

**USULAN ALGORITMA D32 UNTUK PEMODELAN ALIRAN
AIR PERMUKAAN**

**PROPOSED D32 ALGORITHM FOR MODELING
SURFACE WATER FLOW**



**WAWAN FIRGIAWAN
D082202013**

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

**USULAN ALGORITMA D32 UNTUK PEMODELAN ALIRAN
AIR PERMUKAAN**



**WAWAN FIRGIAWAN
D082202013**

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

**USULAN ALGORITMA D32 UNTUK PEMODELAN
ALIRAN AIR PERMUKAAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi S2 Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh:

WAWAN FIRGIAWAN

D082202013

Kepada

PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

USULAN ALGORITMA D32 UNTUK PEMODELAN ALIRAN AIR PERMUKAAN

Disusun dan diajukan oleh

WAWAN FIRGIAWAN

D082202013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 24 Januari 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

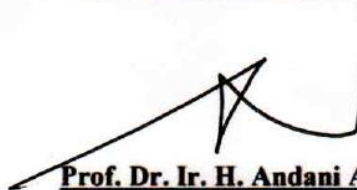
Menyetujui,

Pembimbing Utama,




Dr. W. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T.
NIP. 19601231 198703 1 022

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis yang berjudul “USULAN ALGORITMA D32 UNTUK PEMODELAN ALIRAN AIR PERMUKAAN” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad., M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di konferensi Internasional (*International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering 2022*). Sebagai artikel dengan judul “*COMPUTATION TIME ANALYSIS OF D16 ALGORITHM FOR SURFACE WATER FLOW DIRECTION USING DECISION TREE*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 24 Januari 2023

Yang menyatakan



Wawan Firgiawan
NIM. D0822020213

UCUAPAN TERIMA KASIH

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulisan tesis yang berjudul *“Usulan Algoritma D32 Untuk Pemodelan Aliran Air Permukaan”* dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta Salam tidak lupa tetap tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, sebagai Uswatun Hasanah dan rahmat bagi seluruh alam.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom) pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Informatika Universitas Hasanuddin Makassar. Tentunya penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari semua pihak. Untuk itu, dengan penuh kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya dan setinggi-tingginya kepada:

1. Ayahanda penulis Aco Tanriakka dan ibunda tercinta Hasmirah yang telah memberikan dukungan materil, doa dan motivasi yang kuat kepada penulis, hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc, selaku Pembimbing pertama sekaligus Ketua Program Studi S2 Teknik Informatika, yang telah banyak mendukung dan membantu selama penulis menempuh pendidikan pascasarjana di Universitas Hasanuddin.

3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktunya kepada penulis untuk membimbing, memberikan masukan, memotivasi dalam tahap penyelesaian tesis ini.
4. Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, MT, Dr. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys, dan Dr. Eng. Ir. Zulkifli Tahir, ST., M.Sc., selaku penguji yang memberikan masukan dan saran yang membangun selama proses penelitian yang penulis lakukan.
5. Kakak dan adik saya yang selalu memberikan nasehat dan semangat dalam menempuh proses Pendidikan penulis.
6. Dosen, staf dan mahasiswa Universitas Sulawesi Barat khususnya program studi Informatika yang selama ini memberikan dukungan dan motivasi untuk melanjutkan Pendidikan di Universitas Hasanuddin.
7. Teman-teman penulis dari sabang sampai Merauke yang selalu mendoakan kebaikan dan mendukung penulis dalam menyelesaikan Pendidikan Magister Teknik Informatika di Universitas Hasanuddin.
8. Rekan-rekan Lab. CBS Departemen Teknik Informatika yang selalu memberikan dukungan dalam suka maupun duka dalam proses penyelesaian tesis ini.
9. Rekan-rekan Mahasiswa S2 Departemen Teknik Informatika angkatan 2020 yang selalu mendukung dalam proses penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis yang penulis buat masih jauh dari kata sempurna dan di dalam penyelesaiannya masih menemui kesulitan dan hambatan, sehingga penulis tetap mengharapkan saran dan kritik untuk pengembangan lebih lanjut, agar dapat memberikan manfaat yang banyak bagi semua pembaca.

Akhirnya, penulis menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya kepada pembaca seandainya terdapat kesalahan-kesalahan di dalam skripsi ini dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Penulis,

Wawan Firgiawan

ABSTRAK

Wawan Firgiawan. Usulan Algoritma D32 untuk Pemodelan Aliran Air Permukaan. (dibimbing oleh **Zahir Zainuddin** dan **Andani Achmad**).

Algoritma D8 merupakan algoritma yang umum digunakan untuk kasus pemodelan aliran air pada aplikasi pemetaan seperti ArcGIS dan QGIS. Namun algoritma D8 ini mempunyai beberapa kekurangan dalam penerapannya, salah satunya adalah sudut antara aliran masih sangat besar yaitu 45° yang membuat arah aliran masih belum tervisualisasikan dengan baik. Permasalahan tersebut coba dipecahkan dengan memperkecil sudut antara aliran dari 45° menjadi $22,5^\circ$ yang selanjutnya dikenal dengan algoritma D16. Akan tetapi visualisasi arah yang dihasilkan pada algoritma D16 masih memungkinkan terciptanya arah aliran baru. Hal tersebut melatarbelakangi penelitian ini dengan mengusulkan algoritma D32. Algoritma D32 bekerja dengan 32 arah aliran dalam pemodelannya. Selain arah aliran, sudut yang dihasilkan dari algoritma D32 juga semakin kecil yaitu $11,25^\circ$ yang mendekati konsep air mengalir ke segala arah. Namun, dengan penambahan arah aliran pada algoritma D16, hubungan antara titik awal dan titik tinjauan berkurang. Namun demikian, hasil pemodelan aliran akan lebih baik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil visualisasi aliran dari algoritma yang diujikan untuk melihat kinerja dari ketiga algoritma tersebut terhadap kondisi permukaan bumi yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma D32 mempunyai luaran yang baik dari segi aliran yang dihasilkan dibandingkan algoritma sebelumnya, dikarenakan algoritma D32 lebih mampu mengakomodir model aliran dari data aliran peta. Penelitian ini juga mengeluarkan model kombinasi pohon keputusan dan struktur data untuk mempercepat proses kerja aplikasi dalam mencari aliran air permukaan. Pengujian yang diperoleh pada uji perbandingan waktu komputasi memberikan hasil yang baik dimana program memiliki waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan program serial dengan efisiensi komputasi rata-rata adalah 92.97%. Sedangkan untuk *time complexity*, algoritma dengan teknik pohon keputusan dikategorikan sebagai algoritma linier atau lanjar $O(n)$.

Kata Kunci: *Surface Water Flow Direction*, DEM, Algoritma D8, Algoritma D16, Algoritma D32.

ABSTRACT

Wawan Firgiawan. *Proposed D32 Algorithm for Modeling Surface Water Flow. (supervised by Zahir Zainduin and Andani Achmad).*

The D8 algorithm is an algorithm that is commonly used for water flow modelling cases in mapping applications such as ArcGIS and QGIS. However, the D8 algorithm has several weaknesses in its application, one of which is that the angle between streams is still very large, namely 45° which makes the direction of flow less visualized. Try to solve this problem by reducing the angle between streams from 45° to 22.5° in the future, which is known as algorithm D16. However, the visualization of the direction generated by the D16 algorithm still allows creating new flow directions. This is the background of this research by proposing the D32 algorithm. The D32 algorithm works with 32 flow directions in its modelling. In addition to the direction of flow, the resulting angle from the D32 algorithm is also getting smaller, namely 11,250 which is close to the concept of water flowing in all directions. However, with the addition of the flow direction to the D16 algorithm, the relationship between the starting point and the review point is reduced. However, the results of flow modelling will be better. The test was carried out by comparing the flow visualization results of the proposed algorithm with D8 and D16 algorithms to see the performance of the three algorithms in several topographical conditions obtained from Digital Elevation Model (DEM) data. The results of the study show that the D32 algorithm has a good output in the generated flow compared to the previous algorithm. This algorithm can also provide flow model visualization even with larger map scales. This study also released a combination of decision tree models and data structures to speed up the application work process in searching for surface water flows. Tests obtained in the computational time comparison test gave good results where the program has a faster computation time than serial programs with an average computing efficiency of 0.96%. As for time complexity, algorithms with decision tree techniques are categorized as $O(n^2)$ linear algorithms.

Keywords: *Surface Water Flow Direction, DEM, D8 Algorithm, D16 Algorithm, D32 Algorithm.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
PERNYATAAN PENGAJUAN	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN.....	IV
UCUAPAN TERIMAKASIH	V
ABSTRAK	VIII
<i>ABSTRACT</i>	IX
DAFTAR ISI	X
DAFTAR GAMBAR	XII
DAFTAR TABEL.....	XV
BAB I PERMASALAHAN DAN TUJUAN PENELITIAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II KAJIAN LITERATUR.....	7
2.1 Kajian Pustaka	7
2.1.1 Fluida.....	7
2.1.2 Hidrologi	8
2.1.3 Sistem informasi geografis (SIG).....	10
2.1.4 Digital Elevation Model (DEM)	11
2.1.5 Data Spasial.....	12
2.1.6 Algoritma Water Flow Direction	15
2.1.7 Algoritma D8	17
2.1.8 Algoritma D16	18
2.1.9 Pemodelan aliran air menggunakan pohon keputusan (<i>decision tree</i>) 20	20
2.1.10 Koherensi piksel.....	21
2.2 State of The Art Penelitian	24
2.3 Target Hasil Penelitian.....	37

2.4	Kerangka Pikir	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		40
3.1	Jenis Penelitian	40
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	40
3.3	Perangkat Penelitian	41
3.4	Rancangan Sistem dan Pengujian.....	41
3.4.1	Rancangan Struktur Data	42
3.4.2	Metode Pengujian.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Pemodelan Sistem	50
4.1.1	<i>Use Case Diagram</i>	50
4.1.2	Flowchart Aplikasi	51
4.2	Pembuatan Dataset Program.....	55
4.3	Implementasi Algoritma Surface Water Flow.....	57
4.3.1	Konsep algoritma D8	60
4.3.2	Konsep algoritma D16	61
4.3.3	Konsep algoritma D32	61
4.4	Pembahasan Sistem	64
4.5	Implementasi Sistem	66
4.6	Desain Aplikasi	73
4.7	Pengujian Sistem	79
4.7.1	Pengujian pertama (menggunakan satu aliran air).....	79
4.7.2	Pengujian kedua (daerah pertemuan antara 2 lereng bukit).....	82
4.7.3	Pengujian ketiga (daerah aliran sungai).....	85
4.7.4	Pengujian keempat (aliran pegunungan).....	88
4.8	Analisis Waktu Komputasi.....	92
4.8.1	Pengujian waktu komputasi	92
4.8.2	Pengujian kompleksitas waktu (<i>time complexity</i>).....	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		103
5.1	Kesimpulan.....	103
5.2	Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA		105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Perbedaan sudut arah aliran D8 (kiri) dan D16 (kanan)	3
Gambar 2 Siklus hidrologi	9
Gambar 3 Peta DSM dan DTM	12
Gambar 4 Bentuk data raster	13
Gambar 5 Prinsip kerja <i>single flow direction</i>	16
Gambar 6 Prinsip kerja <i>multiple flow direction</i>	16
Gambar 7 Skema arah aliran algoritma D8	18
Gambar 8 Skema arah aliran algoritma D16	19
Gambar 9 Contoh rancangan pohon keputusan	20
Gambar 10 Pengaruh Koherensi D16 dan D8	22
Gambar 11 Koherensi arah aliran D32	23
Gambar 12 Struktur pohon keputusan algoritma D8	25
Gambar 13 Struktur pohon keputusan algoritma D16	25
Gambar 14 Struktur pohon keputusan algoritma D32	26
Gambar 15 Kendala algoritma D16	38
Gambar 15 Kerangka pikir penelitian	39
Gambar 16 Contoh pertemuan 2 aliran air	42
Gambar 17 <i>Flowchart single flow direction</i>	46
Gambar 18 Gambaran alur kerja sistem	48
Gambar 19 <i>Use case diagram</i>	50
Gambar 20 <i>Flowchart</i> algoritma D8	52
Gambar 21 <i>Flowchart</i> algoritma D16	53
Gambar 22 <i>Flowchart</i> algoritma D32	54
Gambar 23 Tahapan pembuatan dataset	56

