

**PEMODELAN AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE
BEDA HINGGA DI DESA SAWANGAN
KECAMATAN GRINGSING
KABUPATEN BATANG
JAWA TENGAH**

SKRIPSI

Oleh :

**DERY ROCHAN SETIAWAN
112160048**



**PROGRAM SARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2022**

**PEMODELAN AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE
BEDA HINGGA DI DESA SAWANGAN
KECAMATAN GRINGSING
KABUPATEN BATANG
JAWA TENGAH**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik dari
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Oleh :

**DERY ROCHAN SETIAWAN
112160048**

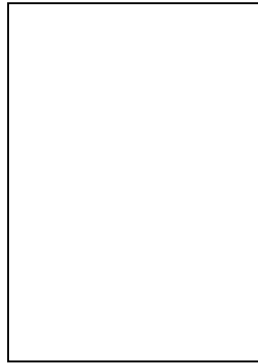


**PROGRAM SARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2022**

**PEMODELAN AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE
BEDA HINGGA DI DESA SAWANGAN
KECAMATAN GRINGSING
KABUPATEN BATANG
JAWA TENGAH**

Oleh :

**DERY ROCHAN SETIAWAN
112160048**



Disetujui untuk

Program Sarjana

Program Studi Teknik Pertambangan

Jurusan Teknik Pertambangan

Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Tanggal :

Pembimbing I,

Pembimbing II,

(Ir. Hartono, M.T)

(Ir. Dwi Poetranto W. A., M.T)

Bismillah Walhamdulillah. Dengan penuh rasa syukur skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya Bapak Sugiyono dan Ibu Sumiyati, Kakak saya Yeni Fitkarida, teman – teman, serta semua pihak yang telah membantu tanpa hentinya memberi doa dan dukungan.

***“BUKAN ILMU YANG SEHARUSNYA MENDATANGIMU, TAPI KAMU
YANG SEHARUSNYA MENDATANGI ILMU” – IMAM MALIK***

RINGKASAN

Indonesia memiliki kekayaan alam yang melimpah, namun belum semuanya dikelola dan dimanfaatkan. Terdapat potensi komoditas batupasir di kawasan Desa Sawangan, Kecamatan Gringsing, Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah. Untuk mendukung rencana kegiatan penambangan di daerah penelitian, harus dilakukan studi hidrogeologi khususnya terhadap kondisi air tanah agar dapat dijadikan acuan dalam perencanaan ke depannya.

Untuk mendapatkan komoditas tambang yang terdapat di daerah tersebut akan dilakukan kegiatan penambangan dengan sistem tambang terbuka. Dalam proses kegiatan penambangan perlu diperhatikan kondisi hidrologi dan hidrogeologi di daerah penelitian, juga mengetahui kondisi air tanah agar dapat memperkirakan dampak yang ditimbulkan setelah adanya proses penambangan. Kemudian mampu memberikan rekomendasi yang sesuai dengan perencanaan kegiatan penambangan yang akan dilakukan di kemudian hari.

Metode yang digunakan dalam penelitian didasarkan pada pengolahan data curah hujan menggunakan distribusi gumble sehingga outputnya dapat menentukan nilai DTH, *Run Off* dan *Recharge*. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan aliran air tanah menggunakan simulasi numerik metode beda hingga (*finite difference method*) dengan bantuan perangkat lunak Visual MODFLOW Licence @copyright Prodi Teknik Pertambangan UPNVYK.

Berdasarkan analisis yang dilakukan dengan data curah hujan 2009-2020 didapatkan nilai curah hujan harian rata-rata maksimum tahunan sebesar 602,55mm/tahun dan curah hujan rata-rata harian sebesar 68,49mm/tahun; *Run Off* DTH 1= 0,92m³/detik; DTH 2= 1,05m³/detik; DTH 3= 1,16m³/detik; DTH 4= 1,03m³/detik; DTH 5= 2,8m³/detik. Kemudian nilai *Recharge* yang digunakan dalam pemodelan adalah sebagai berikut DTH 1= 21,15mm/jam; DTH 2= 19,03mm/jam; DTH 3= 21,15mm/jam; DTH 4= 19,03mm/jam; DTH 5= 19,30mm/jam. Daerah penelitian merupakan daerah perbukitan yang bergelombang di sebelah selatan dan daerah landai di bagian utara berdekatan dengan pantai. Lapisan akuifer yang terdapat di lapangan merupakan lapisan akuifer bebas karena memiliki susunan perlapisan lanau, batupasir dan lapisan impermeabel berupa breksi di bagian bawah. Dikarenakan daerah penelitian merupakan perbukitan, arah aliran air limpasan dan air tanah berasal dari bukit di sebelah selatan menuju pantai di area utara mengikuti arah aliran sungai. Kedalaman air tanah berkisar antara 300mdpl - 40mdpl sesuai dengan topografi daerah. Dari hasil analisis diharapkan dapat menjadi acuan dalam melakukan perencanaan tambang baik untuk desain geometri tambang, saluran penyaliran tambang, maupun perkiraan dampak yang akan dihadapi karena kedalaman air tanah berada dekat dengan permukaan.

ABSTRACT

Indonesia has an abundant amount of natural wealth, yet not all of the source has been managed nor utilized. One of them is a sandstone commodity potential in Sawangan, Gringsing, Batang, Central Java. In order to support the plan of mining activity, hydrogeological studies, especially on the condition of the groundwater, should be conducted, so that it can be used as a reference for the future mining activity planning.

As a means to get a mining commodity which is available in the area, a surface mining system will be conducted. In the process of mining, hydrology and hydrogeological conditions in the area must be examined as well as groundwater condition should be recognized with the purpose that the aftermath of the mining activity can be thought about. Thus, recommendation which matches the mine plan design and is going to be done in the future can be explained.

The method used in this research is based on the precipitation data processing using a gumble distribution, so the output can determine the number of Catchment Area, Run Off, and Recharge. Then, it will be continued with groundwater flow modelling using numeric simulation of finite difference method with the guidance of Visual MODFLOW software Licence @copyright Prodi Teknik Pertambangan UPNVYK.

According to the analysis accomplished by using the precipitation data between 2009-2020, it can be concluded that the annual maximum average daily rainfall is as much as 602,55mm/year and the daily average rainfall is as much as 68,49mm/year; Run Offs with Catchment area 1= 0,92m³/s; Catchment area 2= 1,05m³/s; Catchment area 3= 1,16m³/s; Catchment area 4= 1,03m³/s; Catchment area 5= 2,8m³/s. Next, the Recharges being used in the modelling are Catchment area 1= 21,15mm/h; Catchment area 2= 19,03mm/h; Catchment area 3= 21,15mm/h; Catchment area 4= 19,03mm/h; Catchment area 5= 19,30mm/h. The research took place in a hilly area which is bumpy in the south part and sloping in the north part near the beach. The aquifer layers located in the field are unconfined aquifer layers caused by the layering of silt, sandstone, and impermeable layers with a form of breccia at the bottom. Due to the fact that the research location is hills, the run-off and the groundwater come directly from the hill at the south heading to the beach at the north following the river flow. The depth of the groundwater ranges from 300masl - 40masl in accordance with the topography of the area. Based on the data analysis, it is expected that the result can be useful as a reference for the mine plan design whether for mine geometry design, mine drainage system, or impact estimation which are going to be encountered because of the depth of the groundwater is located closely to the surface.

KATA PENGANTAR

Penyusun memanjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat karunia-Nya penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Studi Hidrogeologi Di Desa Sawangan Kecamatan Gringsing, Kabupaten Batang Jawa Tengah” penelitian dilaksanakan pada 1 Oktober – 30 Oktober 2020. Skripsi ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Dalam kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Mohamad Irhas Effendi, M.Si., Rektor UPN “Veteran” Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. Sutarto, MT., Dekan Fakultas Teknologi Mineral.
3. Bapak Dr. Ir. Eddy Winarno, S.Si., M.T., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan.
4. Ibu Ir. Wawong Dwi Ratminah, M.T., Koordinator Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan.
5. Bapak Ir. Hartono, M.T., Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Ir. Dwi Poetranto W. A., M.T., Dosen Pembimbing II.
7. Bapak Dr. Tedy Agung Cahyadi, S.T., M.T., I.P.M., Dosen Pembahas I
8. Bapak Dr. Drs. Nur Ali Amri, M.T., Dosen Pembahas II

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang pertambangan.

Yogyakarta, April 2022

Penyusun

(Dery Rochan Setiawan)

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB	
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN UMUM	6
2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah	6
2.2 Keadaan Geologi	8
2.3 Genesa Batuan	12
2.4 Hidrogeologi	14
III. DASAR TEORI.....	17
3.1 Hidrologi	17
3.2 Hidrogeologi	24
3.3 Sistem Akuifer	25
3.4 Parameter Akuifer	28
3.5 Pemodelan Air Tanah	33
3.6 Penelitian Sejenis.....	38
IV. HASIL PENELITIAN	42
4.1 Topografi Daerah Penelitian	42
4.2 Kondisi Hidrologi Daerah Penelitian	42
4.3 Kondisi Hidrogeologi Daerah Penelitian	45
4.4 Litologi Daerah Penelitian	46

	Halaman
4.5 Pemodelan Air Tanah	47
V. PEMBAHASAN	58
5.1 Kondisi Hidrologi dan Hidrogeologi	56
5.2 Pemodelan Aliran Air tanah	62
5.3 Rekomendasi Terkait Rencana Penambangan	66
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	66
6.1 Kesimpulan	68
6.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Diagram Alir Penelitian	5
2.1 Peta Kesampaian Daerah Penelitian	7
2.2 Peta Fisiografi Jawa (Bemmellen, 1949)	9
2.3 Susunan Stratigrafi Kabupaten Batang Jawa Tengah.....	11
2.4 Peta Geologi Regional Kabupaten Batang	12
2.5 Peta Hidrogeologi Lembar Jawa Tengah (Effendi, 1985)	15
2.6 Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian (Effendi, 1985)	16
3.1 Proses Perjalanan Air dalam Siklus Hidrologi	19
3.2 Daerah Tangkapan Hujan (Gautama, 1999)	24
3.3 Sistem Akuifer (Krusseman, 1970)	26
3.4 Sistem Akuifer Menggantung (Fetter,2001)	27
3.5 Proses Pemodelan Air tanah (Anderson dan Woessner, 1992)	34
3.6 Sistem <i>Node</i> Dalam <i>Finite Difference Method</i> (Anderson, 1982) ...	36
4.1 Peta Topografi Daerah Penelitian	43
4.2 Konseptual Model Litologi Daerah Penelitian	45
4.3 Diskretisasi Grid Daerah Penelitian	48
4.4 Penampang Sayatan Tampak A – A’	49
4.5 Penampang Sayatan Tampak B – B’	49
4.6 Data Hasil Masukan Konduktivitas Hidraulik	50
4.7 Data Hasil Masukan dan Storativitas	50
4.8 Pembagian Area <i>Recharge</i>	51
4.9 Kondisi Batas dalam 3 D	52
4.10 Hasil Pemodelan Numerik (<i>Uncalibrated</i>)	53
4.11 Diagram Scatter Sebelum Kalibrasi	54

	Halaman
4.12 Hasil Pemodelan Numerik (<i>Calibrated</i>)	55
4.13 Diagram Scatter Hasil Kalibrasi	56
5.1 Daerah Tangkapan Hujan Area Penelitian	59
5.2 Model Aliran Air tanah Sebelum Kalibrasi	63
5.3 Peta Aliran Air Tanah Daerah Penelitian.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Periode Ulang Hujan Rencana (Kite, 1977)	21
3.2 Keadaan Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan	22
3.3 Nilai Koefisien Limpasan (Suripin, 2004).....	23
3.4 Nilai Konduktivitas Hidraulik Batuan (Domenico, 1990)	28
3.5 Nilai Porositas Batuan (Morris and Johnson, 1967)	30
3.6 Nilai Parameter Storativitas (Heath, 1983)	31
4.1 Curah Hujan Bulanan Di Kecamatan Gringsing	44
4.2 Nilai Air Limpasan Daerah Penelitian	44
4.3 Nilai <i>Recharge</i> daerah penelitian	45
4.4 Nilai Parameter Akuifer	46
5.1 Debit Air Limpasan Area Penelitian	59
5.2 Nilai <i>Recharge</i> Daerah Penelitian	61
5.3 Skenario Kalibrasi <i>Analysis Sensitivity</i>	64

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
A. DATA CURAH HUJAN DAN HARI HUJAN DAERAH PENELITIAN 2009-2020 (mm)	73
B. PERHITUNGAN CURAH HUJAN RENCANA	86
C. PERHITUNGAN INTENSITAS HUJAN.....	91
D. PERHITUNGAN KOEFISIEN LIMPASAN	92
E. PETA ARAH ALIRAN LIMPASAN DAN DAERAH TANGKAPAN HUJAN	93
F. PERHITUNGAN DEBIT AIR LIMPASAN DAN NILAI <i>RECHARGE</i> DAERAH PENELITIAN.....	95
G. PENGUKURAN MUKA AIR TANAH.....	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan penambangan, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Selain keadaan alam suatu wilayah, perusahaan juga harus memerhatikan metode yang akan digunakan. Faktanya, kegiatan penambangan, terutama dengan sistem tambang terbuka (*surface mining*), dianggap sebagai suatu kegiatan yang berdampak pada kerusakan lingkungan. Salah satu dampak yang cukup signifikan dapat ditemukan pada kualitas dan kuantitas air tanah.

Terdapat potensi komoditas batupasir yang cukup besar dan belum dimanfaatkan di kawasan Desa Sawangan, Kecamatan Gringsing, Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah. Untuk mendukung rencana kegiatan penambangan di daerah penelitian harus dilakukan studi hidrologi dan hidrogeologi khususnya terhadap kondisi air limpasan dan air tanah agar dapat dijadikan acuan dalam perencanaan ke depannya.

Air hujan sangat berpengaruh pada aliran air yang masuk ke area tambang. Air hujan yang jatuh dalam daerah tangkapan hujan merupakan air limpasan, sementara air hujan yang masuk ke dalam lapisan tanah di bawah permukaan tanah merupakan air tanah (Sahoo, dkk. 2014). Air permukaan sama halnya dengan air tanah yang ada di area tambang. Apabila tidak mendapatkan perlakuan yang benar dapat menghambat jalannya kegiatan penambangan dan produksi penambangan (Manggau, 2017).

Air tanah memiliki sifat dan karakteristik tertentu, baik dalam pola pergerakannya, rembesan dan sebagainya. Oleh karena itu diperlukan kajian untuk memahami tentang tinggi muka air tanah dan pergerakan air tanah untuk mengetahui kuantitas air dan siklus hidrologi lainnya. Pada lokasi penelitian terdapat rencana kegiatan penambangan batupasir menggunakan metode tambang terbuka. Hal ini memiliki potensi dapat menyebabkan perubahan terhadap kondisi

hidrogeologi di daerah penelitian secara signifikan. Mengingat batupasir sendiri merupakan akuifer di daerah penelitian dimana airtanah mengalir, perlu dilakukan analisis terkait dampak yang dihasilkan terhadap kondisi air tanah (Hendrayana, 2014). Aktivitas air tanah tersebut dapat diperkirakan atau dimodelkan menggunakan MODFLOW .

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi perhatian dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi hidrologi dan hidrogeologi daerah penelitian?
2. Bagaimana kondisi air tanah pada daerah penelitian?
3. Apa rekomendasi yang dapat diberikan terkait rencana aktivitas penambangan di daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kondisi hidrologi dan hidrogeologi daerah penelitian.
2. Mengetahui lokasi dan arah aliran air tanah pada daerah penelitian.
3. Memberikan rekomendasi terkait rencana aktivitas penambangan di daerah penelitian.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Data parameter hidrogeologi yaitu konduktivitas hidrolis dan storativitas yang didapat melalui studi literatur dianggap mewakili kondisi lapangan di daerah penelitian.
2. Penelitian ini hanya terbatas pada kondisi hidrologi dan hidrogeologi di daerah penelitian saat penelitian dilaksanakan.
3. Kondisi hidrogeologi berdasar pada informasi dari peta geologi regional serta penelitian estimasi sumber daya mineral menggunakan metode cross section di lokasi yang sama.

4. Parameter evapotranspirasi tidak diperhitungkan karena keterbatasan data meteorologi.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mencari dan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas di lapangan melalui buku ataupun literatur-literatur lainnya. Selain itu juga dapat mempelajari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, yang berupa skripsi atau laporan perusahaan.

2. Orientasi Lapangan

Melakukan pengamatan secara menyeluruh dengan cara mengunjungi tempat tempat yang berada di lokasi penelitian, seperti mengamati kondisi alam lokasi rencana penambangan, lokasi sekitar rencana penambangan, dan lokasi pemukiman di sekitar area IUP.

3. Observasi Lapangan

Melakukan pengamatan secara langsung terhadap masalah yang akan dibahas di dalam penelitian, yaitu pengamatan topografi daerah penelitian, kondisi di sekitar daerah penambangan, interpretasi awal kondisi geologi daerah penelitian, pengamatan sungai yang ada di sekitar area penelitian. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh keakuratan data yang akan digunakan dalam penelitian.

4. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah studi literatur, orientasi lapangan, dan observasi lapangan selesai dilaksanakan. Data yang diambil berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diambil langsung dari pengukuran atau pengamatan di lapangan, seperti gambar lokasi, kondisi topografi lokasi, pengukuran MAT di sumur warga, serta pengukuran dimensi sungai yang ada di area penelitian. Data sekunder adalah data yang diambil dari literatur atau laporan perusahaan, seperti data curah hujan tahun 2009-2020, peta topografi, peta kesampaian daerah, data stratigrafi, dan literatur parameter hidrogeologi.

