan air larian terhadap perubahan guna tanah lembangan bercirikan kawasan bandar dan menghuraikan kajian-kajian yang telah dilakukan mengenai penganggaran luahan puncak serta air larian permukaan.

2.2 Sifat Fizik Hujan

Hujan merupakan salah satu agen utama yang mempengaruhi proses hakisan, infiltrasi dan air larian di permukaan bumi. Bersesuaian dengan ciri-ciri iklim Khatulistiwa, Malaysia yang dipengaruhi oleh sistem angin daripada Laut Cina Selatan dan Laut Hindi menerima jumlah hujan yang tinggi sepanjang tahun. Pantai

menerima hujan tempatan dan hujan perolakan daripada
n April/ Mei dan Oktober/ November manakala pantai

Timur semenanjung Malaysia pula menerima hujan lebat daripada Monsun Timur Laut (Nov ó Mac). Input jumlah hujan yang tinggi dalam lembangan telah menjadikannya penting untuk mengetahui sifat-sifat fizik hujan. Sifat-sifat fizik hujan yang dimaksudkan ialah ciri-ciri hujan seperti intensiti, tempoh hujan, jumlah hujan, saiz butiran hujan, halaju terminal dan tenaga kinetik hujan.

2.2.1 Ciri-ciri Hujan

Ciri-ciri hujan di setiap negara adalah berbeza-beza bergantung kepada jenis hujan yang turun dalam lembangan. Impak hujan terhadap hidrologi lembangan dipengaruhi oleh ciri-ciri hujan yang terbentuk. Bahagian ini akan menghuraikan ciri-ciri hujan dari segi intensiti, tempoh hujan, jumlah hujan, saiz butiran hujan, halaju terminal dan tenaga kinetik hu jan dengan terperinci.

2.2.1.1 Intensiti Hujan

Intensiti hujan merupakan parameter ciri-ciri hujan yang paling penting untuk diketahui (Morgan, 2005). Pengukuran intensiti hujan adalah perlu untuk tujuan meteorologikal dan disukat menggunakan tolok hujan. Intensiti hujan dinyatakan dalam unit mm per minit (Morgan, 1974) dan diwakili oleh formula :

$$I = A/N \quad (2.1)$$

ujan

A = jumlah bilangan hujan dalam sebulan

N = jumlah bilangan hari hujan dalam bulan yang sama

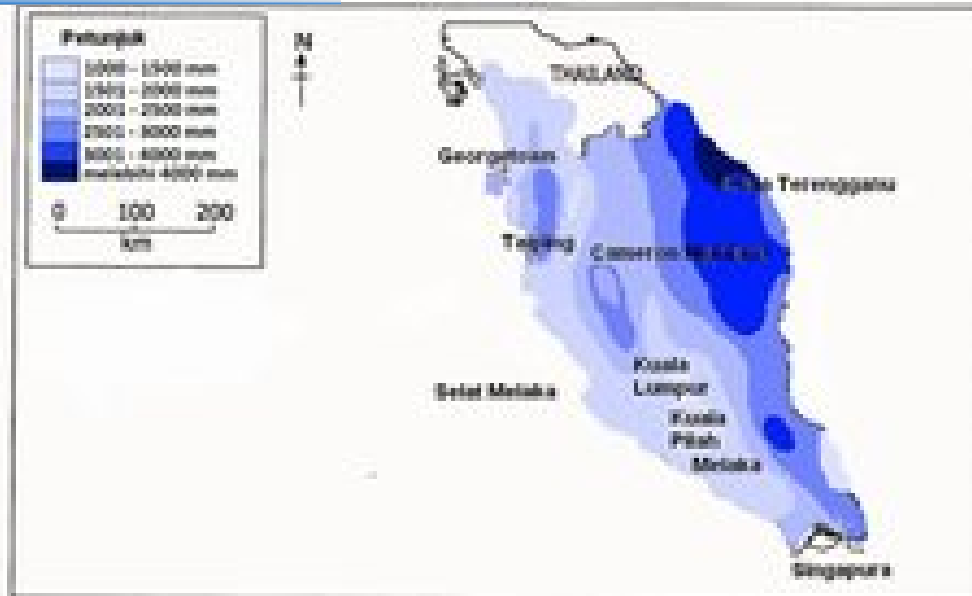
Bilangan hari hujan ditakrifkan sebagai 24 jam, bermula jam 0730 dengan jumlah hujan yang dicatat adalah 0.2 mm atau lebih. Dengan menerima purata hujan tahunan sebanyak 2000 mm (Rajah 2.1), Roslan (1995) telah mengklasifikasikan kepada empat kelas intensiti hujan di Malaysia (Jadual 2.1).

