

DISERTASI

**MODEL PEMANENAN AIR HUJAN DI KOTA PANTAI :  
PENERAPAN DI DAS TALLO, KOTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

**M. YAHYA**

**P1300315015**



**PROGRAM STUDI S3  
DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**DISERTASI**

**MODEL PEMANENAN AIR HUJAN DI KOTA PANTAI :  
PENERAPAN DI DAS TALLO, KOTA MAKASSAR**

*RAINWATER HARVESTING MODEL IN A COASTAL CITY :  
IMPLEMENTATION IN THE TALLO WATERSHED IN MAKASSAR CITY*

**M. YAHYA**



**PROGRAM DOKTOR ILMU ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

## LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

### MODEL PEMANENAN AIR HUJAN DI KOTA PANTAI : PENERAPAN DI DAS TALLO, KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

**M. YAHYA**

**P1300315015**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Ilmu Arsitektur Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 29 Januari 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Promotor,

**Prof. Dr. Ir. Ananto Yudono, M. Eng**

NIP. 194812212019015001

Co Promotor,

**Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT.**

NIP. 196410201991031002

Co Promotor,

**Dr. Ir. Arifuddin Akil, MT**

NIP. 196305041995121001

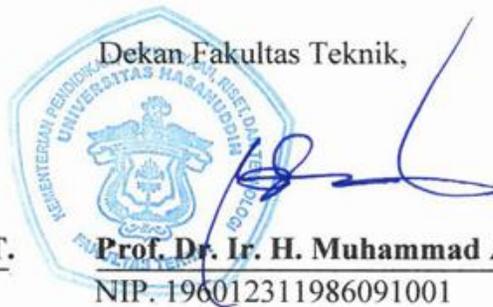
Ketua Program Studi



**Dr. L. Nurul Jamala Bangsawan, M.T.**

NIP. 196409041994122001

Dekan Fakultas Teknik,



**Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**

NIP. 196012311986091001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Yahya  
NIM : P1300315015  
Program Studi : Teknik Arsitektur  
Jenjang : S3

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **MODEL PEMANENAN AIR HUJAN DI KOTA PANTAI : PENERAPAN DI DAS TALLO, KOTA MAKASSAR**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa disertasi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 8 Pebruari 2021

Yang Menyatakan,

A 10000 Indonesian Rupiah postage stamp is shown, partially obscured by a handwritten signature in black ink. The stamp features the number '10000' and the text 'REPUBLIK INDONESIA' and 'M. YAHYA TEMPEL'. The signature is written in a cursive style over the stamp.

M. Yahya

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum wa rahmatullaahi wa baraakaatuh'*

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Dzat yang Maha Mulia, atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini sebagai salah satu persyaratan akademik guna memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Arsitektur, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul yang diangkat dalam disertasi ini adalah **Model Pemanfaatan Air Hujan di Kota Pantai : Penerapan di DAS Tallo, Kota Makassar**. Dasar pemikiran penulis dalam melakukan penelitian ini adalah akibat perubahan iklim yang terjadi akan sulit untuk memprediksi cuaca. Begitupun sebaliknya ketika terjadi hujan yang sangat deras, air melimpah ruah dan mengakibatkan banjir dimana-mana. Namun, kelebihan debit air ini tidak dapat dikelola dengan baik sehingga air melimpas ke laut begitu saja.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan ini bukanlah keberhasilan individu semata, namun berkat bantuan dan bimbingan dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis bermaksud menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Ananto Yudono, M.Eng, selaku Promotor, Bapak Dr. Eng. Ir.H. Farouk Maricar, MT selaku Ko-Promotor, dan Bapak Dr. Ir. Arifuddin Akil, MT, juga selaku Ko-Promotor, atas bimbingan, arahan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi dan memberikan kuliah selama penulis menempuh pendidikan pada Program Studi Ilmu Arsitektur, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.

2. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak Prof. Dr. Ir. A. Muhammad Arsyad Thaha, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST., MT, selaku Ketua Departemen Arsitektur, Dr. Ir. Nurul Jamala B, MT, selaku Ketua Program Studi S3 Ilmu Arsitektur serta seluruh dosen Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, khususnya dosen di Program Studi S3 Ilmu Arsitektur, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan program S3 pada Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, dan memberikan bekal ilmu dan pengetahuan bagi penulis untuk menyelesaikan disertasi ini.
3. Orang tua kami ayahanda Alm. H. M. Siradjuddin Madjid dan ibunda Alm. Hj. Ningki Samsuddin yang telah memberikan dasar-dasar utama yang sangat penting dalam pembentukan karakter pada penulis serta motivasi yang kuat serta Saudara kakak dan adik yang selalu memotivasi dan memberi dukungan moril yang tiada henti selama penulis menempuh pendidikan Program Doktor (S3) di Program Studi Ilmu Arsitektur Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, hingga selesainya studi ini.
4. Teristimewa dan lebih khusus kepada yang penulis cintai istri tersayang dr. Alifah Alwi, Sp.THT-KL beserta anak-anak kami Ananda Alyah Fauziah Ramdhanti, Ananda Aldy Fauzan Ramdhan dan Ananda Muhammad Aqil Zulkarnaen yang setia mendampingi, selalu memberikan semangat dan dorongan untuk bisa menyelesaikan studi ini, tetap bersabar dan tawakkal dalam menghadapi segala persoalan dan kendala yang penulis hadapi selama menempuh pendidikan di Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
5. Rekan-rekan kuliah di Program Studi Ilmu Arsitektur Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin yang selama ini menjadi teman seperjuangan dalam menempuh pendidikan, sekaligus teman berdiskusi dan saling memberikan dukungan dalam menyelesaikan studi ini.

6. Seluruh keluarga, teman dan sahabat yang tidak disebutkan pada bagian prakata ini. Motivasi, doa dan perhatian buat penulis selama ini, semoga menjadi pahala di hadapan Allah. Sukses ini sukses kita bersama.

Penulis menyadari bahwa penyusunan penulisan tugas akhir yang berupa disertasi ini laksana setetes air yang jatuh dalam luasnya samudra yang masih terdapat kekurangan dan kelemahan, sehingga penulis berharap semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi para perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang kajian lingkungan kawasan terkhusus pada penerapan model pemanfaatan air hujan.

Akhir kata penulis berbesar hati apabila para pembaca sudi memberikan kritik, saran dan masukan dalam rangka proses penulisan dan penelitian berikutnya.

Makassar, Januari 2021

**M.YAHYA**

## DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRACT	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I    PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Permasalahan	10
C. Tujuan Penelitian	11
D. Manfaat Penelitian	12
E. Ruang Lingkup Penelitian	13
F. Definisi Istilah	14
G. Sistematika Penulisan	17
BAB II    TINJAUAN PUSTAKA	19
A. Hidrologi Kota Pantai	19
1. Instruksi Air Laut	19

2.	Pasang Surut	23
3.	Daerah Aliran Sungai (DAS)	24
a.	Luas dan Bentuk DAS	25
b.	Tata Gunan Lahan	26
c.	Jenis Tanah / Jenis Batuan	27
B.	Pemanenan Air Hujan (PAH)	32
1.	Pemanenan Air Hujan (PAH) Skala Bangunan	39
2.	Pemanenan Air Hujan (PAH) Skala Kawasan	41
C.	Model SWAT ( <i>Soil and Water Assessment Tool</i> )	47
D.	<i>Expert System</i>	52
1.	Konsep Dasar	53
2.	Faktor Kepastian ( <i>Certainty Factor</i> )	61
3.	Aturan Inferensi	64
E.	Sistem Informasi Geografis (SIG)	66
F.	Analisis Sensivitas	70
G.	Kerangka Pikir	72
H.	Novelty	77
BAB III	METODE PENELITIAN	51
A.	Rancangan Penelitian	84
1.	Dinamika Penggunaan Lahan	85

	2. Metode Penentuan Lokasi Kolam Retensi (KR)	85
	3. Model Perhitungan Air Hujan	96
	4. Model Penerapan Pemanenan Air Hujan (PAH)	104
	J. Kerangka Pikir	70
	K. Kebaharuan ( <i>Novelty</i> )	73
BAB III	METODE PENELITIAN	79
	A. Rancangan Penelitian	79
	B. Lokasi	105
	C. Responden	106
	D. Jenis Data	107
	E. Teknik Pengumpulan Data	107
	F. Teknik Analisis	109
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	112
	A. Dinamika Penggunaan Lahan dan Air Hujan di DAS Tallo Kota Makassar	112
	1. Analisis Penutupan Lahan	114
	2. Curah Hujan	121
	B. Model Penentuan Aliran Permukaan	122
	1. Data Penutupan Lahan	124
	2. Jenis Tanah	124

3.	Kemiringan Kelerengan	126
4.	Iklm	128
5.	Pembentukan <i>Hydrological Response Unit</i> (HRU)	128
6.	Penggabungan HRU dengan data iklim	129
7.	Simulasi Model <i>Soil and Water Assessment Tool</i>	129
8.	Model Hidrologi Analisis Aliran Permukaan	130
C.	Model Penentuan Lokasi Kolam Retensi (KR)	133
1.	GIS Grid-Based	133
2.	Input Variabel	134
3.	Inferensi Aturan	144
a.	Daerah Yang Tidak Mendukung PAH - KR	151
b.	Daerah Yang Menghambat PAH - KR	152
c.	Daerah Yang Mendukung PAH - KR	153
d.	Daerah Potensial PAH - KR	154
4.	Analisis Sensivitas	157
D.	Model Pemanenan Air Hujan (PAH)	161
E.	Temuan	169
BAB V	PENUTUP	170
A.	Kesimpulan	170
B.	Saran	172
	DAFTAR PUSTAKA	173



## ABSTRACT

M. YAHYA. *Rainwater Harvesting Model in a Coastal City: Implementation in the Tallo Watershed of Makassar City* (supervised by Ananto Yudono, Farouk Maricar and Arifuddin Akil).

Excess water during the rainy season and lack of water during the dry season are phenomena that usually occur in tropical coastal cities. This is an issue to develop the idea of engineering rainwater utilization through the Rainwater Harvesting (RWH). A coastal city consists of low areas, usually alluvial soils, where the groundwater level is affected by the tides and the groundwater conditions are affected by sea water interference, and high/high enough areas where groundwater is not affected by tides and sea water interruption. This greatly affects the quality of the retarding basin (RB) or rainwater storage, such as waiting reservoirs, artificial lakes, ponds and other water storage containers. The type of use of water in RB which interferes with seawater will be limited, and to neutralize it into fresh water that is ready to be used as raw material for drinking water requires complex technology and costs a lot. Types of rainwater storage can be large in size such as waiting reservoirs, artificial lakes, ponds for runoff water, and water tanks/barrels for rainwater from roofs that have not fallen/flowed to the ground. This study aims to develop a Rainwater Harvesting (RWH) model with the Tallo Watershed (DAS) research area in the city of Makassar, as a coastal city. The method used in building the RB location determination model is a GIS-based expert system approach using a grid map. Other supporting results are the calculation of runoff flow to RB, and the application of PAH from the roof of the building. In terms of architecture whose objects can be buildings and built environments such as urban areas, the RWH model can be aimed at determining the appropriate location model for the RB, and the RWH model from the roof of the building.

Keywords: expert systems, Rainwater Harvesting, Retarding Basin, runoff.

## ABSTRAK

M. YAHYA. *Model Pemanenan Air Hujan Di Kota Pantai: Penerapan di DAS Tallo Kota Makassar* (dibimbing oleh Ananto Yudono, Farouk Maricar dan Arifuddin Akil).

Kelebihan air pada musim penghujan serta kekurangan air pada musim kemarau merupakan fenomena yang biasanya terjadi pada kota pantai tropis. Hal ini menjadi isu untuk mengembangkan ide rekayasa pemanfaatan air hujan melalui sistem Pemanenan Air Hujan (PAH). Kota pantai terdiri dari daerah rendah, biasanya tanah alluvial, yang ketinggian air tanahnya dipengaruhi oleh pasang surut air laut sekaligus kondisi air tanahnya terpengaruh oleh intrusi air laut, dan daerah tinggi dan/atau cukup tinggi yang air tanahnya tidak dipengaruhi oleh pasang surut dan intrusi air laut. Hal ini sangat berpengaruh pada kualitas kondisi air Kolam Retensi (KR) atau penampungan air hujan, seperti waduk tunggu, danau buatan, kolam dan wadah penampungan air lainnya. Kondisi air di KR yang terintrusi air laut akan menjadi terbatas jenis penggunaannya, dan untuk menetralkan menjadi air tawar yang siap dijadikan bahan baku air minum perlu teknologi yang rumit dan biaya besar. Jenis penampungan air hujan dapat berukuran besar seperti waduk tunggu, danau buatan, kolam untuk air limpasan, serta bak dan/atau tong air untuk air hujan dari atap yang belum jatuh/mengalir ke tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model Pemanenan Air Hujan (PAH) dengan wilayah penelitian Daerah Air Sungai (DAS) Tallo di wilayah kota Makassar, sebagai kota pantai. Metode yang digunakan dalam membangun model penentuan lokasi KR berupa pendekatan sistem pakar berbasis GIS menggunakan peta Grid. Model perhitungan aliran limpasan ke KR menggunakan SWAT, dan Model PAH dari atap bangunan berupa penerapan model yang telah dikembangkan sebelumnya. Hasil penelitian menemukan kebaruan berupa model penentuan lokasi KR dengan pendekatan expert system berbasis GIS menggunakan peta Grid. Hasil lainnya sebagai pendukung berupa hasil perhitungan aliran limpasan ke KR, dan penerapan tentang PAH dari atap bangunan. Ditinjau dari ilmu arsitektur yang obyeknya dapat berupa bangunan dan lingkungan binaan seperti kawasan perkotaan, maka model PAH dapat ditujukan ke model penentuan lokasi yang tepat untuk KR, dan model PAH dari atap bangunan.

Kata kunci: Sistem Pakar, Rainwater Harvesting, Retarding Basin, runoff.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Air merupakan kebutuhan dasar dan sangat penting untuk kehidupan dan kesehatan umat manusia. Penyediaan air bersih merupakan perhatian utama di banyak negara berkembang termasuk Indonesia, (Song dkk., 2009). Konservasi sumber daya air dalam arti penghematan dan penggunaan kembali (*reuse*) menjadi hal yang sangat penting pada saat ini. Hal ini disebabkan oleh beberapa masalah yang berkaitan dengan ketersediaan air bersih seperti penurunan muka air tanah, kekeringan maupun dampak dari perubahan iklim. Pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan didasarkan pada prinsip bahwa sumber air seharusnya digunakan sesuai dengan kuantitas air yang dibutuhkan (Kim dkk., 2007).

Beberapa permasalahan tersebut seharusnya membuat kita memperhatikan ketersediaan sumber air bersih, dimana kuantitasnya sangat terbatas dan menjadi permasalahan penting di banyak negara. Hal ini merupakan tantangan bagi pemerintah untuk memperhatikan masalah penyediaan air bersih. Untuk mengatasi keterbatasan sumber air bersih dan menurunkan kebutuhan air untuk seluruh kebutuhan hidup manusia,

penggunaan air hujan merupakan salah satu pilihan terbaik untuk mengatasi hal tersebut. (Ghisi dkk., 2009).

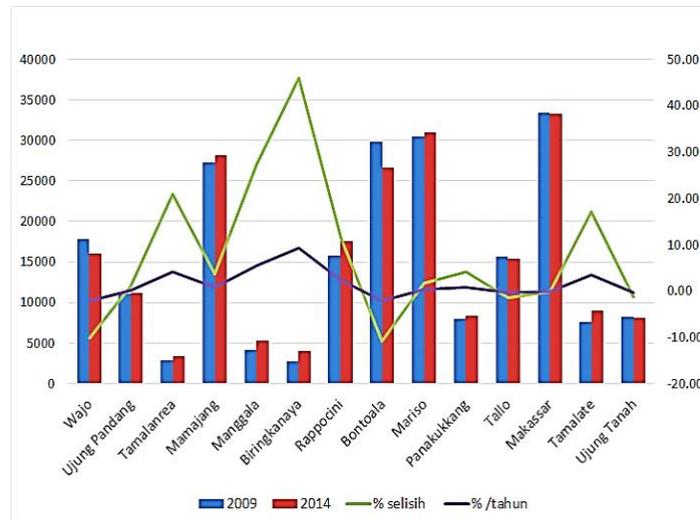
Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari 17.504 pulau besar dan kecil. Indonesia sering disebut pula sebagai negara maritim. Hal ini dikarenakan tiga perempat wilayah Indonesia terdiri dari laut atau sekitar 5,9 juta km<sup>2</sup>. Oleh karena itu, Indonesia memiliki garis pantai yang panjang yaitu sepanjang 95.161 km. Kota Metropolitan Makassar yang merupakan salah satu kota pantai terletak di pesisir pantai barat Sulawesi Selatan terletak antara 119°24'17'38" Bujur Timur dan 5°8'6'19" Lintang Selatan dengan luas wilayah 175.77 km<sup>2</sup>.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 27 Tahun 2007, wilayah pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut. Wilayah pesisir memerlukan pengelolaan yang berkelanjutan untuk meningkatkan nilai sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat melalui peran serta masyarakat dalam memanfaatkan sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil.

Pengelolaan wilayah pesisir meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengawasan, dan pengendalian terhadap interaksi manusia dalam memanfaatkan sumber daya pesisir. Perencanaan pembangunan pesisir pantai yang berkelanjutan memperhatikan pula perkembangan kawasan perkotaan dimana kawasan pesisir pantai itu berada.