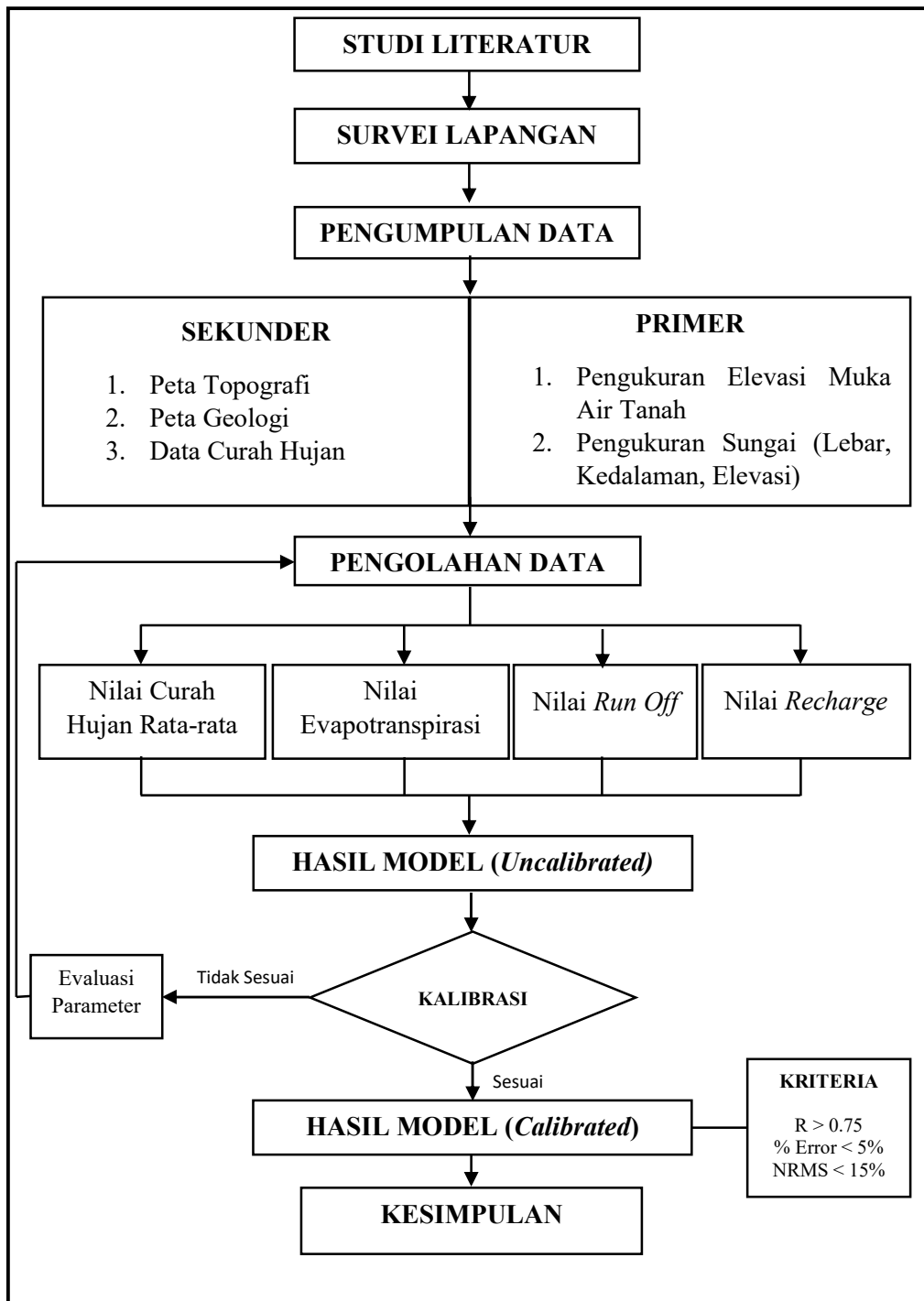
5. Pengolahan dan Analisis Data

Setelah didapatkan data pendukung kemudian dilakukan analisis hidrologi dan hidrogeologi mengacu pada penelitian terdahulu dan studi literatur. Untuk menggambarkan kondisi air tanah di lokasi penelitian dilakukan juga pemodelan aliran air tanah menggunakan simulasi numerik, metode beda hingga (*finite difference method*) dengan bantuan perangkat lunak Visual MODFLOW License @copyright Prodi Teknik Pertambangan UPNVYK, yang dikembangkan oleh Schlumberger Water Service. Kajian pendahuluan terkait kondisi air permukaan (*run-off*) digunakan sebagai *input* data ke dalam pemodelan air tanah yang dilakukan. Proses kalibrasi dan validasi dilakukan dalam kondisi *steady state* dan *transient*. Secara garis besar tahapan permodelan yang dilakukan dapat dilihat di gambar 1.1.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian antara lain

1. Mengetahui kondisi hidrogeologi di daerah penelitian.
2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan topik serupa.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai pertimbangan oleh perusahaan dalam permasalahan yang ada terkait dengan air tanah.



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

BAB II

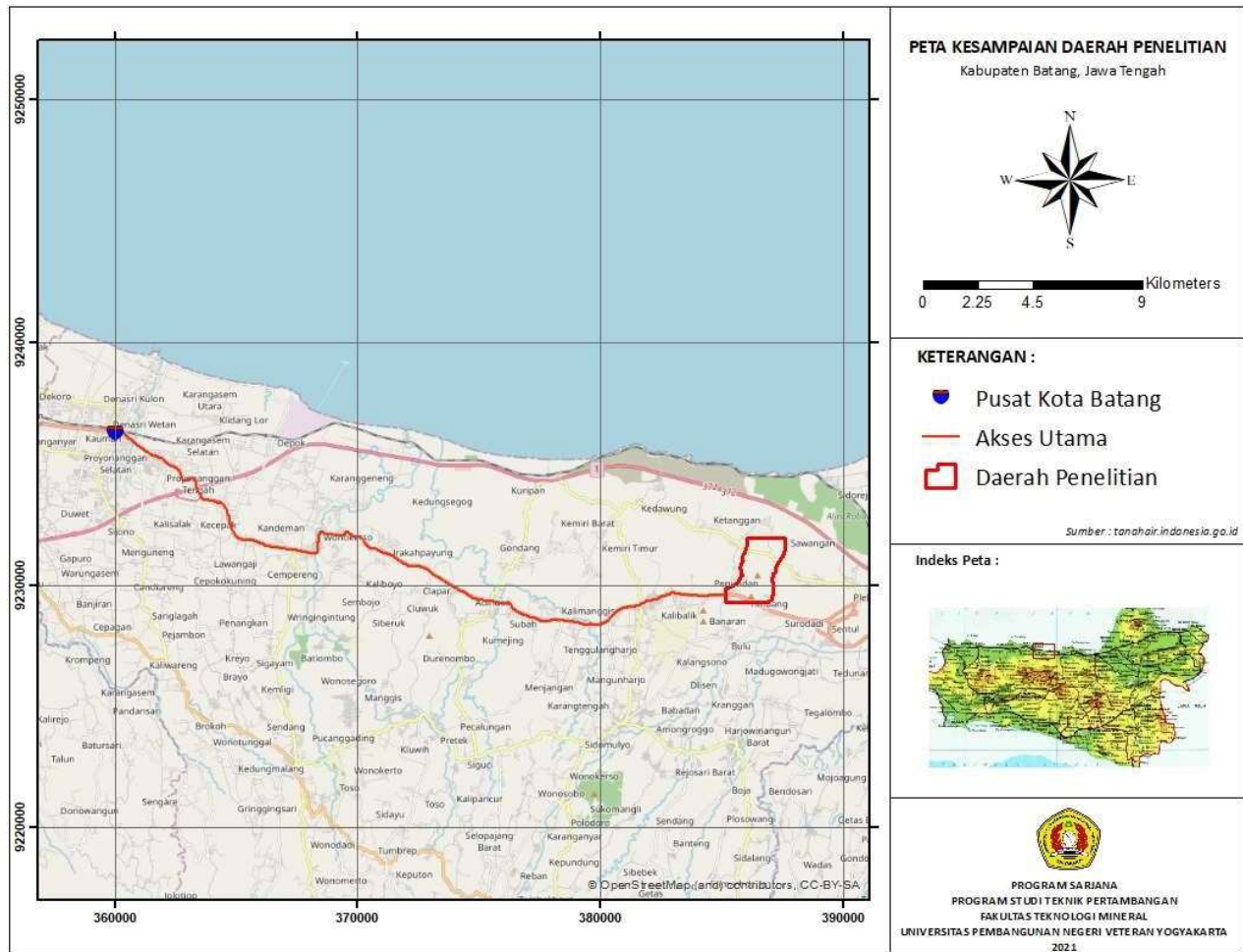
TINJAUAN UMUM

2.1. Lokasi dan Kesampaian Daerah

Lokasi penelitian berada di kawasan Desa Sawangan, salah satu desa yang terletak di Kecamatan Gringsing, Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah. Wilayah administrasi Kabupaten Batang terdiri dari 15 (lima belas) kecamatan. Luas wilayah Kabupaten Batang sendiri adalah sekitar 78.864,16 Ha. Jumlah penduduk daerah tersebut kurang lebih 773.138 jiwa. Kabupaten Batang berada pada zona 49S menurut sistem koordinat UTM, tepatnya pada 353260 – 395295 koordinat *easting* dan 9241217 – 9204432 koordinat *northing*. Wilayah ini merupakan daerah kombinasi antara daerah pantai, dataran rendah serta pegunungan. Secara administrasi Kabupaten Batang memiliki batas-batas wilayah dengan penjabaran batas sebagai berikut :

1. Sebelah Utara berbatasan dengan Laut Jawa.
2. Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Kendal.
3. Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Wonosobo dan Kabupaten Banjarnegara.
4. Sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Pekalongan.

Akses menuju lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada peta kesampaian daerah (Gambar 2.1). Dari pusat Kabupaten Batang akses ke daerah penelitia ndapat ditempuh melalui jalur darat menyusuri jalan kolektor sepanjang ± 30 km. Akses kendaraan roda 4 maupun roda 2 dapat digunakan mengingat kondisi jalan yang sudah sangat memadai. Secara umum lokasi daerah penelitian mudah diakses karena dekat dengan jalan kolektor yang dapat diakses dengan kendaraan pribadi maupun umum.



Gambar 2.1
Peta Kesampaian Daerah Penelitian

2.2. Keadaan Geologi

Daerah Jawa Tengah terbentuk oleh dua pegunungan yaitu Pegunungan Serayu Utara yang berbatasan dengan jalur Pegunungan Bogor di sebelah Barat dan Pegunungan Kendeng di sebelah Timur serta Pegunungan Serayu Selatan yang merupakan terusan dari Depresi Bandung di Jawa Barat. Kabupaten Batang terletak di bagian Utara Provinsi Jawa Tengah yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa. Morfologi pada daerah penelitian berupa daerah pedataran dan perbukitan. Morfologi daerah pedataran berada di sebelah Utara, sementara morfologi perbukitan berada di sebelah Selatan. Secara umum Kabupaten Batang berada di formasi damar (Gambar 2.3). Daerah penelitian termasuk ke dalam formasi damar yang disertai aluvial. Formasi damar sendiri terdiri atas susunan batupasir, lempung, dan breksi vulkanik. Keadaan geologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu Fisiografi, Stratigrafi dan Struktur Geologi. Adapun bagian-bagian tersebut diuraikan sebagai berikut:

2.2.1 Fisiografi

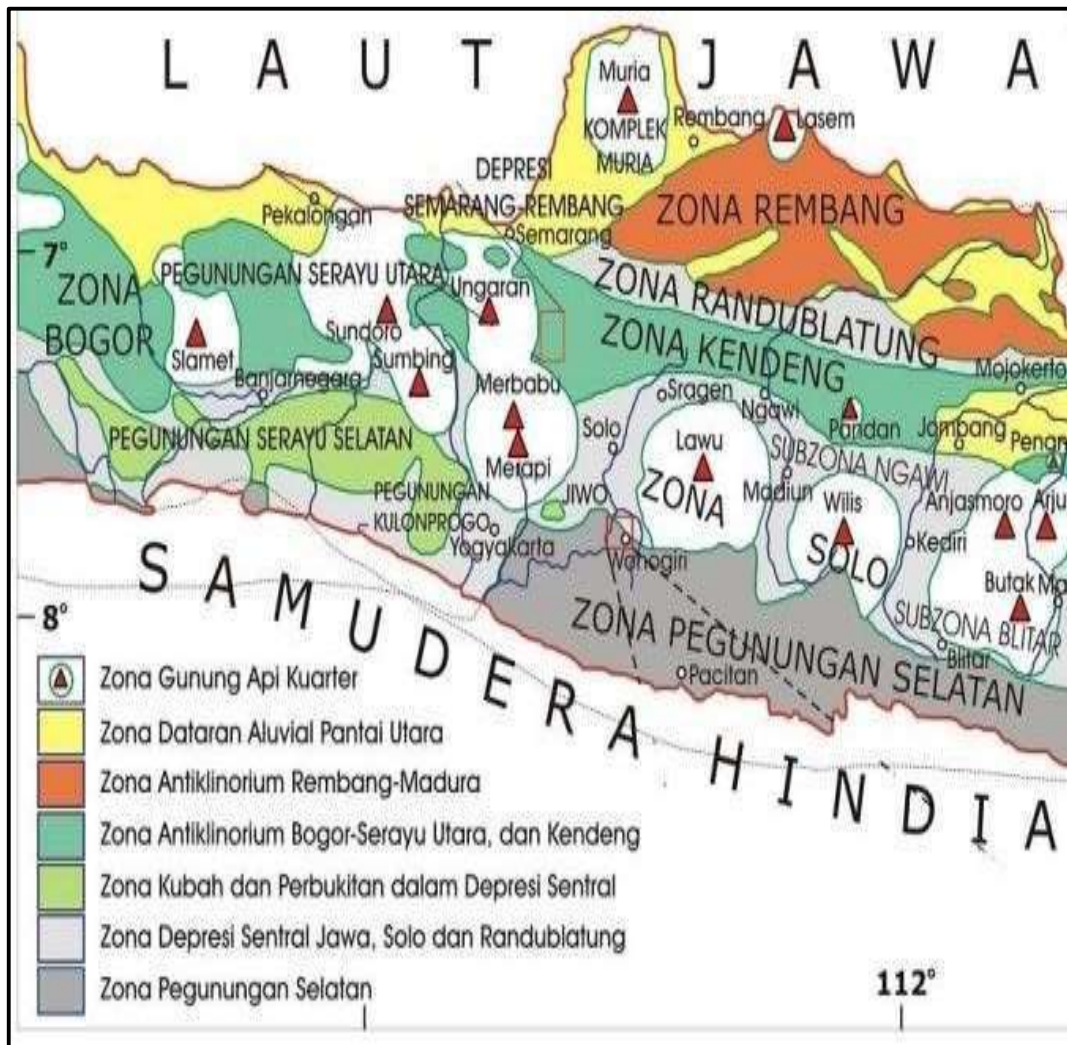
Menurut [Bemmelen \(1949\)](#), secara fisiografi, daerah penelitian termasuk zona depresi Jawa Tengah yang berbatasan dengan antiklinorium Bogor di sebelah barat dan bagian dari antiklinorium Kendeng di sebelah timur. Depresi ini menerussampai ke Jawa Barat, sedangkan di bagian timur menerus sampai ujung bagian timur.

Menurut [Bemmelen \(1949\)](#), secara umum fisiografi Jawa Tengah mulai dari utara ke selatan dapat dibagi ke dalam enam zona fisiografi, yaitu:

1. Zona Dataran Aluvial Utara Jawa.
2. Zona Gunung Api Kuarter.
3. Zona Antiklinorium Bogor, Serayu-Utara, Kendeng.
4. Zona Deperesi Jawa Tengah.
5. Kubah dan Depresi Rangkaian Pegunungan Serayu Selatan.
6. Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat dan Jawa Timur.

Berdasarkan kondisi fisiografi tersebut, maka Kabupaten Batang termasuk dalam wilayah gunung api kuarter yang terletak pada zona pegunungan Serayu Utara. Zona pegunungan Serayu Utara sebagian besar tertutup oleh produk endapan Gunung Slamet. Morfologi dari Kabupaten Batang secara umum dicirikan oleh

perbukitan dan gunung serta pendaratan yang semakin meluas ke arah utara dan selatan. Keadaan morfologi ini erat hubungannya dengan struktur geologi yang terbentuk, demikian pula halnya dengan pengaruh erosi dan pelapukan batuan yang terjadi pada daerah tersebut. Batuan yang bersifat masif dan kompak membentuk bentang alam yang berupa perbukitan.



Gambar 2.2

Peta Fisiografi Jawa (Bemmelen, 1949)

2.2.2 Stratigrafi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Purwokerto-Tegal yang disusun oleh Djuri, dkk (1996), stratigrafi pada daerah penelitian yang terletak pada Kecamatan Gringsing memiliki dua formasi yang membentuk formasi dari tua ke muda (dapat dilihat pada Gambar 2.4), yaitu:

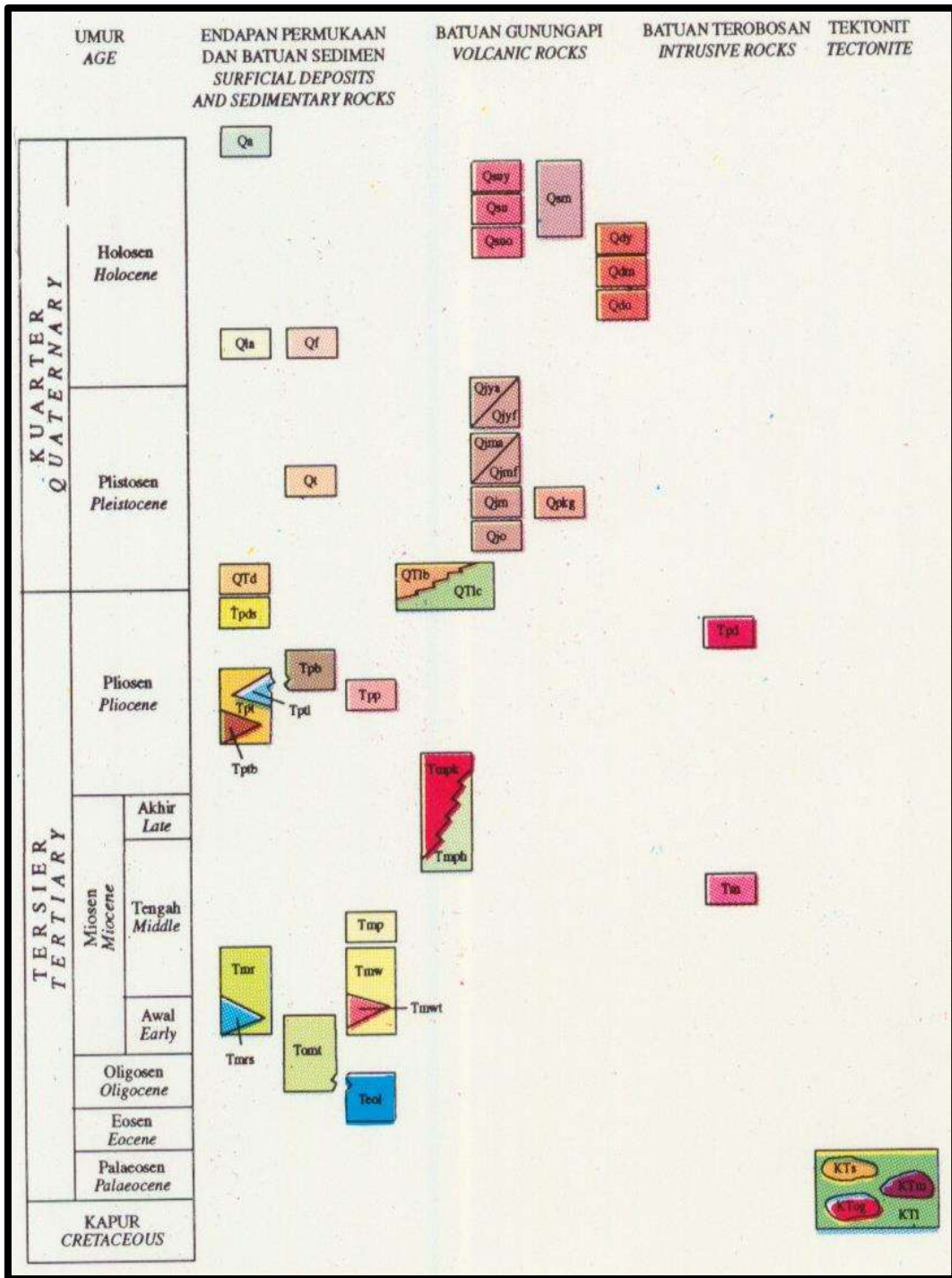
1. Formasi Damar (Qtd)

Formasi ini tersusun oleh batulempung tufan, breksi vulkanik, batupasir, tuf, dan konglomerat. Breksi vulkanik dan tuf bersusunan andesit, sedangkan konglomerat yang bersifat basal, secara setempat padu. Batupasir berasal dari feldspar dan butir-butir mineral mafik, padu. Setempat ditemukan moluska. Lingkungan pengendapan non-Marin, menindih formasi kalibiuk.