Jadual 2.1: Klasifikasi Intensiti Hujan

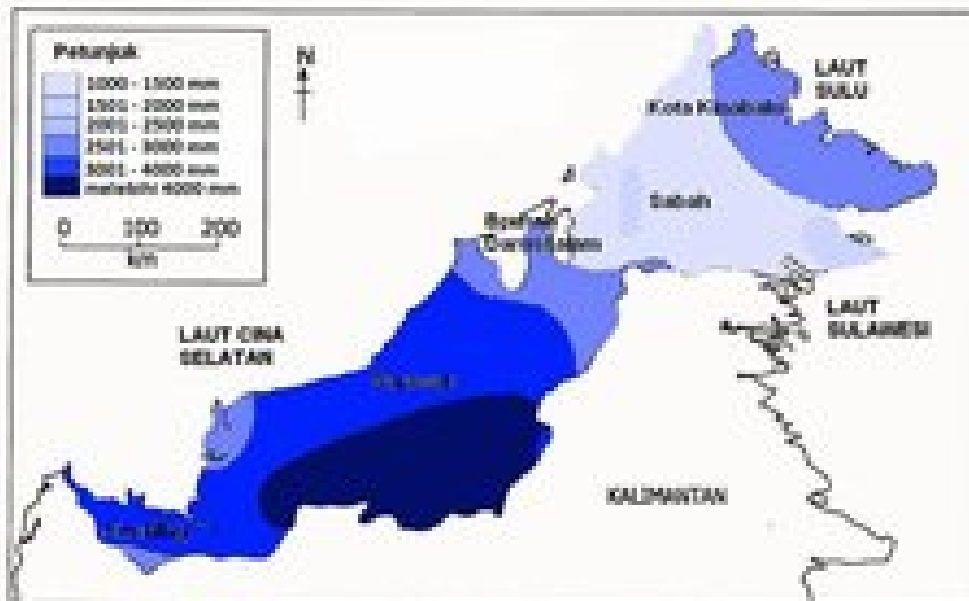
Intensiti hujan (mm/jam)	Kelas
< 6.5	Rendah
6.5 ó 13.0	Sederhana
13.0 ó 50.0	Tinggi
> 50.0	Sangat tinggi

Sumber: Roslan (1995)

Purata nisbah ulangan (ARI) dirujuk sebagai kebarangkalian tempoh ulangan, iaitu purata jangka masa antara kejadian hujan yang mempunyai magnitud, isipadu dan tempoh hujan yang sama. Purata masa antara kejadian hujan adalah dalam unit tahun iaitu dari dua hingga 100 tahun. Contoh intensiti hujan dan jumlah hujan yang diterima di Pulau Pinang bagi ARI tertentu dapat dilihat dalam Jadual 2.2 dan Jadual 2.3. Hujan yang turun dalam tempoh tertentu mempunyai kepentingan dalam penentuan air larian permukaan dan hakisan tanah (Hew, 1999). Jumlah hujan harian yang melebihi 34 mm dianggap sebagai lebih hujan dan akan mengalir sebagai air larian daripada tanah (Morgan, 1974).



(a) Semenanjung Malaysia



(b) Sabah dan Sarawak

Rajah 2.1: Taburan Hujan Tahunan di Malaysia (DID, 2000)

Pulau Pinang

Ulangan (ARI)	60min	30min	20min	15min	10min	5min
2	67.00	98.85	129.27	154.08	192.09	251.28
5	80.15	116.50	151.10	178.69	219.41	273.26
10	92.82	136.63	178.50	212.52	264.39	343.56
20	92.14	152.43	211.42	265.31	362.59	604.69
50	116.63	169.36	219.53	259.48	318.30	395.05
100	129.71	189.36	240.09	282.13	342.09	408.02

Sumber: DID, 2000

Jadual 2.3: Jumlah Hujan di Pulau Pinang

Purata Nisbah Ulangan (ARI)	60min	30min	20min	15min	10min	5min
2	67.00	49.42	43.09	38.52	32.01	20.94
5	80.15	58.25	50.37	44.67	36.57	22.77
10	92.82	68.32	59.50	53.13	44.07	28.63
20	92.10	76.21	70.47	66.33	60.43	50.39
50	116.63	84.68	73.18	64.87	53.05	32.92
100	129.71	93.18	80.03	70.53	57.02	34.00