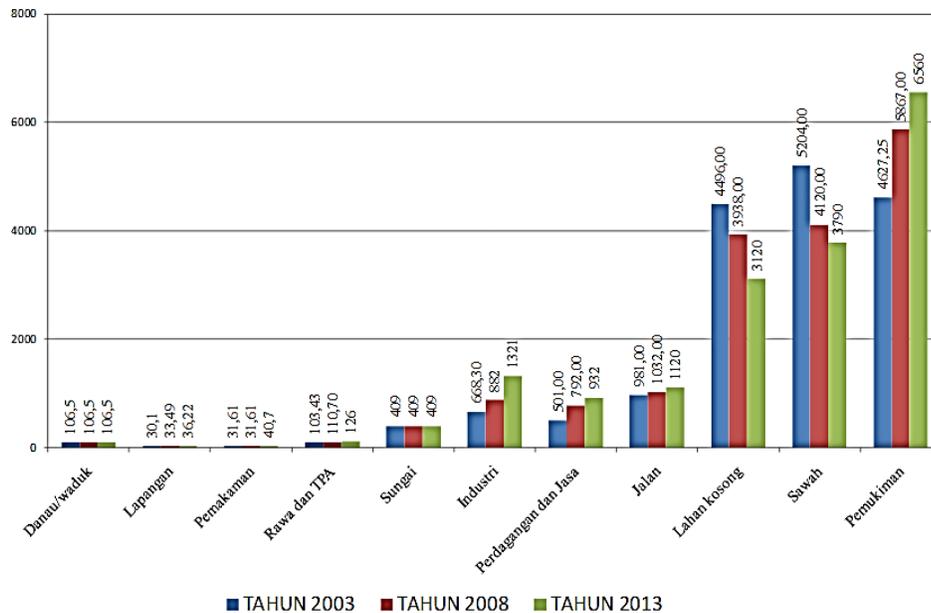
Perkembangan pembangunan perkotaan di Indonesia memacu pertumbuhan ekonomi. Sebagai dampaknya kota-kota tersebut akan menjadi magnet bagi penduduk untuk berdatangan / migrasi mencari pekerjaan dan bertempat tinggal. Kondisi tersebut memberi dampak terhadap perkembangan kota secara fisik yaitu Intensitas lahan terbangun yang terus meningkat menyebabkan sulit dijumpainya lahan hijau / terbuka, perkembangan *land use*, permasalahan lingkungan dan permukiman kumuh (Fitri, 2013).

Laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan yang sangat cepat di kota Makassar menyebabkan perubahan fungsi tata guna lahan seperti yang terlihat pada Gambar 1. Sebagian besar lahan terbuka maupun hutan telah menjadi sejumlah area pemukiman dan perindustrian. Dampak dari perubahan tata guna lahan tersebut adalah meningkatnya limpasan permukaan langsung (*direct runoff*) dan menurunnya daerah resapan air. Hal tersebut akan mengakibatkan terganggunya distribusi air secara hidrologis. (Irsan dkk. 2013).



Gambar 1. Tingkat Kepadatan Populasi Kota Makassar  
(Sumber: BPS Kota Makassar,2014)

Pada tahun 2003 – 2008, Perubahan tata guna lahan yang terjadi di kota Makassar pada sektor pemukiman yang bertambah seluas 1239.75 ha (6.99%). Sedangkan pada tahun 2008 - 2013 perubahan pemukiman bertambah seluas 693 ha (3.91%). Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan penggunaan lahan menjadi lahan pemukiman seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perubahan Tata Guna Lahan Kota Makassar  
(Sumber: J. Patanduk, dkk,2014)

Daerah aliran sungai (DAS) dalam perspektif keruangan merupakan bagian dari muka bumi, yang airnya mengalir ke dalam sungai yang bersangkutan apabila hujan jatuh (Sandy, 1996). Dalam DAS, terdapat karakteristik yang diperoleh dari air hujan yang jatuh terhadap penggunaan tanah. Hal ini dicirikan pada Daerah Aliran Sungai Tallo dan Sungai Jeneberang di Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Karakteristik yang paling mencolok tentu saja terhadap lahan pertanian dimana air dibutuhkan dalam aktivitas ini. Keberadaan sungai ini selain memberikan asupan air bagi masyarakat sekitar, juga dapat dijadikan sebagai prasarana transportasi sekaligus sebagai sumber air bagi pertanian dan kehidupan disekitarnya. Hal

ini dikarenakan kondisi geologis dan geomorfologis-nya memungkinkan untuk penyimpanan air dan keberlangsungan aktivitas pertanian (Fahmi, 2009).

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, jumlah kebutuhan yang harus dipenuhi setiap orang untuk kehidupannya sehari-hari juga semakin bertambah besar. Kebutuhan tersebut bermacam-macam. Salah satu dari antara kebutuhan tersebut adalah air bersih. Hal ini mengakibatkan penyediaan air bersih harus diberi perhatian khusus. Masalah penyediaan air bersih ini memang telah menjadi perhatian khusus bagi negara-negara maju maupun negara yang sedang berkembang, termasuk Indonesia. Masalah yang dihadapi dalam penyediaan air bersih adalah kurang tersedianya sumber air bersih, belum meratanya pelayanan penyediaan air bersih, dan belum maksimalnya pemanfaatan sumber air bersih yang ada (Ivory D, 2015).

Kebutuhan air bersih yang memenuhi syarat baik dari segi kualitas maupun kuantitas merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat. Oleh karena itu optimalisasi pelayanan air bersih khususnya harus selalu diupayakan untuk dicapai seiring dengan laju perkembangan jumlah penduduk dan tingkat sosial ekonomi masyarakat yang dilayani. Untuk pembangunan infrastruktur di bidang air bersih khususnya sistem pengolahan air bersih (SPAM) perlu dilakukan dalam upaya meningkatkan pelayanan kepada masyarakat (PP nomor 16, 2005).

Tingginya permintaan akan pelayanan air bersih saat ini di Kota Makassar, sepenuhnya belum tertangani dengan optimal, baik segi pelayanan

yang ada saat ini, maupun kapasitas produksi yang tersalurkan sampai ke konsumen. Kuantitas air yang dialirkan oleh IPA Panaikang ke Kecamatan Tamalanrea masih memerlukan pasokan air bersih tambahan sekitar 30,01 liter/detik. Permasalahan yang terjadi adalah ketersediaan air baku di Sungai Lekopancing yang berkurang pada musim kemarau dari kurang lebih 30,90 m<sup>3</sup>/s menjadi 0,986 m<sup>3</sup>/s. Begitu pula dengan IPA Antang belum memberikan pelayanan yang optimal dan merata kepada semua pelanggan. Hal ini disebabkan adanya faktor kendala yang berupa tingkat kehilangan air yang cukup tinggi, yaitu 57,68 % dan sistem jaringan pipa yang sudah tidak memadai dengan wilayah pelayanan (Nasir, 2015). Disamping itulah pula, berdasarkan data BPPSPAM dan BPS dalam Dokumen Rencana Program Investasi Jangka Menengah Kota Makassar 2019 – 2023 bahwa pelayanan air minum di kota Makassar mencapai 81,19 % untuk perpipaan dan 0,93 % untuk non perpipaan..

Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan sumber air baku perkotaan dengan memanfaatkan potensi air hujan. Salah satu cara untuk mengendalikan limpasan air hujan yang dapat digunakan sebagai sumber air baku, yang terinfiltrasi dan evaporasi agar banjir serta kekeringan dapat terminimalisirkan yaitu dengan pendekatan pembangunan berdasarkan konsep *Low Impact Development (LID)*. Konsep ini menerapkan pengolahan limpasan air hujan yang memperhatikan aspek konservasi. LID adalah strategi manajemen pengolahan air hujan dengan menjaga dan mengembalikan fungsi

hidrologi alamiah dari suatu daerah untuk mencapai tujuan perlindungan sumber daya alam dan memenuhi peraturan lingkungan yang disyaratkan (Unified Facilities Criteria, 2004). Konsep LID salah satu prakteknya adalah *Rainwater Harvesting (RWH)*. RWH adalah proses menangkap, menyalurkan dan menyimpan air hujan untuk penggunaan kedepannya (*LID Stormwater Management Planning and Design Guide, Toronto and Region Conservation Authority, 2010*).

Salah satu prinsip penggunaan air secara berkelanjutan dikenalkan oleh para ahli yakni penyediaan air kepada manusia hendaknya dilakukan dengan kuantitas yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Prinsip pengelolaan sumber daya air seperti itu dapat digunakan untuk mengidentifikasi alternatif sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia dan tidak harus memenuhi standar air minum (Yulistyorini, 2011). Sumber air yang tersedia sepanjang tahun adalah air hujan. Air hujan ini melimpah sejak lama masih saja dibiarkan tanpa pengelolaan, terbuang mengalir ke sungai bahkan tidak diupayakan meresap kembali ke tanah. Pada banyak kasus justru air hujan disalahkan sebagai penyebab terjadinya bencana banjir (Afriyanto dan Suskiyatno, 2015).

Kebutuhan air perkotaan menjadi kebutuhan dasar pada hampir setiap pemanfaatan ruang atau tiap fungsi bangunan. Ketersediaan air mulai bermasalah ketika terjadi ketidakseimbangan antara kebutuhan air dengan

volume sumber air (intake) yg tersedia. Salah satu alternatif sebagai sumber air potensial di perkotaan adalah pemanfaatan air tanah dan air hujan.

Eksplorasi air tanah saat ini juga terkadang bermasalah karena tidak semua lahan memiliki sumber yang tersedia dengan mudah. Di samping itu pemanfaatan air tanah di daerah pantai terkadang terpengaruh oleh intrusi air laut (airnya payau). Penggunaan air tanah berlebihan ini juga secara teoritis bertentangan dengan lingkungan atau kurang berkelanjutan karena menyebabkan penurunan permukaan tanah. Ketersediaan sumber air ini juga menjadi rendah akibat fenomena perkembangan bangunan secara horizontal dan atau alihfungsi lahan hijau menjadi bangunan.

Alternatif lain adalah dengan pemanfaatan air hujan. Hal ini merupakan peluang besar namun belum maksimal dikembangkan. Sebagian besar air hanya terserap ke tanah atau langsung terbang ke badan sungai/laut. Seharusnya sumber air tersebut dimanfaatkan semaksimal mungkin sebelum terbang ke badan air.

Untuk memenuhi permintaan air yang persediaannya semakin terbatas, diperlukan upaya untuk konservasi sumber daya air. Hal inilah yang menjadi hal menarik untuk penulis teliti terkait potensi pemanenan air hujan (PAH) di kota pantai pada DAS Tallo kota Makassar dan penerapan pada perencanaan arsitektur berkelanjutan yang ramah lingkungan terkhusus pada bidang rancangan utilitas bangunan.

## **B. Rumusan Permasalahan**

.Kondisi cuaca yang panas dengan temperatur sangat tinggi, bahkan dapat mencapai suhu ekstrim. Begitupun sebaliknya ketika terjadi hujan yang sangat deras, air melimpah ruah dan mengakibatkan banjir dimana-mana. Namun, kelebihan debit air ini tidak dapat dikelola dengan baik sehingga air melimpas ke laut begitu saja. Berdasarkan data ketika terjadi musim hujan, maka aliran limpasan yang dapat dimanfaatkan hanya 25% saja. Tiga perempat lainnya terbangun percuma ke laut (Sjarief dan Koedati, 2005).

Sesuai dengan amanah UU No. 26 tahun 2007 tentang Tata Ruang Kota, maka kota Makassar membutuhkan sedikitnya 5 ribu hektar Ruang Terbuka Hijau dari total luas kota sebesar 175 km<sup>2</sup> atau 30% dari total luas kota. Jika dilihat kondisi sekarang ruang terbuka hijau tidak cukup sampai 10 %, sangat kurang jika mengacu pada amanat penataan ruang yang berlaku. Hal ini kian diperparah oleh alih fungsi beberapa Ruang Terbuka Hijau (RTH) sehingga mengurangi daya resap air ke dalam tanah secara signifikan.

Dari kondisi di atas maka dapat dirumuskan permasalahan yang terjadi meliputi: (1) Besarnya volume air hujan yang melimpah, tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk memenuhi kebutuhan air di musim kemarau. (2) Perubahan Ruang Tata Hijau ke Ruang Non Hijau yg mengakibatkan kurangnya resapan air tanah, dan (3) Penerapan konsep

Pemanenan Air Hujan (PAH) yang tepat untuk mengatasi kondisi tersebut di atas.

Berdasarkan rumusan permasalahan di atas terkait “Model Pemanenan Air Hujan di Kota Pantai”, maka muncul pertanyaan penelitian:

1. Bagaimana dinamika penggunaan lahan dan air hujan pada DAS Tallo Kota Makassar.
2. Bagaimana model penentuan lokasi Kolam Retensi (KR) yang tepat di DAS Tallo Kota Makassar.
3. Bagaimana model penentuan aliran permukaan yang dapat dialirkan ke Kolam Retensi (KR).
4. Bagaimana model Pemanenan Air Hujan (PAH) terhadap potensi pemanfaatan air hujan.

### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan utama yang ingin dicapai dalam penelitian ini secara konseptual adalah untuk mengembangkan suatu model potensi pemanfaatan air hujan di kota pantai dengan studi kasus di kota Makassar.

Pencapaian tujuan utama diperoleh melalui rangkaian pembahasan secara rinci terhadap beberapa faktor yang berpengaruh kuat dan saling berkaitan erat dengan pengembangan model ruang wilayah perkotaan. Secara spesifik tujuan relevan dengan tujuan utama penelitian ini yaitu:

1. Untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan terhadap potensi pemanenan air hujan (PAH).
2. Untuk merumuskan model Penentuan Lokasi yang tepat untuk pemanenan air hujan berbasis GIS – *grid based* dengan menggunakan *expert system*.
3. Untuk merumuskan model *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)* dalam penentuan limpasan yang dapat dialirkan ke Kolam Retensi (KR).
4. Untuk menerapkan model Pemanenan Air Hujan (PAH) terhadap potensi pemanfaatan air hujan di bangunan.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini secara umum akan memberikan kontribusi terhadap pengembangan Universitas Hasanuddin untuk sebagai pusat unggulan dalam pengembangan insani, ilmu pengetahuan, teknologi, seni dan budaya berbasis Benua Maritim Indonesia. Pengembangan dan pengelolaan benua maritim membutuhkan inovasi dan kebijakan yang komprehensif, integral dan tepat, sesuai dengan keberadaannya sebagai kawasan yang memiliki permasalahan, potensi dan karakteristik yang khas. Pengembangan yang diharapkan nantinya menjadi model yang dapat diterapkan pada masyarakat kota pantai dengan pulau-pulau kecil yang sesuai potensi lingkungannya.

Secara khusus penelitian ini akan memberikan model Pemanenan Air Hujan (PAH) terkait kondisi perkotaan yang mengalami peningkatan volume aliran permukaan (*runoff*) yang semakin besar bersamaan dengan semakin banyaknya alih fungsi lahan seperti sawah, hutan, dan perkebunan menjadi lahan berpenutup permanen yang kedap air seperti jalan, perumahan, bangunan, dan pabrik. Lapisan kedap air ini menyebabkan kemampuan penyerapan air dan laju infiltrasi tanah berkurang, dan merosotnya cadangan air di musim kemarau akibat makin berkurangnya sistem penyimpanan air tanah.

### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah membangun model pemanenan air hujan di kota pantai yang efektif untuk kebutuhan kota sepanjang tahun dengan potensi melimpahnya volume air hujan yang seharusnya dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat perkotaan. Model yang dibangun merupakan model pada lingkungan binaan (kawasan perkotaan) dan sistem pemanenan air hujan yang jatuh pada atap bangunan dan ditampung sebelum mengalir ke tanah / luar persil bangunan (arsitektural). Dalam pencapaian model tersebut akan dilakukan kajian awal yaitu membangun model *Rain Water Harvesting* (RWH) suatu kota sebagai sub daerah aliran sungai. Dari rencana luaran yang akan dicapai tersebut, nantinya menjadi model untuk

pemanfaatan air hujan perkotaan yang dapat diterapkan oleh pemerintah dan masyarakat sesuai dengan karakteristik kota yang menjadi kajian pengamatan.

## **F. Definisi Istilah**

Beberapa istilah yang digunakan pada penelitian ini diantaranya :

### 1. Model

Model adalah suatu abstraksi dan penyederhanaan dari suatu sistem yang sesungguhnya.

### 2. Pemanenan Air Hujan

Kegiatan pengumpulan, penyimpanan dan pendistribusian air hujan dari atap, untuk penggunaan di dalam dan di luar rumah maupun bisnis melalui berbagai teknologi untuk penggunaan masa depan dan memenuhi tuntutan konsumsi manusia atau kegiatan manusia.

### 3. Sistem pakar

Sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli yang dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli.

### 4. Debit Limpasan Air Hujan

Volume air hujan per satuan waktu yang tidak mengalami infiltrasi sehingga harus dialirkan melalui saluran drainase.

#### 5. Penampungan Komunal

Penampungan komunal dalam penelitian ini berpatokan pada tempat atau wadah air hujan yang menjadi *surface run-off* dikumpulkan dalam skala kawasan, seperti embung, situ ataupun kolam penampungan.