Bagian atas dicirikan oleh lempung hingga lempung pasiran berwarna coklat kemerahan, sedangkan bagian bawahnya memiliki warna yang semakin gelap dengan kandungan pecahan/fragmen batuan, lengket yang ditafsirkan sebagai pelapukan setempat (*colloidal deposits*). Perubahan warna antara bagian atas dan bawah berkaitan dengan proses pelapukan. Dalam penelitian ini, Formasi Damar dianggap sebagai batuan dasar (*basement*) yang mengalasi endapan Kuartir muda (aluvium) hingga bawah permukaan. Umum, pelapukan dari fasies formasi tersebut terdiri atas lempung, abu-abu kekuningan sampai kehijauan, lengket, liat dan sangat padat, banyak mengandung bercak-bercak kuning dan sedikit merah (20%), mengandung fragmen batuan dan vulkanik berukuran kerikil, makin dalam fragmen vulkanik makin banyak, sehingga susah ditembus oleh bor tangan. (Poedjoprajitno, dkk. 2009)

2. Anggota Batupasir Anggota Damar (Tpds).

Tersusun atas batupasir tufan dan konglomerat, sebagian terekat kalsit. Bagian bawah berupa konglomerat aneka bahan tersemen karbonat. Ke arah atas menjadi batupasir tufan dan konglomerat andesit, sebagian tersemen bahan karbonat. Lingkungan pengendapan terrestrial. Menindih selaras formasi kalibiuk. Batupasir formasi damar berwarna abu-abu kehitaman hingga kebiruan, padat dan keras, butiran membundar tanggung sampai sangat menyudut; terdiri atas kuarsa, felspar, dan pecahan batuapung dengan butiran tidak teratur, kadang-kadang butiran menghalus ke arah atasnya; tidak berlapis, mengandung unsur organik dan daun-daunan, berhumus, ditafsirkan sebagai Anggota batupasir Formasi Damar yang mungkin diendapkan dalam lingkungan laut. (Poedjoprajitno, dkk. 2009).

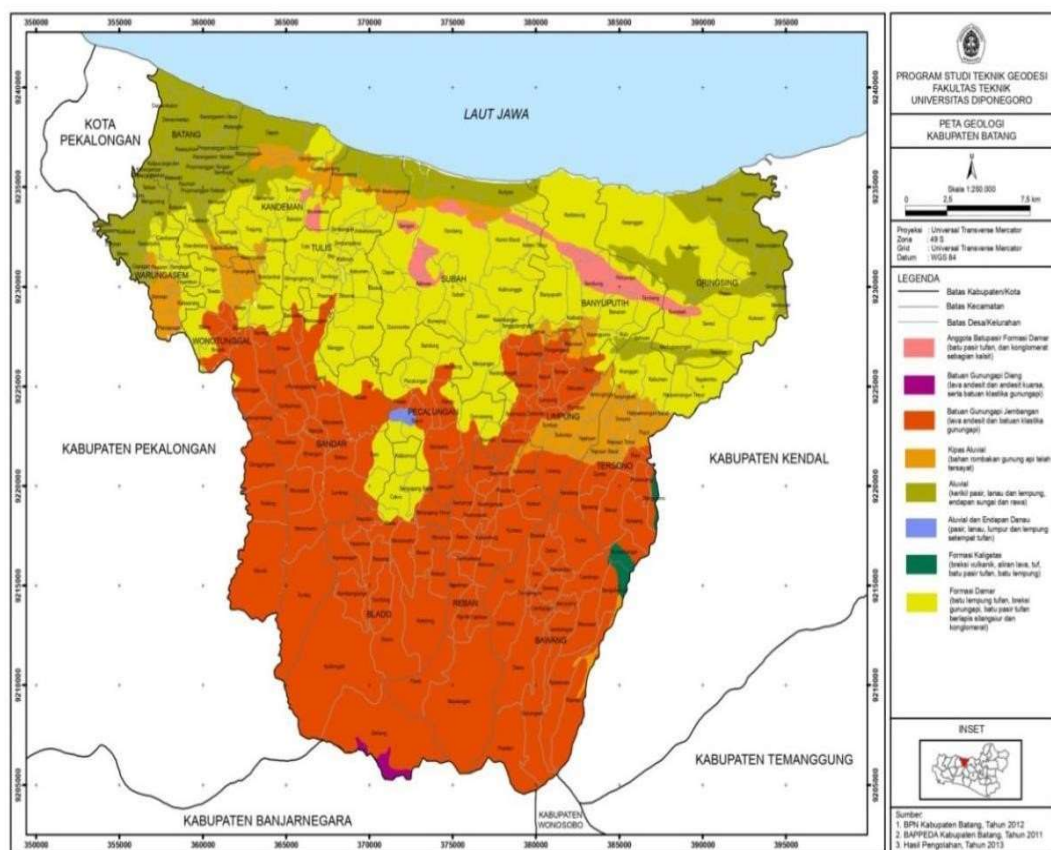


Gambar 2.3
 Susunan Stratigrafi Kabupaten Batang
 Jawa Tengah (Condon, dkk. 1996)

2.2.3 Struktur Geologi

Secara umum daerah ini merupakan daerah perbukitan dengan arah umum

Barat – Timur yang terletak pada Zona Antiklinorium Bogor – Sersya Utara – Kendeng, kemudian daerah Peguyangan dan sekitarnya disusun oleh batuan sedimen yang mengalami pelipatan dan tersesarkan serta berada pada umur Tersier. Perlipatan di daerah ini umumnya mempengaruhi batuan nogen muda dengan arah utama Barat – Timur. Sumbu lipatan yang arahnya acak diduga merupakan lipatan seretan akibat sesar-sesar regional. Sesar utama berarah Barat Laut – Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya, dengan gerakan miring.



Gambar 2.4
Peta Geologi Regional
Kabupaten Batang (GEODESI UNDIP, 2015)

2.3. Genesa Batuan

Batuan yang terdapat pada daerah penelitian ada 2 jenis yaitu batupasir dan breksi vulkanik. Kedua batuan tersebut masuk ke dalam satu formasi yaitu formasi damar. Adapun penjelasan terkait genesa batuan di daerah penelitian yaitu:

2.3.1 Batupasir

Batupasir adalah batuan sedimen yang terdiri dari mineral berukuran pasir atau butir-butir batuan yang dapat berasal dari pecahan batuan-batuan lainnya (Geost, 2016). Sebagian besar batupasir terbentuk oleh kuarsa atau feldspar karena mineral tersebut paling banyak terdapat di kulit bumi. Seperti halnya pasir, batupasir dapat memiliki berbagai jenis warna dengan warna umum adalah coklat muda, coklat tua, abu-abu, dan putih.

Lapisan batupasir sering kali membentuk karang atau bentukan topografis tinggi lainnya. Pembentukan batupasir terjadi dalam dua tahap. Tahap pertama, sebuah pelapisan atau kumpulan pelapisan terakumulasi sebagai akibat dari sedimentasi, baik oleh air maupun udara. Biasanya sedimentasi terjadi ketika pasir terlepas dari suspensi dimana pasir tersebut mengelilingi atau terseret di sepanjang dasar aliran atau bagian bawah tubuh air. Pasir berubah menjadi batupasir ketika telah terakumulasi dan mengalami tekanan oleh endapan di atasnya serta disementasi oleh presipitasi mineral-mineral di dalam pori-pori antar butiran.

2.3.2 Breksi

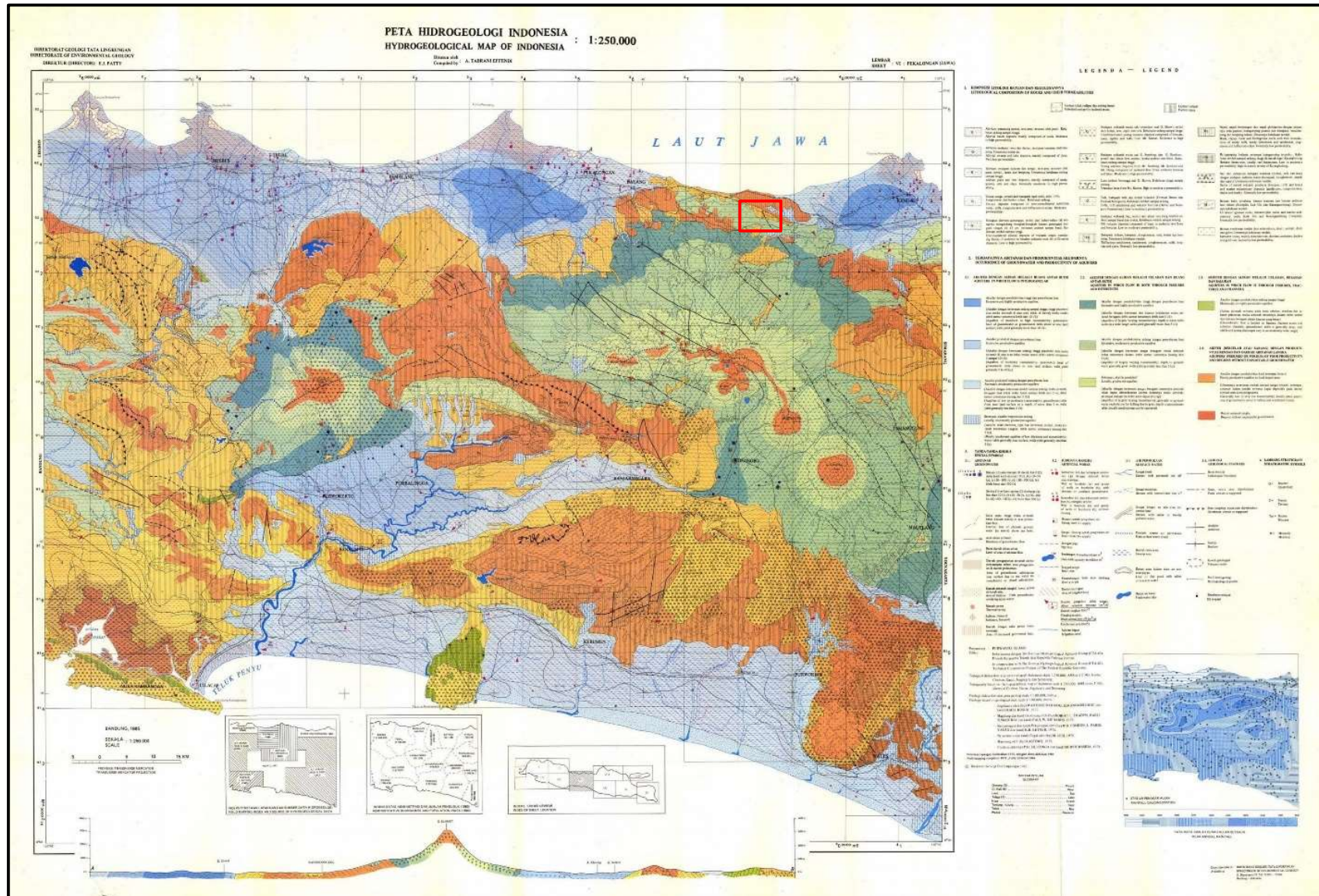
Dalam sistem klasifikasinya, batuan breksi yang sangat mirip dengan batuan konglomerat ini merupakan jenis batuan sedimen klastik, batuan sedimen yang terbentuk dari pelapukan batuan beku. Baik batuan konglomerat maupun batuan breksi memiliki butiran fragmen yang lebih besar dari 2mm. Batuan sedimen tersusun dari beberapa jenis fragmen yang memiliki diameter berbeda-beda, ada yang lebih kecil dari 2mm seperti lumpur, dan ada yang lebih besar dari 2mm seperti pasir dan kerikil.

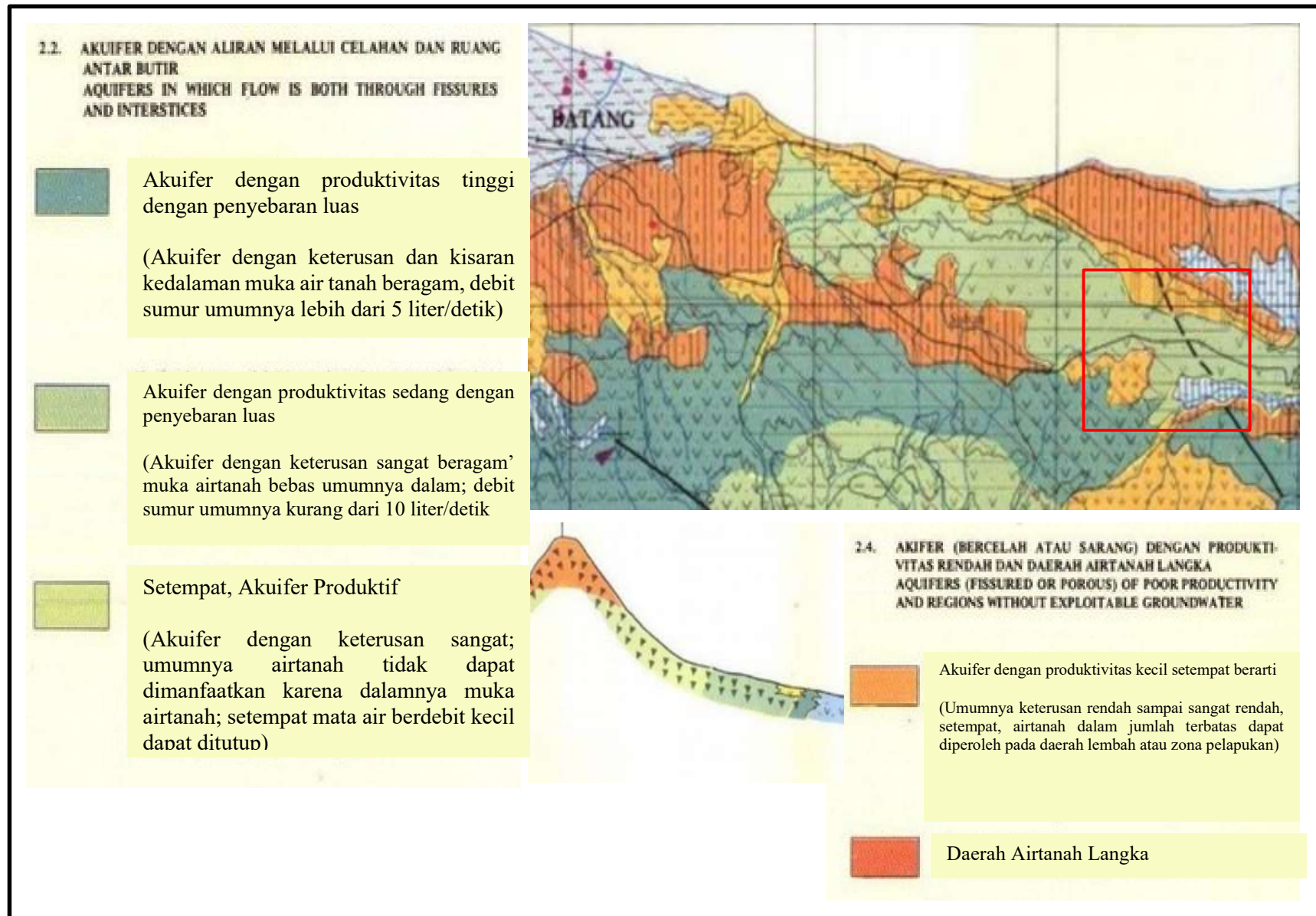
Menurut Zuhdi (2019) dalam buku pengantar geologi batuan breksi terbentuk di sebuah singkapan, tempat yang terdapat puing-puing sisapelapukan batuan beku menumpuk. Sisa-sisa pelapukan batuan beku itu akan terbawa aliran dan terendapkan di dekat singkapannya, misalnya pada kipas aluvial. Pada proses dekomposisi, sisa-sisa batuan beku itu akan terurai menjadi fragmen-fragmen yang terikat dengan mineral-mineral lain. Fragmen-fragmen ini yang kemudian menjadi batuan breksi.