Sumber: DID, 2000

2.2.1.2 Saiz Butiran Hujan

Menurut Hudson (1981), kajian tentang saiz butiran hujan yang paling awal telah dilakukan oleh Lowe pada tahun 1892 yang mana beliau telah menggunakan kepingan slate untuk mengukur saiz butiran hujan. Kemudian, pelbagai teknik dan kaedah mula dikaji dan diperkenalkan oleh para pengkaji untuk menentukan saiz butiran hujan dengan lebih tepat dan praktikal. Cruvinel et al. (1999) telah menyenaraikan sekurang-kurangnya lima teknik pengukuran saiz butiran hujan dalam tinjauan literaturnya. Contoh teknik-teknik pengukuran saiz butiran hujan yang telah dinyatakan oleh Cruvinel et al. (1999) ialah kaedah momentum (Scheleusener, 1967), kaedah kesan (Hall, 1970), kaedah pelet gandum (Hudson,

ah fotografik (Roels, 1981) dan kaedah δ mmersion δ
ore, 1983).

Kaedah momentum merupakan salah satu kaedah yang paling berkesan untuk mengukur saiz butiran hujan. Kaedah ini menggunakan alatan seperti *pressure transducer* dan *piezoelectric sensors* yang amat sesuai digunakan untuk menentukan saiz butiran hujan yang seragam sahaja.

Kaedah kesan (stain method) adalah berdasarkan kepada andaian bahawa taburan saiz butiran hujan diperolehi melalui perbandingan saiz butiran yang diketahui diameternya. Kalibrasi perlu dilakukan sebelum menggunakan kaedah ini. Anggaran purata ralat yang dihasilkan melalui kaedah ini adalah sebanyak 14% hingga 6% untuk titisan seberat 0.037 hingga 37.0 mg. Satu lagi teknik yang boleh digunakan untuk mengukur saiz butiran hujan ialah dengan menggunakan kertas penyerap yang dilapisi pewarna debu. Kesan butiran hujan berbentuk bulat akan dapat dilihat pada kertas tersebut apabila terkena titisan hujan. Saiz butiran hujan dikira menggunakan formula (2.2).

$$D = aS^b \quad (2.2)$$

Di mana;

D ialah diameter saiz butiran

S ialah diameter kesan butiran hujan

a dan b ialah pemalar tentukan

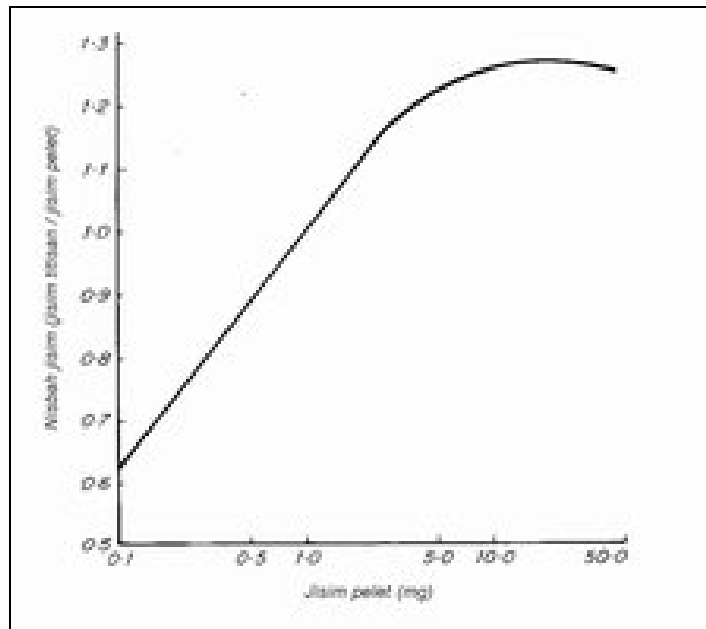
ini merupakan satu kaedah popular untuk mengukur saiz butiran hujan diambil menggunakan piring yang berisi gandum. Setiap butiran hujan yang jatuh dalam gandum akan membentuk globul gandum basah yang kemudiannya dibakar dan membentuk butiran yang keras. Kalibrasi hubungan antara saiz pelet yang terbentuk dengan saiz butiran hujan dilakukan (Rajah 2.2).

Kaedah fotografik yang digunakan oleh pengkaji adalah berdasarkan analisis manual foto titisan yang diambil menggunakan kamera reflex lensa-tunggal. Pengukuran terus dapat dilakukan melalui foto yang diperolehi untuk menentukan saiz dan bentuk titisan hujan yang tersebar pada permukaan *homogeneous*. Namun begitu, kaedah ini tidak sesuai diaplikasi untuk menentukan taburan saiz butiran hujan.