#### 6. Koefisien *Run-Off* (C)

Koefisien *run-off* atau koefisien aliran permukaan merupakan nisbah antara laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Nilai c misalnya 10%, sehingga dapat dijabarkan bahwa 90% air terinfiltrasi atau tertampung, sehingga 10% menjadi limpasan air hujan.

#### 7. Ruang terbuka

Ruang terbuka yang menjadi maksud dari penulis adalah taman, jalur hijau, jalur pejalan kaki, jalan, lapangan olahraga, dan parkir serta, danau/*reservoir*.

#### 8. Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan menyatakan besarnya curah ujan dalam jangka pendek yang memberikan gambaran deras hujan per jam.

#### 9. Limpasan permukaan

Aliran air yang mengalir di atas permukaan karena penuhnya kapasitas infiltrasi tanah.

#### 10. Curah hujan maksimum

Angka curah hujan tertinggi di tiap bulannya.

#### 11. Curah Hujan

Curah Hujan adalah banyak air yang jatuh kepermukaan bumi, dalam hal ini *permukaan* bumi dianggap datar dan kedap, tidak mengalami penguapan dan tersebar merata serta dinyatakan sebagai ketebalan air (*rain fall depth*, cm, mm).

#### 12. Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai sebagai suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama.

#### 13. Intrusi air laut

Masuk atau menyusupnya air laut kedalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung didalamnya, Proses masuknya air laut mengganti air tawar disebut sebagai intrusi air laut.

#### 14. Pasang surut

Fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi.

## G. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini dikelompokkan sebagai berikut:

1. Bagian pertama adalah pendahuluan yang menjelaskan latar belakang, rumusan permasalahan, tujuan penelitian dan kegunaan penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bagian kedua adalah tinjauan pustaka yang menjelaskan tentang hidrologi terkait limpasan (*runoff*), karakteristik DAS, Pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*), karakteristik kota pantai terkait pemanenan air hujan, *expert system*, pengembangan hipotesis, kerangka pikir penelitian, kebaharuan penelitian.
3. Bagian ketiga adalah metode penelitian yang menjelaskan rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, responden, instrumen pengumpul data, analisis data, kerangka penelitian.
4. Bagian keempat adalah pembahasan yang menjelaskan analisis perubahan penggunaan lahan terhadap potensi pemanenan air hujan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) pada DAS Tallo di kota Makassar, merumuskan model Penentuan Lokasi yang potensial untuk pemanenan air hujan berbasis GIS – *grid based* dengan menggunakan *expert system*, merumuskan model hidrologi akibat pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap pemanenan air hujan, dan

merumuskan model penerapan Pemanenan Air Hujan (PAH) terhadap potensi pemanfaatan air hujan.

5. Bagian Kelima adalah Kesimpulan dan saran.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Hidrologi Kota Pantai**

Air sebagai sumber daya memiliki potensi sangat bervariasi dan bersifat dinamis, perbedaan sumber daya air di setiap wilayah disebabkan oleh kondisi fisik lingkungan seperti faktor geologi, topografi, tanah, curah hujan dan penggunaan lahan yang semuanya akan mempengaruhi proses hidrologi (Miswadi, 2005).

##### **1. Intrusi Air Laut**

Intrusi air laut adalah masuk atau menyusupnya air laut kedalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung didalamnya sehingga menyebabkan air tanah berubah menjadi air payau atau bahkan air asin. Intrusi air laut terjadi bila keseimbangan terganggu. Aktivitas yang menyebabkan intrusi air laut diantaranya pemompaan yang berlebihan, karakteristik pantai dan batuan penyusun, kekuatan air tanah kelaut, serta fluktuasi air tanah di daerah pantai. Proses intrusi makin panjang bisa dilakukan pengambilan air tanah dalam jumlah berlebihan. Intrusi air laut menimbulkan dampak yang sangat luas terhadap aspek kehidupan, seperti gangguan kesehatan dan penurunan kesuburan tanah (Putranto dan Kusuma, 2009).

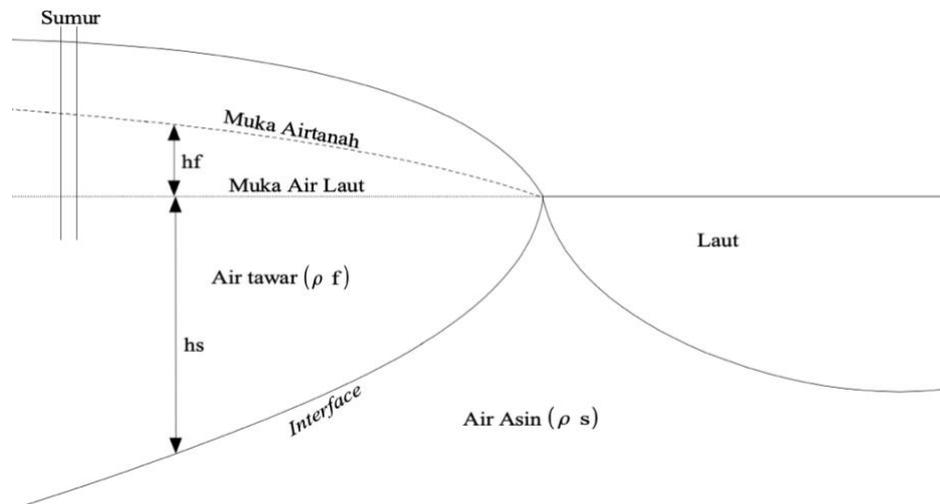
Intrusi air laut merupakan suatu peristiwa penyusupan atau meresapnya air laut atau air asin ke dalam air tanah. Kasus intrusi air laut merupakan masalah yang sering terjadi di daerah pesisir pantai.

Masalah ini selalu terkait dengan kebutuhan air bersih, dimana air bersih merupakan air yang layak untuk dikonsumsi. Rusaknya air tanah pada daerah pesisir ditandai dengan keadaan air yang tidak bersih dan rasanya asin (Indahwati dkk, 2012).

Peningkatan kebutuhan air bersih sebanding dengan berkembangnya suatu daerah. Semakin meningkatnya kebutuhan air bersih, maka eksploitasi air tanah akan semakin besar. Hal ini mengakibatkan persediaan air tanah semakin berkurang. Berkurangnya kandungan air tanah pada lapisan akuifer dapat mengakibatkan masuknya air laut (yang massanya lebih berat) ke dalam akuifer. Pengurangan potensi air tanah jika terjadi pada akuifer daerah pantai dapat menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan hidrostatik air tawar dan air asin. Bila tekanan hidrostatik air tawar berkurang maka terjadi intrusi air asin yang meningkatkan kadar garam pada akuifer (Sosrodarsono, S.dan Takeda, 2003).

Penurunan aliran air tawar yang masuk ke laut menyebabkan *interface* bergerak ke dalam tanah dan menghasilkan intrusi air asin ke dalam akuifer. Sebaliknya suatu peningkatan aliran air tawar mendorong *interface* ke arah laut. Laju gerakan *interface* dan respon tekanan akuifer tergantung kondisi batas dan sifat akuifer pada kedua sisi *interface*. Pada sisi dengan air asin dapat bergerak kedalam atau keluar, pada sistem akuifer efek dari gerakan *interface* mempengaruhi perubahan debit air tawar di lepas pantai. Dalam suatu sistem akuifer berlapis, air asin dapat masuk

akuifer oleh aliran melalui akuifer tersingkap atau bocoran yang melewati lapisan pembatas atau lantai laut seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Interface antara air tanah tawar dengan air asin (sumber: Sosrodarsono, dkk. 1993)

Menurut Triatmodjo (2014) penyebab terjadinya intrusi adalah:

1. Kenaikan permukaan laut dan pembentukan cekungan air tanah yang lebar dan dangkal.
2. Penurunan muka air tanah atau pada bidang pisometrik di daerah pantai.
3. Pengeksploitasi air tanah yang secara berlebihan terutama di daerah pantai.
4. Masuk dan menyusupnya air laut ke daratan melalui sungai, kanal, saluran, rawa, atau pun cekungan lainnya.

5. Penebangan pohon bakau, penggalian karang laut untuk dijadikan bahan bangunan dan kerikil jalan. Pembuatan tambak yang memberikan peluang besar masuknya air laut jauh ke daratan.

Dampak buruk yang akan terjadi apabila terjadi intrusi air laut adalah (Ismawan, dkk.2016) :

- a. Menyebabkan air tanah yang awalnya berasa tawar berubah menjadi asin karena adanya pencampuran unsur-unsur dari air laut. Hal tersebut akan mempengaruhi aktivitas masyarakat pada penggunaan air tanah sebagai sumber air bersih. Sehingga terjadi penurunan mutu air tanah, dan tidak layak digunakan lagi untuk kebutuhan air minum.
- b. Kulit terasa lengket setelah mandi, hal tersebut karena tingkat salinitas airnya yang relatif tinggi
- c. apabila air yang telah tercemar air laut digunakan untuk mencuci maka deterjen akan sulit untuk berbusa. Selain itu pakaian yang dicuci dengan air yang tercemar air laut ini juga menjadi cepat lusuh dan kumal
- d. Amblesnya tanah karena terus menerus dieksploitasi air tanah secara berlebihan .

Berdasarkan Yanti (2016) memberikan hasil pengujian bahwa intrusi air laut di kota Makassar sudah mencapai wilayah 1 (500 m), wilayah 2 (1000 m) bahkan di wilayah 3 (1500 m) dari tepi pantai dan masuk dalam kategori asin, payau, agak payau. Nilai konduktivitas

menurun seiring dengan jarak lokasi dari tepi pantai dan sebaliknya konduktivitas listrik meningkat untuk jarak yang semakin dekat ke tepi pantai.

## 2. Pasang Surut

Pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pasang surut dan arus yang dibangkitkan pasang surut sangat dominan dalam proses sirkulasi massa air di perairan pesisir (Duxbury *et al.*, 2002). Pengetahuan mengenai pasang surut dan pola sirkulasi arus pasang surut di perairan pesisir dapat memberikan indikasi tentang pergerakan massa air serta kaitannya sebagai faktor yang dapat mempengaruhi distribusi suatu material di dalam kolom air (Mann dan Lazier, 2006). Menurut Wibisono (2005), sebenarnya hanya ada tiga tipe dasar pasang- surut yang didasarkan pada periode dan keteraturannya, yaitu sebagai berikut:

- a. Pasang-surut tipe harian tunggal (*diurnal type*): yakni bila dalam waktu 24 jam terdapat 1 kali pasang dan 1 kali surut.
- b. Pasang-surut tipe tengah harian/ harian ganda (*semi diurnal type*): yakni bila dalam waktu 24 jam terdapat 2 kali pasang dan 2 kali surut.

- c. Pasang-surut tipe campuran (*mixed tides*): yakni bila dalam waktu 24 jam terdapat bentuk campuran yang condong ke tipe harian tunggal atau condong ke tipe harian ganda.

Tipe pasang-surut ini penting diketahui untuk studi lingkungan, mengingat bila di suatu lokasi dengan tipe pasang-surut harian tunggal atau campuran condong harian tunggal terjadi pencemaran, maka dalam waktu kurang dari 24 jam, pencemar diharapkan akan tersapu bersih dari lokasi.

Dari hasil simulasi model hidrodinamika arus pasang surut diperairan Pesisir Kota Makassar (Taslim, dkk. 2012) dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah bahwa tipe pasang surut di perairan Pesisir Kota Makassar adalah tipe campuran yang cenderung diurnal (harian tunggal) dengan amplitudo sebesar 0,88 – 2,18 meter dari muka laut rata-rata. Elevasi muka air laut hasil simulasi model hidrodinamika yang divalidasi terhadap data lapangan memiliki kesesuaian yang cukup baik dengan standar error sebesar 7%.

### **3. Daerah Aliran Sungai (DAS)**

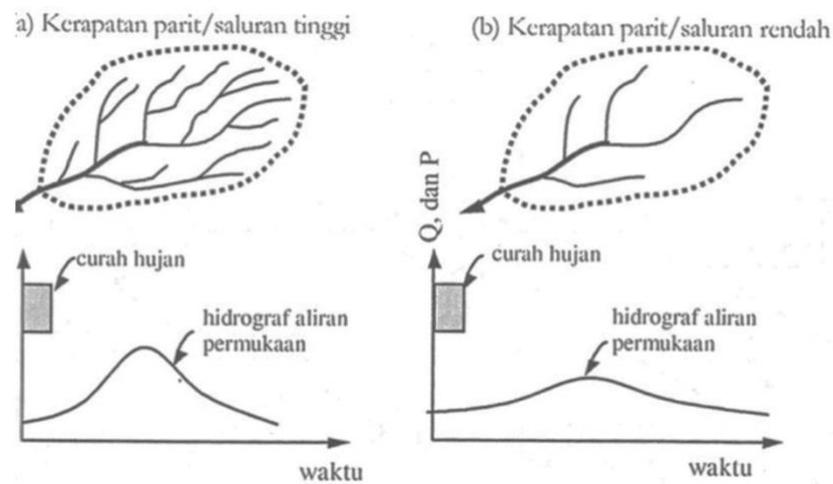
Menurut Asdak (2007), dalam hubungannya dengan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik yang spesifik serta berkaitan dengan unsur utamanya seperti luas dan bentuk DAS, topografi, tata guna lahan, jenis tanah / jenis batuan dan kemiringan lereng.

a. Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan. Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pada gambar 3 digambarkan pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama.

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan. Keadaan dan kerapatan parit dan/atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan luas DAS, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi,

sehingga membesar laju aliran permukaan yang diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh kerapatan parit/saluran pada hidrograf aliran permukaan (Sumber: Indarto, 2010)

#### b. Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan ( $C$ ), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Pada Tabel 1 diperlihatkan angka koefisien aliran permukaan yang merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS.

Tabel 1. Nilai koefisien limpasan berdasarkan kondisi permukaan

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,7 – 0,95
2	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,4 – 0,7
3	Bahu jalan	
	Tanah berbutir halus	0,4 – 0,65
	Tanah berbutir kasar	0,1 – 0,2
	Batuan massif keras	0,7 – 0,85
	Batuan massif lunak	0,6 – 0,75
4	Daerah perkotaan	0,7 – 0,95
5	Daerah pinggir kota	0,6 – 0,7
6	Daerah industri	0,6 – 0,9
7	Permukiman padat	0,4 – 0,6
8	Permukiman tidak padat	0,4 – 0,6
9	Taman dan kebun	0,2 – 0,4
10	Persawahan	0,45 – 0,6
11	Perbukitan	0,7 – 0,8
12	Pegunungan	0,75 – 0,9

(Sumber : Suripin, 2004)

### c. Jenis Tanah / Jenis Batuan

#### 1) Jenis Tanah

Menurut Harjowigeno (1995), tekstur tanah menunjukkan halusnya tanah. Berdasarkan atas perbandingan banyaknya butir-butir pasir, debu, dan liat maka tanah dapat dikelompokkan ke dalam beberapa macam kelas tekstur.

Tabel 2. Tekstur tanah

No.	Tekstur	Kelas tekstur Tanah
1	Kasar	Pasir
		Pasir Lempung
2	Agak Kasar	Lempung berpasir
		Lempung berpasir halus
3	Sedang	Lempung berpasir sangat halus
		Lempung
		Lempung berdebu
		Debu
4	Agak halus	Lempung Liat
		Lempung liat berpasir
		Lempung Liat berdebu
5	Halus	Liat berpasir
		Liat berdebu
		Liat

Sumber: Harjowigono, 1995

Tanah-tanah yang bertekstur pasir mempunyai luas permukaan kecil sehingga sulit menyerap air dan unsur hara. Tanah-tanah bertekstur liat mempunyai luas permukaan yang besar sehingga kemampuan menahan air dan menyediakan unsur hara tinggi. Tanah bertekstur halus lebih aktif dalam reaksi kimia daripada tekstur kasar.

Tanah dapat diklasifikasikan melalui 2 (dua) cara klasifikasi, yaitu klasifikasi alami dan klasifikasi teknis, dengan penjelasan sebagai berikut:

- Klasifikasi alami adalah klasifikasi tanah yang didasarkan atas sifat tanah yang dimilikinya tanpa menghubungkan dengan tujuan penggunaan tanah tersebut. Klasifikasi ini memberikan gambaran dasar terhadap sifat fisik, kimia dan mineralogi tanah yang dimiliki masing-masing kelas yang

selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk pengelolaan bagi berbagai penggunaan tanah.

- Klasifikasi teknis adalah klasifikasi tanah yang didasarkan atas sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kemampuan tanah untuk penggunaan-penggunaan tertentu. (Contoh : klasifikasi kesesuaian lahan untuk perkebunan, tanah akan diklasifikasikan atas dasar sifat-sifat tanah yang mempengaruhi tanaman perkebunan tersebut seperti drainase tanah, lereng, tekstur tanah dan lainnya).

## 2) Jenis Batuan

Menurut Kodoatie & Sjarief (2010), batuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sumber daya air, baik itu dari sisi sumber daya air maupun keberadaan air, diantaranya:

- Batuan Beku

Batuan beku (*igneous rock*) terbentuk dari hasil pembekuan magma yang berbentuk cair dan panas. Magma tersebut mendingin dan mengeras di dalam atau diatas permukaan bumi. Proses pembentukan batuan beku dapat dibedakan menjadi dua cara, yaitu secara intrusif (contoh: granit, diorite, dan gabro) dan ekstrusif (contoh: lava basalt, andesit, dan riolit).