2.4. Hidrogeologi

Secara umum klasifikasi lapisan berdasarkan sifat hidrolis di daerah penelitian terbagi menjadi 2 yaitu lapisan akuifer (aluvial dan batupasir formasi damar) dan akuiklud di bawahnya (breksi vulkanik formasi damar). Peta hidrogeologi dapat dilihat pada Gambar 2.5. Daerah penelitian berada di atas formasi damar yang terdiri dari susunan batupasir, batu breksi vulkanik, dan batu andesit. Di daerah penelitian juga terdapat aluvial yang diklasifikasikan sebagai lapisan permeabel bersamaan dengan batupasir yang berasal dari formasi damar.

Terdapat sungai di daerah penelitian yang akan dijadikan kondisi batas pemodelan hidrogeologi. Sungai yang terdapat pada daerah penelitian merupakan sungai resapan dimana sungai tersebut selain menampung air limpasan, juga menampung rembesan air tanah sehingga keberadaan air tanah di daerah penelitian memiliki keterkaitan yang kuat dengan kondisi sungai yang ada.





Gambar 2.6
Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian (Effendi , 1985)

BAB III

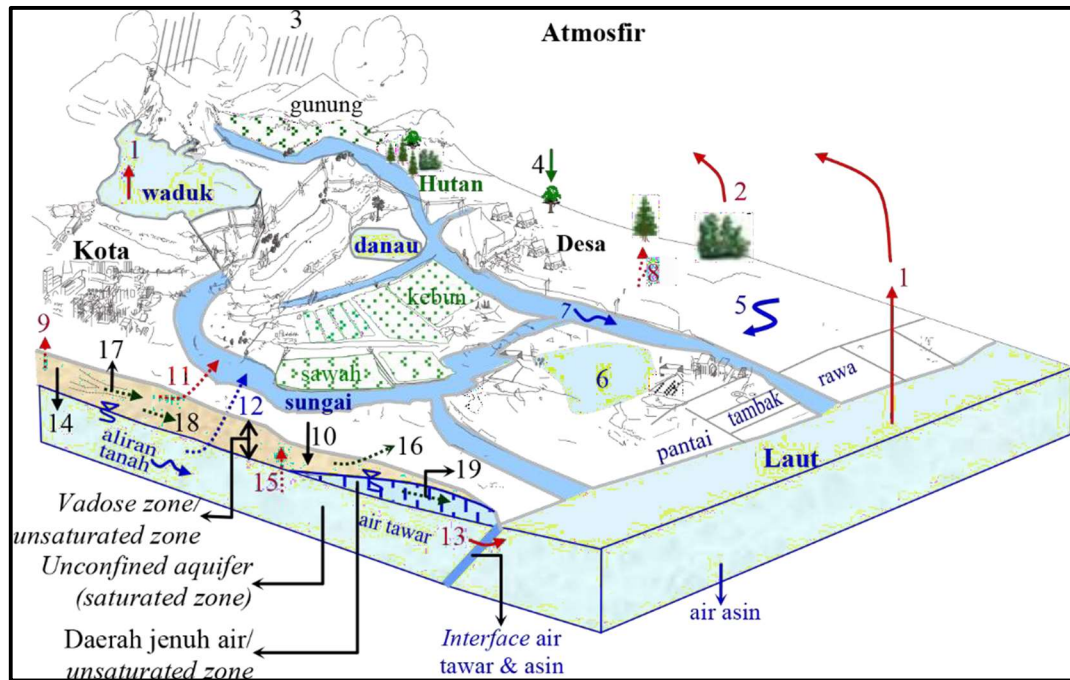
DASAR TEORI

3.1 Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup (Triatmodjo. 2008). Menurut Kodoatie, dkk (2012) proses perjalanan air dalam siklus hidrologi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, adalah:

1. Penguapan/evaporasi: Proses ini terjadi pada laut, danau, waduk, rawa, sungai, tambak dan lain-lain.
2. Evapotranspirasi: yaitu suatu proses pengambilan air oleh akar tanaman untuk kebutuhan hidupnya, kemudian terjadi penguapan pada tanaman tersebut. Proses pengambilan air oleh akar tanaman disebut transpirasi, sedangkan proses penguapan pada tanaman akibat dari sinar matahari disebut evaporasi.
3. Hujan/salju turun: Uap air dari proses evaporasi dan evapotranspirasi di atmosfer akan berubah menjadi cairan akibat proses kondensasi, tetesan air yang terbentuk tersebut saling berbenturan satu dengan yang lainnya dan terbawa oleh angin sampai berubah menjadi butir-butir air. Butir-butir air tersebut akan terakumulasi dan semakin berat, sehingga secara gravitasi akan turun ke bumi.
4. Air hujan di tanaman: Air hujan yang terjadi akan langsung jatuh (*through flow*) atau mengalir melalui batang tanaman (*stem flow*) serta air hujan tersebut ada yang tertinggal di atau jatuh dari daun (*drip flow*). Perlu waktu yang relatif lama untuk air hujan mencapai tanah apabila tanaman tersebut cukup rimbun.
5. Aliran permukaan (*run-off*): Aliran yang bergerak di atas permukaan tanah. Secara alami air akan mengalir dari daerah yang tinggi ke daerah yang rendah, dari gunung ke lembah, kemudian menuju ke daerah lebih rendah, sampai ke pantai dan akhirnya bermuara ke laut atau ke danau.

6. Banjir/genangan: Banjir dan genangan terjadi akibat dari luapan sungai atau daya tampung drainase yang tidak mampu mengalirkan air.
7. Aliran sungai (*river flow*): Aliran permukaan mengalir menuju daerah tangkapan air atau daerah aliran sungai menuju ke sistem jaringan sungai. Aliran dalam sistem sungai akan mengalir dari sungai kecil menuju sungai yang lebih besar dan berakhir di mulut sungai (estuari), tempat sungai dan laut bertemu.
8. Transpirasi: Proses pengambilan air oleh akar tanaman untuk memenuhi kebutuhan hidup dari tanaman tersebut.
9. Kenaikan kapiler: Air dalam tanah mengalir dari aliran air tanah karena mempunyai daya kapiler untuk menaikkan air ke *vadose zone* menjadi butiran air tanah (*soil moisture*), demikian juga butiran air tanah ini naik secara kapiler ke permukaan tanah.
10. Infiltrasi: Sebagian dari air permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (*soil water*).
11. Aliran antara (*interflow*): air dari air tanah yang mengalir menuju jaringan sungai, waduk, situ-situ dan danau.
12. Aliran dasar (*base flow*): aliran air dari air tanah yang mengisi sistem jaringan sungai, waduk, situ-situ, rawa dan danau.
13. Aliran *run-out*: aliran dari air tanah yang langsung menuju ke laut.
14. Perkolasi: Air dari *soil moisture* di daerah *vadose zone* yang mengisi aliran air tanah.
15. Kenaikan kapiler: aliran dari air tanah (air tanah) yang mengisi tanah.
16. *Return flow*: aliran air dari air tanah/*vadose zone* menuju ke permukaan tanah.
17. *Pipe flow* (aliran pipa): aliran yang terjadi dalam tanah.
18. *Unsaturated throughflow*: aliran yang melewati daerah tidak jenuh air.
19. *Saturated flow*: aliran yang terjadi pada daerah jenuh air.



Gambar 3.1

Proses Perjalanan Air dalam Siklus Hidrologi (Kodoatie, dkk. 2012)

3.1.1 Presipitasi (Curah Hujan)

Menurut Wibowo (2008), Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) di atas permukaan horizontal. Satuan curah hujan adalah mm (milimeter), yang berarti pada luas 1m^2 jumlah air hujan yang jatuh sebanyak 1 liter. Pengukuran curah hujan dapat dilakukan dengan menggunakan alat penakar curah hujan.

Curah hujan merupakan salah satu faktor penting dalam sistem penyaliran, karena besar kecilnya curah hujan akan memengaruhi besar kecilnya debit air tambang yang harus diatasi. Besar curah hujan dapat dinyatakan sebagai volume air hujan yang jatuh pada area tertentu, oleh karena itu besarnya curah hujan dinyatakan dalam meter kubik per satuan luas, secara umum dinyatakan dalam tinggi air (mm).

Pengolahan data curah hujan dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rencana yang siap pakai. Pengolahan data curah hujan dapat dilakukan dengan beberapa cara, dan dalam penelitian ini curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan teori distribusi Gumbel.

Penentuan curah hujan rencana dengan teori distribusi Gumbel dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + k \cdot SD \dots\dots\dots (3.1)$$

$$k = (Y_t - \bar{Y}_n) / S_n$$

Keterangan:

X_t = Hujan harian rencana maksimum (mm / hari) dengan periode ulang hujan (PUH) tertentu

\bar{X} = curah hujan rata-rata (mm).

K = *Reduced variate factor*.

SD = Standar deviasi.

S_n = Standar deviasi dari reduksi variat, tergantung dari jumlah data (n).

Y_t = Nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada PUH.

Y_n = Nilai rata – rata dari reduksi variat, tergantung dari jumlah data (n).

Reduced Mean (Y_n) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Y_n = -\ln [-\ln \{ \frac{(n+1)-m}{n+1} \}] \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

n = Jumlah sampel.

m = Urutan sampel (1,2,3,...) dari nilai terbesar ke terkecil.

Reduced Variate (Y_t) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Y_t = -\ln [-\ln \{ \frac{T-1}{T} \}] \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

T = Periode ulang.

Reduced Standart Deviation (S_n) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_n)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Standart Deviation (SD) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.5)$$

3.1.2 Periode Ulang Hujan (PUH)

Curah hujan akan menunjukkan suatu kecenderungan pengulangan. Sehubungan dengan hal tersebut, dalam analisis curah hujan dikenal istilah periode ulang hujan. Periode ulang hujan adalah periode (tahun) dari suatu hujan dengan tinggi intensitas yang sama kemungkinan bisa terjadi lagi. Kemungkinan terjadinya adalah satu kali dalam batas periode (tahun) ulang yang ditetapkan.

Penentuan periode ulang hujan dilakukan dengan menyesuaikan data dan keperluan pemakaian saluran (lihat Tabel 3.1) yang berkaitan dengan umur tambang serta tetap memerhitungkan risiko hidrologi.

Tabel 3.1
Periode Ulang Hujan Rencana (Kite, 1977)

Kondisi	Periode Ulang Hujan
Daerah Terbuka	0,5
Sarana Tambang	2 – 5
Lereng Tambang dan Penimbunan	5 – 10
Sumuran Utama	10 – 25
Penyaliran Keliling Tambang	25
Pemindahan Aliran Sungai	100

Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijakan dan risiko yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan. Hubungan antara periode ulang hujan dengan faktor risiko adalah sebagai berikut:

$$Pr = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{TL} \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan :

Pr = Risiko Hidrologi (%)

Tr = Periode Ulang (Tahun)

TL = Umur Tambang (Tahun)

3.1.3 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan per satuan waktu yang relatif singkat, biasanya satuan yang digunakan adalah mm/jam. Penentuan intensitas

curah hujan menggunakan rumus Mononobe, karena data yang tersedia adalah data curah hujan harian (lihat Persamaan 3.7). Keadaan curah hujan dan intensitas curah hujan disajikan dalam tabel (lihat Tabel 3.2).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimum (mm).
- t = Lamanya waktu hujan (jam).

Tabel 3.2
Keadaan Curah Hujan dan Intensitas
Curah Hujan (Suyono dan Takeda, 2003)

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm)		Kondisi
	1 jam	24 jam	
Hujan sangat ringan	< 1	< 5	Tanah agak basah atau dibasahi
Hujan ringan	1 – 5	5 – 20	Tanah menjadi basah semuanya
Hujan normal	5 – 10	20 - 50	Bunyi curah hujan terdengar
Hujan lebat	10 – 20	50 – 100	Air tergenang di seluruh permukaan tanah dan bunyi keras kedengaran dari genangan
Hujan sangat lebat	> 20	>100	Hujan seperti ditumpahkan

3.1.4 Air Limpasan (*Run-off*)

Air limpasan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau, dan laut. Aliran itu terjadi karena curah hujan yang mencapai permukaan bumi tidak dapat terinfiltrasi, baik yang disebabkan karena intensitas curah hujan atau faktor lain misalnya kelerengan, bentuk dan kekompakan permukaan tanah, serta vegetasi.

Perhitungan jumlah (debit) air limpasan permukaan dari suatu daerah dapat menggunakan rumus rasional sebagai berikut:

$$Q_{maks} = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan:

- Q_{maks} = Debit air limpasan (m³/detik).

- C = Koefisien limpasan
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan hujan (km²).

Koefisien limpasan merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Koefisien limpasan di tiap daerah berbeda-beda (lihat Tabel 3.3). Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan koefisien limpasan adalah kondisi topografi, kondisi tanah, dan kondisi vegetasi.

Tabel 3.3
Nilai Koefisien Limpasan (Suripin, 2004)

Koefisien aliran $C = C_t + C_s + C_v$					
Topografi, C_t		Tanah, C_s		Vegetasi, C_v	
Datar (<1%)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempung berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung dan lanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Nilai air limpasan nantinya akan dibagi menjadi beberapa zonasi sesuai dengan daerah tangkapan hujan. Daerah tangkapan hujan atau biasa disebut *Catchment area* adalah luasan permukaan yang berfungsi menampung air apabila terjadi hujan. Air hujan akan mengalir dari daerah yang lebih tinggi menuju ke daerah yang lebih rendah menuju ke titik pengaliran (Gautama, 1999). Air selalu menuju dari tempat yang tinggi menuju tempat rendah. Daerah tangkapan hujan biasanya dibatasi oleh bukit tinggi, tempat air tertahan sebelum dialirkan lagi menuju tempat yang lebih rendah (Dunne dan Leopold, 1978). Sebagian air hujan yang jatuh masuk ke dalam tanah, sebagian tertahan oleh tumbuhan, dan sebagian mengikuti lekukan permukaan bumi. Gambaran daerah tangkapan hujan tercantum pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2

Daerah Tangkapan Hujan (Gautama, 1999)

3.1.5 Nilai Imbuhan (Recharge)

Imbuhan air tanah (*recharge*) merupakan besarnya air yang masuk dari permukaan menuju lapisan akuifer. Besarnya laju imbuhan dipengaruhi oleh curah hujan, kadar air dalam tanah, gradien hidrolika, dan adanya perubahan terhadap kondisi bawah permukaan yang dilakukan oleh manusia seperti saluran drainase, saluran pembuangan air, serta sistem pemompaan dan perpipaan. Dalam penelitian ini, nilai imbuhan air tanah di daerah penelitian hanya diperoleh dari presipitasi air hujan. Besarnya nilai *recharge* dihitung menggunakan pendekatan menurut Bisson dan Lehr (2004) sebagai berikut :

$$Recharge = \text{curah hujan} - \text{evapotranspirasi} - \text{run-off} \dots\dots\dots (3.9)$$

3.2 Hidrogeologi

Menurut Fetter (1994), hidrogeologi merupakan suatu ilmu yang menghubungkan antara material geologi dan proses maupun aktivitas air khususnya air tanah. Studi hidrogeologi meliputi berbagai bentuk air serta menyangkut perubahannya, antara lain dalam keadaan cair, padat, gas, dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah, distribusi, penyebaran, aliran dan sebagainya.

Menurut Wahyudi (2009) Air tanah adalah air yang bergerak di dalam ruang-ruang antar butir-butir tanah yang membentuk itu atau dikenal dengan air lapisan

dan di dalam retakan-retakan dari batuan yang dikenal dengan air celah. Keadaan air tanah ada yang terkekang dan air tanah bebas. Jika air tanah itu bebas maka permukaannya akan membentuk gradien yang dikenal dengan gradien hidrolik sehingga pergerakan air tanahnya akan membentuk sebuah kontur.

Aliran air tanah dalam keadaan sebenarnya tidak berubah. Aliran tersebut dipengaruhi oleh prinsip-prinsip hidrolika yang telah tersusun baik terhadap aliran air tanah lewat akuifer yang pada umumnya merupakan sebagai media aliran dapat diberlakukan hukum Darcy. Pergerakan air tanah pergerakan terjadi mulai dari *recharge* area bergerak menuju *discharge* area.

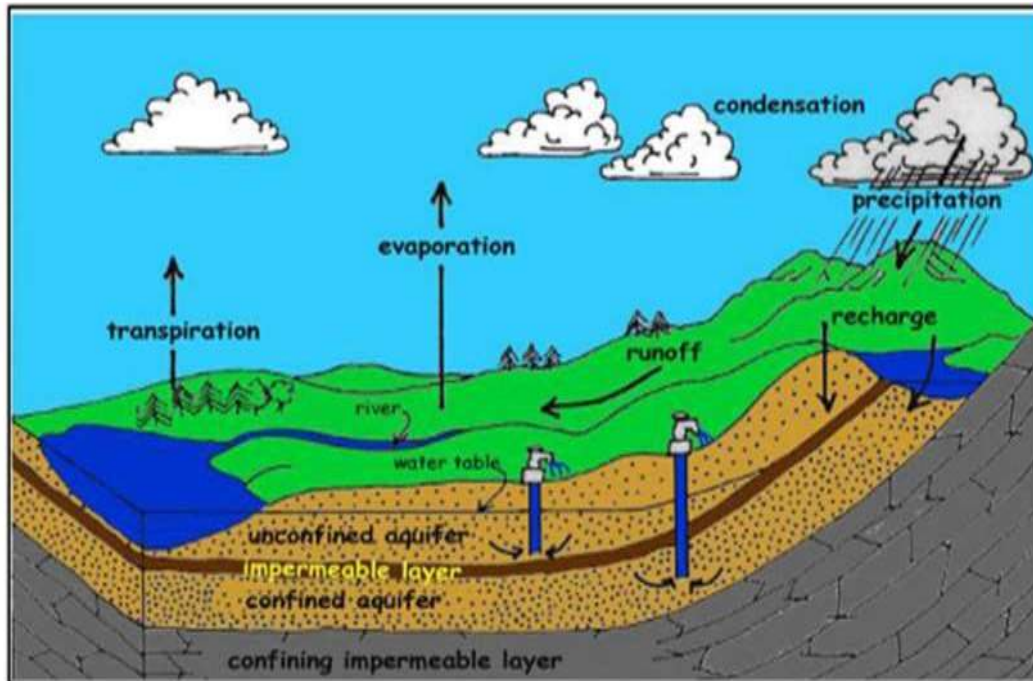
Air tanah dan air permukaan merupakan sumber air yang mempunyai ketergantungan satu sama lain, air tanah adalah sumber persediaan air yang sangat penting, terutama di daerah-daerah dimana musim kemarau atau kekeringan yang panjang menyebabkan berhentinya aliran sungai. Banyak sungai di permukaan tanah yang sebagian besar alirannya berasal dari sumber air tanah, sebaliknya juga aliran sungai yang merupakan sumber utama imbuhan air tanah.