Gambar 24 Estimasi ketinggian peta DEMNAS	57
Gambar 25 Proses <i>update</i> nilai	58
Gambar 26 Gambar informasi piksel untuk pembuatan konsep aliran	60
Gambar 27 Skema aliran algoritma D8	60
Gambar 28 Skema aliran algoritma D16	61
Gambar 29 Skema aliran algoritma D32	62
Gambar 30 Ilustrasi DEMNAS	64
Gambar 31 DEM <i>processing flowchart</i>	65
Gambar 32 Data DEMNAS format .tif	67
Gambar 33 Hasil konversi data DEMNAS ke ASCII	68
Gambar 34 Contoh output aplikasi	69
Gambar 35 Tampilan default aplikasi	73
Gambar 36 Tampilan input dataset DEM	75
Gambar 37 Tampilan <i>tab- result</i>	76
Gambar 38 Tampilan tab visualisasi <i>flow direction</i>	77
Gambar 39 Hasil penentuan titik awal kemunculan Air	77
Gambar 40 Contoh hasil pencarian aliran	78
Gambar 41 Peta DEMNAS pengujian satu aliran	79
Gambar 42 Hasil algoritma D8 untuk satu aliran	80
Gambar 43 Hasil Algoritma D16 untuk satu aliran	80
Gambar 44 Hasil Algoritma D32 untuk satu aliran	81
Gambar 45 Hasil perbandingan algoritma pengujian satu aliran	81
Gambar 46 Peta DEMNAS daerah pertemuan antara 2 lereng bukit	82
Gambar 47 Hasil algoritma D8 untuk pertemuan antara 2 lereng	83
Gambar 48 Hasil algoritma D16 untuk pertemuan antara 2 lereng	83
Gambar 49 Hasil algoritma D32 untuk pertemuan antara 2 lereng	84

Gambar 50 Hasil perbandingan algoritma pertemuan antara 2 lereng	84
Gambar 51 Peta DEMNAS daerah aliran sungai	85
Gambar 52 Hasil pengujian algoritma D8 daerah aliran sungai	86
Gambar 53 Hasil pengujian algoritma D16 daerah aliran sungai	86
Gambar 54 Hasil pengujian algoritma D32 daerah aliran sungai	87
Gambar 55 Hasil perbandingan metode pengujian satu aliran	87
Gambar 56 Peta DEMNAS daerah aliran pegunungan	88
Gambar 57 Hasil pengujian algoritma D8 aliran pegunungan	89
Gambar 58 Hasil Pengujian Algoritma D16 aliran pegunungan	89
Gambar 59 Hasil Pengujian Algoritma D32 aliran pegunungan	90
Gambar 60 Hasil perbandingan metode pengujian aliran pegunungan	90
Gambar 61 <i>Line diagram</i> perbandingan hasil waktu komputasi	95
Gambar 62 Kompleksitas waktu sequantial pemrograman	99
Gambar 63 Kompleksitas waktu pemrograman pohon keputusan	101
Gambar 64 Pengelompokan algoritma berdasarkan notasi O-Besar (Big-O)	102
Gambar 65 urutan spektrum kompleksitas waktu algoritma	102

DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>State of the art</i>	27
Tabel 2. Matriks metode penyelesaian	33
Tabel 3 Level orisinalitas tesis magister teknik informatika UNHAS	36
Tabel 4 Keterangan struktur data	42
Tabel 5 Implementasi struktur data	43
Tabel 6 Contoh pertemuan 2 aliran	44
Tabel 7 Pengujian komputasi	94

BAB I

PERMASALAHAN DAN TUJUAN PENELITIAN

1.1 Latar Belakang

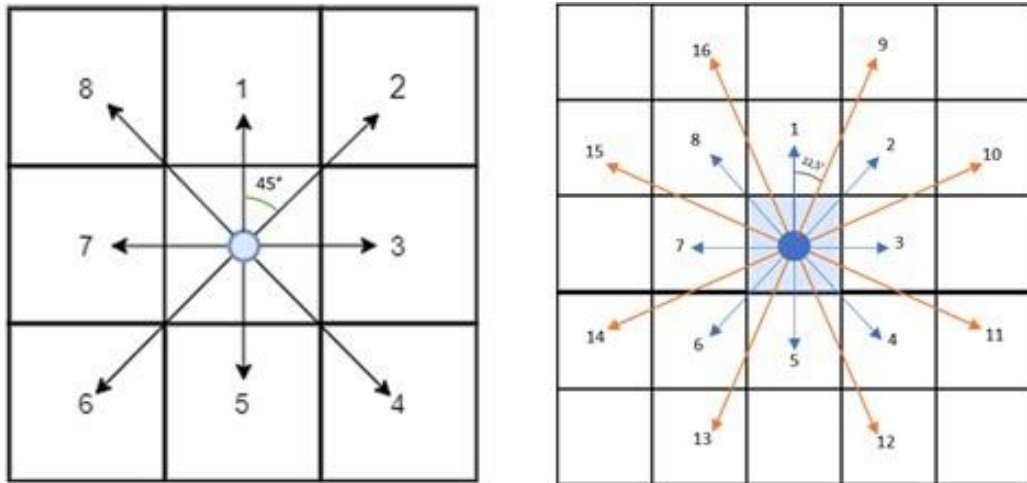
Pemodelan penyebaran arah aliran air merupakan salah satu permasalahan yang menarik untuk dipelajari saat ini. Dimana permasalahan ini sangat berkaitan dengan tata kelola aliran air baik itu bersumber dari pegunungan, sungai maupun permukaan tanah lainnya. Beberapa manfaat dari mempelajari pemodelan arah aliran air di atas permukaan tanah antara lain yaitu dapat melakukan simulasi titik banjir, penentuan arah aliran lava pada gunung berapi, penentuan titik longsor, simulasi aliran pada daerah aliran sungai (DAS), pengembangan kawasan, pembuatan drainase dan lain sebagainya [1] [2] [3] [4].

Beberapa referensi yang terkait dengan pemodelan penyebaran arah aliran air telah banyak dipelajari baik dari kalangan akademisi maupun non-akademik. Beberapa metode pemodelan arah aliran air telah diimplementasikan kedalam algoritma pemodelan arah aliran air seperti algoritma *Theoretical*, *Lea's method*, *Demon method*, *D-Infinity*, algoritma D8 dan algoritma D16 [5].

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam aplikasi untuk penentuan arah aliran air adalah algoritma D8. Beberapa aplikasi yang digunakan untuk pemetaan wilayah telah dilengkapi dengan fitur penentuan arah aliran air seperti aplikasi ArcGIS dan ArcMap yang dimana dalam aplikasi tersebut sudah dilengkapi dengan penyelesaian penentuan arah aliran air berdasarkan peta *digital elevation model* (DEM) dengan metode D8 [6] [7].

Dalam beberapa literatur telah di sebutkan beberapa kelemahan dari algoritma D8 diantaranya adalah D8 tidak dapat digunakan untuk memodelkan divergensi/perbedaan arah aliran air pada ridge area atau pegunungan [8]. D8 bukanlah metode yang cocok untuk identifikasi *subcatchment* (Sub Das) [9]. Selain itu kekurangan lainnya dari metode D8 yaitu masih sedikit pilihan arah yang tersedia dengan sudut rentang terpisah yang masih besar (pada aliran D8 hanya ada satu dari delapan kemungkinan arah, dipisahkan oleh 45°) [10].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ab Karim dan Hashim (2014). Dimana pada penelitian ini penulis mengembangkan algoritma D8 dengan nama algoritma D16. Algoritma ini bekerja dengan menambah 8 aliran baru sehingga terdapat 16 arah aliran yang setiap aliran mempunyai sudut $22,5^\circ$. Selain itu penelitian ini juga menerapkan konsep pertemuan antara dua ketinggian permukaan tanah yang disebut *sink* yang dimana metode ini menyelesaikan keterbatasan dari algoritma sebelumnya (algoritma D8). Berdasarkan hasil pengujian yang digunakan dalam penelitian ini telah menunjukkan indikator positif bahwa algoritma D16 mampu memberikan akurasi, keandalan, dan konsistensi yang lebih baik pada model arah aliran air permukaan dibandingkan dengan algoritma D8. Dengan demikian, diharapkan algoritma ini dapat ditingkatkan oleh peneliti lain untuk memberikan tingkat kepercayaan yang lebih baik dalam pemodelan aplikasi aliran air permukaan di masa depan [5]. Adapun perbedaan antara algoritma D8 dan D16 dalam melakukan penyelesaian penentuan arah aliran permukaan dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Perbedaan sudut arah aliran D8 (kiri) dan D16 (kanan)

Penjelasan dari latar belakang menunjukkan pemodelan arah aliran air permukaan dapat dilakukan dengan algoritma D8 dan telah dikembangkan menjadi D16. Algoritma D8 dapat memperbaiki resolusi sudut dari algoritma D8 yang hanya terbatas 8 arah namun demikian, koherensi piksel asal pada algoritma D16 akan berkurang dan penyalurannya belum terlihat pada simulasi aliran air.

Dalam penelitian yang penulis lakukan akan mengembangkan penelitian sebelumnya yaitu algoritma D16, dimana dalam penelitian ini penulis mengembangkan algoritma tersebut dalam penentuan aliran air diatas permukaan tanah. Penulis melihat bahwa penelitian sebelumnya masih mempunyai kekurangan dimana masih terdapat sudut yang masih tidak direpresentasikan kedalam arah aliran, sehingga penulis membuat pengembangan algoritma tersebut dengan menambahkan 16 aliran baru sehingga terdapat 32 arah aliran. Dengan adanya 32 aliran ini akan menciptakan sudut sebesar 11.25° untuk setiap arah dengan tetangganya sehingga akan memperbaiki resolusi sudut yang lebih baik dari

algoritma D16, namun hal tersebut akan berpengaruh pada koherensi antara piksel asal dan piksel tujuan berkurang.

Selain itu, pada penelitian ini juga akan dilakukan peningkatan waktu komputasi dari algoritma yang dikembangkan dengan memanfaatkan pemodelan struktur data dan penerapan program komputasi dengan mengambil konsep pohon keputusan. Hal tersebut digunakan untuk meminimalkan waktu komputasi program untuk menyelesaikan masalah pencarian arah aliran air sehingga lebih efisien dalam pemodelan arah aliran air.

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari data raster hasil pengambilan pada peta *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS). Data tersebut kemudian di konversi ke dalam data numerik (angka) menggunakan *software* Sistem Informasi Geografis (GIS) yaitu ArcGIS 8.10. Data angka merupakan data yang berisi angka-angka yang mewakili ketinggian permukaan tanah (elevansi) dari peta DEM.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah usulan algoritma D32 dapat lebih baik dalam melakukan simulasi aliran air permukaan ditinjau dari kondisi topografi permukaan tanah seperti area pegunungan dan daerah aliran sungai (DAS).
2. Bagaimana Mengefisienkan waktu komputasi program *surface water flow direction*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dituangkan pada penelitian ini, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. untuk melihat hasil implementasi dan analisis algoritma D32 dalam menentukan arah aliran air diatas permukaan tanah.
2. Membuat pemodelan algoritma D32 untuk mengefisienkan waktu komputasi algoritma dalam menyelesaikan pencarian arah aliran air permukaan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang di dapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu pemerintah dalam menentukan arah aliran air yang dimana hal ini akan bermanfaat dalam beberapa kondisi seperti memprediksi titik banjir, membuat drainase, pembangunan lahan, dan hal-hal lainnya yang berkaitan dengan pemodelan pergerakan air diatas permukaan tanah.
2. Sebagai referensi atau rujukan baru dalam dunia akademisi khususnya pada simulasi arah aliran air dengan metode D32.
3. Penelitian ini pula akan memperkenalkan model struktur data dan Teknik pohon keputusan yang dimana akan bermanfaat untuk meminimalkan waktu komputasi dari pengerjaan program.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini dimana penulis hanya akan fokus membahas pemodelan kinerja dari algoritma D32 yang akan dibandingkan dengan algoritma D8 dan D16 yang sudah ada sebelumnya. Selain itu penulis juga hanya menggunakan parameter elevasi atau ketinggian permukaan yang berasal dari data DEMNAS yang telah dikonversi menjadi data angka.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Fluida

Fluida adalah suatu aliran air dimana terdapat zat yang bergerak dan dapat berubah bentuk secara *continue* (terus menerus) yang dimana dibebani oleh tegangan geser bagaimanapun kecilnya [1] [11]. Adanya gaya geser ini merupakan komponen gaya yang menyinggung permukaan dimana gaya tersebut terbagi oleh luas permukaan tersebut yang dikenal sebagai tegangan geser rata-rata dari permukaan tersebut [12].