Dalam bentuk pejal, formasi batuan ini relatif kedap atau tidak lulus air dan oleh sebab itu tidak dapat menyimpan dan

melalukan air, sehingga disebut sebagai akuifug atau perkebal (aquifuge). Namun apabila formasi batuan ini mempunyai banyak rongga, celahan, dan rekahan akibat proses pembentukan dan akibat gaya geologi, maka formasi batuan ini dapat bertindak sebagai formasi batuan pembawa air atau akuifer.

- **Batuan Sedimen**

Batuan sedimen merupakan material hasil rombakan dari batuan beku, batuan metamorf, dan batuan sedimen lain yang dibawa oleh aliran sungai kemudian diendapkan di tempat lain baik di darat maupun di laut, contoh batu pasir dan batu lempung. Endapan tersebut terkumpul di suatu tempat di mana saja dan mengalami proses pemadatan, konsolidasi, dan sedimentasi, yang akhirnya akan mengeras yang kemudian disebut dengan batuan sedimen.

- **Batuan Malihan**

Batuan metamorf dibagi menjadi dua yaitu, batuan malihan regional dan kontak (Batuan metamorf merupakan tipe batuan yang mempunyai kesarangan (porositas) batuan yang sangat rendah karena adanya saling kunci antar Kristal penyusun batuan (Batuan metamorf yang terpengaruh pelapukan mempunyai kesarangan sekitar 30-60% .

d. Kemiringan lereng

Kemiringan lereng suatu daerah mempengaruhi nilai kelayakan peruntukan lahan, baik bentuk lahan datar, bergelombang atau berbukit-bukit. Dari segi pengerjaan umumnya lahan datar lebih diminati daripada lahan berbukit. Selain itu lahan datar juga memudahkan manusia dalam melakukan transportasi. Adapun kriteria untuk menentukan kawasan tersebut dapat dilihat pada tabel 3, dimana untuk kesesuaian lereng terhadap penggunaan lahan berorientasi juga pada kriteria kesesuaian kemiringan lereng terhadap penggunaan lahan.

Menurut Rahim (2006), kemiringan lereng dinyatakan dengan satuan persen (%), dikelompokkan menjadi 7 kelas seperti yang diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Kemiringan lereng

No	Kemiringan	Keterangan
1	0 – 3 %	Datar
2	3 – 8 %	Landai atau berombak
3	8 – 15 %	Agak miring atau bergelombang
4	15 – 30 %	Miring berbukit
5	30 – 45 %	Agak curam
6	45 – 65 %	Curam
7	> 65 %	Sangat curam

Sumber: Rahim, 2006

## B. Pemanenan Air Hujan (PAH)

Manajemen air hujan sudah dan sampai sekarang masih dikembangkan di tahun-tahun terakhir ini dan konsep keberlanjutan manajemen air hujan telah diperkenalkan di beberapa kota-kota dunia. Dorongan dan dukungan yang besar dari *International Building Exhibition* “IBA Emscher Park” Jerman yang menjadi kota pertama yang melakukan penelitian secara intensif berkenaan dengan keberlanjutan manajemen air hujan dan telah dipraktekkan dengan *on-site stormwater management* (Zhengyue 2005).

Di Amerika, beberapa kota sudah menerapkan konsep ini pada kebijakan lokal dan mengadakan program pendanaan untuk mendukung terimplementasinya konsep ini. Di Inggris, kode praktik untuk keberlanjutan manajemen air hujan telah diterapkan (*Interim Code of Practice*, 2004). Banyak kota-kota khususnya di Australia dan USA menggunakan platforms internet untuk menginformasikan kepada masyarakat tentang keuntungan pengaplikasian manajemen air hujan secara *on-site*. Melbourne (Victoria, Australia) dan Portland (Oregon, USA) adalah dua dari kebanyakan kota yang mengemukakan solusi-solusi kreatif pada sektor privat (e.g. by *disconnecting downspouts or implementing green roofs*).

Berlandaskan pada *The Urban Stormwater – Best Practice Enviromental Management Guidelines of Victorian Stromwater Committee*, tujuan dari manajemen air hujan dan perspektif perencanaan adalah:

- Melindungi siklus alami air pada perkembangan kota
- Melindung kualitas air dengan menggunakan teknik filtrasi dan rentensi
- Mengurangi run off dan beban puncak aliran dengan menggunakan penahanan atau daerah tangkapan air dengan mengimbangi dan mengurangi daerah kedap air
- Mengurangi pembangunan infrastruktur drainase dan beban pembangunan dengan meningkatkan keberlanjutan dan ameniti di kawasan perkotaan
- Mengintegrasikan manajemen air hujan dengan *landscape* khususnya diterapkan pada sarana rekreasi kawasan perkotaan.

D Hillel, (2005) mendefenisikan *rainwater harvesting* sebagai kumpulan dari limpasan air hujan yang dihasilkan dari daerah tertentu (daerah tangkapan) untuk persediaan air untuk kebutuhan manusia, hewan, dan tanaman. Air yang ada dapat dimanfaatkan langsung untuk irigasi, atau disimpan di kolam di atas tanah atau di waduk. Dengan demikian, pemananen air hujan merupakan solusi buat masyarakat untuk bertahan hidup pada musim kemarau dimana ketersediaan sumber air berkurang.

*Rain water harvesting* merupakan komponen penting dari pengelolaan air perkotaan dan memiliki manfaat sekunder sebagai perluasan penggunaan air hujan dan teknologi inovatif sederhana lainnya yang memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari waduk penyimpanan air dan proses pengolahan air yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Sistem *rainwater harvesting* memanfaatkan sumber daya

air *onsite*, mengurangi limpasan perkotaan (*urban runoff*), dan menghemat pembiayaan untuk penggunaan air. (Chiu, 2011).

Pemanenan air hujan merupakan metode atau teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan air hujan yang berasal dari atap bangunan, permukaan tanah, jalan atau perbukitan batu dan dimanfaatkan sebagai salah satu sumber suplai air bersih. Air hujan merupakan sumber air yang sangat penting terutama di daerah yang tidak terdapat sistem penyediaan air bersih, kualitas air permukaan yang rendah serta tidak tersedia air tanah (Abdulla dkk., 2009).

Berdasarkan *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2001), beberapa keuntungan penggunaan air hujan sebagai salah satu alternatif sumber air bersih adalah sebagai berikut (1) meminimalisasi dampak lingkungan: penggunaan instrumen yang sudah ada (atap rumah, tempat parkir, taman, dan lain-lain) dapat menghemat pengadaan instrumen baru dan meminimalisasi dampak lingkungan. Selain itu meresapkan kelebihan air hujan ke tanah dapat mengurangi volume banjir di jalan-jalan di perkotaan setelah banjir; (2) air hujan yang dikumpulkan relatif lebih bersih dan kualitasnya memenuhi persyaratan sebagai air baku air bersih dengan atau tanpa pengolahan lebih lanjut; (3) air hujan sebagai cadangan air bersih sangat penting penggunaannya pada saat darurat atau terdapat gangguan sistem penyediaan air bersih, terutama pada saat terjadi bencana alam.

Pemanenan air hujan adalah proses mencegat, menyampaikan dan menyimpan limpasan air hujan untuk penggunaan masa depan. Pemanenan air hujan untuk keperluan rumah tangga telah dipraktikkan di daerah pedesaan Ontario selama lebih dari satu abad. Tujuan dalam mengadaptasikan praktik ini pada daerah perkotaan untuk meningkatkan kegiatan konservasi air dan mengurangi limpasan air hujan. Ketika panen air hujan digunakan untuk mengairi area taman, terjadi evapotranspirasi oleh vegetasi atau menyerapkan air hujan ke dalam tanah, sehingga membantu untuk menjaga keseimbangan air (Dhalla dan Christine Zimmer, 2010).

Berdasarkan UNEP (2001), beberapa keuntungan penggunaan air hujan sebagai salah satu alternatif sumber air bersih adalah sebagai berikut:

- a. Meminimalisasi dampak lingkungan: penggunaan instrumen yang sudah ada (atap rumah, tempat parkir, taman, dan lain-lain) dapat menghemat pengadaan instrumen baru dan meminimalisasi dampak lingkungan. Selain itu meresapkan kelebihan air hujan ke tanah dapat mengurangi volume banjir di jalan-jalan di perkotaan;
- b. Lebih bersih: air hujan yang dikumpulkan relative lebih bersih dan kualitasnya memenuhi persyaratan sebagai air beku air bersih dengan atau tanpa pengolahan lebih lanjut;
- c. Kondisi darurat: air hujan sebagai cadangan air bersih sangat penting penggunaannya pada saat darurat terdapat gangguan sistem penyediaan

air bersih, terutama pada saat terjadi bencana alam. Selain itu air hujan bisa diperoleh di lokasi tanpa membutuhkan sistem penyaluran air;

- d. Sebagai cadangan air bersih: pemanenan air hujan dapat mengurangi kebergantungan pada sistem penyediaan air bersih;
- e. Sebagai salah satu upaya konservasi; dan
- f. Pemanenan air hujan merupakan teknologi yang mudah dan fleksibel dan dapat dibangun sesuai dengan kebutuhan. Pembangunan operasional dan perawatan tidak membutuhkan tenaga kerja dengan keahlian tertentu.

Selain beberapa keuntungan di atas, terdapat sejumlah keterbatasan dalam pemanenan air hujan. Sebelum mengembangkan sistem pemanenan air hujan, faktor-faktor berikut perlu dipertimbangkan:

- a. Luas daerah tangkapan hujan dan kapasitas penyimpanan seringkali berukuran kecil atau terbatas, dan pada saat musim kering yang panjang tempat penyimpanan air mengalami kekeringan;
- b. Pemeliharaan sistem pemanenan air hujan lebih sulit dan jika sistem tidak dirawat dengan baik dapat berdampak buruk pada kualitas air hujan yang terkumpul;
- c. Pengembangan sistem pemanenan air hujan yang lebih luas sebagai salah satu alternatif sumber air bersih dapat mengurangi pendapatan perusahaan air minum;

- d. Sistem pemanenan air hujan biasanya bukan merupakan bagian dari pembangunan gedung dan tidak/ jarang ada pedoman yang jelas untuk diikuti bagi pengguna atau pengembang;
- e. pemerintah belum memasukkan konsep pemanenan air hujan dalam kebijakan pengelolaan sumber daya air dan masyarakat belum terlalu membutuhkan instrumen pemanenan air hujan di lingkungan tempat tinggalnya;
- f. tangki penyimpanan air hujan berpotensi menjadi tempat perkembangbiakan serangga seperti nyamuk; dan
- g. curah hujan merupakan faktor yang penting dalam operasional sistem pemanenan air hujan. Wilayah dengan musim kering yang lebih panjang maupun dengan curah hujan yang tinggi membutuhkan alternatif sumber air atau tempat penampungan yang relatif besar.

Sejumlah fitur spesifik lokasi mempengaruhi bagaimana sistem pemanenan air hujan dirancang. Beberapa pertimbangan utama meliputi (Dhalla dan Christine Zimmer, 2010):

- a. Tersedia Space: keterbatasan ruang jarang menjadi kendala dalam pemanenan air hujan jika dipertimbangkan desain bangunan dan tata letak situs. Tangki penyimpanan dapat ditempatkan di bawah tanah, di dalam ruangan, di atap, atau berdekatan dengan bangunan tergantung pada penggunaan yang dimaksudkan dari air hujan. Desainer harus bekerja dengan arsitek untuk situs tangki.

- b. Topografi Site: Topografi mempengaruhi penempatan tangki penyimpanan dan desain penyaluran air hujan dan kemungkinan terjadi peluapan. Lokasi tangki penyimpanan yang berada di area yang lebih rendah (dibawah tanah) akan meningkatkan pemanenan air hujan yang dapat disimpan untuk kebutuhan kedepannya, tapi akan meningkatkan daya pompa air. Sebaliknya, menempatkan tangki penyimpanan di dataran tinggi (diatas tanah) kemungkinan akan mengurangi volume air hujan yang dapat disimpan karena keterbatasan struktural pada berat air hujan yang dapat disimpan, tetapi juga akan mengurangi jumlah memompa yang diperlukan untuk distribusi atau menghilangkan kegiatan pemompaan dikarenakan dapat digunakan secara langsung.
- c. Polusi Limpasan: sistem pemanenan air hujan lewat atap dapat menjadi sistem pemanen air hujan efektif dikarenakan jika limpasan ditampung pada kegiatan di permukaan tanah maka akan memiliki potensi untuk menghasilkan limpasan yang terkontaminasi (misalnya, bahan bakar kendaraan, industri berat dan lain sebagainya).
- d. Bangunan: sistem pemanenan air hujan harus dirancang untuk menghindari menyebabkan genangan atau tanah jenuh dalam waktu tiga (3) meter dari pondasi bangunan. tangki penyimpanan harus kedap air untuk mencegah kerusakan air ketika ditempatkan di dekat pondasi bangunan.
- e. Kedekatan dengan utilitas bawah tanah: Kehadiran utilitas bawah tanah (misalnya, pipa pasokan air, selokan sanitasi, pipa gas alam, saluran

kabel, dll), dapat membatasi lokasi tangki penyimpanan air hujan di bawah tanah.

- f. Muatan Kendaraan: penyimpanan tangki di bawah tanah harus ditempatkan di daerah tanpa lalu lintas kendaraan. Tanki di bawah jalan raya, tempat parkir, atau jalan masuk harus dirancang untuk beban dari truk-truk besar, persyaratan yang secara signifikan dapat meningkatkan biaya konstruksi.

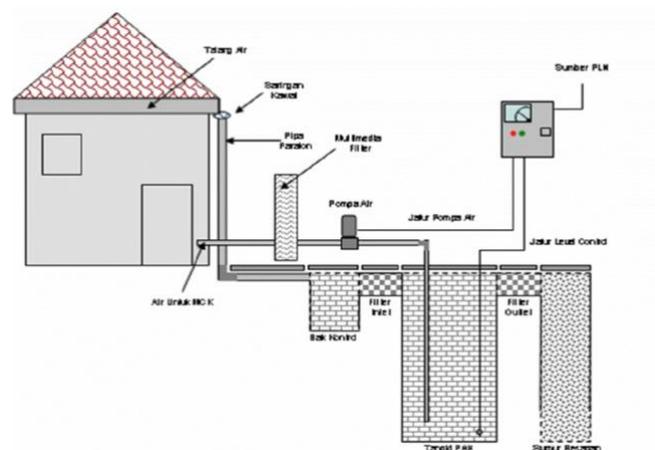
### 1. Pemanenan Air Hujan (PAH) Skala Bangunan

Sebuah sistem pemanenan air hujan terdiri dari tiga elemen dasar: area lokasi, sistem alat angkut, dan fasilitas penyimpanan. Tempat penampungan dalam banyak kasus adalah atap rumah atau bangunan. Luas efektif atap dan bahan yang digunakan dalam membangun atap mempengaruhi efisiensi pengumpulan dan kualitas air.

Sebuah sistem pengangkutan biasanya terdiri dari talang atau pipa yang memberikan air hujan yang jatuh di atas atap untuk tangki air atau kapal penyimpanan lain. Baik *drainpipes* dan permukaan atap harus terbuat dari bahan kimia lembam seperti kayu, plastik, aluminium, atau *fiberglass*, untuk menghindari efek buruk pada kualitas air. Air akhirnya disimpan dalam tangki penyimpanan atau tadah, yang juga harus terbuat dari bahan *inert*. beton bertulang, *fiberglass*, atau stainless steel adalah bahan yang cocok.

Air hujan yang jatuh pada atap rumah dapat dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari dengan terlebih dahulu ditampung dalam Pemanenan Air Hujan (PAH) dan dilakukan proses pengolahan secara sederhana, Jika PAH sudah penuh air dialirkan kedalam sumur resapan.

Air yang tidak tertampung dalam pemanenan akan diresapkan pada sumur resapan biasa, dengan volume yang disesuaikan dengan kondisi dilapangan. Air yang sudah tertampung kedalam tangki PAH dapat dimanfaatkan sebagai air bersih yang dapat digunakan untuk keperluan mandi, cuci, kakus (MCK) seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Sistem Operasional Penampungan Air Hujan dan Sumur Resapan (sumber: Maryono, 2015)

Pemanenan air hujan akan mampu menahan air dalam jumlah besar dan sangat signifikan dalam mengurangi jumlah aliran permukaan. Jika dilakukan dalam jumlah besar dan massal

dapat mengurangi banjir atau genangan pada suatu wilayah. Pemanenan air hujan juga mengantisipasi limpasan air pada wilayah-wilayah yang sangat lambat dalam peresapan atau pada tempat-tempat yang mempunyai air permukaan yang tinggi, disamping itu air hasil tangkapan sangat bermanfaat untuk keperluan sehari-hari, mengurangi ketergantungan pada air tanah dan PDAM (Maryono, 2015).

## 2. Pemanenan Air Hujan (PAH) Skala Kawasan

Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali telah menyebabkan meningkatnya koefisien limpasan (*runoff*), sehingga menyebabkan air hujan yang melimpah di musim penghujan tidak dapat meresap ke dalam tanah dan langsung mengalir ke sungai dan terbuang ke laut. Pengelolaan air yang baik adalah menampung kelebihan air di musim hujan, agar bisa digunakan di musim kemarau. Salah satu cara yang sederhana adalah dengan pembuatan basin / embung sebagai langkah konservasi air.