Kaedah *immersion* menggunakan larutan likat (larutan campuran hidrolis, larutan hidrokarbon, minyak Apiezon, minyak penyedut vakum dan pelbagai larutan minyak likat yang lain) untuk memungut titisan hujan. Larutan tersebut akan mensaluti butiran hujan dan mengelak butiran tersebut daripada tersejat atau terkondensasi. Diameter saiz butiran hujan yang terperangkap dalam larutan likat tadi akan dapat diukur menggunakan mikroskop. Namun, antara keburukan aplikasi kaedah ini ialah butiran hujan yang kecil sukar menembusi larutan likat kerana tegangan permukaan (surface tension) yang tinggi.

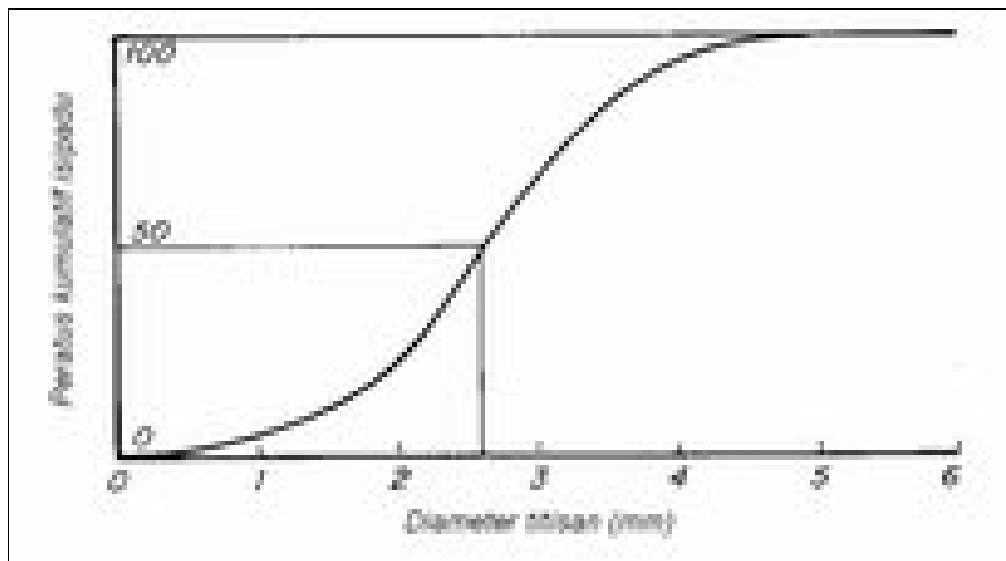
Cruvinel et al. (1999) telah mengkaji saiz butiran hujan dan taburannya dengan menggunakan kaedah pemrosesan imej. Teknik ini bukan sahaja dapat mengukur saiz butiran hujan (berukuran Ö 0.1 mm sehingga 85 mm), tetapi juga dapat menentukan bilangan butiran hujan. Ralat menggunakan kaedah ini adalah tidak melebihi 1.5%.

981), saiz maksimum butiran hujan mempunyai garis
lebih besar daripada saiz ini akan cenderung tercerai dan
membentuk saiz yang lebih kecil. Kepelbagaian saiz butiran hujan dalam sesuatu
kejadian hujan ini diukur menggunakan parameter isipadu median diameter butiran
hujan (D_{50}). Isipadu median diameter butiran hujan (D_{50}) merujuk kepada setengah
daripada isipadu butiran hujan adalah berdiameter besar dan setengah daripada
isipadu butiran hujan terdiri daripada butiran berdiameter kecil. Ia diperolehi dengan
memplot graf isipadu kumulatif melawan diameter butiran (Rajah 2.3).



Rajah 2.2.: Tentukuran Kaedah Pelet Gandum

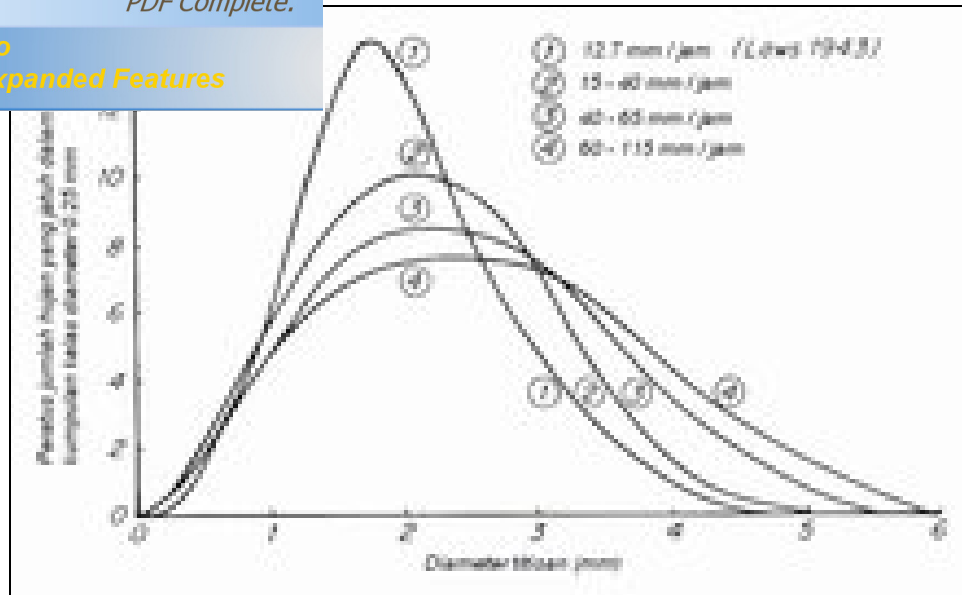
Sumber: Diubahsuai daripada Hudson (1981)