3.3 Sistem Akuifer

Menurut pendapat para ahli ada beberapa pengertian tentang akuifer, [Todd \(1955\)](#) menyatakan bahwa akuifer berasal dari bahasa latin yaitu *aqui* dari kata *aqua* yang berarti air dan kata *ferre* yang berarti membawa, jadi akuifer adalah lapisan pembawa air. [Herlambang \(1996\)](#) menyatakan bahwa akuifer adalah lapisan tanah yang mengandung air, di mana air ini bergerak di dalam tanah karena adanya ruang antar butir-butir tanah. Berdasarkan kedua pendapat di atas, dapat disimpulkan bahwa akuifer adalah lapisan bawah tanah yang mengandung air dan mampu mengalirkan air.

Suatu akuifer mempunyai dua fungsi penting, yaitu sebagai penyimpan seperti sebuah waduk dan sebagai penyalur air seperti jaringan pipa. Kedua fungsi itu diemban oleh pori-pori atau rongga di dalam batuan akuifer itu. Dua sifat yang berhubungan dengan fungsinya sebagai penyimpan adalah porositas dan massa jenis ([Todd dan Mas. 2005](#)). Parameter akuifer seperti permeabilitas dan storativitas

memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan suatu akuifer untuk menyimpan dan meloloskan air.



Gambar 3.3

Sistem Akuifer (Krusseman dan Ridder, 1970)

Gambar 3.1 menunjukkan sebaran akuifer dan non akuifer di bawah permukaan tanah (Krusseman dan Ridder, 1970), dikenali adanya sistem akuifer sebagai berikut :

1. Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*)

Akuifer yang seluruh jumlahnya air yang dibatasi oleh lapisan kedap air, baik yang di atas maupun di bawah, serta mempunyai tekanan jenuh lebih besar dari pada tekanan atmosfer.

2. Akuifer Semi Tertekan (*Semi Confined Aquifer*)

Akuifer yang seluruhnya jenuh air, dimana bagian atasnya dibatasi oleh lapisan semi lolos air di bagian bawahnya merupakan lapisan kedap air.

3. Akuifer Semi Bebas (*Semi Unconfined Aquifer*)

Akuifer yang bagian bawahnya yang merupakan lapisan kedap air, sedangkan bagian atasnya merupakan material berbutir halus, sehingga pada lapisan

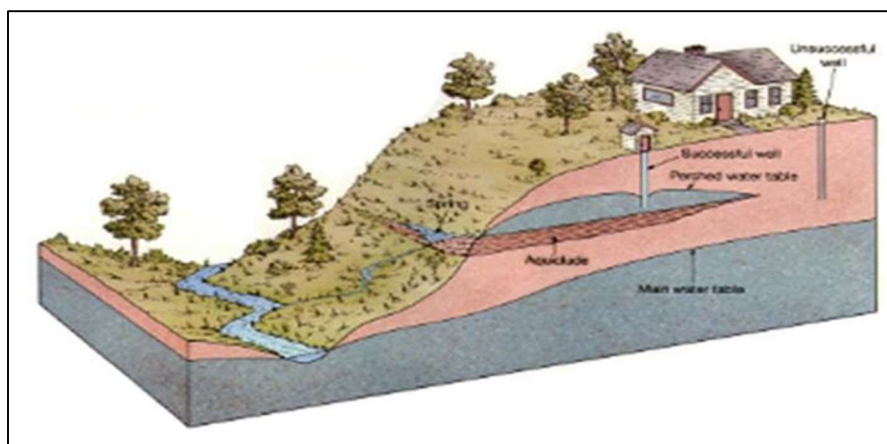
penutupnya masih memungkinkan adanya gerakan air. Dengan demikian akuifer ini merupakan peralihan antara akuifer bebas dengan akuifer semi tertekan.

4. Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)

Lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Akuifer bebas lapisan atasnya mempunyai permeabilitas yang tinggi, sehingga tekanan udara di permukaan air sama dengan atmosfer.

Menurut Danaryanto (2008) Berdasarkan perlakuannya terhadap air tanah, terdapat lapisan-lapisan batuan selain akuifer yang berada di bawah permukaan tanah. Lapisan-lapisan batuan tersebut dapat dibedakan menjadi: *aquifer*, *aquiclude*, *aquitard*, dan *aquifuge*.

Aquifer adalah lapisan/formasi yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah besar. Lapisan batuan ini bersifat permeabel seperti kerikil, pasir, dll. *Aquitard* adalah formasi geologi yang semi kedap, mampu mengalirkan air tetapi dengan laju yang sangat lambat jika dibanding dengan akuifer. Meskipun demikian dalam daerah yang sangat luas, mungkin mampu membawa sejumlah besar air antara akuifer yang satu dengan lainnya. *Aquifuge* merupakan formasi kedap yang tidak mengandung dan tidak mampu mengalirkan air. *Aquiclude* adalah formasi geologi yang mungkin mengandung air, tetapi dalam kondisi alami tidak mampu mengalirkannya, misalnya lapisan lempung, serpih, tuf halus, lanau. Untuk keperluan praktis, *aquiclude* dipandang sebagai lapisan kedap air. Letak *aquiclude* dapat dilihat pada sistem akuifer menggantung pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4

Sistem Akuifer Menggantung (Fetter, 2001)

3.4 Parameter Akuifer

Terdapat lima parameter penting untuk menentukan karakteristik akuifer yaitu konduktivitas hidraulik, storativitas, porositas, transmisivitas dan *Specific Yield* (S_y). Parameter tersebut dapat diperoleh dari studi lapangan maupun studi literatur.

3.4.1 Konduktivitas Hidraulik

Konduktivitas hidraulik merupakan suatu parameter dalam aliran air melalui media berpori yang menyatakan laju kelulusan air per satuan luas penampang media yang dilalui. Adapun persamaan konduktivitas hidraulik dalam permodelan yang digunakan adalah :

$$K = \frac{-Q}{A\left(\frac{dh}{dl}\right)} \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan :

K = Konduktivitas hidraulik (m/det)

Q = Debit (m^3/det)

A = Luas penampang (m^2)

dh = Perubahan julang (m)

dl = Perubahan panjang (m)

Nilai konduktivitas hidraulik akan dipengaruhi oleh karakter fisik yang dimiliki oleh media tersebut, di antaranya adalah besar butir, jumlah rekahan yang dimiliki, porositas, keseragaman butir, dan penyebaran butiran (Domenico dan Schwartz, 1990). Nilai konduktivitas hidraulik pada batuan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4
Nilai Konduktivitas Hidraulik Batuan
(Domenico dan Schwartz, 1990)

Material Sedimen tidak terkonsolidasi (Uncosolidated Sedimentary Materials)	
Material	K (m/det)
Kerakal (<i>Gravel</i>)	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$
Pasir Kasar	$9 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-3}$

Lanjutan Tabel 3.4

Pasir Sedang	$9 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-4}$
Pasir Halus	$2 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-4}$
Lanau	$1 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-5}$
Endapan Glasial (<i>Till</i>)	$1 \times 10^{-12} - 2 \times 10^{-6}$
Lempung	$1 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-9}$
Lempung laut tidak lapuk	$8 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$
Batuan Sedimen	
Jenis Batuan	K (m/det)
Karst dan batugapung terumbu (<i>reef limestone</i>)	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-2}$
Batugamping dan Dolomit (<i>limestone, dolomite</i>)	$1 \times 10^{-9} - 6 \times 10^{-6}$
Batupasir (<i>Sandstone</i>)	$3 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-6}$
Batulanau (<i>Siltstone</i>)	$1 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$
Garam (<i>Salt</i>)	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-10}$
<i>Anhydrite</i>	$4 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-8}$
Serpit (<i>Shale</i>)	$1 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$

3.4.2 Porositas

Porositas adalah perbandingan antara isi ruang antar butir dengan total isi suatu material. Porositas juga dapat didefinisikan sebagai persentase rongga (ruang kosong yang ditempati air atau udara) dalam total volume batuan (Naven, 2009).

Secara matematis porositas dapat didefinisikan dalam persamaan:

$$n = \frac{V_v \cdot 100}{V} \dots\dots\dots (3.11)$$

Keterangan :

n = Porositas (%)

V_v = Volume Spasi (L^3)

V = Volume Total (L^3)

Klasifikasi nilai porositas pada batuan dibedakan dari jenis batuan itu sendiri. Adapun nilai porositas batuan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5
Nilai Porositas Batuan (Morris and Johnson, 1967)

Batuan Kristalin (<i>Crystalline Rock</i>)	
Jenis Batuan	Porositas (%)
Basal	3 – 35
Granit Lapuk	34 – 57
Gabro Lapuk	42 – 45
Material Sedimen tidak terkonsolidasi (<i>Uncosolidated Sedimentary Materials</i>)	
Material	Porositas (%)
Kerakal Kasar	24 – 37
Kerakal Sedang	24 – 44
Kerakal Halus	25- 39
Pasir Kasar	31 – 46
Pasir Sedang	29 – 49
Pasir Halus	26 – 53
Lempung	34 – 57
Lanau	34 – 61
Batuan Sedimen	
Jenis Batuan	Porositas (%)
Batugamping (<i>Limestone</i>)	7 – 56
Batupasir (<i>Sandstone</i>)	14 – 49
Batulanau (<i>Siltstone</i>)	21 – 41
Batulempung (<i>Claystone</i>)	41 – 45
Dolomit (<i>Dolomite</i>)	19 – 33
Serpil (<i>Shale</i>)	1-10

3.4.3 Storativitas

Storativitas (S) adalah volume air yang dapat diserap atau dikeluarkan oleh lapisan yang permeabel setiap satuan luas permukaan dan perubahan julang. Storativitas tidak memiliki dimensi.

$$S = bS_s \dots\dots\dots (3.12)$$

Keterangan :

- S = Storativitas
- b = Tebal akuifer [L]
- S_s = Storativitas spesifik [1/L]

Storativitas spesifik dipengaruhi oleh berat jenis air, gaya gravitasi, kompresibilitas akuifer, porositas dan kompresibilitas air. Nilai storativitas spesifik dinyatakan pada persamaan berikut.

$$S_s = \rho_w g (\alpha + n\beta) \dots\dots\dots (3.13)$$

Keterangan :

- S_s = Storativitas spesifik [1/L]
- α = Kompresibilitas akuifer (1/(M/LT²); 1/(N/m²))
- β = Kompresibilitas air (1/(M/LT²); 1/(N/m²))
- ρ_w = Berat jenis air (M/L ; kg/m³)
- g = Gaya gravitasi (L/T²;m/s²)
- n = Porositas Akuifer (%)

Adapun literatur terkait dengan nilai storativitas di batuan mengacu pada klasifikasi nilai storativitas yang dikemukakan oleh Heath (1983) pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6
Nilai Parameter Storativitas (Heath, 1983)

Material	Porosity (%)	Specific Yield (%)	Specific Retention (%)
Soil	55	40	15
Clay	50	2	48
Sand	25	22	3
Gravel	20	19	1
Limestone	20	18	2

Lanjutan Tabel 3.6

Sandstone (unconsolidated)	11	6	5
Granite	0,1	0,09	0,01
Basalt	11	8	3

3.4.4 *Specific Yield*

Specific Yield (S_y) adalah perbandingan volume air yang keluar dari material yang jenuh karena gaya gravitasi terhadap total volume material tersebut. *Specific retention* (S_r) adalah perbandingan volume air yang dapat bertahan melawan gaya gravitasi terhadap total volume material. Ukuran butir yang semakin kecil pada material akan menyebabkan *specific retention* yang semakin besar.

Dalam satu material yang sama, penjumlahan antara *specific yield* (S_y) dan *specific retention* (S_r) akan menghasilkan nilai porositas (n) dari material tersebut, seperti pada persamaan (3.5).

$$n = S_y + S_r \dots\dots\dots (3.14)$$

Keterangan :

- n = Porositas (%)
- S_y = *Specific Yield* (%)
- S_r = *Specific Retention* (%)

3.4.5 Transmisivitas

Transmisivitas adalah angka yang menyatakan laju aliran air melewati satuan luas akuifer per satuan waktu. Nilai T dapat ditentukan dari hasil perkalian antara koefisien kelulusan dengan ketebalan akuifer. Menurut Todd (1990) persamaan transmisivitas adalah :

$$T = bK \dots\dots\dots (3.15)$$

Keterangan :

- T = Transmisivitas (L^2/T ; ft^2/d atau m^2/det)
- b = Ketebalan akuifer jenuh air (L; m)
- K = Konduktivitas Hidraulik (L/T ; m/det)

3.5 Pemodelan Air Tanah

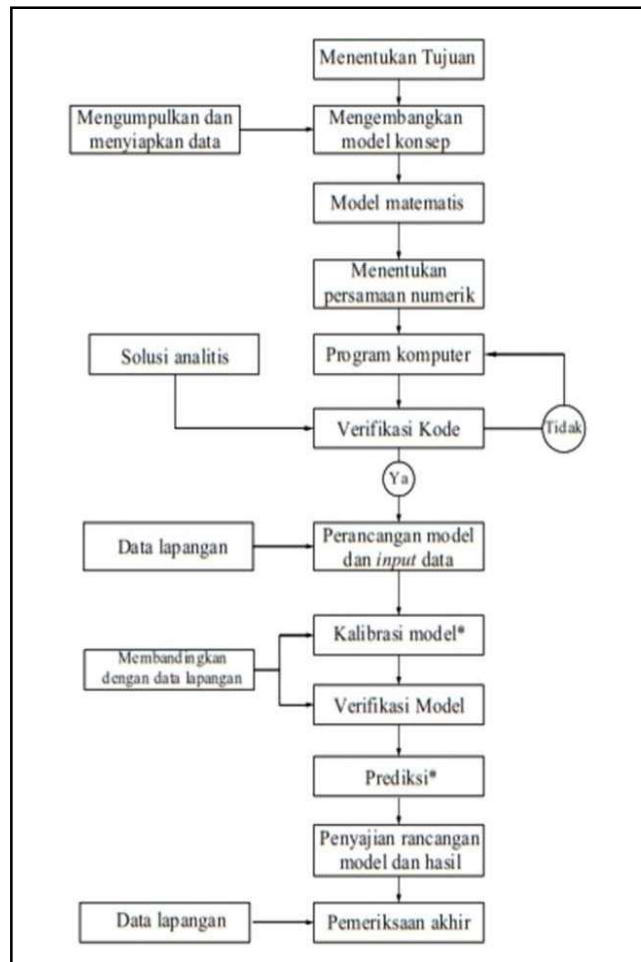
Model aliran air tanah adalah model yang secara kuantitatif mewakili keadaan muka air tanah dalam ruang dan waktu sebagai representasi sederhana dari kondisi hidrogeologi yang kompleks di bawah permukaan. Menurut Hendrayana (1994), pembuatan model air tanah merupakan hal yang harus dilakukan pada setiap perencanaan, perancangan, pengembangan, pemanfaatan, pengelolaan, dan pelestarian air tanah di suatu daerah tanah.

Dari model aliran air tanah, diharapkan mampu memprediksi suatu variabel yang tidak diketahui nilainya, seperti nilai tinggi tekan, distribusi tekanan maupun nilai variabel lainya dalam waktu dan ruang tertentu. Semakin kompleks suatu model yang akan disusun, maka akan semakin banyak parameter yang ditinjau dan dipakai dalam pemodelan. Semakin sedikit asumsi dan penyederhanaan yang digunakan dalam pemodelan maka semakin akurat dan kompleks model yang dihasilkan. Untuk memudahkan pemodelan perlu dilakukan konseptualisasi model sebagai langkah pertama sebelum dilanjutkan ke tahap berikutnya (Anderson, 2015).

Model konseptual adalah gambaran sederhana dari suatu sistem aliran air tanah, biasanya disajikan dalam bentuk blok diagram atau sayatan melintang (Anderson dan Woessner, (1992)). Konseptual model dibentuk dari kajian secara menyeluruh dari akuisisi data lapangan dan data sekunder, serta analisis interpretasi data. Menurut Wagner (2007), konseptual model dapat didefinisikan sebagai gambaran bentuk simplifikasi dari keadaan aktual yang kompleks. Data geologi dan hidrogeologi seperti log bor, muka air tanah terpantau, dan data meteorologi digunakan sebagai dasar penyusunan konseptual model.

3.5.4 Alur Proses Pemodelan

Pemodelan air tanah dilakukan dengan beberapa tahapan yang dilakukan sebelum mendapatkan hasil akhir. Tahapan pemodelan yang akan dilakukan dalam Gambar 3.5 (Anderson dan Woessner, 1992).



Gambar 3.5

Proses Pemodelan Air tanah (Anderson dan Woessner, 1992)

3.5.2 Model Numerik

Pemodelan air tanah dapat diselesaikan dengan beberapa cara seperti model analitik, model media berpori, model aliran viskous, model membran, model analogi elektrik, model empiris, model kesetimbangan massa, serta model numerik (Spitz & Moreno, 1996). Model Numerik adalah salah satu model matematik yang menggunakan persamaan matriks untuk menyelesaikan masalah.