Beberapa alternatif model PAH skala Kawasan :

### a. *Retarding Basin / Detention Pond*

Fungsi dari basin / *pond (wet)* ini yaitu untuk menampung dan menahan air hujan. Kolam ini dapat dirancang untuk filtrasi air seperti biotopes, sehingga dapat meningkatkan kualitas air yang

masuk kedalam tanah atau dapat digunakan sebagai sumber kebutuhan irigasi atau kebutuhan air masyarakat (Jovis, 2011).

Implikasi dalam *urban design* bahwa air dalam area perkotaan adalah salah satu amenity yang bernilai estetika, dapat meningkatkan kelembapan, menurunkan suhu pada musim kemarau dan sebagai tempat rekreasi. Ketika konsep ini digabungkan dalam perencanaan dan perancangan arsitektural, persepsi dan kegunaan dari area tersebut akan meningkat (Jovis, 2011).

#### **b. Embung atau Waduk Kecil**

Embung adalah bangunan artifisial yang berfungsi untuk menampung dan menyimpan air dengan kapasitas volume kecil tertentu, lebih kecil dari kapasitas waduk/ bendungan. Embung bisa dibangun dengan membendung sungai kecil atau dapat dibangun di luar sungai.

Embung merupakan waduk kecil yang berfungsi untuk menampung air pada waktu air berlebih dari musim hujan dan dipakai pada waktu kekurangan air di musim kemarau untuk berbagai kepentingan misalnya air minum, irigasi, pariwisata, pengendalian banjir dll. (Kodoatie, Sjarief, 2010).

Kolam embung akan menyimpan air di musim hujan, dan kemudian air dimanfaatkan oleh suatu kawasan hanya selama

musim kemarau untuk memenuhi kebutuhan dengan urutan prioritas: penduduk, ternak, dan kebun atau sawah. Jumlah kebutuhan tersebut akan menentukan tinggi tubuh embung, dan kapasitas tampung embung. Kedua besaran tersebut perlu dibatasi karena kesederhanaan teknologi yang dipakai.

Batasan dari embung tersebut (Kodoatie, Sjarief, 2010):

- 1) tinggi tubuh embung maksimum = 10 m untuk tipe urugan dan 6 m untuk tipe gravitasi atau komposit: di mana tinggi tubuh embung diukur dari permukaan galian pondasi terdalam hingga ke puncak tubuh embung.
- 2) kapasitas tampung embung maksimum 100.000 m<sup>3</sup>
- 3) luas daerah tadah hujan maksimum 100 ha
- 4) embung dalam batasan ini merupakan embung kecil

Di musim hujan embung tidak beroperasi karena air di luar embung tersedia cukup banyak untuk memenuhi kebutuhan. Oleh karena itu pada setiap akhir musim hujan sangat diharapkan kolam embung dapat terisi penuh air sesuai desain.

### **c. Kolam Penampungan**

Kolam penampungan adalah suatu bangunan/ konstruksi yang berfungsi untuk menampung sementara air dari saluran atau kali pada saat pintu klep ditutup karena terjadi air pasang tertinggi dari hilir saluran yang bersamaan dengan hujan deras pada hulu saluran.

Dimana air genangan tersebut masuk ke kolam penampungan melalui saluran drainase (saluran *inflow*) dan keluar menuju laut melalui saluran pembuang (saluran *outflow*) dengan bantuan pompa (Prahananto, A., Sugianto. 2008).

Kolam penampungan ini mempunyai bangunan pelengkap yaitu berupa kolam pengendapan dan kisi-kisi penyaring, dimana fungsi dari kolam penampungan adalah untuk mengendapkan sedimen terbawa sehingga mengurangi endapan sedimen yang masuk ke dalam kolam penampungan, sedangkan fungsi dari kisi-kisi penyaring adalah mencegah masuknya benda-benda yang hanyut menuju kolam penampungan (Prahananto, A., Sugianto. 2008).

Beberapa formula yang digunakan dalam perhitungan Pemanenan Air Hujan (PAH) pada bangunan :

#### 1. Curah Hujan Rata-rata

Analisis curah hujan rata-rata menggunakan rumus aritmatika/ aljabar, dimana curah hujan tiap stasion dijumlah dengan curah hujan stasion lainnya kemudian membaginya dengan jumlah stasion pengamatan curah hujan.

Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan didalam dan disekitar daerah yang bersangkutan.

$$R = \frac{(R1 + R2 + R3 + \dots + Rn)}{n} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

R : Curah hujan rata-rata daerah (mm)

N : jumlah titik-titik (pos stasiun) pengamatan

R1 : besarnya curah hujan pada masing-masing pos stasiun curah hujan (mm)

## 2. Analisis Curah Hujan Andalan

Analisis curah hujan andalan dapat disebut juga sebagai debit minimum pada tingkat peluang tertentu yang dapat dipakai untuk keperluan penyediaan air. Jadi perhitungan debit andalan ini diperlukan untuk menghitung debit dari sumber air yang dapat diandalkan untuk suatu keperluan tertentu. Tetapi dalam menentukan besarnya debit andalan untuk penelitian ini digunakan peluang 80% dijadikan sebagai debit andalan untuk ketersediaan air dan merupakan potensi air untuk kawasan yang digunakan dalam keperluan aktivitas diluar dari keperluan air minum rumus:

$$P (\%) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

P (%) = Curah Hujan Andalan

m = urutan data

n = Banyak data

### 3. Analisis Intensitas Hujan

Besarnya intensitas curah hujan itu berbeda-beda yang disebabkan oleh lamanya curah hujan atau frekuensi kejadiannya. Dan apabila tidak dijumpai data untuk setiap durasi hujan, maka diperlukan pendekatan secara empiris dengan berpedoman kepada durasi 60 menit dan pada curah hujan harian maksimum yang terjadi setiap tahun (Agustianto,2014):

$$I = \frac{90\% \times R24}{4} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

I = intensitas curah hujan

R24 = Curah hujan harian maksimum (mm/24 jam)

### 4. Perhitungan *Supply* Air Hujan

Perhitungan *supply* air hujan diperlukan untuk mengetahui volume air hujan yang dapat ditampung, melalui perhitungan (Lizarrage-Mendiona, Liliana, dkk. 2015) :

$$VR = R \times Hra \times Rc / 1000 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

R = curah hujan bulanan (mm)

Hra = luas atap (m<sup>2</sup>)

Rc = Runoff koefisien 0,70

Koefisien *runoff* merupakan jumlah dari seberapa banyak curah hujan yang akan dapat mengalir setelah terjadinya penguapan. Umumnya banyaknya air hujan yang dapat ditampung adalah sebesar 70% dan sebesar 30% diasumsikan menguap di udara atau tidak dapat tertangkap sepenuhnya. Sehingga nilai koefisien *runoff* yang digunakan adalah sebesar 0,70 (Lizarrage-Mendiona, Liliana, dkk. 2015).

Dimensi kolam penampungan didasarkan pada perhitungan debit rencana yang masuk kolam penampungan dari saluran drainase dan debit rencana yang keluar dari kolam penampungan melalui pompa.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung dimensi kolam penampungan ini adalah sebagai berikut (Prahananto, A., Sugianto.2008):

$$V = L \cdot B \cdot H \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

V = volume kolam penampungan (m<sup>3</sup>)

L = panjang kolam penampungan (m)

B = lebar kolam penampungan (m)

H = tinggi kolam penampungan (m)

### C. Model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan model kejadian kontinyu untuk skala DAS (Daerah Aliran Sungai) yang beroperasi secara harian dan dirancang untuk memprediksi dampak pengelolaan terhadap air,

sedimen, dan kimia pertanian pada DAS yang tidak memiliki alat pengukuran.

Model SWAT berbasis fisik, efisien dalam perhitungan dan mampu membuat simulasi untuk jangka waktu yang panjang. Model ini diperkenalkan pertama kali oleh Departemen Pertanian di Amerika Serikat dan sekarang sudah banyak digunakan di berbagai negara di dunia. Selain itu, dalam setiap tahunnya selalu diadakan konferensi mengenai penelitian-penelitian yang menggunakan prinsip-prinsip penggunaan model SWAT.

Komponen utama model SWAT ini adalah iklim, hidrologi, suhu dan karakteristik tanah, pertumbuhan tanaman, unsur hara, pestisida, patogen dan bakteri, dan penggunaan lahan. Dalam SWAT, DAS dibagi menjadi beberapa Sub-DAS yang kemudian dibagi lagi ke dalam unit respon hidrologi (*Hydrologic Response Units* "HRU") yang memiliki karakteristik penggunaan lahan, pengelolaannya, dan tanah yang homogen.

Proses hidrologi DAS yang disimulasikan dalam SWAT terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu proses di lahan dan di sungai. Bagian pertama adalah fase lahan dari siklus hidrologi. Fase lahan siklus hidrologi mengontrol jumlah air, sedimen, unsur hara dan pestisida yang bergerak di lahan menuju sungai utama pada masing-masing Sub-DAS. Bagian kedua adalah fase *routing* atau proses pergerakan air, sedimen, bahan pestisida dan bahan nutrient lainnya melalui jaringan sungai dalam DAS menuju ke outlet / patusan.

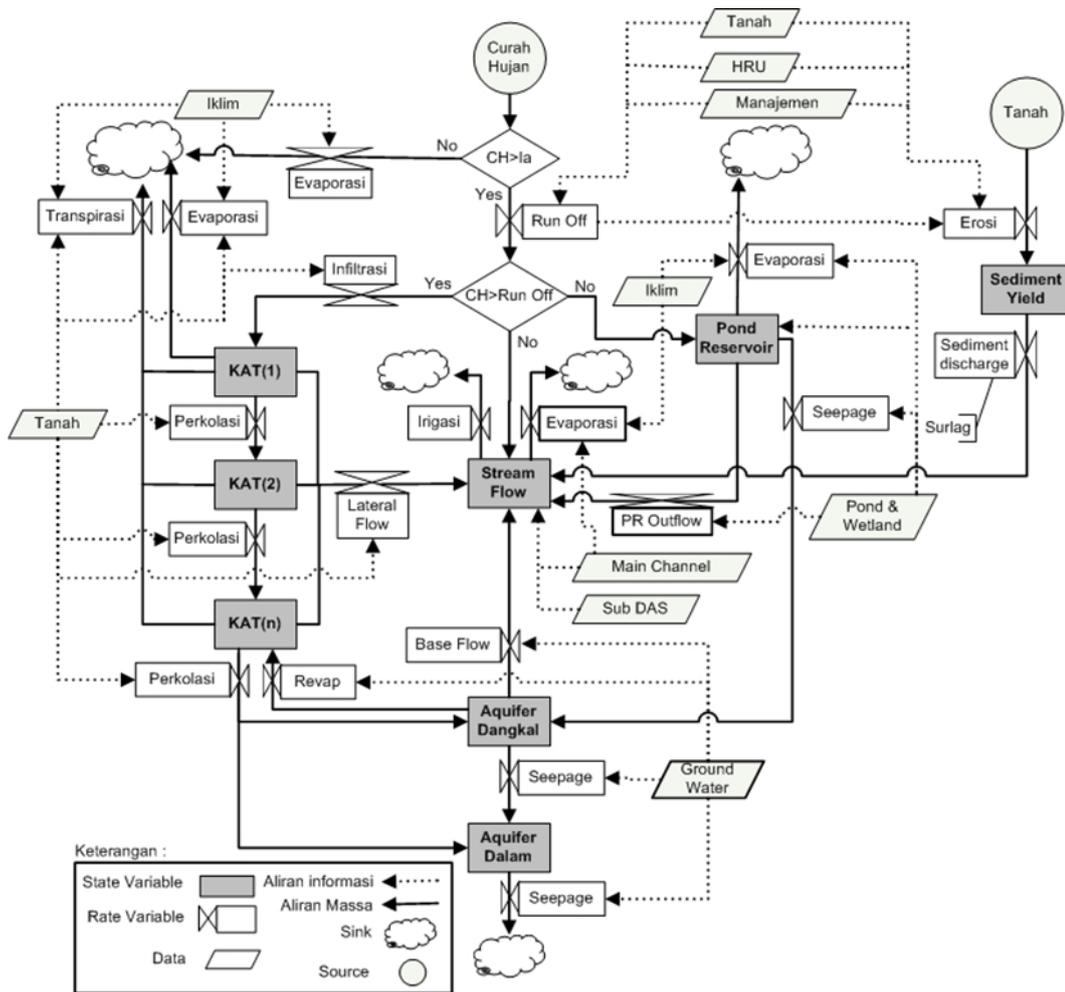
## 1. Fase Lahan dalam Siklus Hidrologi

Pembagian DAS mampu membuat model yang mencerminkan perbedaan evapotranspirasi untuk jenis tanaman dan tanah yang bervariasi. Aliran permukaan (*surface runoff*) diprediksi secara terpisah untuk masing-masing HRU dan dapat ditelusuri untuk memperoleh aliran permukaan total (*total runoff*) suatu DAS. Hal ini dapat meningkatkan keakuratan dan memberikan gambaran fisik yang lebih baik untuk neraca air seperti yang diperlihatkan pada gambar 6.

Siklus hidrologi yang disimulasikan SWAT didasarkan pada perhitungan neraca air:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots(6)$$

Dimana **SW<sub>t</sub>** adalah kadar air tanah akhir (mm H<sub>2</sub>O), **SW<sub>0</sub>** adalah kadar air tanah awal pada hari ke-i (mm H<sub>2</sub>O), **t** adalah waktu (hari), **R<sub>day</sub>** adalah jumlah hujan pada hari ke-i (mm H<sub>2</sub>O), **Q<sub>surf</sub>** adalah jumlah aliran permukaan pada hari ke-i (mm H<sub>2</sub>O), **E<sub>a</sub>** adalah jumlah evapotranspirasi pada hari ke-i (mm H<sub>2</sub>O), **W<sub>seep</sub>** adalah jumlah air yang masuk ke zona vadose dari profil tanah (*seepage*) pada hari ke-i (mm H<sub>2</sub>O), **Q<sub>gw</sub>** adalah jumlah aliran air bawah tanah (*baseflow / groundwaterflow / returnflow*) pada hari ke-i (mm H<sub>2</sub>O).



Gambar 6. Skema proses hidrologi dalam model SWAT (Sumber : modifikasi dari Di Luzio *et al.*,2002)

## 2. Fase Routing dalam Siklus Hidrologi

Ketika SWAT menentukan muatan air, sedimen, unsur hara dan pestisida menuju ke saluran utama, muatan tersebut ditelusuri hingga ke jaringan sungai DAS menggunakan struktur perintah yang sama dengan HYMO (Williams dan Hann 1972). Selain melacak aliran masa dalam saluran, SWAT juga memodelkan perubahan kimia di dalam sungai dan badan sungai. Penelusuran pada DAS dengan menggunakan model SWAT

ini juga dapat memberikan informasi mengenai banjir, sedimen pada sungai dan waduk, unsur hara, pestisida di sungai dan waduk, serta aliran yang keluar dari waduk.

SWAT telah digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi. Aplikasi yang umum dilakukan dengan SWAT yaitu:

- a. Simulasi neraca hidrologi DAS
- b. Perkiraan air tanah, recharge, *tile-flow*, dan tingkat air bawah tanah
- c. Kajian aliran permukaan, erosi dan sedimen
- d. Penilaian kualitas air secara komprehensif
- e. Kajian nasib pestisida dan pergerakannya
- f. Penilaian dampak perubahan iklim terhadap hidrologi dan polutan
- g. Evaluasi limpasan permukaan atau perubahan aliran sungai
- h. Perencanaan musim kering (pilihan penyediaan air)
- i. Dampak regional perubahan iklim terhadap pengisian kembali air bawah tanah dan penyediaan air
- j. Evaluasi praktek pengelolaan terbaik (BMP) untuk mengontrol muatan sedimen dan unsur hara ke dalam aliran air:
  - 1) Strip penyangga
  - 2) Pertanian tanpa olah atau pengolahan minimum
  - 3) Aplikasi pemupukan
  - 4) Perbaikan lahan basah
- k. Penilaian regional pemberian air, produktivitas air tanaman, dan implikasi terhadap perdagangan air antar Negara

- l. Analisis pengaruh kualitas air skala DAS terhadap penilaian siklus hidup kehutanan dan pertanian
- m. Penilaian perairan
- n. Evaluasi keuntungan ekonomi dan lingkungan pada pengukuran konservasi air dan tanah
- o. Perkiraan kualitas air, kualitas udara, dan keuntungan karbon tanah dari program konservasi
- p. Penggunaan SWAT untuk menentukan aliran dan variable kimia untuk pengembangan indikator ekologi pada ekosistem sungai.

#### ***D. Expert System***

Sistem pakar (*expert system*) adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli. Sistem pakar yang baik dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli.

Sistem Pakar dalam implementasinya menerapkan kecerdasan buatan untuk mempersempit dan memperjelas masalah-masalah tertentu. Sebutan nama tersebut diperoleh sesuai dengan karakteristik utamanya, yaitu menyediakan saran atau solusi dalam memecahkan masalah yang berdasarkan pengetahuan para pakar. Durkin (1994) menjelaskan bahwa Sistem Pakar (*Expert System*) adalah suatu program komputer yang dirancang untuk memodelkan kemampuan penyelesaian masalah yang

dilakukan oleh seorang pakar atau ahli. Adapun ilmu pengetahuan (*knowlegde*) dalam Sistem Pakar mungkin saja bersumber dari seorang ahli atau pakar, atau ilmu pengetahuan yang umumnya terdapat dalam buku, majalah, dan orang yang mempunyai pengetahuan tentang suatu bidang ilmu pengetahuan.