Rajah 2.3: Graf Isipadu Median Diameter Butiran Hujan (D_{50})

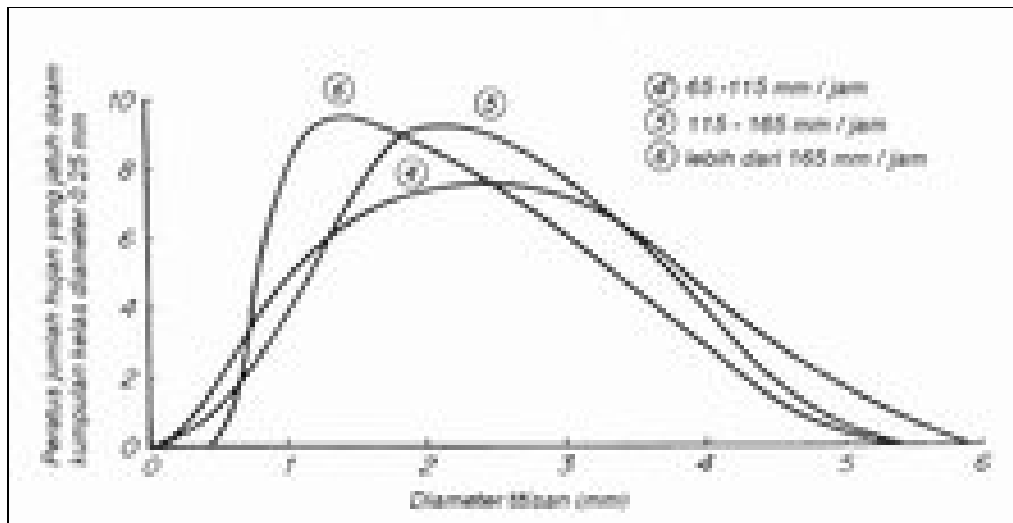
Sumber: Diubahsuai daripada Hudson (1981)

antara intensiti hujan dan D_{50} telah dilakukan oleh Laws (1943). Kajian Laws dan Parson tertumpu kepada taburan saiz butiran hujan di Timur USA yang bercirikan intensiti hujan yang rendah. Best (1950) telah menunjukkan hubungan antara D_{50} dan intensiti hujan adalah dalam bentuk $D_{50} = aI^b$ (a dan b adalah pemalar). Kajian-kajian tentang intensiti hujan yang tinggi pula telah dilakukan oleh Hudson (1963), Baruah (1973), Carter et al., (1974) dan Kowal dan Kassam (1977). Hudson (1963) telah mendapati terdapat perbezaan corak dari segi hubungan D_{50} terhadap intensiti hujan yang tinggi (Rajah 2.4 dan Rajah 2.5). Puncak lengkung diameter butiran hujan menaik sehingga 80 atau 100 mm/jam dan diameter butiran hujan ini menurun pada intensiti yang masih tinggi. Pada intensiti 200 mm/jam, pertembungan titisan hujan yang kecil berlaku dan menyebabkan D_{50} meningkat semula (Carter et al., 1974). Justeru, anggaran saiz butiran hujan menggunakan hubungan $D_{50} = I^b$ adalah tidak sesuai diaplikasi di kawasan tropika yang menerima intensiti hujan yang tinggi. Kepelbagaian perbezaan hubungan antara D_{50} dan intensiti wujud; taburan saiz butiran hujan dan D_{50} yang mempunyai intensiti yang sama adalah berbeza di kawasan yang berbeza (Mason & Andrews 1960; Carter et al., 1974; Kinnell 1981). Perbezaan saiz butiran hujan juga wujud bagi jenis hujan yang berbeza (Hudson 1981). Ciri-ciri saiz butiran hujan bagi jenis hujan perolakan dan hujan perenggan adalah berbeza (Morgan, 2005). Prinsip ini mula dikenalpasti di Zimbabwe dan dikukuhkan lagi dengan penemuan kajian yang dibuat di Thailand (Baruah, 1973), Nigeria (Kowal & Kassam, 1977) dan Amerika (Carter et al., 1974) (Rajah 2.6).