Fluida dikategorikan ke dalam 2 jenis, yaitu fluida Newton yang dimana jenis fluida yang mempunyai hubungan linier dengan besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan oleh (μ konstan). Sedangkan untuk fluida non-Newton merupakan kebalikan dari fluida Newton dimana fluida ini mempunyai ciri dimana terdapat hubungan yang tidak linier dengan besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk sudut. Misalnya untuk cairan yang cenderung bersifat fluida Newton, sedangkan hidrokarbon berantai panjang yang kental mungkin bersifat non-Newton. Adanya sifat viskositas dan kerapatan mempunyai peranan penting dalam aliran fluida di dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup, dan untuk hal lain pada aliran sekitar benda yang terendam [13].

Penelitian ini akan membahas tentang konsep fluida yaitu air dimana menjadi objek dalam penelitian yang penulis lakukan. Dalam penelitian ini akan menerapkan konsep fluida dinamis yaitu dengan mempelajari fenomena ketika air mengalir dari atas permukaan tanah. Mempelajari sifat fluida ini akan sangat membantu dalam menyelesaikan penelitian yang penulis lakukan untuk memperoleh hasil yang optimal.

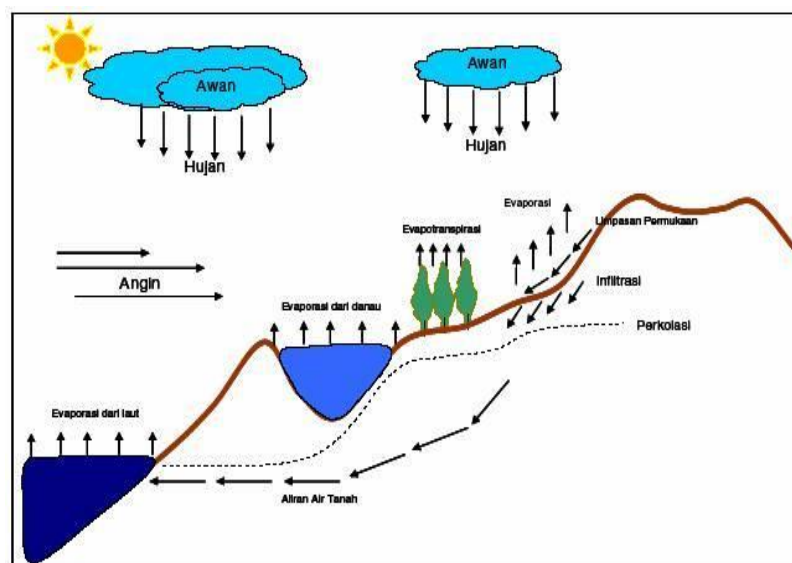
2.1.2 Hidrologi

Hidrologi merupakan salah satu cabang ilmu geografi yang mengkaji hal-hal yang berkaitan dengan distribusi, pergerakan, kualitas air, siklusnya serta sumber daya air yang berada di bumi. Siklus hidrologi dapat diartikan sebagai sirkulasi air dari laut ke atmosfer lalu ke bumi dan kembali lagi ke laut dan seterusnya. Hidrologi berasal dari Bahasa Yunani yaitu "*Hidrologia*" yang dimana mempunyai arti "ilmu tentang air" dimana Ilmu hidrologi dikenal sejak zaman 1608 M [14]. Hidrologi juga merupakan ilmu yang mengkaji kehadiran dan pergerakan air di atas permukaan bumi. Dalam kajiannya hidrologi meliputi *potamologi* (aliran permukaan), *geohidrologi* (air tanah), *hidrometeorologi* (air yang ada di udara dan berwujud gas), *limnologi* (air permukaan yang relatif tenang seperti danau, dan waduk), *kriologi* (air berwujud padat seperti es dan salju) dan sebutan untuk orang yang mempelajari hidrologi disebut dengan hydrologist [14].

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air tanpa henti dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer melalui proses kondensasi, presipitasi, evaporasi, dan transpirasi. Siklus hidrologi dapat diartikan sebagai peredaran air dari laut ke atmosfer melalui penguapan, kemudian akan jatuh pada permukaan bumi dalam

bentuk hujan yang mengalir didalam tanah dan diatas permukaan tanah sebagai sungai, danau, dan lain sebagainya [14].

Hidrologi mempunyai prinsip dimana jumlah air yang berada di alam sama atau tetap. Air dapat mengikuti pola alirannya atau dikenal dengan siklus hidrologi yang merupakan proses air menguap atau terangkat dari lautan ke atmosfer (udara), lalu jatuh kembali ke daratan dan kemudian kembali lagi ke laut. Air yang jatuh ke daratan atau bumi secara langsung akan menjadi aliran sedangkan untuk air yang tidak langsung dimana akan melalui media lainnya. Air pada umumnya akan membentuk siklus dimana zat cair ini akan mengalir dari tempat yang tinggi yaitu dari pegunungan menuju ke tempat yang lebih rendah (laut). Hal ini menyatakan bahwa masukan air berupa curah hujan akan disebarkan melalui beberapa cara seperti *streamflow* (aliran batang), *throughfall* (air lolos), dan air hujan langsung sampai ke permukaan tanah untuk kemudian terbagi lagi dalam beberapa kondisi [15]. Adapun contoh aliran fluida dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2 Siklus hidrologi (sumber: www.geografisains.com)

2.1.3 Sistem informasi geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sebuah sistem yang berbasis komputer yang diperuntukkan dalam mengolah atau menyimpan data berupa informasi geografis [16]. SIG juga dapat diartikan sebagai alat yang mempunyai manfaat untuk pengumpulan, penimbunan, pengambilan kembali data serta menampilkan data yang berasal dari kenyataan yang didapatkan dari hasil kenampakan permukaan bumi [17]. SIG Secara umum diartikan sebagai komponen yang berasal dari perangkat lunak (*software*), perangkat keras (*hardware*), data dan sumberdaya manusia yang bekerja secara bersama-sama untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, memanipulasi, mengelola, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan suatu informasi dalam bentuk geografis [17].

Sistem Informasi Geografis (SIG) memiliki kelebihan dalam menciptakan hubungan dengan berbagai data pada titik-titik tertentu di atas permukaan bumi kemudian data tersebut digabungkan untuk dianalisis sehingga dapat melakukan pemetaan wilayah [18] [19]. Dalam SIG data yang diolah berupa data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis, dan merupakan lokasi yang mempunyai koordinat-koordinat tertentu yang akan menjadi dasar dalam pemetaan wilayahnya [20]. Aplikasi SIG mempunyai kelebihan yaitu memberikan penjelasan terkait pertanyaan seperti tata letak lokasi, kondisi, pola, trend, ketinggian (elevansi) serta pemodelan. Hal ini pula yang menjadi pembeda SIG dengan sistem informasi lainnya [21] [22]. SIG dapat digunakan dalam berbagai keperluan seperti

melakukan pemetaan, merencanakan strategi, menjelaskan kejadian, dan memprediksi apa yang akan terjadi dari gambar geografis di suatu wilayah [22].

2.1.4 Digital Elevation Model (DEM)

Digital elevation Model (DEM) merupakan data yang berbentuk digital dimana menggambarkan struktur permukaan bumi secara geometri atau dari himpunan titik koordinat hasil pengambilan data atau sampling di permukaan bumi dengan menerapkan algoritma yang dimana menggambarkan permukaan dengan koordinat titik yang sudah dikumpulkan [22].

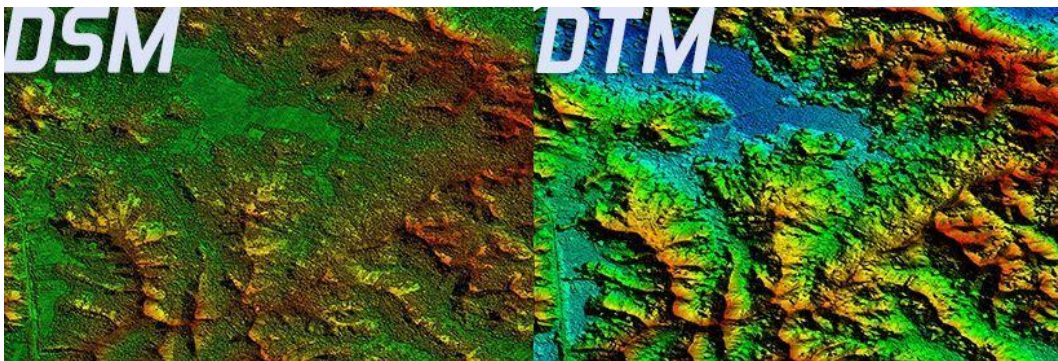
DEM dapat diartikan sebagai suatu sistem, model, metode dan alat untuk pengumpulan, pemrosesan, serta penyajian informasi bentuk permukaan bumi secara digital. DEM disusun berdasarkan distribusi spasial dari karakteristik suatu medan dimana dengan adanya distribusi spasial ini sebagai implementasi dari nilai pada sistem koordinat horizontal sumbu x dan y. Adapun ketinggian medan diwakili oleh koordinat z [22].

DEM digunakan untuk memvisualisasikan model relief rupa bumi secara 3D atau hampir menyerupai keadaan yang sebenarnya, dimana dengan bantuan teknologi komputer grafis dan teknologi *virtual reality* bentuk permukaan bumi divisualisasikan. Adapun beberapa kegunaan dari DEM yaitu [17]:

1. Sebagai Peta 3D yang menjadi sumber pemetaan dan perencanaan infrastruktur, rute perencanaan, analisis *terrain*.
2. Untuk mengamati penurunan muka tanah, pemodelan, analisis serta interpretasi dari morfologi tanah, pemetaan geologi.
3. Penentuan lokasi penambangan.

4. Survei dan fotogrametri dimana digunakan untuk pembuatan kontur, memproduksi orthofoto, pemetaan topografi dan lain sebagainya.

Dalam DEM juga dipelajari mengenai *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM) yang dimana DSM mendeskripsikan kenampakan muka tanah sebagai suatu komponen tumpang tindih seperti bangunan dan topografi bumi sebenarnya [23]. Untuk DTM merupakan deskripsi secara digital dari permukaan bumi yang terdiri tidak hanya dari representasi permukaan tanah, namun juga informasinya seperti kemiringan, aspek, dan lain sebagainya [24].



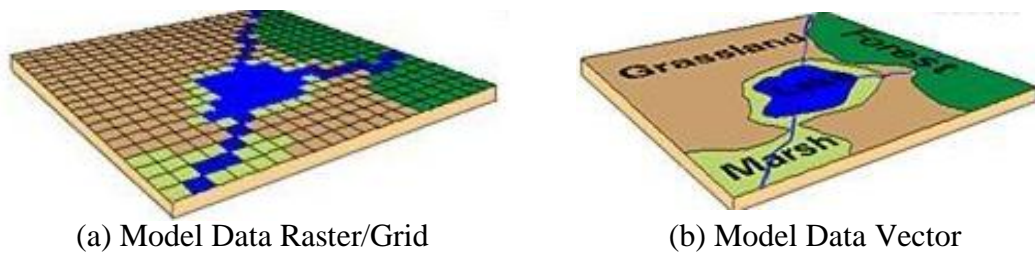
Gambar 3 Peta DSM (kanan) dan DTM (kiri)
(sumber: www.geopranata.co.id/)

2.1.5 Data Spasial

Data spasial mempunyai dua model data, yaitu model data raster dan model data vector, dimana setiap perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG) mempunyai data spasial dengan format berbeda-beda. Saat ini perangkat SIG sudah dapat memberikan fungsionalitas yang dimana dapat melakukan import dan export data dari format-format data spasial [1]. Dalam penelitian yang penulis lakukan akan menggunakan data spasial jenis raster. Pemilihan model data raster diperuntukkan untuk menampilkan, menempatkan dan menyimpan isi data spasial dengan struktur matriks ataupun susunan piksel-piksel yang membentuk suatu grid (segi-empat).