Model numerik dibagi menjadi *finite difference* dan *finite element*. *Finite difference* membutuhkan diskretisasi akuifer berbentuk kotak sedangkan *finite element* menggunakan jaringan berupa sel poligonal yang pada umumnya berbentuk kotak (Todd, 2005). Persamaan matematis yang digunakan dalam pemodelan aliran air tanah merupakan kombinasi antara hukum kesetimbangan Massa dan Hukum Darcy, yang secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = Ss \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \dots\dots\dots (3.16)$$

Keterangan :

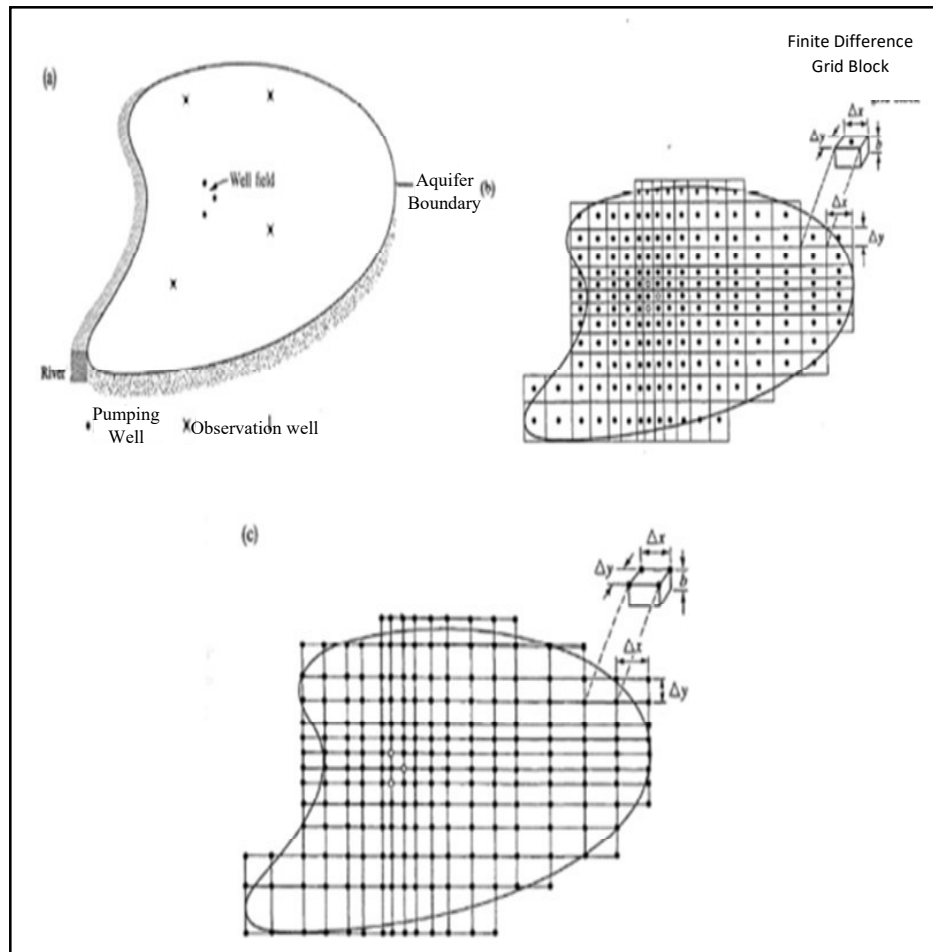
- $\partial x, \partial y, \partial z$ = Perubahan satuan panjang pada arah koordinat $x, y,$ dan z
- x, y, z = Arah koordinat
- K_x, K_y, K_z = Konduktivitas hidraulik pada arah koordinat x, y, z (L/T)
- Ss = Koefisien daya simpan (L/T)
- h = Tinggi muka air tanah (L)
- t = Waktu (T)
- R^* = Volume aliran yang masuk ke dalam sistem (L³/T)

Metode diskritisasi yang digunakan dalam perangkat lunak adalah metode beda hingga (*finite difference*) yang telah didukung oleh *engine* guna menyelesaikan persamaan matriks.

3.5.3 Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*)

Metode beda hingga (*finite difference*) adalah salah satu teknik untuk mencari solusi persamaan diferensial (persamaan aliran air tanah) menggunakan pendekatan dengan persamaan linier simultan (Devy, 2014). Ide dasar dari metode beda hingga ini adalah untuk mengganti turunan pada sebuah titik dengan perbandingan perubahan pada interval yang kecil tapi terbatas.

Dalam permodelan, baik itu penggunaan *finite element* atau *finite difference*, sistem *node* diletakan di atas domain permasalahan. Dalam metode beda hingga (*finite difference*), *node* terletak di dalam sel/blok (Gambar 3.6b) atau di titik potong *grid lines* (Gambar 3.6c). *Grid* pada Gambar 3.6b merupakan *block centered node*, sedangkan *grid* pada Gambar 3.6c merupakan *mesh centered node*. Terlepas dari persamaan yang digunakan dalam metode beda hingga (*finite difference*), itu tidak mempengaruhi sistem *node* yang digunakan dalam model.



Gambar 3.6

Sistem *node* dalam *finite difference method* (Anderson, 1982)

3.5.4 Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Dalam pemodelan air tanah terdapat konsep mengenai daerah atau area. Hal tersebut meliputi *research area*, *model area*, dan *target area*.

1. *Research Area* (daerah penelitian) merupakan daerah yang mencakup keseluruhan area dalam pemodelan air tanah, termasuk di dalamnya model area dan target area. Dengan kata lain, *research area* merupakan area terluar dan terluas dibandingkan dengan area lain dalam pemodelan air tanah.
2. *Model Area* (daerah pemodelan) merupakan daerah dimana terdapat batas fisik air tanah yang dipengaruhi oleh kondisi geologi dan hidrologi.

Identifikasi kondisi batas-batas fisik air tanah sangat diperlukan dalam konseptual model. Menurut Franke dkk (1987), kondisi batas dalam pemodelan air tanah dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu:

1. *Specified head* adalah batas berdasarkan *hydraulic head* yang diketahui serta didefinisikan sebagai suatu fungsi dari ruang dan waktu, contohnya adalah badan air yang luas seperti danau, laut, serta tinggi muka air yang tidak terpengaruh oleh kejadian dalam cekungan air tanah.
2. *Specified flux* adalah batas dimana volume air tanah dapat masuk ke dalam akuifer per satuan waktu, dapat pula sebagai *recharge* yang mengalir menuju air tanah. Batas tersebut dapat pula sebagai *zero flow*, dimana tidak ada aliran tanah yang dapat melalui batas tersebut.
3. *Head dependent flux* adalah batas dimana aliran air tanah menjadi fungsi linear dari julang pada akuifer. Ketika julang turun, maka aliran air tanah yang melewati akuifer semi tertekan menjadi bertambah. Sebaliknya ketika julang naik, maka aliran air tanah yang melewati akuifer semi tertekan menjadi berkurang.

Target area (daerah target) atau sering disebut dengan *interest area* merupakan daerah yang benar-benar ingin diketahui menjadi kondisi air tanahnya. Daerah tersebut dapat berupa wilayah kegiatan penambangan, pemukiman, atau daerah pertanian.

3.5.5 Kalibrasi Model

Kesalahan pada pemodelan awal menyebabkan model perlu dikalibrasi dengan melakukan simulasi ulang sampai tingkat kesalahan yang paling minimum. Proses kalibrasi model ditujukan untuk menyempurnakan hasil model agar sesuai dengan pengukuran di lapangan. Kalibrasi model dilakukan dengan menyesuaikan beberapa parameter yang mempunyai variabel bebas dengan batasan realistis (Ramrav, 2010).

Dalam model aliran air tanah, julang air tanah yang dihasilkan dipaksa untuk mencocokkan julang titik terukur. Proses ini mencakup perbaikan kerangka hidrogeologi, properti hidrolika, serta kondisi batas pemodelan. Hal ini dilakukan untuk memperoleh tingkat keakuratan yang diinginkan dalam melakukan prediksi dalam pemodelan. Metode *trial and error* digunakan sebagai salah satu proses kalibrasi untuk menentukan parameter yang paling sensitif. Berdasarkan berbagai

literatur, parameter-parameter yang dinilai sensitif tersebut adalah nilai imbuhan air tanah dan konduktivitas hidraulik.

3.5.6 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas penting untuk kalibrasi, optimasi, penilaian risiko dan pengumpulan data. Dalam model air tanah regional, ada sejumlah besar parameter yang tidak pasti. Mengatasi ketidakpastian ini memakan waktu dan membutuhkan banyak usaha.

Analisis sensitivitas menunjukkan parameter atau parameter mana yang memiliki pengaruh lebih besar terhadap *output*. Parameter dengan pengaruh tinggi pada keluaran model harus mendapat perhatian paling besar dalam proses kalibrasi dan pengumpulan data. Selain itu, desain lokasi sampling, dan analisis sensitivitas dapat digunakan untuk mengatasi masalah optimasi.

Metode analisis sensitivitas yang paling umum adalah penggunaan pendekatan beda hingga untuk memperkirakan tingkat perubahan model *output* sebagai hasil perubahan pada parameter tertentu. Paket Estimasi Parameter "PEST" menggunakan metode ini (Doherty dkk, 1994). Beberapa metode analisis sensitivitas lain yang lebih efisien telah digunakan.

Diferensiasi otomatis telah digunakan untuk analisis sensitivitas pada model air tanah dan menghasilkan *output* yang tepat dibandingkan dengan perkiraan beda hingga (Baalousha 2007).

3.6 Penelitian Sejenis

Referensi diperlukan dalam melakukan sebuah penelitian. Beberapa referensi berasal dari nasional maupun internasional. Referensi dijadikan sebagai acuan penelitian dan pembaruan penelitian. Berikut merupakan referensi penelitian yang sudah dirangkum:

Tabel 3.7
 Penelitian Sejenis

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Surinaidu, dkk (2014)	<i>Hydrogeological and Groundwater Modeling Studies to Estimate The Groundwater Inflows into The Coal Mines at Different Mine Development Stages Using MODFLOW, Andhra Pradesh, India</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan dibuat berdasarkan 183 lubang bor dengan total ketebalan lapisan 320 m 2. Debit air yang masuk ke tambang yaitu 5.877 m³/hari, 12.818 m³/hari, 12.910 m³/hari, 20.428m³/hari, 22.617 m³/hari, dan 14.504 m³/hari pada 6 kemajuan penambangan yang berbeda yaitu 124 mdpl, 93 mdpl, 64 mdpl, 41 mdpl, 0 mdpl, dan -41 mdpl 3. Hasil Penelitian dapat digunakan sebagai bahan mengambil keputusan penirisan air tanah pada tambang SCCL
2	Hendrayana, dkk (2018)	<i>Groundwater Flow Modeling in the Malioboro, Yogyakarta, Indonesia</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terjadinya penurunan muka air tanah di daerah Malioboro, Yogyakarta, Indonesia 2. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kondisi air tanah 10 tahun mendatang 3. Besar eksploitasi air tanah melalui sumur gali adalah 4.727 m³/hari dan sumur pompa 1.648 m³/hari selama 10 tahun kedepan 4. Air tanah mengalami penurunan 0,25 m 10 tahun kedepan
3	Devy, dkk (2014)	Pemodelan Air Tanah Daerah Penambangan Batubara P1T Terbuka di Muara Lawa, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elevasi muka air tanah mengalami perubahan setelah dilakukan penambangan. Penurunan elevasi penambangan hingga -70 m dan penambahan elevasi 40 m pada disposal 2. Perubahan aliran air pada <i>pit</i> juga dialami dan terbentuknya <i>pit lake</i>

Lanjutan Tabel 3.7

4	Al-Muqdad,dkk (2020)	<i>Groundwater Flow-Modeling and Sensitivity Analysis in a Hyper Arid Region</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data masukan berupa imbuhan air tanah pada daerah tertentu sulit didapatkan 2. Analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan imbuhan yang tepat dalam pemodelan air tanah
5	Ansori,dkk (2020)	<i>Groundwater Model with Finite Difference Method on Open Pit Coal Mine in West Aceh Regency, Nanggroe Aceh Darusalam, Indonesia</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil pemodelan menunjukkan air mengalir ke pantai di bagian barat daya-selatan area model 2. Terjadi penurunan muka air tanah sebesar 18-20 m selama umur tambang 3. Penurunan muka air tanah di pemukiman 3-5 m tepatnya di selatan dan barat area tambang
6	Waspodo (2002)	Pemodelan Aliran Air Tanah pada Akuifer Tertekan dengan Menggunakan Metoda Beda Hingga (<i>Finite Difference Method</i>) di Kecamatan Kertajati, Kabupaten Majalengka	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terdapat 2 jenis akuifer. Akuifer bebas berupa lempung pasir , tifaan, dan pasir yang dalam keseharian dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari. Sedangkan, akuifer dalam digunakan sebagai air irigasi berupa sumur bor. 2. Muka air tanah sumur dangkal 8-16 m dari permukaan dan sumur dalam 38 mdpl 3. Arah aliran air cenderung menuju Utara dari Baratdaya dan Tenggara
7	Bajie & Polomeie (2015)	<i>Application of Groundwater Modeling for Designing A Dewatering System : Case Study of The Buvac Open Cast Mine, Bosnia and Herzegovina</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Model digunakan untuk mensimulasi dampak operasi dari 3 skenario sistem penirisan dari tambang terbuka Buvac 2. Penelitian ini merencanakan 3 skenario untuk mengatasi masalah air di tambang 3. Skenario 1 menggunakan metode pemompaan sumur, skenario 2 menggunakan metode <i>cut-off wall</i>, skenario 3

Lanjutan Tabel 3.7

8	Szczepinski (2019)	<p><i>The Significance of Groundwater Flow Modeling Study for Simulation of Opencast Mine Dewatering, Flooding, and The Environmental Impact</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan air tanah digunakan untuk mengidentifikasi dampak penirisan air pada tambang, banjir, dan dampak lingkungan 2. Simulasi dilakukan pada saat penambangan dan pascatambang
---	--------------------	--	--

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1. Topografi Daerah Penelitian

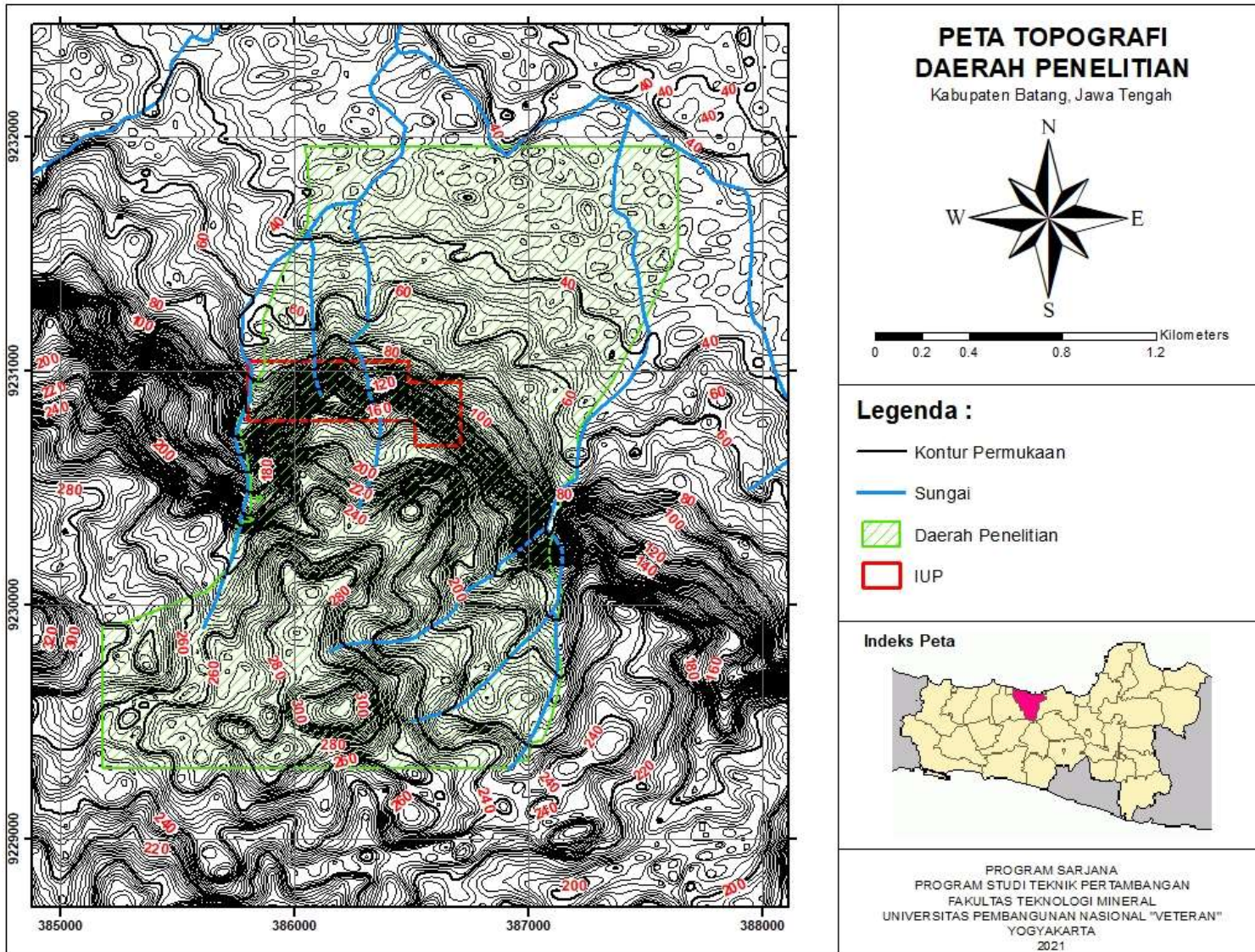
Data topografi di daerah penelitian diperoleh dari DEMNAS yang merupakan pusat data Sistem Informasi Geografis yang disediakan oleh pemerintah Indonesia. Dari data tersebut diperoleh informasi terkait dengan kondisi rona permukaan di daerah penelitian. Lokasi penelitian berada di daerah yang cukup curam dimana di bagian Selatan daerah penelitian merupakan dataran tinggi berbentuk perbukitan dan di bagian Utara merupakan dataran rendah yang digunakan sebagai pemukiman dan agrikultur. Secara spesifik di lokasi penelitian terdapat punggung dimana di bagian Barat dan Timurnya terdapat aliran sungai yang mengalir ke arah Utara. Informasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1. peta topografi daerah penelitian.

4.2. Kondisi Hidrologi Daerah Penelitian

Data hidrologi yang dikaji berupa data curah hujan harian, analisis air limpasan (*run-off*), dan nilai imbuhan (*recharge*). Data tersebut nantinya akan dikorelasikan sebagai parameter input ke dalam kajian hidrogeologi khususnya pemodelan air tanah.

4.2.1 Curah Hujan

Data curah hujan pada penelitian ini merupakan data sekunder dari BMKG. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan tahunan selama 12 tahun terakhir. Tabel 4.1 berikut merupakan rangkuman data curah hujan yang dipakai dalam penelitian. Untuk Data Curah Hujan Harian dapat di lihat di Lampiran A.