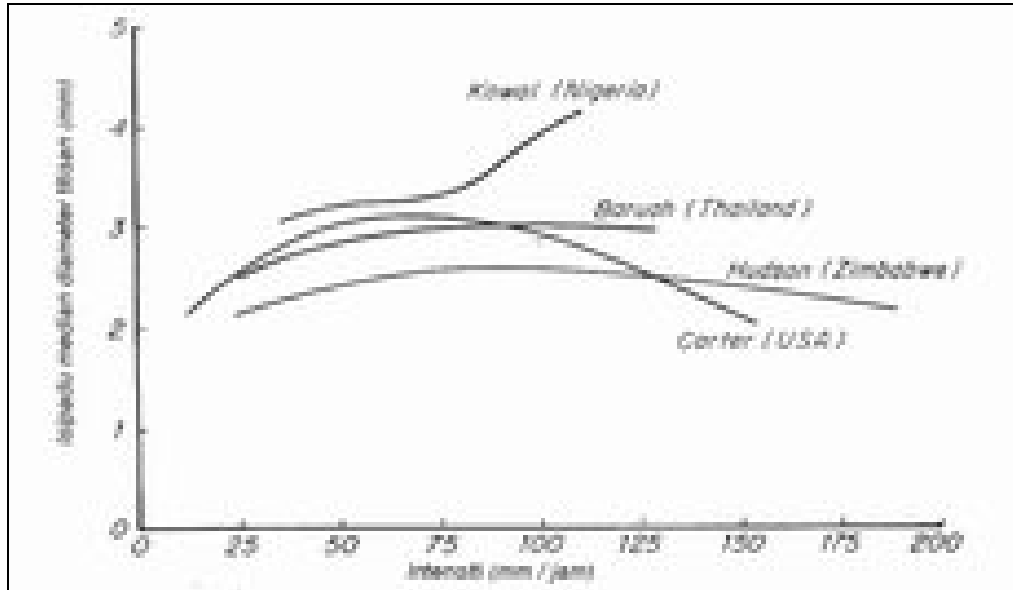
Rajah 2.4: Taburan Saiz Butiran Hujan Pada Intensiti Sederhana Dan Rendah

Sumber: Diubahsuai daripada Hudson (1981)



Rajah 2.5: Taburan Saiz Butiran Hujan Pada Intensiti Tinggi

Sumber: Diubahsuai daripada Hudson (1981)

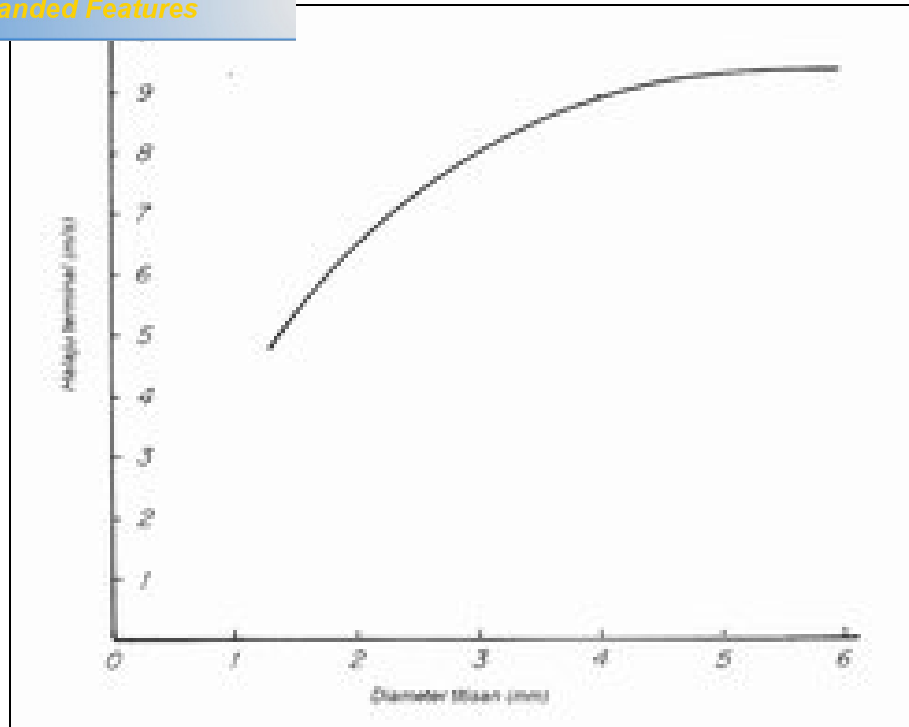


Rajah 2.6 : Hubungan Antara D_{50} Dan Intensiti Hujan Di Kawasan Yang Berbeza

Sumber: Diubahsuai daripada Hudson (1981)