Setiap piksel ini memiliki atribut, seperti koordinat dan nilai elevasi. Untuk data vektor sendiri dapat menampilkan, menempatkan, dan menyimpan data spasial dengan menggunakan titik-titik dan garis-garis atau *polygon* [1].

Akurasi data spasial sangat tergantung pada resolusi spasial atau ukuran pikselnya pada permukaan bumi. Adapun sumber data raster berasal dari citra digital radar, citra digital satelit, dan model ketinggian digital (DEM).



Gambar 4 Bentuk data raster (*sumber: www.gispedia.com*)

Akurasi dari model data spasial sangat bergantung pada resolusi spasial atau ukuran pikselnya (*sel grid*) di permukaan bumi. Adanya entitas spasial dari model data raster yang disimpan dalam beberapa layer fungsionalitas yang dapat direalisasikan petanya [22]. Pada model data raster, matriks dapat diurutkan menurut koordinat lokalnya, yaitu kolom (x) dan baris (y). Selain itu pada sistem koordinat piksel monitor komputer, titik asal sistem koordinat raster diletakkan di sudut kiri atas. Oleh karena itu nilai x akan meningkat ke arah bawah dan nilai y akan meningkat ke arah kanan. Sistem koordinat lokal ini dapat pula ditransformasikan sedemikian rupa sehingga titik asal koordinatnya terletak pada sudut kiri bawah, makin ke atas nilai x semakin besar dan nilai y akan semakin besar jika bergerak ke kanan. Pada model data vektor, sistem koordinat yang digunakan adalah koordinat kartesian dua dimensi (x, y) [1].

DEM dapat juga diartikan sebagai susunan angka yang menggambarkan distribusi spasial data ketinggian (elevansi) suatu tempat pada suatu *landscape* dengan interval jarak horizontal yang teratur [25]. Menurut Usman dan kawan-kawan (2008) dalam masnawati, prinsip pengolahan DEM adalah sebagai berikut:

1. *Fill Pits*

Merupakan suatu fungsi yang diterapkan untuk menghilangkan piksel-piksel berelevansi rendah yang menyebabkan cekungan-cekungan pada DEM. Metode yang dipakai untuk menghilangkan cekungan yaitu dengan mengidentifikasi semua piksel yang menyebabkan terjadinya cekungan kemudian menaikkan relevansinya sesuai elevasi terendah yang terdapat di sekeliling piksel tersebut.

2. Fungsi *Flow Direction*

Fungsi ini digunakan untuk menentukan arah aliran pada masing-masing piksel dalam Digital Elevation Model (DEM) dimana setiap piksel memiliki nilai yang dimana akan menjadi penentu dalam pergerakan aliran air.

3. Fungsi *Contributing Area*

Digunakan untuk mengecek kontribusi aliran pada masing-masing piksel dalam pembentukan sub-aliran. Salah satu pikselnya akan dijadikan outlet terhadap piksel-piksel yang ada di sekelilingnya. Kemudian kontribusi aliran dihitung dari outlet piksel ke piksel hulunya yang memberikan kontribusi aliran pada piksel tersebut.

4. Fungsi *Grid Network Order and Flow Path Lengths*

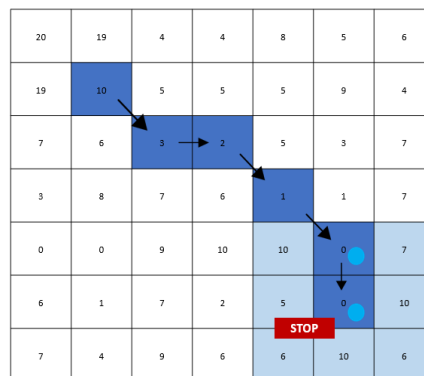
Fungsi ini mendefinisikan flow direction grid menjadi sebuah jaringan secara luas pada masing-masing piksel menggunakan metode strahler. Pada metode strahler, sistem penomoran anak sungai dimulai dari angka satu di bagian hulu dan bertambah besar ke bagian muara. Metode ini diimplementasikan dengan aturan jika terdapat dua anak sungai (flow path) yang berada di bawahnya maka diberi nomor yang sama dengan nomor orde anak sungai yang paling besar. Jika anak sungai yang bertemu memiliki orde yang sama maka nomor orde sungai di bawahnya ditambah satu. Keluaran fungsi ini menggambarkan panjang aliran dari titik terjauh yang mengalirkan air ke masing-masing piksel outlet dan menggambarkan panjang aliran secara keseluruhan di hulu masing-masing piksel.

2.1.6 Algoritma Water Flow Direction

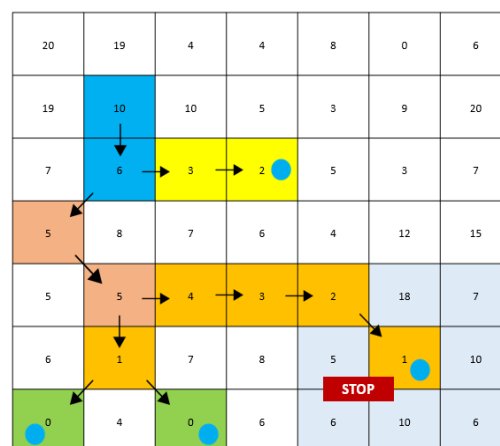
Algoritma *Flow Direction* adalah cara yang digunakan untuk menentukan arah aliran air yang bergerak pada permukaan tanah yang dimana disimulasikan dari masing-masing piksel menggunakan data DEM. Setiap piksel dalam DEM mempunyai nilai ketinggian yang unik, sehingga untuk menentukan arah aliran dengan mengetahui nilai piksel sekelilingnya.

Menurut Geoscience Australia (2005), terdapat 8 arah utama yakni timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, barat laut, utara, timur laut yang menandakan arah aliran permukaan dari satu piksel terhadap piksel sekelilingnya. Arah tersebut dikodekan berdasarkan standar konvensi Arc/info dengan 1 = East, 2 = South East, 4 = South, 8 = South West, 16 = West, 32 = North West, 64 = North dan 128 = North East.

Terdapat dua kaedah utama algoritma *water flow direction*, yakni algoritma *Single Flow Direction* (SFD) atau biasa disebut D8 dan algoritma *Multiple Flow Direction* (MFD). Pada metode *single flow direction* pengerjaan arah aliran dilakukan dengan cara mempertimbangkan arah aliran air berdasarkan ketinggian dari suatu permukaan tanah yang didapatkan dari data *Digital Elevation Model* (DEM). Untuk metode SFD sendiri hanya ada satu aliran yang digunakan berdasarkan nilai piksel yang terendah di sekelilingnya. Sedangkan pada algoritma MFD, memungkinkan arah aliran lebih dari satu berdasarkan nilai piksel yang lebih rendah di sekelilingnya. Secara skematis aplikasi algoritma flow direction dalam penentuan arah aliran disajikan pada gambar 6 dan 7 berikut:



Gambar 5 Prinsip kerja *single flow direction*



Gambar 6 Prinsip kerja *multiple flow direction*

Penelitian yang penulis lakukan fokus dalam penerapan metode pencarian aliran air dengan *single flow direction*. Secara umum langkah-langkah penyelesaian dari algoritma *water flow direction* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

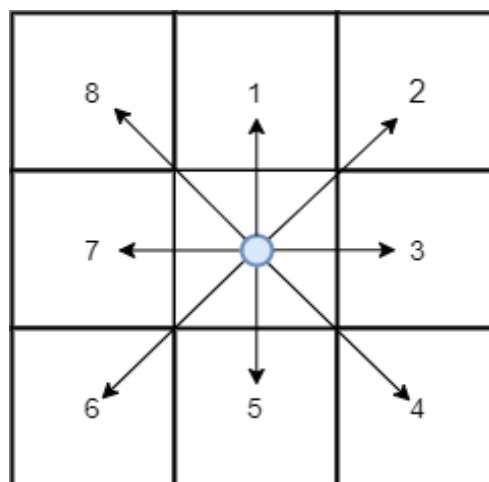
- a. Input data raster ke ArcGIS,
- b. Convert ke data DEM,
- c. Set titik awal (R_{awal} , C_{awal}),
- d. Memilih aliran yang mempunyai nilai yang paling rendah diantara semua arah atau mempunyai nilai kurang ($<$) atau sama dengan ($=$) dari nilai awal (R , C),
- e. Mengalirkan air ke titik yang paling rendah yang didapatkan pada proses 4,
- f. Update nilai dari masing-masing aliran air (R , C) atau disebut anak,
- g. Anak kemudian akan mengalirkan muatannya ke sub anak lainnya,
- h. Kembali ke aturan ke-4.
- i. If kondisi (R , C) sama dengan nilai atau lebih besar ($>$) dari sub anak maka aliran akan berhenti.

2.1.7 Algoritma D8

Algoritma *Flow Direction* diartikan sebagai algoritma untuk menentukan arah aliran air di masing-masing piksel dalam *digital elevation model* (DEM). DEM mempunyai nilai ketinggian yang berbeda-beda, dimana digunakan untuk menentukan kemana aliran air mengalir berdasarkan nilai piksel sekelilingnya [5] [26] salah satu algoritma *water flow direction* adalah D8. Menurut Geoscience Australia (2005) dalam Masna Wati, algoritma D8 mempunyai 8 arah utama yakni

timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, barat laut, utara, timur laut. Hal inilah yang menjadi penanda arah aliran dari satu piksel ke piksel sekelilingnya.

Pada algoritma D8, hanya ada satu aliran yang digunakan berdasarkan nilai piksel yang terendah di sekelilingnya. Sedangkan pada algoritma MD8, memungkinkan arah aliran lebih dari satu berdasarkan nilai piksel yang lebih rendah di sekelilingnya. Adapun gambar dari *Water Flow Direction* dengan metode D8 adalah sebagai berikut.



Gambar 7 Skema arah aliran algoritma D8

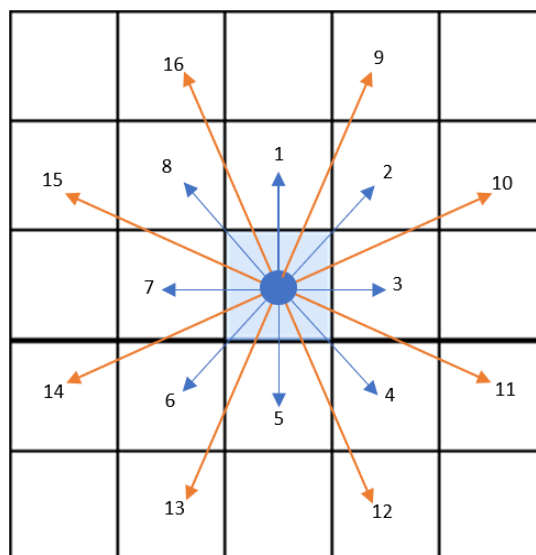
Secara skema aplikasi algoritma *water flow direction* dalam penentuan arah aliran disajikan dengan delapan arah aliran air. Algoritma ini telah banyak digunakan dalam berbagai keperluan baik untuk melakukan analisis sistem informasi geografis, pemetaan wilayah, dan lain sebagainya.

2.1.8 Algoritma D16

Algoritma D16 merupakan algoritma yang menganut cara kerja dari dari algoritma pendahulunya yaitu D8 yang dimana mempunyai 8 arah aliran tambahan dalam penyelesaian masalah penentuan arah aliran air diatas permukaan tanah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Wan Muhd bin Wan Ab Karim dan

Mohammad Ghazali Hashim pada tahun 2014 dimana menambahkan 8 arah aliran baru pada algoritma D8.