### **1. Konsep Dasar**

Konsep dasar Sistem Pakar meliputi unsur keahlian, ahli, pengalihan, inferensi, aturan (*rule*) dan kemampuan menjelaskan. Keahlian yang dimaksudkan adalah suatu kelebihan penguasaan pengetahuan pada bidang tertentu yang diperoleh dari pelatihan, membaca, atau pengalaman. Sistem pakar tersusun oleh dua bagian utama, yaitu lingkungan pengembangan (*development environment*) dan lingkungan konsultasi (*consultation environment*). Lingkungan pengembangan Sistem Pakar digunakan untuk memasukkan pengetahuan pakar ke dalam lingkungan Sistem Pakar, sedangkan lingkungan konsultasi digunakan oleh pengguna yang bukan pakar guna memperoleh pengetahuan pakar.

Bagian-bagian Sistem Pakar meliputi:

- a. Antar muka (*interface*), merupakan mekanisme yang digunakan oleh pengguna sistem pakar dalam berkomunikasi. Pada bagian ini terjadi dialog antara program dan pemakai (*user*), yang memungkinkan Sistem Pakar menerima instruksi dan informasi (*input*) dari pemakai, juga memberikan informasi (*output*) kepada pemakai.

- b. Basis pengetahuan (*knowledge base*), yaitu basis atau pangkalan pengetahuan yang berisi fakta, pemikiran, teori, prosedur, dan hubungannya satu dengan yang lain atau informasi yang terorganisasi dan teranalisa yang diinputkan ke dalam komputer. Ada dua bentuk pendekatan basis pengetahuan yang sangat umum digunakan, yaitu:
- 1) pendekatan berbasis aturan (*rule-based reasoning*), dimana pengetahuan direpresentasikan dalam suatu bentuk fakta (*facts*) dan aturan (*rules*), bentuk representasi ini terdiri atas premis dan kesimpulan. Pada pendekatan berbasis aturan, pengetahuan dipresentasikan dengan menggunakan aturan berbentuk “jika-maka” (*if-then*), dan
  - 2) pendekatan berbasis kasus (*case-based reasoning*), dimana basis pengetahuan, akan berisi solusi-solusi yang telah dicapai sebelumnya, kemudian akan diturunkan suatu solusi untuk keadaan atau fakta yang terjadi sekarang.
- c. Akuisisi pengetahuan (*knowledge acquisition*), merupakan akumulasi, transfer dan transformasi keahlian dalam menyelesaikan masalah dari sumber pengetahuan ke dalam program komputer.
- d. Mesin inferensi (*inference engine*), merupakan program komputer yang memberikan metodologi penalaran informasi yang ada dalam basis pengetahuan dan dalam ruang kerja, serta untuk memformulasikan kesimpulan. Mesin ini berperan sebagai otak Sistem Pakar. Bagian ini berfungsi memandu proses penalaran terhadap suatu kondisi

berdasarkan basis pengetahuan yang tersedia. Di dalam mesin inferensi terjadi proses manipulasi dan arahan kaidah, model dan fakta disimpan dalam basis pengetahuan untuk mencapai kesimpulan.

- e. Ruang kerja (*workplace*), merupakan memori kerja (*working memory*) yang digunakan untuk menyimpan kondisi/keadaan yang dialami oleh pengguna dan juga hipotesa serta keputusan sementara.
- f. Fasilitas penjelasan, yaitu proses menentukan keputusan yang dilakukan oleh mesin inferensi selama sesi konsultasi mencerminkan proses penalaran seorang pakar. Fasilitas ini yang memberikan informasi kepada pemakai mengenai jalannya penalaran sehingga dihasilkan suatu keputusan.
- g. Perbaikan pengetahuan. Pakar memiliki kemampuan untuk menganalisis dan meningkatkan kinerjanya serta kemampuan untuk belajar dari kinerjanya. Kemampuan tersebut tidak bisa diremehkan dalam pembelajaran terkomputerisasi, sehingga program akan mampu menganalisis penyebab kesuksesan dan kegagalan yang terjadi.

Giarratano dan Riley (2005); Arhami (2005) menggambarkan bahwa Sistem Pakar merupakan suatu sistem komputer yang menyamai (*emulates*) kemampuan pengambilan keputusan dari seorang pakar atau ahli. Basis pengetahuan yang diperoleh, diambil dari pengalaman seorang pakar maupun teori-teori yang ada pada bidang yang spesifik. Sistem Pakar melingkupi beberapa bagian, yaitu:

- a. Keahlian (*expertise*), dapat diperoleh dari pelatihan, membaca atau dari pengalaman. Keahlian tersebut meliputi: fakta-fakta dan teori-teori tentang bidang permasalahan, aturan-aturan tentang apa yang harus dilakukan dalam situasi permasalahan yang diberikan dan strategi global untuk memecahkan masalah.
- b. Pakar (*expert*). Cukup sulit untuk mendefinisikan secara pasti tentang pakar. Dalam Sistem Pakar beberapa kualifikasi yang harus dimiliki oleh seorang pakar yaitu: dapat mengenal dan merumuskan masalah, dapat memecahkan masalah dengan cepat dan semestinya, dapat menjelaskan suatu solusi, dapat menentukan hubungan dan dapat belajar dari pengalaman.
- c. Pemindahan keahlian (*transferring expertise*). Tujuan Sistem Pakar adalah memindahkan keahlian dari pakar ke komputer dan kemudian ke manusia lain yang bukan pakar. Proses ini meliputi kegiatan: memperoleh pengetahuan pakar, merepresentasikan pengetahuan ke dalam komputer, mengolah pengetahuan sehingga dapat menghasilkan kesimpulan serta memindahkan pengetahuan ke pengguna (*user*). Dalam Sistem Pakar ini, pengetahuan disimpan dalam komputer berupa komponen yang disebut basis pengetahuan (*knowledge base*). Pengetahuan ini dibedakan menjadi dua, yaitu fakta dan aturan (*rule*).
- d. Menarik kesimpulan (*inferencing*). Salah satu keistimewaan dari Sistem Pakar adalah kemampuan nalar. Komputer diprogram sehingga dapat

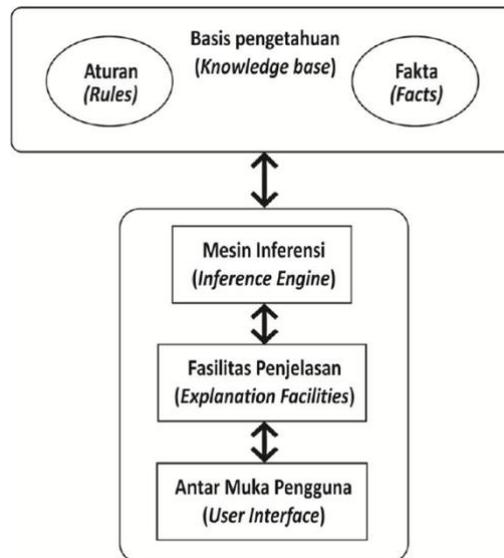
membuat suatu kesimpulan. Pengambilan keputusan ini dilaksanakan dalam komponen yang disebut mesin inferensi (*inference engine*).

- e. Aturan (*rule*). Sistem Pakar umumnya berbasis pada sistem rule, pengetahuan disimpan dalam bentuk rule sebagai prosedur untuk pemecahan masalah.
- f. Kemampuan menjelaskan (*explanation capability*). Sistem Pakar memiliki kemampuan dalam menjelaskan darimana asal sebuah solusi atau rekomendasi diperoleh.

Sistem Pakar umumnya bekerja dengan cara menggabungkan aturan-aturan (*rules*) yang berlaku beserta fakta-fakta untuk menarik kesimpulan, prosesnya sangat tergantung dengan teori deduksi logis yang dikembangkan oleh para matematikawan dan filsuf, dan disesuaikan dengan aplikasi tertentu oleh para insinyur, ilmuwan, perencana dan pengelola dari berbagai disiplin ilmu. Cakupan subjek Sistem Pakar ini seperti perencanaan lokasi atau zonasi administrasi wilayah, disebut domain. Pengumpulan fakta, definisi, aturan praktis dan prosedur komputasi yang berlaku untuk domain, disebut basis pengetahuan. Sumber pengetahuannya diperoleh dari materi yang telah publikasikan, program analisis kuantitatif, serta intuisi dan strategi pemecahan masalah dari para ahli di cakupan subjek tersebut (Kim dkk,1990).

Shesham (2012) memberikan gambaran secara sederhana mengenai bagian-bagian penting yang ada pada Sistem Pakar, meliputi basis pengetahuan (*knowledge base*), mesin inferensi (*inference engine*),

fasilitas penjelasan (*explanation facilities*) dan antar muka pengguna (*user interface*), seperti pada Gambar 7.



Gambar 7: Arsitektur sederhana Sistem Pakar berbasis aturan (Sumber: Shesham, 2012)

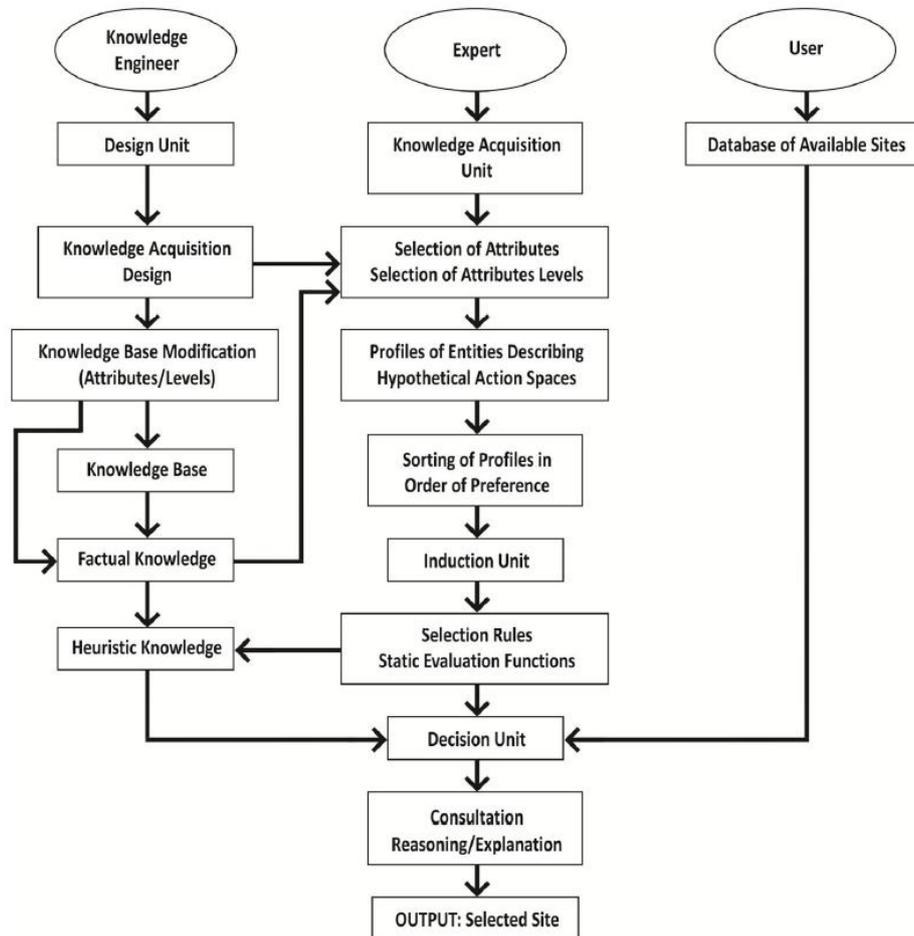
Pengembangan suatu Sistem Pakar pada prosesnya cukup ditentukan oleh faktor manusianya untuk menentukan keberhasilan dari sistem tersebut. Durkin (1994) menjelaskan tentang elemen-elemen manusia yang dimaksud pada Sistem Pakar, yaitu:

- a. Pakar (*domain expert*), adalah seorang yang mempunyai pengetahuan khusus, pendapat, keahlian dan metode serta kemampuan untuk menggunakannya. Pakar dapat memberikan nasihat dan memecahkan masalah. Tugasnya menyediakan pengetahuan tentang bagaimana cara melaksanakan tugasnya, yang kemudian diserap dan diimplementasikan ke dalam Sistem Pakar.

- b. Perancang atau perekayasa pengetahuan (*knowledge engineer*), adalah pihak yang membantu dalam pembuatan suatu Sistem Pakar. Bagian ini bertugas menyerap pengetahuan yang dimiliki oleh para pakar dan mengimplementasikannya ke dalam aplikasi Sistem Pakar. Tugas ini dipandang cukup sulit karena *knowledge engineer* tidak boleh memasukan perkiraan atau perasaannya ke dalam pengetahuan yang diperoleh. Selain hal itu, seorang *knowledge engineer* harus pandai dalam mengelaborasi pengetahuan pakar karena terkadang seorang pakar tidak dapat menceritakan atau menjelaskan seluruh keahlian yang dimilikinya.
- c. Pemakai (*end user*), merupakan orang yang menggunakan hasil dari perancangan Sistem Pakar.

Sistem Pakar memiliki memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dalam penerapannya, Arhami (2005) menjelaskan tentang kelebihan Sistem Pakar, yaitu:

- a. Meningkatkan output dan produktivitas, yaitu dapat bekerja lebih cepat dari manusia.
- b. Meningkatkan kualitas, yaitu Sistem Pakar menyediakan nasihat yang konsisten dan dapat mengurangi tingkat kesalahan.
- c. Handal (*reliability*). Sistem ini dipandang konsisten dalam memberi setiap jawaban.
- d. Metode arsip yang terpercaya dari sebuah keahlian, sehingga pengguna seolah-olah berkonsultasi langsung dengan pakar.



Gambar 8. Struktur skema SistemPakar (expert system)  
(sumber: Kim et al, 1990)

Kelemahan Sistem Pakar, antara lain:

- a. Perolehan pengetahuan tidak selalu bisa didapatkan dengan mudah, karena ketidakterersediaan pakar terhadap permasalahan yang sedang dikelola.
- b. Untuk membuat suatu Sistem Pakar yang benar-benar berkualitas tinggi sangatlah sulit, dan memerlukan biaya yang sangat besar untuk pengembangan dan pemeliharannya.

- c. Sistem Pakar tidaklah seratus persen bernilai benar. Olehnya itu selalu dilakukan pengujian ulang secara teliti sebelum sistem tersebut digunakan untuk mengurangi pembiasan. Dalam hal ini peran manusia tetap merupakan suatu faktor dominan.

## 2. Faktor Kepastian (*Certainty Factor*)

*Certainty Factor* merupakan suatu metode untuk membuktikan ketidakpastian pemikiran dari seorang pakar atau ahli, dimana untuk mengakomodasi hal tersebut seseorang biasanya menggunakan *Certainty Factor* untuk menggambarkan tingkat keyakinan pakar terhadap masalah yang sedang dihadapi (Sutojo, 2010). Metode Dempster Shafer merupakan teori matematika dari gejala atau fakta (*evidence*). Teori tersebut dapat memberikan sebuah cara untuk menggabungkan *evidence* dari beberapa sumber dan mendatangkan atau memberikan tingkat kepercayaan atau direpresentasikan melalui fungsi kepercayaan dimana mengambil dari seluruh *evidence* yang tersedia. Heckerman (1992) menjelaskan tentang *Certainty Factor* yaitu suatu metode untuk mengatur ketidakpastian dalam sistem yang berbasis aturan (*rule-based system*).

Sistem Pakar harus mampu bekerja dalam ketidakpastian. Sejumlah teori telah ditemukan untuk menyelesaikan ketidakpastian, termasuk di antaranya adalah Teori Probabilitas Klasik (*Classical Probability*), Probabilitas Bayes (*Bayesian Probability*), Teori Fuzzy Zadeh (*Zadeh's Fuzzy Theory*) dan Faktor Kepastian (*Certainty Factor*). Dalam membangun

Sistem Pakar terdapat beberapa metode yang telah digunakan untuk memudahkan penyelesaian masalah yang ada, diantaranya adalah Metode *Certainty Factor* (CF) dan Dempster Shafer. Metode ini dipakai dalam mendiagnosis jenis penyakit yang diderita.