suatu jasad dirujuk kepada suatu jasad yang jatuh di bawah tekanan graviti akan memecut sehingga tahanan rintangan udara adalah sama dengan tekanan graviti udara, dan seterusnya jatuh pada kelajuan yang sama. Halaju terminal bergantung kepada saiz dan bentuk jasad. Halaju terminal butiran hujan meningkat apabila saiz butiran hujan bertambah. Kajian yang telah dilakukan oleh Laws (1941) telah menunjukkan bahawa diameter butiran hujan maksimum, iaitu 5 mm mempunyai halaju terminal sebanyak 9 meter/saat (Rajah 2.7).

Kajian halaju terminal yang telah dilakukan oleh Laws (1941) adalah dengan menggunakan kaedah fotografi berkelajuan tinggi. Gunn dan Kinzer (1949) pula telah menggunakan cas elektrik untuk menentukan halaju terminal titisan hujan yang melalui cincin induksi. Impuls yang terhasil daripada jatuhan titisan air yang melalui cincin induksi di baca menggunakan amplifiler. Hasil dapatan kajian mendapati, keputusan yang diperolehi oleh Gunn dan Kinzer (1949) berbeza sebanyak 3 % daripada keputusan yang diperolehi oleh Laws (1941). Laws (1941) juga mendapati bahawa tiupan angin dan perolakan udara turut memberi kesan terhadap halaju terminal titisan hujan. Kesan angin dikatakan akan lebih mempengaruhi titisan hujan yang kecil berbanding titisan hujan yang besar dengan halaju yang tinggi. Walau bagaimanapun, kebanyakan titisan hujan yang sampai ke permukaan bumi dengan 95 % daripada halaju terminal udara. Di kawasan Tropika, Hudson (1964b) menyatakan bahawa kadar halaju terminal hujan tertinggi di kawasan ini adalah dipengaruhi oleh tiupan angin dan berkait rapat dengan corak angin di sekitar perolakan hujan ribut.



Rajah 2.7: Halaju Terminal Butiran Hujan

Sumber: Diubahsuai daripada Hudson (1981)

an hujan dan halaju terminal hujan telah diketahui, pengiraan tenaga kinetik atau momentum titisan hujan yang turun dapat dilakukan. Momentum atau tenaga kinetik hujan adalah penting untuk dikaji kerana ia mempengaruhi proses-peroses hakisan tanah, penyusupan, penutupan permukaan dan air larian. Terdapat pelbagai kaedah yang digunakan untuk menentukan tenaga kinetik titisan hujan seperti pengesan akustik, *pressure transducers* dan pengesan *piezoelectric* (Hudson, 1981). Pelbagai persamaan telah dibentuk bagi mewakili pertalian antara tenaga kinetik dan intensiti hujan (Jadual 2.4).

Jadual 2.4: Pertalian Antara Tenaga Kinetik dan Intensiti Hujan

Persamaan	Sumber
$E = 0.0119 + 0.0873 \log_{10} I$	Digunakan dalam Universal Soil Loss Equation, USLE (Wischmeier & Smith 1978); berdasarkan saiz butiran hujan yang dikaji oleh Laws dan Parsons (1943).
$E = 0.29 (1 - 0.72 e^{-\delta I/20})$	Digunakan dalam Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE; (Brown & Foster, 1987)
$E = 0.0895 + 0.0844 \log_{10} I$	Berdasarkan taburan saiz butiran hujan yang diukur oleh Marshall dan Palmer (1948)
$E = 0.0981 + 0.1125 \log_{10} I$	Zanchi dan Torri (1981) untuk Toscana, Itali
$E = 0.359 (1 - 0.56 e^{-0.034I})$	Coutinho dan Tomas (1995) untuk Portugis
$E = 0.0981 + 0.106 \log_{10} I$	Onaga et al. (1988) untuk Okinawa, Jepun
$E = 0.298 (1 - 4.29/L)$	Hudson (1965) untuk Zimbabwe
$E = 0.29 (1 - 0.6 e^{-0.04I})$	Rosewell (1986) untuk New South Wales, Australia
$E = 0.26 (1 - 0.7 e^{-0.035I})$	Rosewell (1986) untuk southern Queensland Australia
$E = 0.1132 + 0.0055 I \delta + 0.005 \times 10^{-2} I^2 + 0.00126 \times 10^{-4} I^3$	Carter et al. (1974) untuk tengah selatan Amerika Syarikat
$E = 0.384 (1 - 0.54 e^{-0.029I})$	Cerro et al. (1998) untuk Barcelona, Sepanyol
$E = 0.369 (1 - 0.69 e^{-0.038I})$	Jayawardena dan Rezaur (2000) untuk Hong Kong
$E = 0.283 (1 - 0.5 e^{-0.042I})$	Dicadangkan oleh Van Dijk et al. (2002) sebagai kegunaan sejagat