Algoritma ini bekerja dengan menambah 8 arah aliran baru pada algoritma D8 sehingga untuk masing-masing arah aliran akan memperoleh nilai sudut sebesar $22,5^0$ [5]. Adapun gambaran arah aliran dari algoritma sebelumnya dapat dilihat pada gambar 8 dibawah.



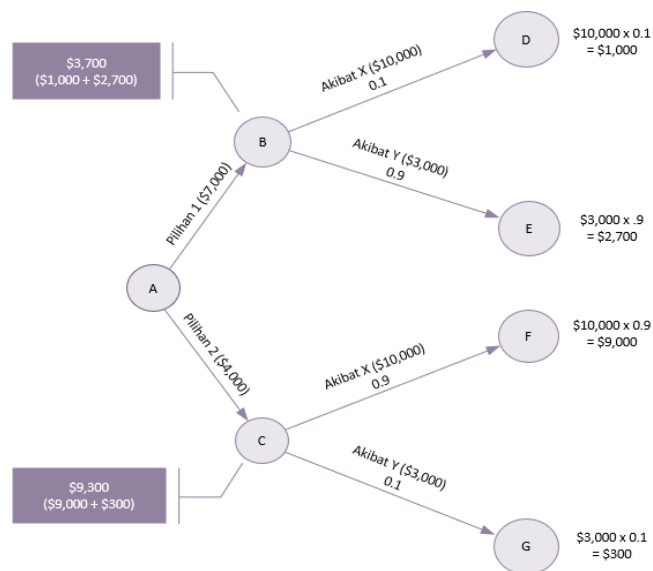
Gambar 8 Skema arah aliran algoritma D16

Selain itu dalam penelitian tersebut penulis juga memperkenalkan beberapa model baru seperti adanya variable sink dan stagnan [5]. Pada algoritma D16 pencarian arah aliran air akan melibatkan kondisi dimana koherensi (hubungan) antara piksel akan berkurang dengan adanya penambahan aliran baru namun hasil arah aliran akan semakin baik.

2.1.9 Pemodelan aliran air menggunakan pohon keputusan (*decision tree*)

Decision tree atau pohon keputusan banyak digunakan untuk mengatasi berbagai masalah yang terdiri dari serangkaian keputusan yang mengarah kepada solusi. Analogi dari konsep ini yaitu tiap simpul digunakan dalam menyatakan keputusan sedangkan daun menyatakan solusi. Adapun skema dari struktur pohon keputusan adalah salah satu pemodelan dari struktur *graf* [27].

Pohon keputusan merupakan representasi pemodelan dari suatu persoalan yang terdiri dari serangkaian keputusan yang mengarah ke solusi. Tiap simpul dalam menyatakan keputusan dan daun menyatakan solusi. Gambar 9 adalah contoh implementasi dari pohon keputusan.



Gambar 9 Contoh rancangan pohon keputusan

Implementasi pohon keputusan (*decision tree*) dalam pemodelan aliran air permukaan digunakan untuk membuat struktur pencarian atau model pemrograman

yang baru dengan harapan beban komputasi dari program dapat berkurang pada saat melakukan pemodelan arah alirannya.

Beberapa permasalahan yang menggunakan solusi pohon keputusan, juga sering disertakan simpul tambahan, yaitu simpul probabilitas. Simpul ini biasa ditandai dengan gambar lingkaran kecil yang disertai dengan angka-angka yang terletak pada cabang-cabang yang mengakar pada simpul probabilitas tersebut. Angka-angka yang terletak pada cabang-cabang tersebut merupakan probabilitas kesempatan munculnya keputusan yang ada dicabang tersebut dalam pilihan. Namun pada penelitian ini dalam implementasinya terhadap kasus pemodelan aliran air permukaan digunakan untuk menentukan arah yang dimana pemilihan keputusan didasarkan pada nilai piksel (nilai elevasi) dalam ruang tinjauan dari algoritma *water flow direction*.

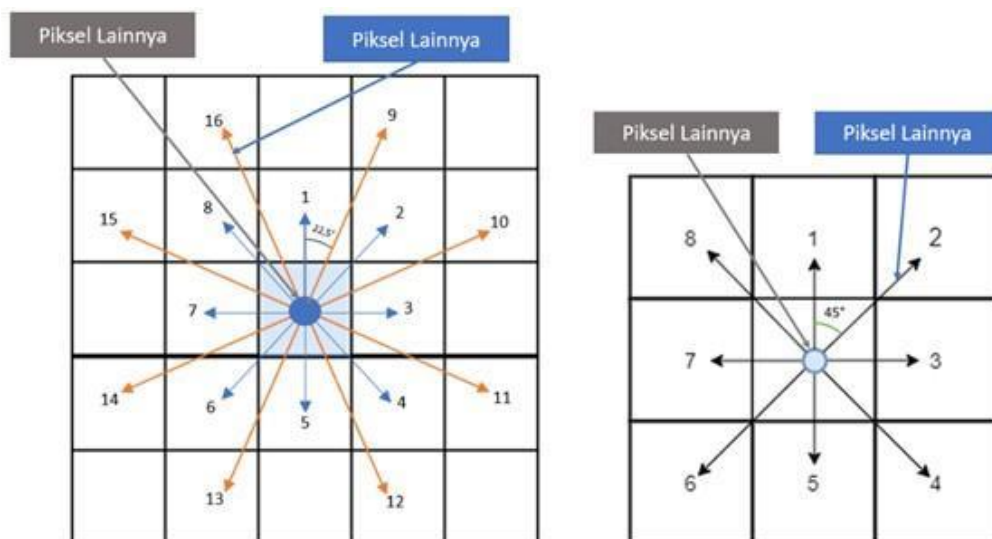
Pohon keputusan adalah salah satu metode belajar yang sangat populer dan banyak digunakan secara praktis. Metode ini merupakan metode yang berusaha menemukan fungsi-fungsi pendekatan yang bernilai diskrit [28]. Adapun yang dijadikan sebagai pohon keputusan yaitu arah dari masing-masing skema algoritma yang diujikan. Pohon keputusan pada penelitian ini dimaksudkan untuk menjadikan arah menjadi aturan-aturan keputusan (*rule*).

2.1.10 Koherensi piksel

Koherensi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah tersusunnya uraian atau pandangan sehingga bagian-bagiannya berkaitan satu dengan yang lain, diartikan sebagai keselarasan yang mendalam antara bentuk dan

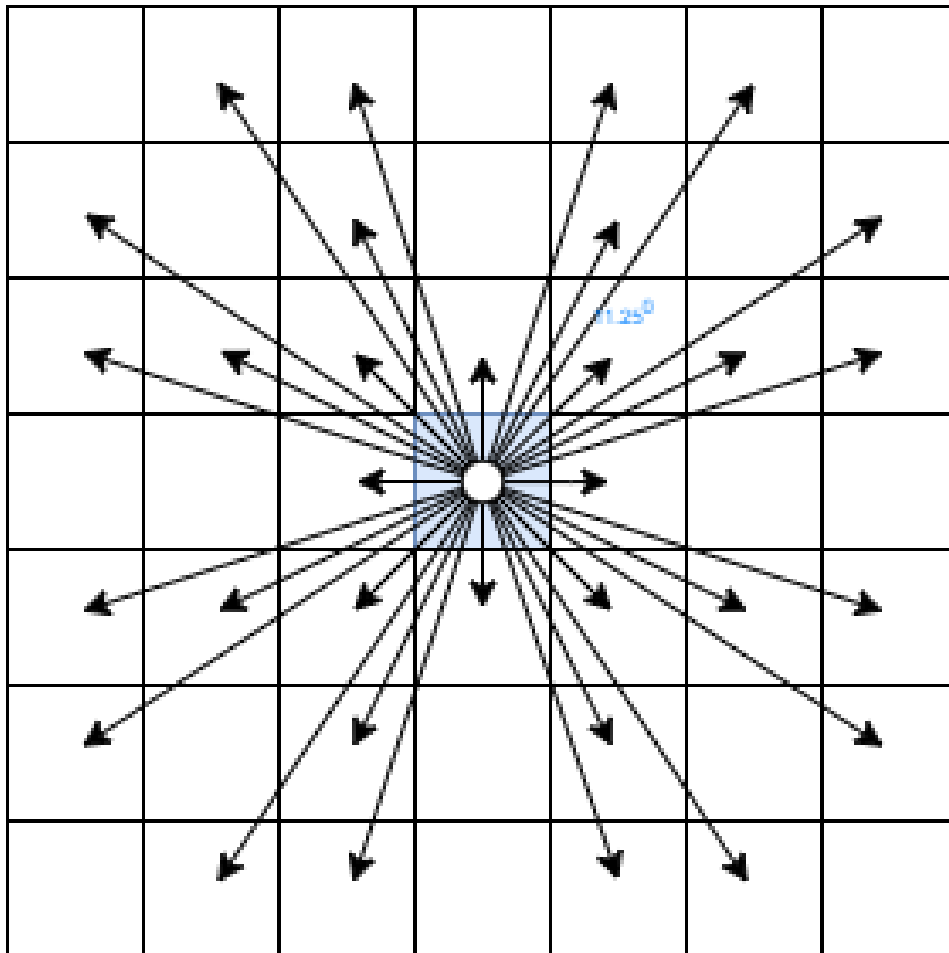
isi karya sastra, dapat juga diartikan sebagai hubungan logis antara bagian karangan atau antara kalimat dalam satu paragraf [29].

Koherensi dalam metode *water flow direction* diartikan sebagai keadaan dimana hubungan antara piksel asal ke piksel sekelilingnya akan semakin jauh namun visualisasi arah aliran yang dihasilkan akan semakin baik. Adanya penambahan arah maka mengakibatkan bertambahnya juga luasan piksel sekelilingnya. Misalnya pada algoritma D8, koherensi kuat dikarenakan jarak antara titik/piksel awal dengan piksel lainnya itu bertetangga langsung, namun memberikan sudut yang besar antara satu aliran dengan aliran lainnya. Pada algoritma D16 jarak piksel awal dengan piksel lainnya akan menjauh sehingga menyebabkan koherensi antara piksel awal dan piksel sekelilingnya akan semakin berkurang, namun akan memperbaiki sudut yang dimana menjadi kelemahan algoritma D8. Adapun perbedaan koherensi dari algoritma D8 dan algoritma D16 dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Pengaruh koherensi D16 (kiri) dan D8 (kanan)

Adanya penambahan arah pada algoritma yang dikembangkan maka akan mempengaruhi koherensi antara piksel asal ke piksel lainnya. Adanya koherensi tersebut dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11 Koherensi arah aliran D32

Gambar 11 merupakan algoritma D32 yang dikembangkan pada penelitian ini. Pada algoritma D32 yang penulis kembangkan dengan menambah arah aliran baru pada algoritma D16 maka koherensi piksel otomatis akan semakin berkurang, namun semakin memperbaiki arah aliran. Adanya algoritma D32 ini akan mengatasi kekurangan algoritma sebelumnya yang terbatas pada arah aliran yang menjadi fokus utama dari algoritma *water flow direction*.