Gambar 4.1
Peta Topografi Daerah Penelitian

Tabel 4.1
Curah Hujan Bulanan Di Kecamatan Gringsing

Tahun	Data Curah Hujan Maksimal 2013-2019												Total	Maksimal per Tahun
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember		
2009	61,25	44,85	26,35	45,91	33,49	37,21	17,06	5,12	18,81	27,10	33,87	55,57	406,59	61,25
2010	53,03	47,30	62,96	49,76	59,81	50,76	54,89	17,48	23,33	30,77	43,51	108,95	602,55	108,95
2011	54,92	46,75	18,70	38,30	19,25	31,70	15,50	0,16	24,73	15,16	46,85	17,58	329,60	54,92
2012	32,50	53,97	45,29	17,08	36,77	19,77	0,78	0,57	6,92	24,62	23,68	35,64	297,59	53,97
2013	65,09	78,81	34,24	51,96	31,14	53,98	24,45	22,19	31,72	10,91	25,26	39,08	468,83	78,81
2014	70,99	54,93	17,92	9,51	15,25	13,70	32,01	14,20	1,01	8,87	22,65	33,97	295,01	70,99
2015	35,57	88,46	26,94	73,39	36,15	22,24	3,23	5,08	0,10	0,30	17,74	43,35	352,55	88,46
2016	22,52	45,37	12,29	31,91	15,57	34,68	28,39	36,53	45,49	36,29	27,55	26,52	363,11	45,49
2017	25,19	75,76	29,33	31,41	19,30	22,25	6,35	1,23	34,72	45,57	31,15	45,91	368,17	75,76
2018	23,81	86,82	58,43	33,96	5,39	22,68	0,63	0,12	3,75	14,27	28,05	63,81	341,72	86,82
2019	41,94	38,60	25,18	39,64	22,66	0,53	2,06	1,58	18,39	11,73	10,22	39,67	252,20	41,94
2020	54,55	50,19	34,70	32,08	43,45	10,55	34,73	21,07	26,88	20,87	37,54	49,10	415,71	54,55
Rata Rata CH Maksimum														68,49

4.2.2 Air Limpasan (*Run Off*)

Sumber debit air limpasan daerah penelitian berasal dari air hujan yang jatuh di daerah penelitian. Debit air limpasan nantinya akan digunakan dalam perhitungan jumlah air yang terinfiltrasi ke dalam tanah (*recharge*). Dikarenakan model air tanah yang dibentuk dalam kondisi *steady state* maka nilai *recharge* yang akan digunakan adalah dalam satuan mm/jam. Perhitungan nilai air limpasan dapat dilihat pada Lampiran F. Nilai air limpasan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2
Nilai Air Limpasan Daerah Penelitian

Area DTH	Nilai <i>Run-off</i> (m ³ /detik)	Nilai <i>Run-off</i> (m ³ /jam)
DTH 1	0,92	3334
DTH 2	1,05	3778
DTH 3	1,16	4118
DTH 4	1,03	3704
DTH 5	2,8	10073
Rata-rata	1,4	5014,4

4.2.3 Imbuhan Air Tanah (*Recharge*)

Nilai imbuhan air tanah atau *recharge* yang didapatkan melalui perhitungan pada Lampiran F dapat dilihat pada Tabel 4.3.

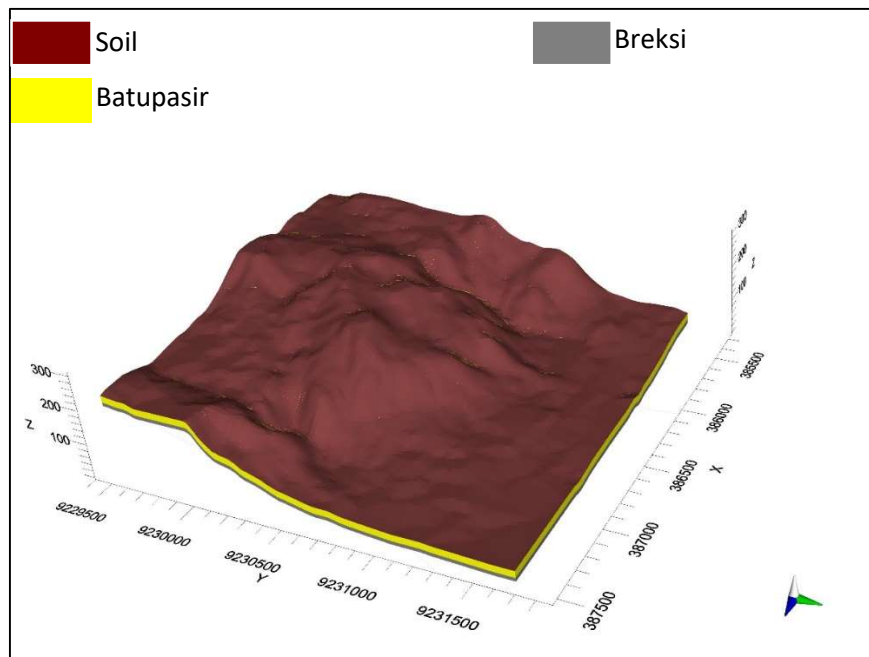
Tabel 4.3

Nilai *Recharge* Daerah Penelitian

Area DTH	Nilai <i>Recharge</i> (mm/jam)
DTH 1	21,15
DTH 2	19,03
DTH 3	21,15
DTH 4	19,03
DTH 5	19,30
Rata-rata	19,93

4.3. Kondisi Hidrogeologi Daerah Penelitian

Litologi daerah penelitian terdiri dari lapisan batuan sedimen klastik (batupasir) di mana pada perlapisan ini yang menjadi lapisan akuifer dan dapat menampung dan mengalirkan air tanah (Gambar 4.2).



Gambar 4.2
Konseptual Model Litologi Daerah Penelitian

Kondisi atau jenis akuifer pada daerah penelitian termasuk dalam jenis akuifer bebas (*Unconfined aquifer*). Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) adalah Lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Akuifer bebas lapisan atasnya mempunyai permeabilitas yang tinggi, sehingga tekanan udara di permukaan air sama dengan atmosfer.

Nilai parameter akuifer pada daerah penelitian ditentukan seperti pada Tabel 4.4 berikut dimana nilai parameter akuifer mengacu kepada Tabel 3.4 tentang klasifikasi nilai konduktivitas hidraulik batuan menurut Domenico (1990). Di lapangan terdapat 3 lapisan utama yang telah disederhanakan, lapisan tersebut berupa lanau, batupasir, dan singkapan breksi. Kondisi tanah di area penelitian berciri tanah pasir berlanau yang padat (*dense grained silty sand*) sehingga parameter akuifernya diklasifikasikan dalam rentang nilai lanau pada klasifikasi konduktivitas hidraulik menurut Domenico (1990).

Tabel 4.4
Nilai Parameter Akuifer

Litologi	Konduktivitas Hidraulik (K) (m/s)	<i>Spesific Storage</i> (Ss) (m ⁻¹)	<i>Specific Yield</i> (Sy) (%)	<i>Effective Porosity</i> (%)	<i>Total Porosity</i> (%)
Lanau	1 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁴	0,17	0,17	0,55
Batupasir	1 x 10 ⁻⁴	5 x 10 ⁻⁴	0,21	0,21	0,53
Breksi	1 x 10 ⁻⁸	11 x 10 ⁻⁴	0,1	0,1	0,58

4.4. Litologi Daerah Penelitian

Litologi di daerah penelitian dapat dikelompokkan ke dalam beberapa bagian sebagai berikut:

1. Lanau

Lapisan pertama yang dijumpai merupakan lapisan tanah lanau termasuk tanah berbutir halus. Lanau memiliki sifat plastisitas lebih rendah daripada lempung dan mudah ditembus air dengan kedalaman $\pm 2\text{m}$.

2. Batupasir

Pasir merupakan material lepas-lepas sehingga di antara material tersebut tidak memiliki gaya ikat satu dengan lainnya, serta memiliki ukuran pasir 0,0625mm-2mm (Pettijohn dkk, 1987). Batupasir adalah batuan sedimen yang terutama terdiri dari mineral berukuran pasir atau butir-butir batuan yang dapat berasal dari pecahan batuan-batuan lainnya. Sebagian besar batu pasir terbentuk oleh kuarsa atau feldspar karena mineral tersebut paling banyak terdapat di kulit bumi. Pada lapisan batuan inilah terdapat akuifer sebagai tempat terperangkapnya air tanah. Ketebalan lapisan batupasir yang ada di daerah penelitian berkisar dari 15m – 20m. Informasi ketebalan lapisan didapat dari penelitian terdahulu yang mengestimasi sumber daya yang ada di daerah penelitian. Lapisan ini diasumsikan menerus dikarenakan lokasi penelitian berada di satu formasi geologi.

3. Breksi

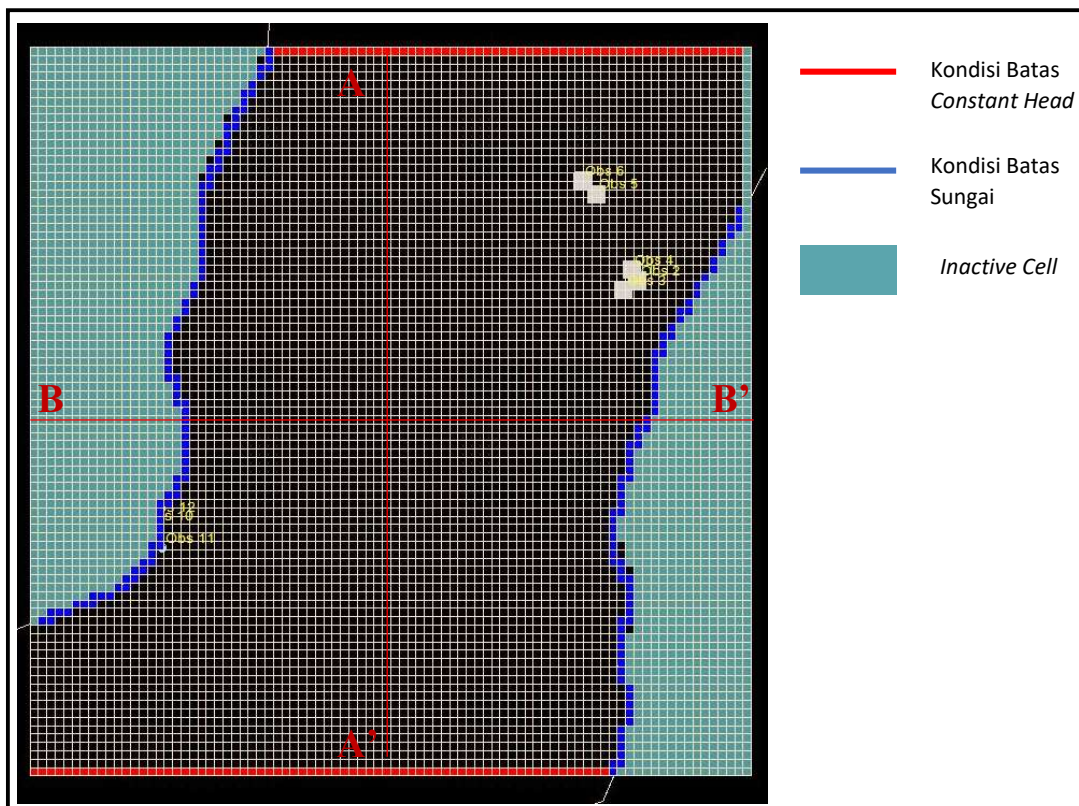
Batuan breksi yang sangat mirip dengan batuan konglomerat ini merupakan jenis batuan sedimen klastik. Batuan sedimen yang terbentuk dari pelapukan batuan beku. Lapisan breksi di penelitian ini berfungsi sebagai *base layer* atau lapisan dasar yang memiliki ketebalan $\pm 10\text{m}$. Dapat dikatakan bahwa pengertian batuan breksi adalah batuan sedimen klastik yang tersusun atas butiran-butiran fragmen dengan diameter lebih besar dari 2mm dan membentuk sudut-sudut fragmen yang angular.

4.5. Pemodelan Air Tanah

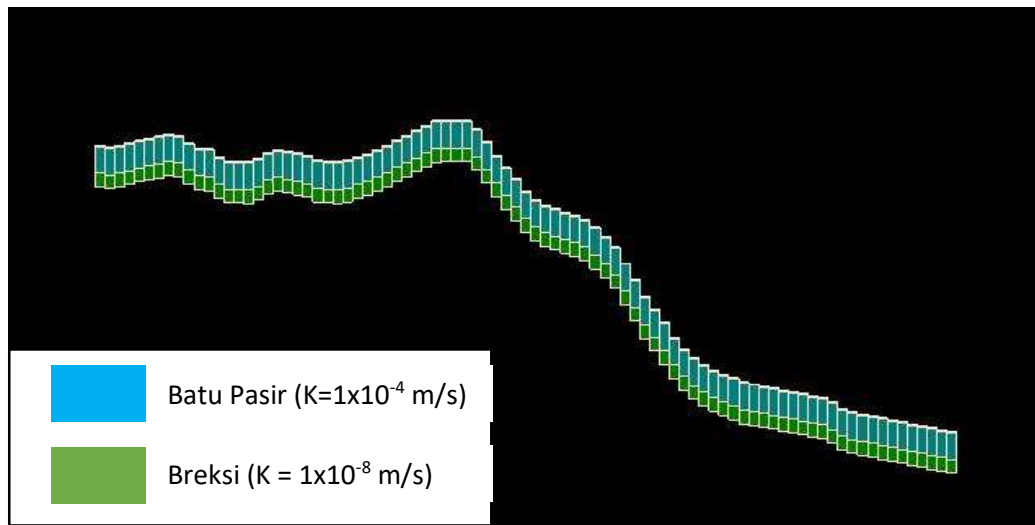
Pemodelan air tanah dilakukan menggunakan *software* Visual MODFLOW Licence @copyright Prodi Teknik Pertambangan UPNVYK yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran keadaan muka air tanah di daerah penelitian secara kuantitatif berdasarkan data observasi dan literatur.

4.5.1 Diskretisasi Grid

Daerah model penelitian memiliki luas area 2km x 2km. Terhadap daerah model dilakukan diskretisasi, sehingga menghasilkan 80 kolom dan 80 baris, sehingga menghasilkan *grid* yang berukuran 25m x 25m, ukuran *grid* ini dipilih karena akan memberikan hasil yang akurat untuk mewakili parameter-parameter pemodelan. Secara vertikal daerah model tersusun dari 3 *layer grid*. Berikut gambar daerah pemodelan pada *software Visual MODFLOW*. Gambar 4.3 merupakan bentuk diskretisasi *grid* daerah penelitian dimana area penelitian dibagi berdasarkan blok berbentuk persegi yang berukuran 25m x 25m. Area penelitian di batasi oleh sungai di bagian barat dan timur model (garis biru) serta tambahan kondisi batas *constant head* di bagian utara dan selatan (garis merah). Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 merupakan penampang horizontal dan vertikal untuk menggambarkan kondisi perlapisan setelah dibentuk *grid system*. Warna biru muda menggambarkan perlapisan batu pasir dan warna hijau menggambarkan lapisan breksi.

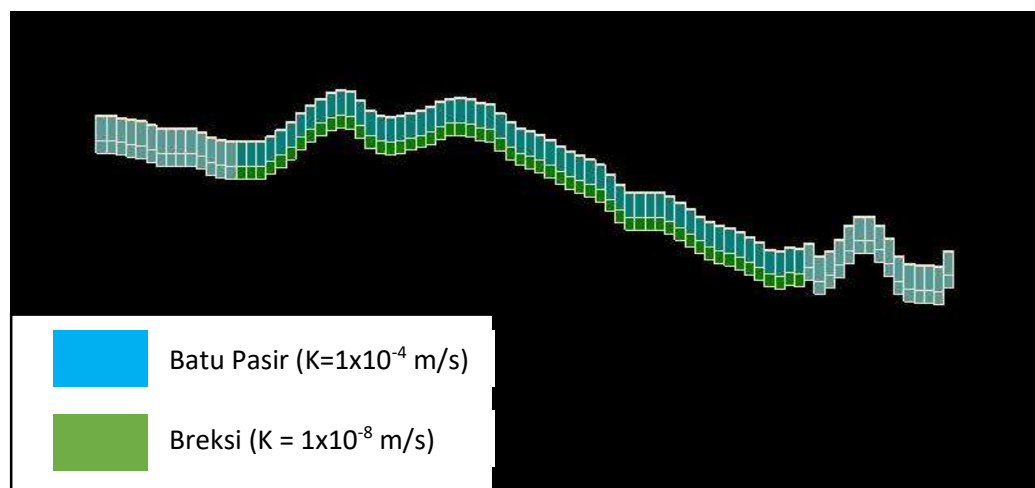


Gambar 4.3
Diskretisasi Grid Daerah Penelitian



Gambar 4.4

Penampang Sayatan Tampak A – A'



Gambar 4.5

Penampang Sayatan Tampak B – B'

4.5.2 Data Masukan Model

Dalam pembuatan pemodelan air tanah diperlukan beberapa masukan data ke dalam aplikasi *Visual MODFLOW*, yang dapat mewakili kondisi sistem air tanah di lapangan. Data yang dimaksud adalah data *properties*, *boundaries*, dan sumur pantau.

1. *Properties*

- a. Konduktivitas Hidraulik (*Conductivity*) dan Storativitas

Konduktivitas Hidraulik (*Conductivity*) dan storativitas dimasukkan pada model sesuai dengan litologi masing-masing batuan. Dalam memasukkan data konduktivitas hidraulik, diberikan dua asumsi. Asumsi yang pertama yaitu akuifer dianggap homogen. Asumsi yang kedua yaitu akuifer dianggap bersifat isotropis pada arah horizontal, sedangkan nilai konduktivitas pada arah vertikal lebih kecil satu orde dibandingkan pada arah horizontal. Adapun data dari Konduktivitas Hidraulik (*Conductivity*) dan Storativitas dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan 3.5, hasil dari penginputan data dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7. K_x merupakan nilai konduktivitas hidraulik pada sumbu x, K_y merupakan nilai konduktivitas hidraulik pada sumbu y, sedangkan K_z merupakan konduktivitas hidraulik pada sumbu z (vertikal). Parameter storativitas mengacu pada klasifikasi porositas batuan Morris dan Johson (1967).