*Certainty factor* diperkenalkan oleh Shortliffe Buchanan dalam pembuatan MYCIN untuk mengakomodasi ketidakpastian pemikiran (*inexact reasoning*) seorang pakar. Teori ini berkembang bersamaan dengan pembuatan system pakar MYCIN. Tim pengembang MYCIN mengungkapkan bahwa dokter seringkali menganalisa informasi yang ada dengan ungkapan seperti: mungkin, kemungkinan besar, hampir pasti. Guna mengakomodasi hal ini Tim MYCIN menggunakan *Certainty Factor* guna menggambarkan tingkat keyakinan pakar terhadap permasalahan yang sedang dihadapi (John Durkin, 1994). Secara umum, aturan (*rule*) direpresentasikan dalam bentuk:

$$\begin{aligned} &\text{If } E1 \text{ [And / Or] } E2 \text{ [And / Or] } \dots E_n. \dots\dots\dots(6) \\ &\text{Then } H \text{ (CF = CF}_i\text{)} \end{aligned}$$

Dimana:

E1... E<sub>n</sub> : Fakta-fakta (evidence) yang ada  
 H : Hipotesis atau konklusi yang dihasilkan  
 CF : Tingkat keyakinan (*Certainty Factor*) terjadinya hipotesis H akibat adanya fakta-fakta E1 hingga E<sub>n</sub>

Bentuk dasar formula *Certainty Factor* ditunjukkan dalam persamaan:

$$CF(H,e) = CF(E, e) * CF(H,E) \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

$CF(E,e)$  : *Certainty Factor evidence* E yang dipengaruhi oleh *evidence* e

$CF(H,E)$  : *Certainty Factor* hipotesis dengan asumsi *evidence* diketahui dengan pasti, yaitu ketika  $CF(E, e) = 1$

$CF(H,e)$  : *Certainty Factor* hipotesis yang dipengaruhi oleh *evidence* e

Jika semua *evidence* pada antecedent diketahui dengan pasti, maka persamaannya menjadi:

$$CF(H, e) = CF(H, E) \dots\dots\dots(8)$$

*Certainty Factor* dapat terjadi dengan berbagai kondisi. Metode ini dipakai untuk membuktikan apakah suatu fakta itu bersifat pasti ataukah tidak pasti, yang berbentuk metrik, yang biasanya digunakan dalam Sistem Pakar. Metode ini sangat cocok untuk Sistem Pakar yang mendiagnosis sesuatu yang belum pasti. Metode *Certainty Factor* ini hanya bisa mengolah dua bobot dalam sekali perhitungan. Untuk bobot yang lebih dari dua banyaknya, dalam melakukan perhitungannya tidak terjadi masalah jika bobot yang dihitung teracak, artinya tidak ada aturan untuk mengkombinasikan bobotnya, karena untuk kombinasi seperti apapun hasilnya akan tetap sama.

### 3. Aturan Inferensi

Pada bagian ini *expert system* di terapkan dengan logika IF-THEN.

Aturannya yang di gunakan dapat dilihat pada gambar.....

Perhitungan nilai variabel masing-masing variabel pada setiap grid.

Formulasi yang di gunakan yaitu :

$$CA_i = A_i / TA_{grid} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

$CA_i^n$  = nilai *coverage area* variabel i

$A_i$  = luas area variabel i,

$TA_{grid}$  = luas grid,

Setelah nilai CA masing-masing variabel pada setiap grid di dapatkan maka di hitung nilai awal dari *Certainty Factor* (CF) . untuk penentuan CF ada model formulasi yang digunakan, hal ini berdasarkan kategori variabel daerah yang tidak mendukung, daerah yang menghambat dan daerah yang mendukung. Untuk CF daerah tidak mendukung formulasinya CF nya yaitu:

$$\text{If } CA_{1,2} = 0 , \text{ then } CF_{1,2} = 1, \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{If } CA_{1,2} > 0 , \text{ then } CF_{1,2} = 0 \dots\dots\dots(11)$$

Sedangkan pada daerah yang menghambat, model formulasi CFI yaitu:

$$CF_i = (1 - CA_i) * y_i \dots\dots\dots(12)$$

Sedangkan pada daerah yang mendukung , model formulasi CF yaitu :

$$CF_i = CA_i * y_i \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

$CF_i$  = nilai certainty factor untuk variabel i, dan

$y_i$  = nilai bobot kategori dari variabel.

SISES menggunakan weight linear combination (WLC). Formulasi WLC yang di kembangkan oleh (Fishbein, 1967) dan (Rosenberg, 1956) yaitu:

$$\text{Site value} = \sum_{i=1}^n W_i * X_{ji} \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:  $X_{jp}$  adalah nilai dari variable i pada site j,  $W_p$  adalah tingkat kepentingan dari variable i.

Dalam penelitian ini WLC dikembangkan karena adanya variabel daerah yang tidak mendukung yang bernilai 0 atau 1 sehingga setelah didapatkan nilai CF<sub>i</sub> maka di hitung nilai RBL atau site value dengan formulasi :

$$RBL = CF_{1,2} * (\sum_{i=3}^{12} CF_i * W_i ) \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan, RBL = *Retarding Basin Location*

### **E. Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi yang dirancang untuk bekerja dengan data yang bereferensi spasial atau berkoordinat geografi. Puntudewo, dkk (2003) memberikan pengertian secara harfiah bahwa SIG merupakan suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk menangkap, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis. Cukup sulit untuk memberikan batasan mengenai SIG karena banyaknya cara untuk mendefinisikan dan mengklasifikasikannya. Penekanan-penekanan dalam SIG juga beraneka ragam.

SIG dalam arti luas dapat didefinisikan sebagai seperangkat sistem baik yang berbasis analog/manual maupun berbasis digital/komputer yang

digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi data yang mempunyai rujukan kebumihan. Prahasta (2009) menguraikan bahwa SIG adalah sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografis. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan dan menganalisis objek-objek dan fenomena dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis. Dengan demikian, SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat komponen kemampuan berikut dalam menangani data yang bereferensi geografis: (a) masukan; (b) manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data); (c) analisis dan manipulasi data; dan (d) keluaran.

Komponen SIG di atas merupakan suatu sub-sistem dengan bagian yang saling berkaitan:

#### 1. Masukan (*input*) data

Masukan data dalam SIG biasanya berupa data grafis atau data spasial dan data atribut atau tabular. Kumpulan data-data tersebut disebut basis data (*database*). Sumber *database* SIG dapat dibagi ke dalam tiga kategori, yaitu:

- a) Data atribut atau numerik berasal dari data statistik, data sensus, data lapangan dan data tabular lainnya.
- b) Data grafis atau data spasial, berasal dari peta analog, foto udara dan citra inderaja dan dalam bentuk cetak kertas (*hardcopy*).
- c) Data inderaja dalam bentuk digital, seperti yang diperoleh dari satelit.

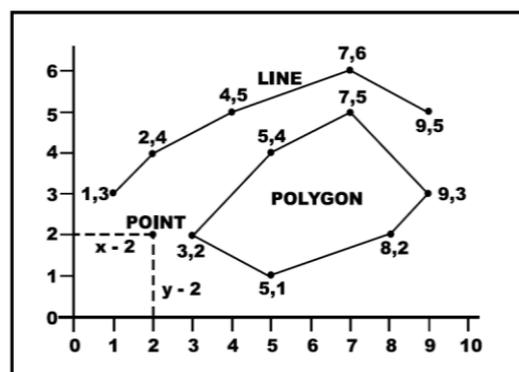
Masukan data yang belum dalam bentuk digital harus diubah terlebih

dahulu ke dalam bentuk digital agar dapat dianalisis dengan menggunakan SIG. Proses perubahan data ke dalam bentuk digital dinamakan dengan *encoding*. Proses *encoding* ada dua macam, yaitu secara manual dengan menggunakan digitizer dan secara otomatis dengan penyiaman (*scanning*).

## 2. Manajemen data

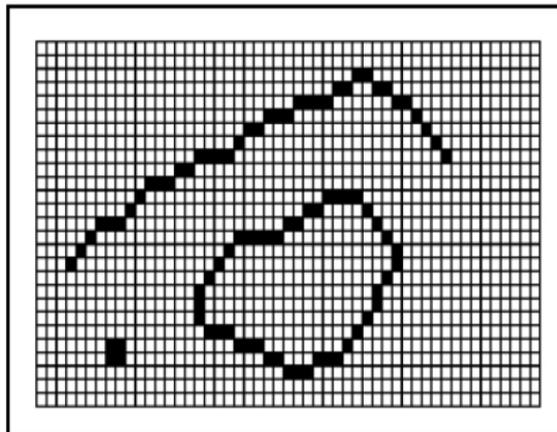
Kegiatan manajemen data meliputi semua operasi penyimpanan, pengaktifan, penyimpanan kembali dan pencetakan semua data yang diperoleh dari masukan data. Struktur data spasial dalam SIG terdiri dari dua macam, yaitu:

- a) Struktur Data Vektor, yang kenampakan keruangannya akan disajikan dalam bentuk titik, garis dan poligon yang membentuk kenampakan tertentu, seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur data vektor  
(Sumber: Puntudewo, dkk .2003)

- b) Struktur Data Raster, yang kenampakan keruangannya akan disajikan dalam bentuk konfigurasi sel-sel yang membentuk gambar, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur data raster  
(Sumber: Puntudewo, dkk .2003)

### 3. Analisis dan manipulasi data

Analisis dan manipulasi data merupakan salah satu kemampuan utama dalam SIG untuk menghasilkan informasi baru sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

### 4. Keluaran (*output*) data

Keluaran adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan pengguna.

Widjojo (1993) mengemukakan beberapa keuntungan yang diperoleh dari penggunaan SIG tersebut, antara lain: (1) data dapat dikelola dalam format yang kompak seperti dalam disket; (2) data dapat dikelola dan diekstrak dengan biaya yang lebih rendah; (3) dapat dipanggil kembali

dengan cepat; (4) data grafis dan non-grafis dapat digabung dan dimanipulasi secara bersamaan dan saling berhubungan; (5) analisis model geografis dapat dilakukan dengan mudah; (6) analisis perubahan untuk dua periode waktu atau lebih, dapat disajikan secara efisien; dan (7) grafis yang interaktif dan otomatis plotter dapat digunakan dalam perencanaan dan produksi kartografinya.

SIG bukan hanya merupakan suatu sistem yang semata-mata berfungsi untuk membuat peta, tetapi merupakan suatu alat analisis (*tools*) yang mampu memecahkan masalah spasial secara otomatis, cepat, akurat dan terukur. Hampir semua bidang ilmu yang bekerja dengan informasi keruangan membutuhkan SIG, antara lain bidang kehutanan, perikanan, pertanian, lingkungan, perencanaan wilayah dan kota, transportasi dan lain sebagainya.

## **F. Analisis Sensivitas**

Secara umum, *sensitivity analysis* atau analisis sensitivitas adalah sebuah studi mengenai ketidakpastian pada hasil sebuah sistem atau model matematika (baik itu dalam bentuk numerik atau yang lainnya) dapat disebabkan oleh sumber ketidakpastian yang berbeda-beda.

Analisis sensitivitas adalah ilmu yang mempelajari tentang bagaimana ketidakpastian dalam model atau sistem matematika dapat di bagi ke berbagai sumber ketidakpastian dalam inputnya. Atau bisa disebut juga penelitian tentang kemungkinan perubahan dan kesalahan potensial dan

pengaruh terhadap kesimpulan yang di tarik dari model analisis sensitivitas, analisis sensitivitas bisa dilakukan dengan mudah karena mudah di mengerti. Ini mungkin teknik yang paling berguna dan paling banyak digunakan untuk peneliti yang ingin mendukung pengambilan keputusan. Analisis sensitivitas adalah teknik yang digunakan untuk menentukan bagaimana perbedaan nilai variabel independen mempengaruhi variabel dependen tertentu berdasarkan seperangkat asumsi yang diberikan. Teknik ini digunakan dalam batas-batas tertentu yang bergantung pada satu atau lebih variabel input, seperti efek perubahan suku bunga terhadap harga obligasi.

Analisis sensitivitas menyediakan metode untuk menilai jumlah risiko yang terlibat dalam proyek yang diusulkan, perhitungan dampak variasi pada komponen proyek yang dapat diukur, serta membantu manajemen mengidentifikasi potensi jebakan. Manajemen juga dapat menggunakan analisis sensitivitas untuk mengidentifikasi komponen dari suatu rencana yang jika ada sedikit perubahan maka akan mempengaruhi hasil sebuah proyek.

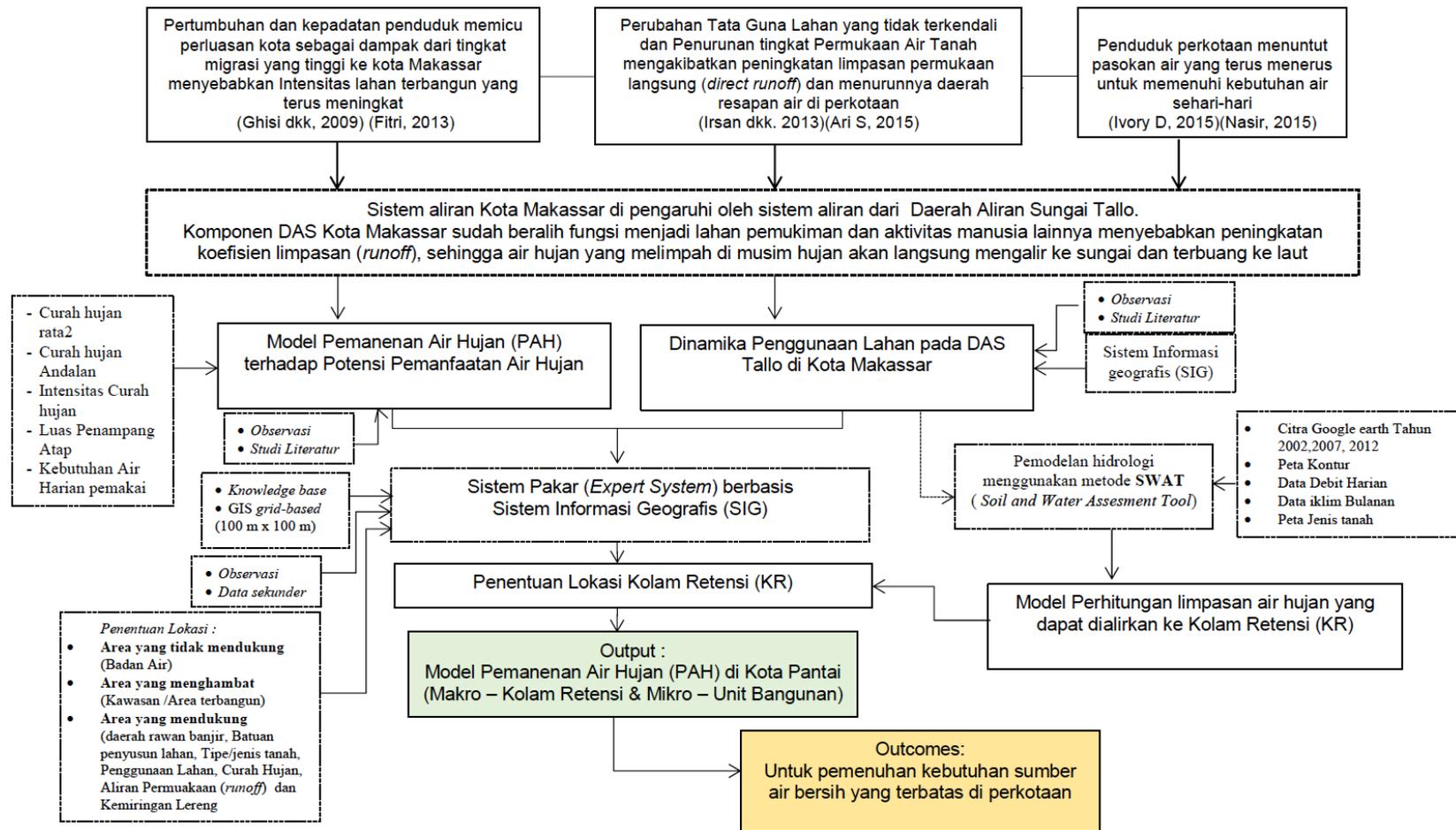
Analisis sensitivitas memiliki beberapa tujuan, yaitu untuk melihat apa yang akan terjadi dengan hasil analisa dari suatu kegiatan, jika ada sesuatu kesalahan atau perubahan dalam dasar perhitungan biaya atau benefit. Dengan demikian tujuan utama pada analisa sensitivitas, yaitu:

1. Memperbaiki cara pelaksanaan kegiatan yang sedang dilaksanakan.

2. Memperbaiki desain daripada prosedur kegiatan, sehingga dapat meningkatkan NPV (*Net Present Value*).
3. Mengurangi resiko kerugian dengan menunjukkan beberapa tindakan pencegahan yang harus diambil.

### **G. Kerangka Pikir**

Kerangka pikir merupakan kerangka dasar pemikiran penelitian yang disintesis dari tinjauan literatur, kondisi aktual (fakta) serta hasil observasi lapangan. Kerangka ini mengacu pada permasalahan – permasalahan yang akan diteliti serta memberikan penjelasan tentang hubungan dan keterkaitan antar variabel secara logis. Permasalahan pemanfaatan air hujan di perkotaan yang ada merupakan kondisi aktual (*das sein*) yang terjadi. Bagian tersebut merupakan hal yang akan diselesaikan melalui kegiatan penelitian ini, dengan terlebih dahulu melakukan analisis terhadap faktor-faktor yang mendukung dan mempengaruhinya. Dari faktor-faktor tersebut, dilakukan perancangan model yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan perkotaan. Pemodelan yang dilakukan berdasarkan pada pendekatan Sistem Pakar berbasis pada Sistem Informasi Geografis (SIG). Kerangka pikir ini dibuat dalam bentuk diagram seperti yang tersaji pada gambar 11.