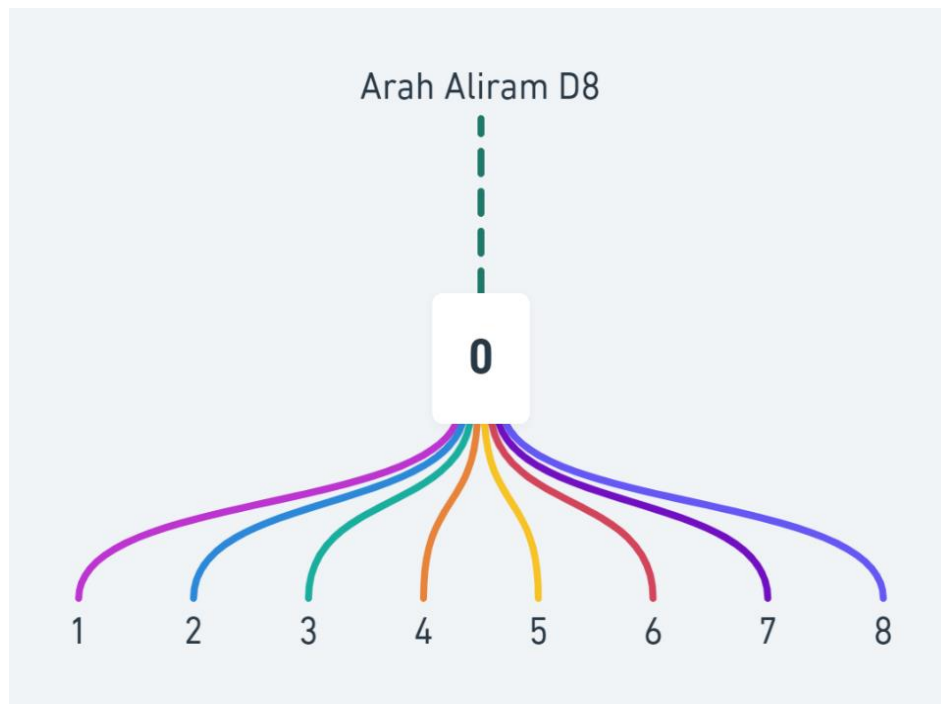
2.2 State of The Art Penelitian

Algoritma D32 merupakan algoritma yang penulis usulkan pada penelitian ini. Algoritma ini lebih kepada bentuk penyebaran arah aliran pada setiap piksel dimana pembagian arah alirannya mengikuti algoritma D16, namun yang menjadi pembeda dalam penelitian sebelumnya adalah penelitian ini bekerja dengan menambahkan 16 aliran baru pada algoritma D16 sehingga terdapat 32 arah aliran. Hal ini juga mendukung teori bahwa sifat air dapat mengalir ke semua arah [5]. Selain itu penulis juga melihat masih terdapat sudut yang belum divisualisasikan dalam penerapan algoritma D16 sebelumnya sehingga perlu dilakukan penyempurnaan dalam pembuatan arah aliran tersebut.

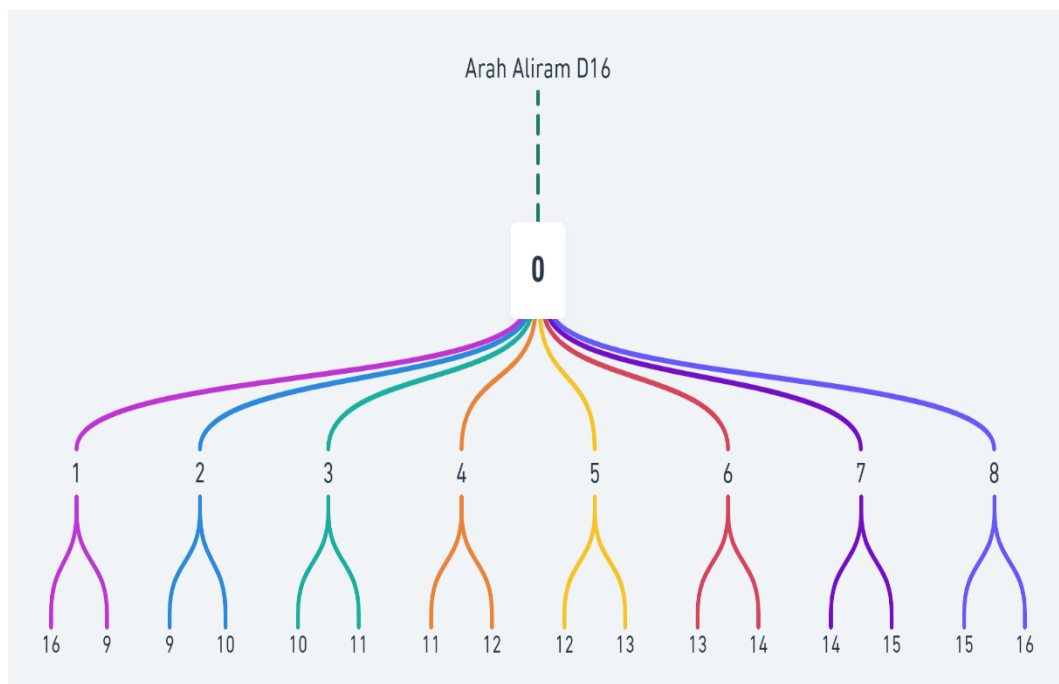
Konsep dasar algoritma D32 yaitu dengan membandingkan piksel awal dengan piksel sekelilingnya. Dengan menerapkan aturan penempatan arah sesuai pada gambar 12 setiap piksel akan mewakili 1 arah, dimana arah aliran ditentukan dengan melihat elevasi dari setiap piksel tetangga dengan nilai elevasi yang mempunyai nilai terkecil.

Pada penelitian ini penulis juga turut memperkenalkan metode pemrograman untuk menyelesaikan permasalahan pemodelan aliran air permukaan dan pohon keputusan. Hal ini dikarenakan proses pengerjaan algoritma *water flow direction* memakan banyak waktu untuk proses komputasi dalam mengolah data DEM apalagi data yang berukuran besar. Sehingga penulis berinisiatif untuk menggunakan teknik pemrograman dengan konsep pohon keputusan untuk mempercepat waktu komputasi dari algoritma yang digunakan.

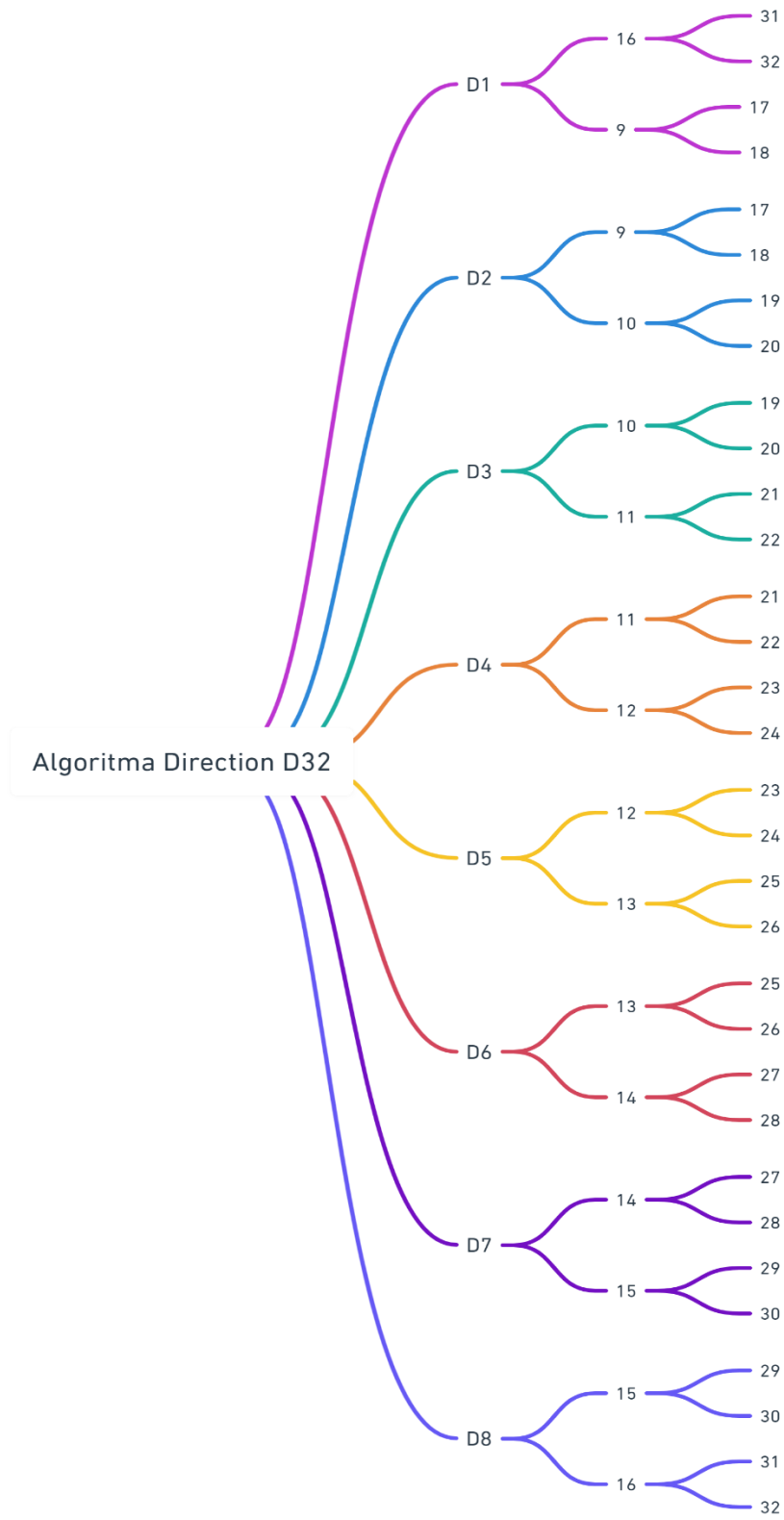
Berikut adalah gambaran dari struktur pohon yang digunakan pada pencarian arah aliran.



Gambar 12 Struktur pohon keputusan algoritma D8



Gambar 13 Struktur pohon keputusan algoritma D16



Gambar 14 Struktur pohon keputusan algoritma D32

Gambar 12, 13, dan 14 di atas merupakan konsep dari pohon keputusan yang digunakan dalam proses pencarian arah aliran air permukaan. Arah aliran didasarkan pada konsep dari masing-masing algoritma pemodelan aliran air permukaan yang digunakan pada penelitian ini. Dari gambar tersebut dilihat bahwa struktur pohon menghasilkan luaran arah aliran yang dimana berakar pada angka 0 sebagai titik *origin pixel* atau titik awal pencarian arah aliran dan berujung pada solusi yang dituangkan ke dalam angka sesuai dengan skema dari setiap algoritma.

Penelitian yang penulis lakukan merujuk kepada beberapa referensi yang dimana menjadi acuan dalam penelitian ini. Adapun referensi yang dijadikan landasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1 *State of the art*

No	Judul Karya Ilmiah, Nama, Tahun Terbit dan Penerbit	Objek dan Permasalahan	Metode Penyelesaian	Kinerja	Korelasi <, =, >
1	<p>Judul: Pengusulan algoritma D32 Untuk Pemodelan Aliran Permukaan Air</p> <p>Penulis: Wawan Firgiawan</p> <p>Usulan Judul</p>	<p>Objek: <i>Digital Elevation Model</i> dan Aliran Air</p> <p>Permasalahan: Bagaimana merancang sebuah sistem/aplikasi yang dapat memodelkan arah aliran air berdasarkan kejadian-kejadian yang terjadi di lapangan (Permukaan tanah/bumi) serta penelitian ini juga mempelajari metode mempercepat kinerja dari algoritma tersebut</p>	Menggunakan Algoritma D32	Dalam penelitian ini akan dilakukan model simulasi aliran air yang mengalir dipermukaan tanah. Dimana pada penelitian ini akan melakukan simulasi dengan berbagai situasi daerah dan kejadian Ketika air mengalir. Penelitian ini akan menggunakan metode pengembangan dari algoritma D8 dan D16 dalam menentukan arah aliran air dan juga melakukan paralel komputasi untuk mempercepat kinerja dari algoritma D32	>