Sumber: Morgan (2005)

mengkaji pencapaian sembilan formula tenaga kinetik beriklim Mediterranean. Sembilan formula tenaga kinetik yang digunakan dalam kajian ini telah dicadangkan oleh Wischmeier & Smith (1958), Park et al. (1980), Laws dan Parson (1943), Atlas (1953), Brandt (1989), Willis (1984), Marshall dan Palmer (1948), Willis dan Tattelman (1989) dan Brandt (1990). Perbandingan aplikasi formula-formula tersebut dilakukan berdasarkan intensiti hujan dan tenaga kinetik dengan menggunakan data primer saiz butiran hujan di kawasan beriklim Mediterranean. Hasil kajian mendapati performance formula-formula tersebut bergantung kepada julat intensiti hujan, yang menjurus kepada perbezaan ketara antara formula-formula terutama apabila intensiti hujan mencapai 30 mm/jam.

2.3 Air Larian

Dalam kitaran hidrologi, hujan yang turun dan mencecah ke permukaan bumi akan mengalami satu proses penapisan yang sangat penting yang akan menentukan arah air larian cerun tersebut akan masuk atau tiba ke dalam alur sungai. Laluan yang diambil oleh air larian itu akan mempengaruhi ciri-ciri bentuk mukabumi, penjanaan air larian ribut dan strategi yang diperlukan untuk pengurusan lembangan yang cekap (Dunne & Leopold, 1978). Proses yang mewujudkan aliran ribut dan jumlah sumbangannya berbeza mengikut iklim, tumbuhan, gunatanah, kandungan tanah, topografi dan ciri-ciri hujan (Dunne & Leopold, 1978; Chorley, 1978; Walsh, 1980; Ward, 1984).

Setiap penyelidik telah mengklasifikasikan air larian kepada komponen-komponen yang berbeza. Misalnya, Ismail (1994), telah membahagikan air larian kepada dua komponen utama iaitu, air larian permukaan dan air larian bawah

es dan Young (2006) pula menyatakan aliran permukaan langsung kerpasan dalam sungai, air larian permukaan dan aliran subpermukaan. Bruijnzeel (1983) membahagikan laluan air menuju ke dalam alur sungai kepada lima jenis, seperti dalam Jadual 2.5. Walaupun setiap pengkaji mengklasifikasikan air larian kepada komponen-komponen yang berbeza, tetapi konsep yang dibincangkan tetap sama.

Air larian permukaan terjadi apabila intensiti hujan (atau pencairan salji) melebihi dari kadar keupayaan susupan tanah dan mengalir dari permukaan cerun, dan seterusnya masuk ke dalam alur sungai (Jansson, 1982). Ia juga dikenali sebagai model aliran permukaan Horton atau aliran tepu permukaan kerana ia adalah lebih daripada simpanan (*storage*) di bawah lapisan tanah yang telah menjadi tepu akibat hempasan hujan dan tidak berupaya lagi menyerap air (Ismail, 1994). Aliran langsung pula dirujuk kepada pergerakan air ke bawah cerun menuju ke alur sungai di dalam profil tanah dan biasanya di bawah keadaan tidak tepu. Di bawah keadaan tepu, aliran di dalam tanah di rujuk kepada aliran sisi, yang terjadi apabila air yang lama di sub permukaan di dalam tanah itu telah diganti dengan air yang baru (Bruijnzeel, 1983). Terdapat juga aliran yang melalui satu jaringan sub permukaan yang berbentuk seperti paip atau tiub yang berjalin antara satu sama lain yang dirujuk sebagai aliran paip (Walsh & Howel, 1988; Sinun, 1991). Aliran bawah tanah atau aliran lewat dirujuk kepada air yang menyusup masuk ke dalam tanah dan sampai ke aras air bawah tanah dan diluahkan ke permukaan bumi melalui pancutan mata air. Air larian permukaan akan menyebabkan kadar luahan yang tinggi di dalam alur sungai dan biasanya dikelaskan sebagai air larian ribut atau air larian langsung. Air di bawah permukaan, yang mengalir pada kadar halaju yang rendah dan laluan yang jauh serta tiba ke alur sungai dalam masa yang agak panjang, akan mengekalkan