Gambar 11. Kerangka pikir penelitian

Tabel 4. Definisi Operasional variabel

No.	Variabel	Definisi	Parameter	Alat Ukur
1.	Badan Air	Badan air dicirikan oleh tiga komponen utama, yaitu komponen hidrologi, komponen fisika-kimia, dan komponen biologi. Air tawar berasal dari dua sumber, yaitu air permukaan dan air tanah. Air permukaan adalah air yang berada di sungai, danau, waduk, rawa, dan badan air lain, yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Sekitar 69% air yang masuk ke sungai berasal dari hujan, pencairan es/salju, dan sisanya berasal dari air tanah.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sungai</li> <li>• Danau</li> <li>• Kanal</li> <li>• Laut / Pantai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observasi</li> <li>- data sekunder</li> </ul>
2.	Kawasan Kepadatan bangunan	salah satu faktor pendukung karena berkaitan dengan fungsi kawasan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komersil</li> <li>• Perkantoran</li> <li>• Permukiman</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observasi</li> <li>- data sekunder</li> </ul>
3.	Kawasan Rawan Banjir	Banjir dapat disebabkan oleh kondisi alam yang statis seperti geografis, topografis, dan geometri alur sungai. Peristiwa alam yang dinamis seperti curah hujan yang tinggi, pembendungan dari laut/pasang pada sungai induk, amblesan tanah dan pendangkalan akibat sedimentasi, serta aktivitas manusia yang dinamis seperti adanya tata guna di lahan dataran banjir yang tidak sesuai.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerawanan</li> <li>• Kerentanan vurnerability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wawancara</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>
4	Batuan penyusun lahan	Nilai permeabilitas sangat dipengaruhi oleh tekstur dan struktur dari tiap jenis batuan. Semakin besar permeabilitas maka koefisien resapan semakin besar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sangat Tinggi, <math>&gt;10^3</math> m/hari (batuan alluvial)</li> <li>• Tinggi, <math>10^1 - 10^3</math> m/hari (endapan kuarter muda)</li> <li>• Cukup, <math>10^{-2} - 10^1</math> m/hari (endapan kuarter tua)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi Literatur</li> <li>- Wawancara</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedang, <math>10^{-4} - 10^{-2}</math> m/hari (endapan tersier)</li> <li>• Rendah, <math>&lt;10^{-4}</math> m/hari (batuan instrusi)</li> </ul>	
5	Tipe / Jenis Tanah	Tipe tanah mempengaruhi laju infiltrasi. Infiltrasi adalah proses aliran air masuk ke dalam tanah yang umumnya berasal dari curah hujan, sedangkan laju infiltrasi merupakan jumlah air yang masuk ke dalam tanah per satuan waktu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sangat lambat, jika nilai (<math>&lt;2</math>)</li> <li>• Lambat, jika nilai (2-7)</li> <li>• Sedang, jika nilai (7-15)</li> <li>• Cepat, jika nilai (15-30)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi Literatur</li> <li>- Wawancara</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>
6.	Penggunaan Lahan	Lahan kota terbagi menjadi lahan terbangun dan lahan tak terbangun. Lahan Terbangun terdiri dari perumahan, industri, perdagangan, jasa dan perkantoran. Sedangkan lahan tak terbangun terbagi menjadi lahan tak terbangun yang digunakan untuk aktivitas kota (kuburan, rekreasi, transportasi, ruang terbuka) dan lahan tak terbangun non aktivitas kota (pertanian, perkebunan, area perairan, produksi dan penambangan sumber daya alam).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hutan (Forest)</li> <li>• Pertanian (Agriculture)</li> <li>• Lahan Kosong (Bare Land)</li> <li>• Kawasan terbangun (Built Up)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi literatur</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>
7.	Curah hujan	Dari segi daya dukung lingkungan, dengan curah hujan yang sama resapan air akan semakin besar jika hujan terjadi dalam waktu yang panjang. Semakin tinggi dan lama curah hujan, semakin besar skornya karena pada dasarnya semakin tinggi dan lama curah hujan semakin besar air yang dapat meresap ke dalam tanah.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendah (<math>&lt;1.500</math> mm/th)</li> <li>• Sedang (1.500 – 2.000 mm/th)</li> <li>• Cukup (2.000 – 2.500 mm/thn)</li> <li>• Tinggi (2.500 – 3.000 mm/thn)</li> <li>• Sangat Tinggi (<math>&gt;3.000</math> mm/thn)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi literatur</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>
8.	Aliran Permukaan (runoff)	Aliran permukaan ( <i>runoff</i> ) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah atau disebut air infiltrasi. Sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendah (0 – 300 mm)</li> <li>• Sedang (301 – 600 mm)</li> <li>• Tinggi (601 – 900 mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi literatur</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>

		dan oleh karenanya mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah		
9.	Kemiringan Lahan	Kemiringan lereng terjadi akibat perubahan permukaan bumi di berbagai tempat disebabkan oleh gaya eksogen dan endogen yang menyebabkan perbedaan letak ketinggian titik. Kecuraman lereng akan mempengaruhi besarnya aliran permukaan. Semakin curam suatu lereng, maka laju dan jumlah aliran permukaan akan meningkat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datar (&lt;8%), Infiltrasi &gt;0,95</li> <li>• Landai (8 – 15 %) Infiltrasi 0,8</li> <li>• Agak Curam (25–45 %) Infiltrasi 0,5</li> <li>• Curam (&gt;45 %) Infiltrasi 0,2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi literatur</li> <li>- Data sekunder</li> </ul>

## H. Kebaharuan (*Novelty*)

*Novelty* merupakan unsur kebaruan atau temuan dari sebuah penelitian. Untuk mengetahui kebaruan tersebut dilakukan telaah terhadap penelitian-penelitian terdahulu atau yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian terdahulu merupakan salah satu acuan dan referensi peneliti yang memudahkan peneliti dalam mengkaji keberadaan penelitiannya. Penelusuran hasil penelitian dan kajian ilmiah terdahulu ini dilakukan untuk mengetahui letak atau posisi hasil penelitian yang sedang dilakukan, terhadap kajian-kajian keilmuan yang telah ada sebelumnya.

Tujuannya berupa perbaikan atau penyempurnaan terhadap penelitian sebelumnya, melanjutkan penelitian atau mengembangkan hasil penelitian tersebut. Penelusuran yang dilakukan adalah dengan cara penelusuran kepustakaan, metode penelitian yang digunakan dan kajian hasil penelitian. Dari penelusuran tersebut terdapat beberapa hasil penelitian dan kajian ilmiah terdahulu yang dianggap relevan dengan penelitian yang sedang dilakukan, tetapi peneliti tidak menemukan penelitian sebelumnya yang betul-betul serupa dengan penelitian yang sedang dilakukan. Secara umum pada kegiatan penilaian (*assessment*) dan/atau penentuan lokasi, terdapat persamaan antara penelitian yang sedang dilakukan dengan penelitian terdahulu yaitu basis pendekatan yang digunakan adalah pendekatan spasial atau keruangan, yang dianalisis dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat kajian

(*tools*), sedangkan perbedaannya terletak pada metode atau teknik analisis yang digunakan untuk penilaian permasalahan dan untuk pembuatan model. Penelitian ini menggunakan grid (kisi) Sistem Informasi Geografis sebagai dasar dalam pemodelan spasialnya.

Beberapa penelitian terdahulu berupa jurnal ilmiah, prosiding, artikel ilmiah atau karya ilmiah terkait dengan penelitian yang dilakukan peneliti secara rinci disajikan pada Tabel 2.

Tabel 5. Penelitian terdahulu yang relevan

No.	Judul	Penulis / Peneliti	Lokasi Penelitian	Hasil / Temuan	Persamaan	Perbedaan
1.	<i>Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis</i>	Madan K, Jha, et al (2013)	India	- Data Analisis : Jenis Tanah, Land use/land cover, curah hujan - Potensi limpasan : <i>Moderate, Poor, Very Poor</i>	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : <i>Multi Criteria Decision Analysis (MCDA)</i>  DA : <i>Runoff</i>
2.	<i>GIS – Based decision support system for identifying potensial site for rainwater harvesting</i>	B.P. Mbilinyi, et al (2007)	Tanzania	Penentuan lokasi : Curah hujan, kemiringan lahan, tekstur tanah, land cover / land use dan drainase	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : <i>Based Decision Support System (DSS)</i>
3.	<i>Assesing Land Suitability for rainwater Harvesting Using Geospatial techniques</i>	C. W. Maina, at al (2016)	Kenya	Data penggunaan lahan dan tanah digunakan untuk menghasilkan kurva daerah tangkapan.	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : <i>Digital Evaluation Model (DEM)</i>
4.	<i>A GIS -based decision support system for rainwater harvesting (RHADESS)</i>	J.Mwenge, et al (2009)	South Africa	Penentuan wilayah RWH berdasarkan dampak hidrologis.	Sistem Informasi Geografis (SIG)	DA : Aliran Drainase
5.	<i>A GIS-based approach for identyfing potential runoff harvesting sites in Thukela River Basin, South Africa</i>	G.de.Winnaar, et al (2007)	South Africa	Lokasi pemanfaatan air hujan: informasi topografi, kondisi tanah dan tutupan lahan	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : <i>Soil Conservation Service (SCS)</i>
6.	<i>Integrating Decentralized rainwater management in urban planning and design</i>	Thorsten & Lorenzo (2013)	Korea	Teknologi dan sistem pengelolaan air hujan sebagai infrastruktur perkotaan	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : <i>Qualitative Sustainability Criteria</i>

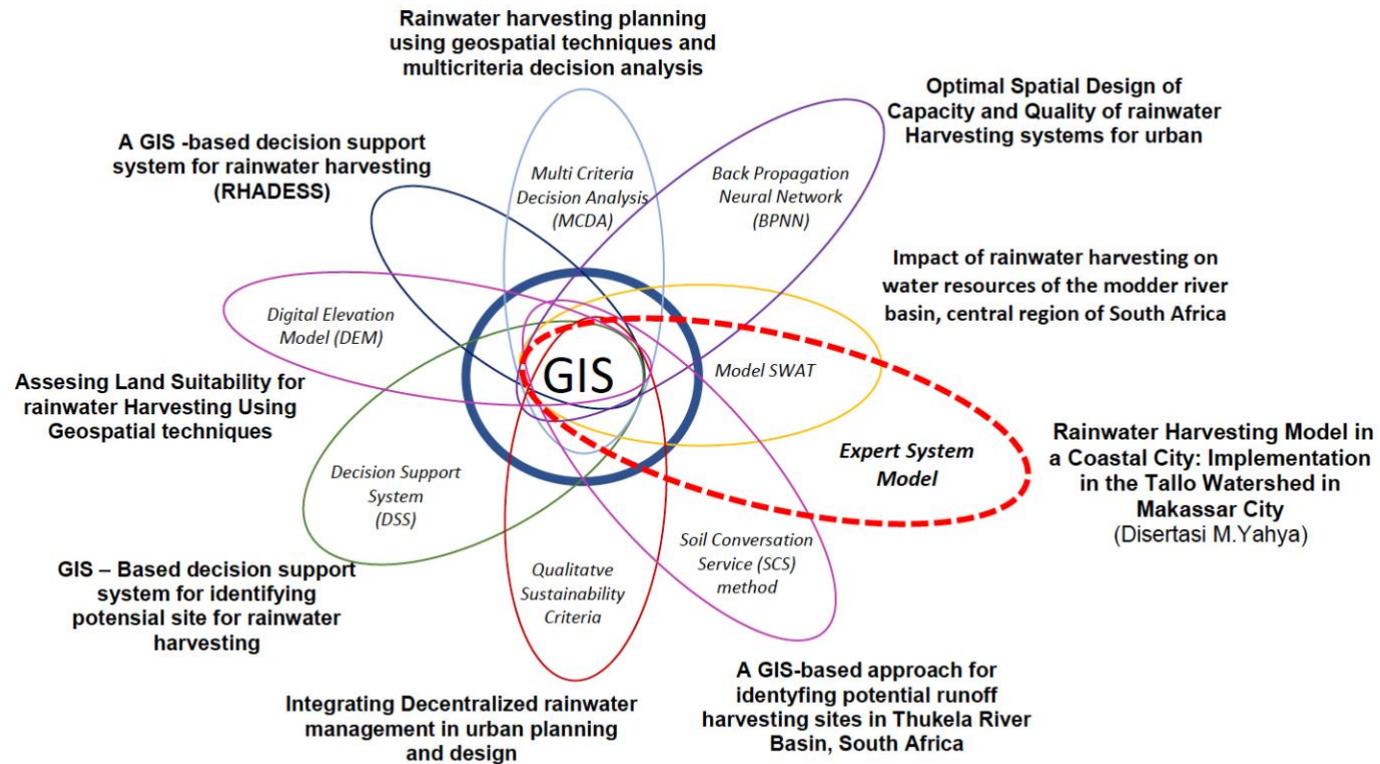
No.	Judul	Penulis / Peneliti	Lokasi Penelitian	Hasil / Temuan	Persamaan	Perbedaan
7.	<i>Impact of rainwater harvesting on water resources of the modder river basin, central region of South Africa</i>	W.A. welderufael, et al (2012)	South Africa	Resapan air hujan yang tinggi pada lokasi lahan terbuka dibandingkan daerah semi kering tadah hujan	Sistem Informasi Geografis (SIG), SWAT	DA : Klasifikasi lahan
8.	<i>Optimal Spatial Design of Capacity and Quality of rainwater Harvesting systems for urban</i>	Chien-Lin Huang, et al (2015)	Taiwan	Pengembangan Simulasi – optimasi dalam perencanaan tata ruang dan desain kapasitas yang fleksibel dan praktis utk RWH	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : Back Propagation Neural Network (BPNN)
9.	<i>Selection of Suitable Sites for Water Harvesting Structures in Soankhad Watershed, Punjab using Remote Sensing and Geographical Information System (RS&amp;GIS)</i>	P. Singh, et al (2008)	India	Peta penggunaan lahan, Peta hidrologi, kelompok tanah dan lereng	Sistem Informasi Geografis (SIG)	DA : Curah hujan rata-rata bulanan menggunakan TM Model
10.	<i>Delineation of potential sites for water harvesting structures through remote sensing and GIS techniques</i>	RAMAKRISHNAN, et al (2007)	India	penggunaan lahan / tutupan lahan, litologi, tanah, lereng, curah hujan dan drainase	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : LISS-III, PAN (IRS-1D), Landsat Tematik Mapper (TM)
11.	<i>Estimation of water harvesting potential for a semiarid area using GIS and remote sensing</i>	Gupta, et al (1997)	India	SCS runoff curve: kedalaman limpasan untuk mendapatkan potensi limpasan tahunan	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : Soil Conservation Services (SCS) method
12.	<i>Identification Of Suitable Sites For Rainwater Harvesting Structures In Arid And Semi-Arid Regions</i>	Ammar, Et Al (2016)	A Review	Kemiringan, Penggunaan / Tutupan Lahan, Jenis Tanah, Curah Hujan, Jarak Ke Pemukiman / Sungai, Dan Biaya.	Sistem Informasi Geografis (SIG)	TA : Multi Criteria Decision

No.	Judul	Penulis / Peneliti	Lokasi Penelitian	Hasil / Temuan	Persamaan	Perbedaan
13.	Sistem pakar penentuan kesesuaian lahan berdasarkan factor penghambat terbesar (maximum limitation factor) tanaman pangan	Sevani (2009)	Indonesia	Sistem pakar untuk penentuan kesesuaian lahan berbasis aturan dan web	<i>Expert system</i>	TA : MySQL, Waterfall Life Cycle, desain Web
14.	<i>An Expert system for Diagnosing Eye Disease using CLIPS</i>	Samy S, et al (2008)	Palestina	Model sistem pakar untuk mengdiagnosis penyakit mata berbasis aturan	<i>Expert system, rule-based reasoning</i>	TA : CLIPS
15.	Sistem Pakar untuk mengdiagnosis kerusakan pada komponen computer yang gagal menjalankan fungsi	Hermawan (2004)	Indonesia	Model sistem pakar untuk mengdiagnosis kerusakan pada komponen komputer	<i>Expert system</i>	TA : Visual Basic, DBMS
16.	<i>An Expert system for diagnosis of Disease in Rice Plant</i>	Sarma S.K (2015)	India	Perancangan dan pengembangan system pakar berbasis aturan untuk diagnosis penyakit yang terjadi pada tanaman padi	<i>Expert System</i>	TA : ESTA

Keterangan :

TA : Teknik Analisis

DA : Data Analisis



Gambar 12. Diagram posisi penelitian dengan penelitian terdahulu

Berdasarkan kajian Pustaka dan telaah terhadap penelitian ilmiah tentang penentuan lokasi pemanenan air hujan sebelumnya dengan menggunakan teknik analisis dan indikator yang berbeda dengan penelitian ini, sehingga kebaruan (*novelty*) penelitian ini dengan diperolehnya model spasial dengan pendekatan Sistem Pakar (*expert system*) berbasis Sistem Informasi Geografis. Dalam proses analisis selain menggunakan beberapa indikator yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya seperti : jenis tanah, *land cover*, curah hujan, kemiringan lahan, batuan penyusun lahan dan penggunaan lahan maka dalam penelitian ini memiliki tambahan indikator yang dikaji mendalam yaitu aliran permukaan (*runoff*) dan kepadatan bangunan / kawasan.

Setiap apa yang dihasilkan atau apa yang dilakukan tentu terdapat parameter dan standar tertentu agar setiap kualitas akan tetap terjaga. Begitu pula dengan adanya *state of the art* pada penelitian. *State of the art* penelitian merupakan perengkuhan hasil tertinggihan maksimal dari sebuah pengembangan yang biasanya terbentuk dari alat, produk, metode, media, aktivitas penelitian pada waktu tertentu sebagai hasil dari implementasi metodologi yang telah ada sebelumnya. *State of the art* pada penelitian ini adalah model penentuan lokasi potensial pemanenan air hujan sebagai sarana penyediaan dan penyimpanan air untuk konservasi air tanah di kota pantai dengan Sistem Pakar (*expert system*) berbasis Sistem Informasi Geografis.