2	<p>Judul: Penerapan Algoritma Multiple Flow Direction untuk Pemodelan Genangan Banjir</p> <p>Penulis: Mohamad Arif Suryawan dan Ery Muchyar Hasiri</p> <p>Penerbit: SEMNASTIKO M (2017)</p>	<p>Objek: <i>Digital Elevation Model</i> dan Aliran Air</p> <p>Permasalahan: Bagaimana merancang sebuah sistem/aplikasi yang dapat memodelkan arah aliran air berdasarkan kejadian-kejadian yang terjadi di lapangan (Permukaan tanah/bumi) serta penelitian ini juga mempelajari metode mempercepat kinerja dari algoritma tersebut</p>	Multiple Flow Direction (MFD)	<p>Pada penelitian ini MFD diperuntukkan untuk mengetahui arah aliran dan juga genangan air yang mungkin terjadi pada daerah rendah. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan algoritma MFD untuk menentukan arah aliran air. Air akan mengalir ke seluruh area piksel disekelilingnya yang memiliki nilai piksel yang lebih rendah dari piksel awal. Hasil penelitian ini menunjukkan daerah genangan banjir yang terjadi dari beberapa sumber titik awal air mengalir.</p>	>
3	<p>Judul: <i>Delineation of Drainage Network and Estimation of Total Discharge using Digital Elevation Model (DEM)</i>".</p> <p>Penulis: Abdul Rehman dan Muhammd Rahat Jamil</p> <p>Penerbit: <i>International Journal of Innovations in Science & Technology (2019)</i></p>	<p>Objek: Pembuatan saluran drainase menggunakan data <i>Digital Elevation Model (DEM)</i></p> <p>Permasalahan: Bagaimana pemodelan saluran drainase dan menghitung <i>total discharge</i> dari suatu daerah menggunakan data DEM berbasis ArcGIS</p>	Algoritma D8	<p>Dalam penelitian ini penulis menggunakan aplikasi ArcGIS untuk melakukan pemodelan jaringan drainase pada suatu Kawasan. ArcGis merupakan aplikasi yang digunakan untuk memproses data <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> untuk memvisualisasikan arah aliran air. Penelitian ini juga mengemukakan pendapat PIT dan SINK</p>	>
4	<p>Judul: <i>Estimating Mountain Glacier Flowlines by Local Linear Regression Gradient Descent</i></p>	<p>Objek: Gunung Es (<i>Glacier</i>)</p> <p>Permasalahan: Bagaimana menentukan pergerakan aliran es pada <i>mountain glacier</i></p>	Membandingkan algoritma D8, D8-smooth dan GD-Flow	<p>Hasil pengujian penelitian ini didapatkan bahwa algoritma yang diusulkan (GD-Flow) mempunyai kinerja yang baik dalam menentukan arah pergerakan es dengan studi kasus <i>mountain glacier</i>.</p>	>

	<p>Penulis: Kristen Hansen, Kyle Hasenstab, and Armin Schwartzman</p> <p>Penerbit: 2020</p>				
5	<p>Judul: Kolam Retensi Sebagai Upaya Mitigasi Banjir Berbasis Konservasi Daerah Aliran Sungai Batang Air Dingin</p> <p>Penulis: Diky Perdana, Nurhamidah, dan Ahmad Junaid</p> <p>Penerbit: Tesis Universitas Andalas</p>	<p>Objek: Pembuatan kolam retensi untuk mitigasi terjadinya banjir</p> <p>Permasalahan: Bagaimana menghasilkan sebuah kolam retensi untuk mencegah terjadinya banjir dengan memanfaatkan simulasi dari algoritma D8</p>	Algoritma D8	Dalam penelitian ini memanfaatkan hasil analisis arah aliran dari D8 dengan tujuan untuk menentukan titik genangan air Ketika terjadi banjir yang dimana data yang dihasilkan akan dijadikan pegangan untuk menentukan titik untuk pembuatan kolam retensi	>
6	<p>Judul: <i>A Raster-based model for flood inundation mapping on delta lowland</i></p> <p>Penulis: Nurhamidah Nurhamidah, Bujang Rusman, dan Bambang Istijono</p> <p>Penerbit: EDP Sciences (2018)</p>	<p>Objek: Pergerakan air diatas permukaan tanah menggunakan data dari peta DEM</p> <p>Permasalahan: Bagaimana menganalisa pola pergerakan air di permukaan tanah untuk menentukan dimana titik genangan air jika terjadi banjir</p>	Algoritma D8	Penelitian ini bekerja dengan menggunakan algoritma D8 untuk menganalisa pola pergerakan air sehingga dapat menentukan titik genangan air saat terjadi hujan di kota padang	>
7	<p>Judul: <i>Geometric Road Runoff Estimation From Laser Mobile Mapping Data</i></p> <p>Penulis: Wanga, Gonzalez- Jorgeb,</p>	<p>Objek: Aliran air di permukaan jalan pegunungan</p> <p>Permasalahan: Bagaimana menentukan arah aliran air diatas permukaan jalan</p>	Algoritma D8	Metode ini membagi lingkungan langsung jalan menjadi daerah target, yang dimana masing-masing terdiri dari semua sel jaringan yang memiliki limpasan ke <i>wastafel</i> yang sama. Selain itu metode ini juga digunakan untuk menganalisis aliran	>

	Lindenbergha, Arias-S´anchezb, & Menentia Tahun: 2014			permukaan di atas permukaan jalan. Dimana pada penelitian ini terlebih dahulu mengambil citra gambar dari LMMS data kemudian menghitung arah aliran air menggunakan D8 algorithm.	
8	Judul: <i>New D16 Algorithm for Surface Water Flow Direction.</i> Penulis: Wan Ab Karim, W. M. H.; Hashim, M. G Penerbit: Jurnal Teknologi	Objek: <i>Surface Water Flow Direction</i> Permasalahan: Bagaimana penerapan algoritma D8 dalam menentukan arah aliran air dipermukaan tanah	Membandingkan Algoritma D8 dan D16	Pada penelitian ini penulis melakukan pengembangan metode D8 dengan menambahkan 8 arah aliran baru yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan <i>Surface Water Flow Direction</i> . Hasil pengujian didapatkan bahwa algoritma yang dikembangkan pada penelitian ini didapatkan hasil lebih baik dari pada algoritma sebelumnya	>
9	Judul: <i>Simulation of Surface Flow With Flow Rate Parameters Using Bernoulli Equation</i> Penulis: Masna Wati Penerbit: Tesis Universitas Hasanuddin	Objek: Aliran Air Permasalahan: Bagaimana menentukan arah aliran air dan mencari kecepatan air yang mengalir pada permukaan tanah	<i>Multiple Flow Direction (MD8) Algorithm</i>	Pengembangan algoritma <i>cellular automata</i> yang dapat memodelkan aliran dan distribusi air permukaan di atas permukaan tiga dimensi dengan menerapkan algoritma Multiple Flow Direction (MD8) yang dijadikan sebagai dasar acuan pergerakan air pada diagram transisi <i>cellular automata</i> dari timestep yang satu ke timestep berikutnya serta dan persamaan Bernoulli yang digunakan untuk menentukan besarnya kecepatan aliran air disertai dengan pendistribusian volume air ke setiap sel yang dilalui.	>
10	Judul: <i>A new triangular multiple flow direction algorithm for</i>	Objek: Menentukan arah aliran air di permukaan tanah	Algoritma MD ∞	Penelitian ini memperkenalkan <i>new flow routing/flow direction</i> dari pergerakan air berdasarkan topografi	>

	<p><i>computing upslope areas from gridded digital</i></p> <p>Penulis: Jan Seibert dan Brian L. McGlynn</p> <p>Penerbit: Tesis Universitas Hasanuddin</p>	<p>dengan kondisi yang berbeda-beda</p> <p>Permasalahan: Perbedaan bentuk dan karakteristik topografi dari permukaan tanah</p>		<p>dari suatu Kawasan menggunakan data DEM. MD_{∞} yang kurang dalam simulasi pada permukaan bumi (lereng bukit) yang datar atau cekung dapat diselesaikan.</p>	
11	<p>Judul: <i>Evaluating the area and position accuracy of surface water paths obtained by flow direction algorithm</i></p> <p>Penulis: Zhen Li, Tao Yang, Chong-Yu Xu, Pengfei Shi, Bin Young, Ching-sheng Huang, dan Chao Wang</p> <p>Penerbit: Elsevier : Journal of Hydrology (2020)</p>	<p>Objek: <i>Algoritma flow direction</i></p> <p>Permasalahan: Melakukan evaluasi kinerja dari algoritma <i>flow direction</i></p>	<p>Membandingkan serta mengevaluasi area dari beberapa algoritma <i>water flow direction</i> (D8, Rho8, D8-LTD, FDFM, MFD-md, D_{∞})</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi area aliran air (flow direction) dimana dalam penelitian ini mengisyaratkan adanya kebutuhan mendesak untuk mengusulkan algoritma arah aliran baru yang dapat mengekstrak informasi topografi agar lebih akurat.</p>	>
12	<p>Judul: <i>Parallel contributing area calculation with granularity control on massive grid terrain datasets</i></p> <p>Penulis: Ling Jiang, Xiao-Dong Song, Guan Tang, dan Kai Liu</p> <p>Penerbit:</p>	<p>Objek: Penentuan daerah aliran air dipermukaan tanah menggunakan data DEM dan Algoritma D8</p> <p>Permasalahan: Bagaimana sistem parallel melakukan kontribusi dalam proses kinerja dari algoritma D8</p>	<p>Algoritma D8</p>	<p>Makalah memberikan gambaran bagaimana potensial dari penggunaan data spasial dari DEM untuk di paralelkan dalam proses komputasinya pada algoritma D8</p>	>

	Elsevier : Computers & Geosciences (2020)				
13	<p>Judul: <i>Parallelization Strategies to Speed-Up Computations for Terrain Analysis on Multi-Core Processors</i></p> <p>Penulis: Steffen Schiele, Holger Blaar, Matthias Muller-Hanneman, Detlef Thurkow and Markus Moller</p> <p>Penerbit: IEEE (2012)</p>	<p>Objek: Algoritma D8 dan data DEM</p> <p>Permasalahan: Bagaimana mempercepat kinerja waktu komputasi dari algoritma D8</p>	Algoritma D8	<p>Penelitian ini mempelajari kemungkinan penurunan waktu komputasi untuk tugas-tugas dengan pemrosesan secara paralel menggunakan <i>multi-threads</i> pada prosesor <i>multi-core</i>. Penelitian ini menyarankan untuk kedepannya peningkatan komputasi dengan cara memparalelkan komputasi yang masih terbilang sangat luas untuk pengembangannya</p>	>
14	<p>Judul: <i>Influence of DEM resolution on drainage network extraction: A multifractal analysis</i></p> <p>Penulis: A.B. Ariza Villaverde, F.J Jimenez-Hornero, E. Gutierrez de Rave</p> <p>Penerbit: Elsevier: Jurnal Geomorphology (2015)</p>	<p>Objek: Pemodelan arah aliran air di permukaan tanah menggunakan data dari peta DEM</p> <p>Permasalahan: Bagaimana meningkatkan akurasi dari peta DEM</p>	Algoritma D8	<p>Dalam penelitian ini menyebutkan bahwa penggunaan DEM dengan resolusi yang tinggi menyediakan jaringan drainase yang akurat dan meminimalkan kesalahan, terutama ketika jaringan drainase padat. Namun demikian, dalam kasus jaringan drainase jarang, pengaruh resolusi DEM kurang efektif.</p>	>

Berdasarkan uraian pada tabel 1 (penelitian terdahulu) dapat dilihat bahwa algoritma sebelumnya masih mempunyai kelemahan, diantaranya adalah terdapatnya sudut yang belum divisualisasikan sehingga arah aliran yang dihasilkan

masih belum menggambarkan keadaan sebenarnya. Selain itu pengaruh koherensi dari penentuan arah aliran air menggunakan algoritma *water flow direction* turut dibahas pada penelitian ini, dimana adanya koherensi ini akan mempengaruhi hasil simulasi arah aliran air yang didapatkan dari proses algoritma *water flow direction*.

Pengembangan metode ini diharapkan dapat mengatasi kekurangan algoritma D8 yang dimana masih terdapat beberapa kekurangan serta memperbaiki hasil pemodelan dari algoritma D16 dalam penyelesaian permasalahan penentuan arah aliran air. Sedangkan untuk mengatasi waktu komputasi yang lama, penulis mencoba melakukan kajian pada struktur data ditambah dengan pengenalan konsep pohon keputusan untuk memberikan hasil komputasi yang lebih baik dari sebelumnya.

Penelitian ini mempunyai luaran yang hendak dicapai yakni sebuah sistem dan metode baru yang dimana mempunyai keandalan yang lebih baik dalam menyelesaikan permasalahan penentuan arah aliran air atau dikenal *water flow direction*.

Tabel 2 Matriks metode penyelesaian

No. Referensi (dari tabel 2)	METODE PENYELESAIAN							
	a	b	c	d	e	f	g	h
1	√			√	√	√	√	√
2						√		
3				√				
4		√		√				
5				√				
6				√				
7				√				
8				√	√			
9						√		

10			√					
11			√			√		
12				√				√
13				√				√
14				√				

Keterangan:

Nomor Referensi:

1. Pengusulan algoritma D32 Untuk Pemodelan Aliran Air Permukaan.
2. Penerapan Algoritma Multiple Flow Direction untuk Pemodelan Genangan Banjir [25].
3. *Delineation of Drainage Network and Estimation of Total Discharge using Digital Elevation Model (DEM)* [30].
4. *Estimating Mountain Glacier Flowlines by Local Linear Regression Gradient Descent* [31].
5. Kolam Retensi Sebagai Upaya Mitigasi Banjir Berbasis Konservasi Daerah Aliran Sungai Batang Air Dingin [32].
6. *A Raster-based model for flood inundation mapping on delta lowland* [33].
7. *Geometric Road Runoff Estimation From-Laser Mobile Mapping Data* [34].
8. *New D16 Algorithm for Surface Water Flow Direction* [5].
9. *Simulation of Surface Flow with Flow Rate Parameters Using Bernoulli Equation* [1].
10. *A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital* [35].
11. *Evaluating the area and position accuracy of surface water paths obtained by flow direction algorithm* [36].

12. *Parallel contributing area calculation with granularity control on massive grid terrain datasets* [37].
13. *Parallelization Strategies to Speed-Up Computations for Terrain Analysis on Multi-Core Processors* [38].
14. *Influence of DEM resolution on drainage network extraction: A multifractal analysis* [39].

Metode Penyelesaian Masalah:

- a. *D32 Algorithm*
- b. *GD-Flow Algorithm*
- c. *D-infinity algorithm*
- d. *D8 Algorithm*
- e. *D16 Algorithm*
- f. *Multiple Flow Direction 8 (MD8)*
- g. *Multiple Flow Direction 32 (MD32)*
- h. *Parallel Computing*

Penelitian yang penulis lakukan bertujuan untuk mencari bagaimana karakteristik arah aliran air diatas permukaan tanah serta menentukan kemana arah aliran air ketika melalui permukaan tanah dengan parameter ketinggian permukaan. Contoh ketika terjadi hujan lebat dengan permukaan tanah yang mempunyai ketinggian yang berbeda-beda tentunya akan terjadi genangan di suatu daerah, dimana genangan tersebut diakibatkan adanya penumpukan air pada suatu area yang dimana dikenal dengan SINK.

Hasil dari penelitian ini berupa aplikasi yang dimana menerapkan konsep pemodelan aliran air diatas permukaan tanah dengan menggunakan dataset *digital elevation model* (DEM). Pada penelitian ini pula akan melakukan pengoptimalan waktu komputasi dalam pencarian arah aliran dari algoritma D32 yang digunakan pada penelitian ini, yaitu dengan memanfaatkan struktur pohon dan perbaikan struktur data.

Berdasarkan tabel I dan tabel II serta penjelasan penelitian yang akan dilakukan diatas maka dapat disimpulkan bahwa topik yang diusulkan untuk menjadi tesis program Magister Teknik Informatika Universitas Hasanuddin telah memenuhi level keaslian tingkat 8 sesuai dengan buku pedoman penulisan proposal tesis yang dikeluarkan oleh program studi Magister Informatika Universitas Hasanuddin. Adapun tabel orisinalitas penelitian dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Level orisinalitas tesis magister teknik informatika UNHAS

Level Orisinalitas	Objek Penelitian	Jenis Permasalahan	Metode Penyelesaian Masalah	Status Orisinal Penelitian
1	xxxxx	Tidak jelas, Sangat minim untuk level S2	xxxxxx	Orisinalitas tidak ada
2	Terpakai (sudah digunakan sebelumnya)	Serupa dengan objek yang sama	Sudah digunakan untuk objek dan jenis permasalahan sebelumnya	Sangat tidak orisinal (replikasi)
3	baru	Serupa dengan sebelumnya	sama untuk masalah yang serupa	Kurang
4	Terpakai (sudah digunakan)	Serupa dengan objek yang sama	lain yang tersedia (belum digunakan)	minimalis

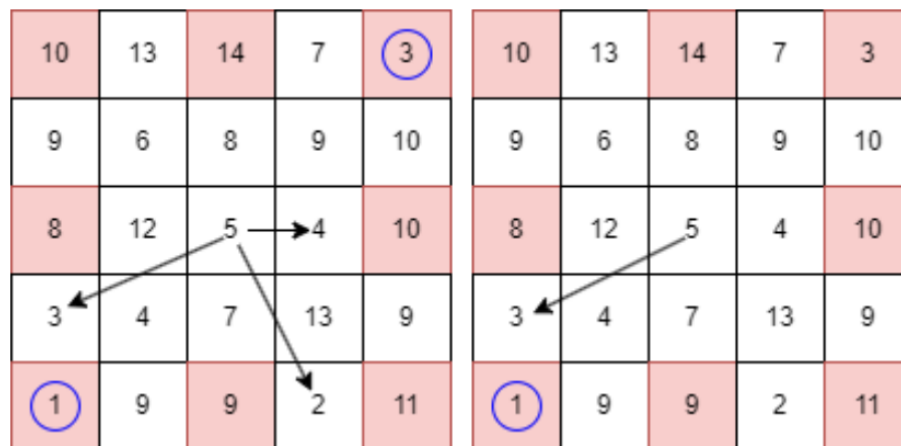
	sebelumnya)		untuk masalah yang sama)	
5	baru	Serupa dengan sebelumnya	lain yang tersedia	minimalis
6	Terpakai	baru	tersedia	orisinal
7	baru	baru	tersedia	orisinal
8	terpakai	serupa	Baru	Orisinal+novelty
9	Baru	serupa	Baru	Orisinal+novelty
10	terpakai	baru	baru	Sangat orisinal+novelty
11	baru	baru	baru	Sangat orisinal+novelty

Berdasarkan standar level orisinalitas pada tabel III dapat disimpulkan bahwa penelitian yang penulis lakukan adalah pengembangan metode dan belum pernah digunakan sebelumnya, berdasarkan hasil tersebut maka penelitian ini layak untuk menjadi tugas akhir (tesis) dari program magister di program studi Teknik Informatika Universitas Hasanuddin.

2.3 Target Hasil Penelitian

Permasalahan penentuan arah aliran ini penulis anggap cukup penting untuk dilakukan yang mana tujuan dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil luaran aplikasi atau sistem yang dimana dapat melakukan simulasi aliran air, dimana dengan beberapa pertimbangan yang akan terjadi pada permukaan tanah. Selain itu penelitian ini juga akan melakukan pengembangan model algoritma D8 dan D16 yang biasa digunakan dalam menentukan aliran air permukaan. Algoritma yang ditawarkan pada penelitian ini menganut prinsip arah aliran air yang dapat mengalir ke semua arah. Hal ini menjadi landasan dalam pengembangan algoritma

sebelumnya (D8 dan D16) menjadi algoritma D32. Adanya tambahan 16 arah aliran baru pada algoritma D32 ini maka secara otomatis akan membentuk sudut antara arah satu dengan arah lainnya sebesar 11.25° sehingga hal tersebut akan memperkecil kemungkinan arah lain akan terbentuk. Penggunaan arah aliran baru dilakukan untuk menentukan kemana air cenderung mengalir sehingga aliran air dapat divisualisasikan lebih akurat tanpa adanya keterbatasan arah aliran. Dalam studi kasus yang lain algoritma D16 juga mempunyai kekurangan pada saat pencarian arah aliran, hal tersebut dikarenakan piksel yang dijadikan ruang tinjauan pada algoritma tersebut terdapat *variable not involved pixel* (piksel yang tidak dijadikan aliran). Sehingga arah aliran tidak terdistribusi dengan baik. Berikut adalah kendala dari algoritma D16.

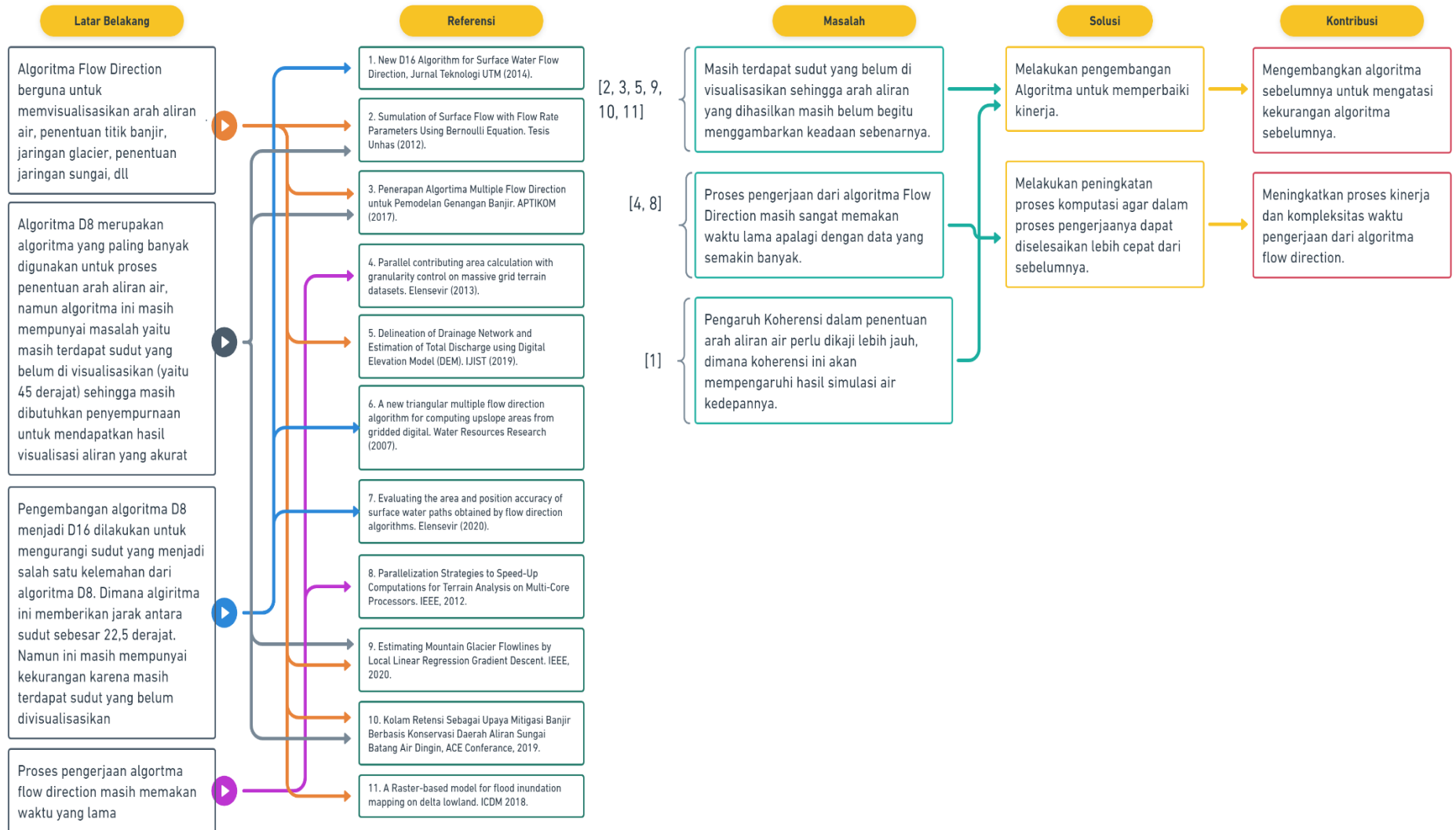


Gambar 15 Kendala algoritma D16

Selanjutnya penelitian juga ini menghasilkan model komputasi yang optimal dalam penerapan pencarian arah aliran air permukaan dengan model pohon keputusan, sehingga menjadi masukan untuk pembuatan program yang berkaitan dengan pemodelan arah aliran air permukaan dengan menggunakan data *digital elevation model* (DEM) yang notabennya memerlukan waktu yang lama.

2.4 Kerangka Pikir

Kerangka pikir dapat dilihat pada Gambar 21 yang menjelaskan alur penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 16 Kerangka pikir penelitian