Zone	K_x [m/s]	K_y [m/s]	K_z [m/s]	Active	Distribution Array
1	0.0001	0.0001	1E-5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1E-5	1E-5	1E-6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	0.0001	0.0001	1E-5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1E-8	1E-8	1E-9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gambar 4.6

Data Hasil Masukan Konduktivitas Hidraulik

Zone	S_s [1/m]	S_y []	Eff. Por. []	Tot. Por. []	Active	Distribution Array
1	1E-5	0.2	0.15	0.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0.0007	0.17	0.17	0.55	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	0.0005	0.21	0.21	0.53	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	0.0011	0.1	0.1	0.58	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gambar 4.7

Data Hasil Masukan dan Storativitas

2. *Boundaries*

Kondisi batas model yang terdapat dalam pemodelan ini adalah batas sungai, *constant head*, dan *recharge* sebagaimana digambarkan di gambar 4.3.

a. Sungai (*River*)

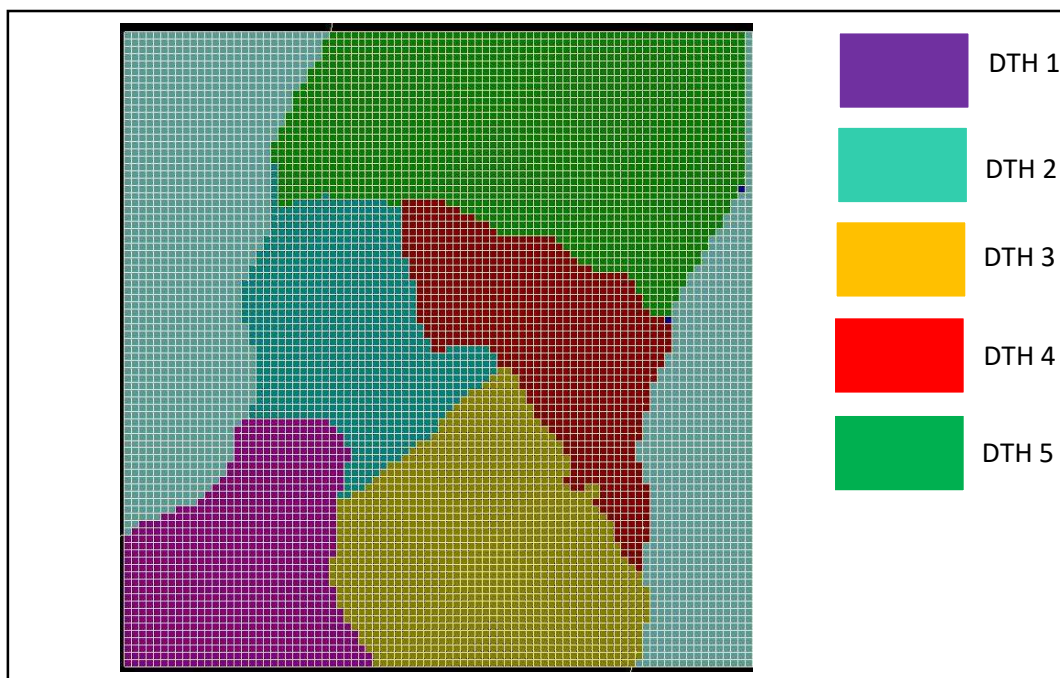
Batas yang terdapat pada model berupa sungai yang berada di bagian barat dan timur daerah penelitian.

b. *Constant head boundary*

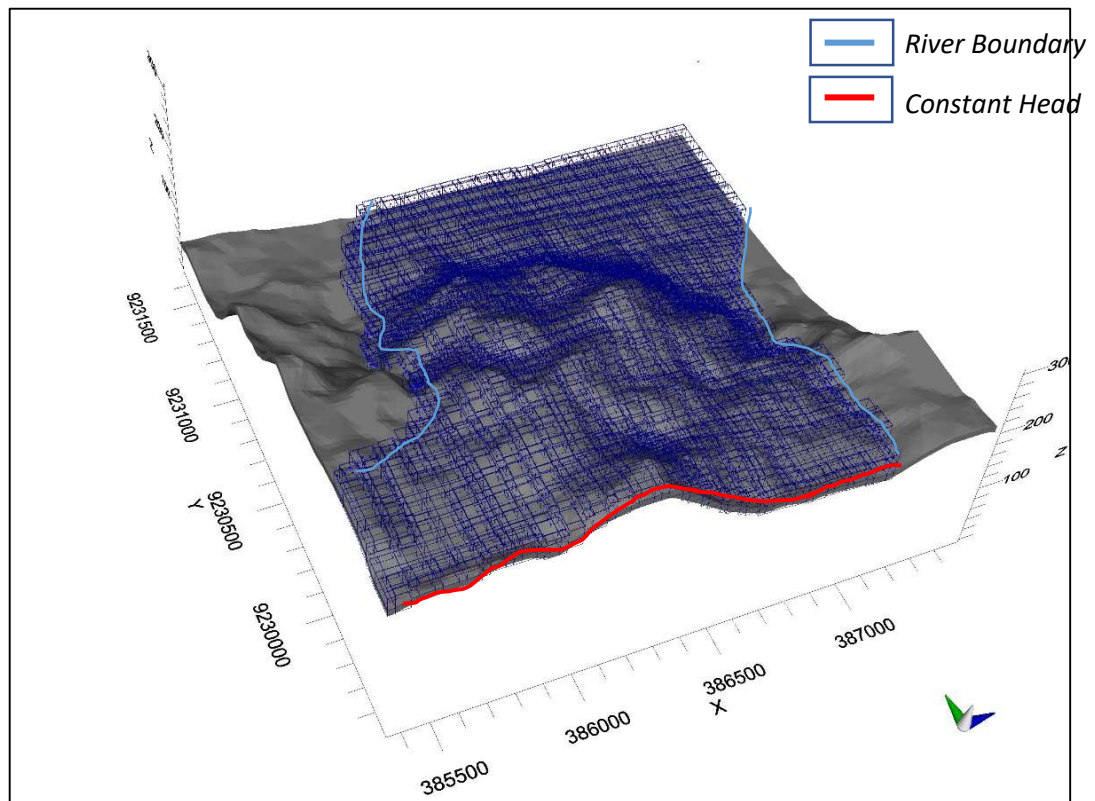
Batas *constant head boundary* yang terdapat pada model berupa asumsi kedalaman air tanah di daerah penelitian yang diasumsikan sejajar dengan lapisan akuifer atas yaitu sedalam $\pm 5\text{m} - 7\text{m}$ dari permukaan.

c. Imbuan (*Recharge*)

Imbuan (*recharge*) merupakan jumlah air yang masuk ke dalam model. Nilai imbuan berasal dari presipitasi yang terinfiltrasi masuk ke dalam sistem air tanah. Data imbuan (*recharge*) yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Visual MODFLOW* sesuai dengan hasil perhitungan pada Tabel 4.3. Area *input recharge* adalah daerah tangkapan hujan yang tertera pada Lampiran E yang kemudian dimasukkan ke dalam program visual MODFLOW (Gambar 4.8)



Gambar 4.8
Pembagian Area *Recharge*



Gambar 4.9

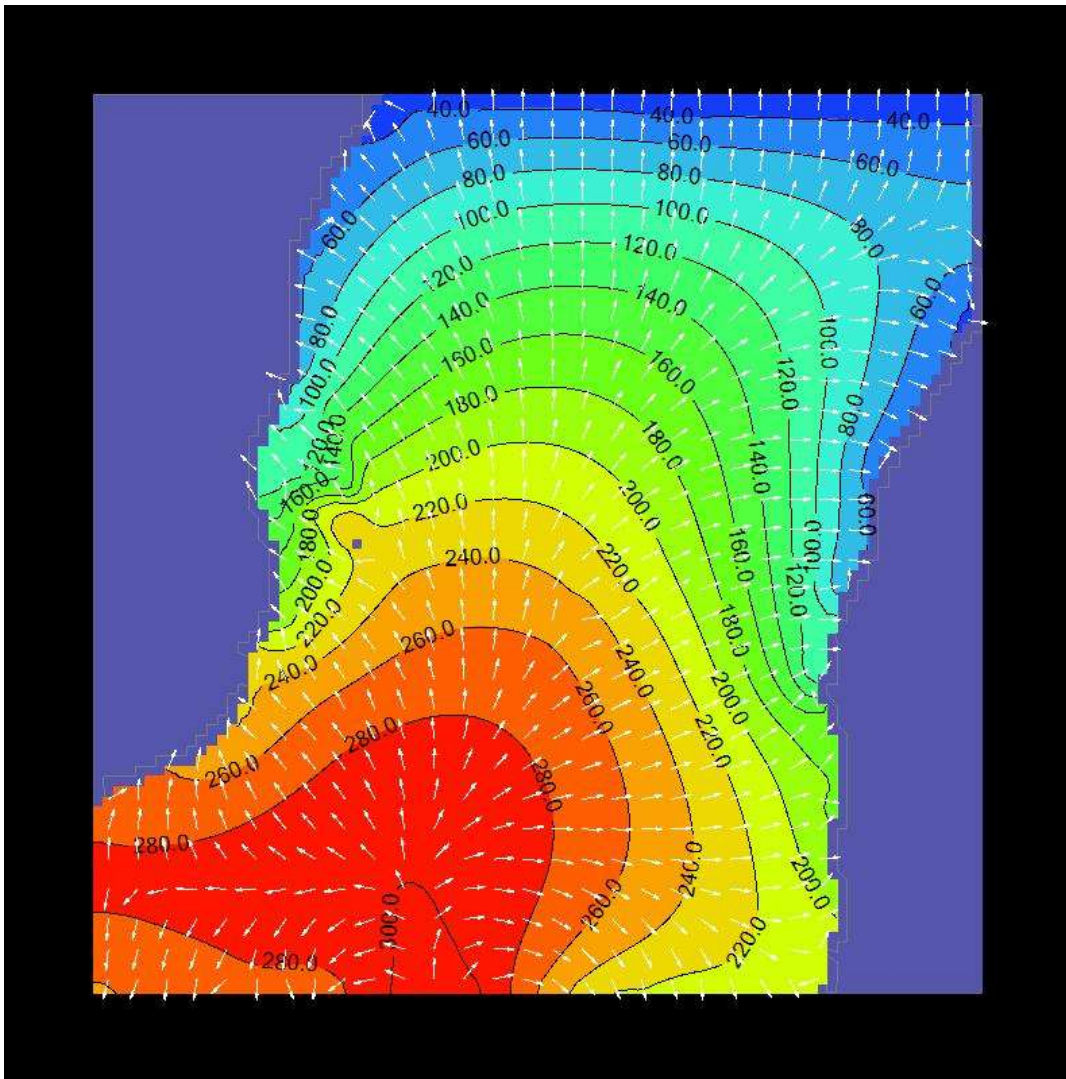
Kondisi Batas dalam 3 D

4.5.3 Hasil Pemodelan dan Kalibrasi Model

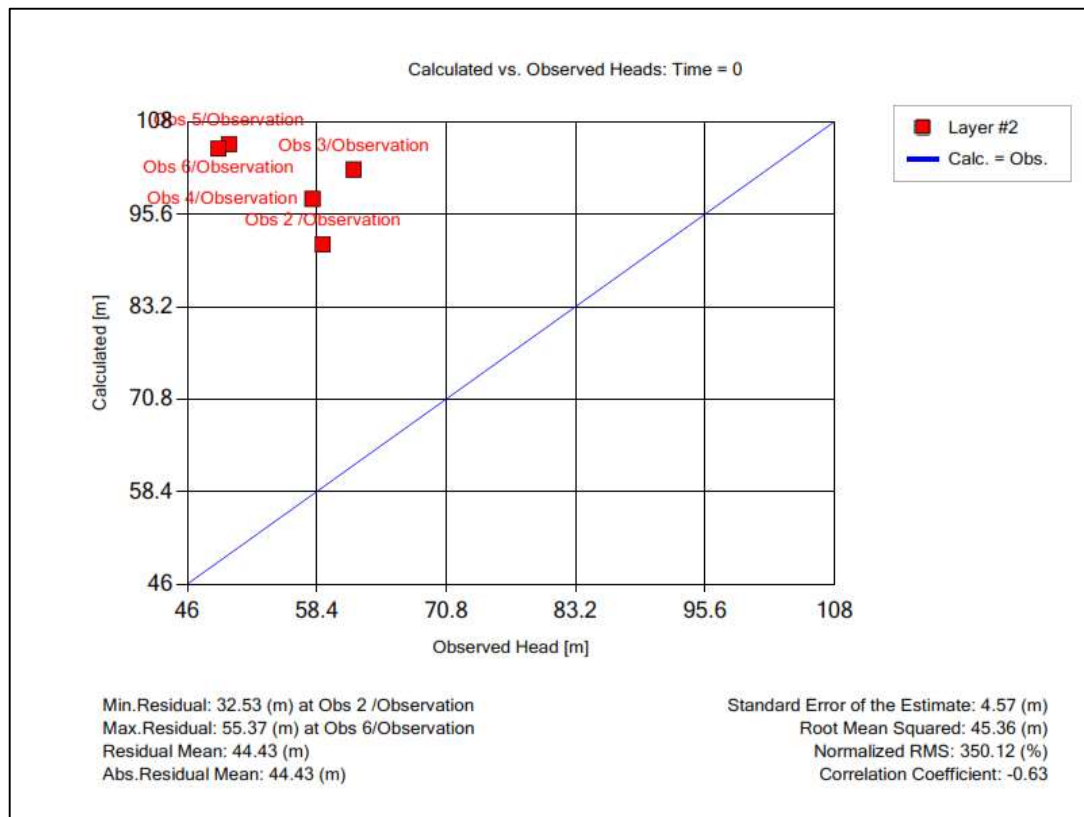
1. Hasil Pemodelan Sebelum Kalibrasi

Hasil pemodelan yang belum dikalibrasi merupakan simulasi-simulasi awal yang dihasilkan dari pemodelan. Simulasi awal tersebut pada umumnya memperlihatkan pola aliran air tanah yang tidak realistis. Hal tersebut disebabkan oleh berbagai faktor, seperti adanya kesalahan dalam memasukkan parameter pemodelan (nilai konduktivitas, *recharge*, storativitas, dan evapotranspirasi), kesalahan dalam penentuan batas pemodelan (*boundary condition*), serta adanya kesalahan dalam penentuan asumsi pemodelan. Hasil pemodelan sebelum kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa aliran air tanah yang ada di daerah penelitian melaju sejajar dengan sungai yang ada di bagian barat dan timur model akan tetapi hasil model tersebut masih belum dapat dikatakan merepresentasikan daerah penelitian jika dilihat dari diagram scatter hasil model (Gambar 4.11). Diagram scatter ini menggambarkan

linearitas antara kondisi air tanah hasil simulasi dan hasil observasi. Dapat dilihat dari gambar 4.11 bahwa kondisi air tanah di titik pantau hasil simulasi masih melenceng jauh dari kondisi air tanah pada saat observasi. Dari hasil simulasi awal didapat nilai Normalized RMS sebesar 350,12% , nilai error rata rata sebesar 44,43m, dan koefisien korelasi -0,63. Hasil tersebut menandakan bahwa model yang dibuat masih memiliki tingkat kesalahan yang tinggi.

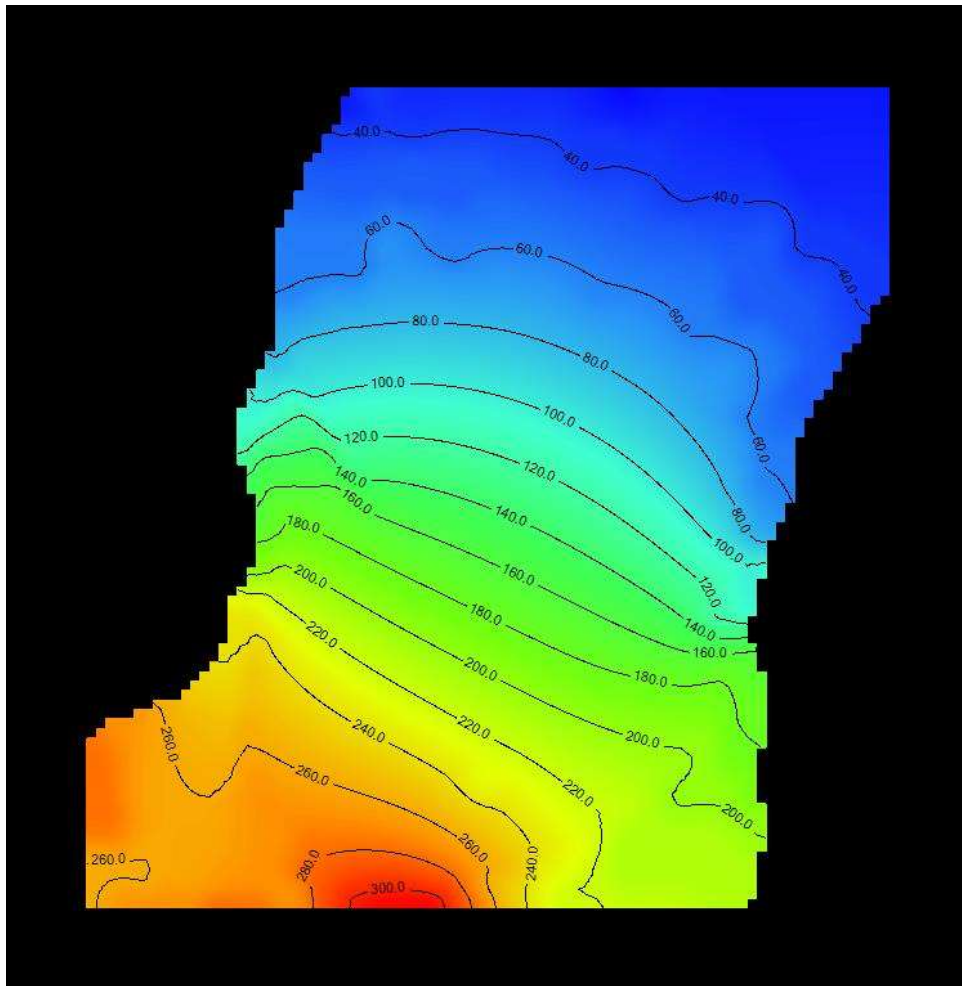


Gambar 4.10
Hasil Pemodelan Numerik (*Uncalibrated*)



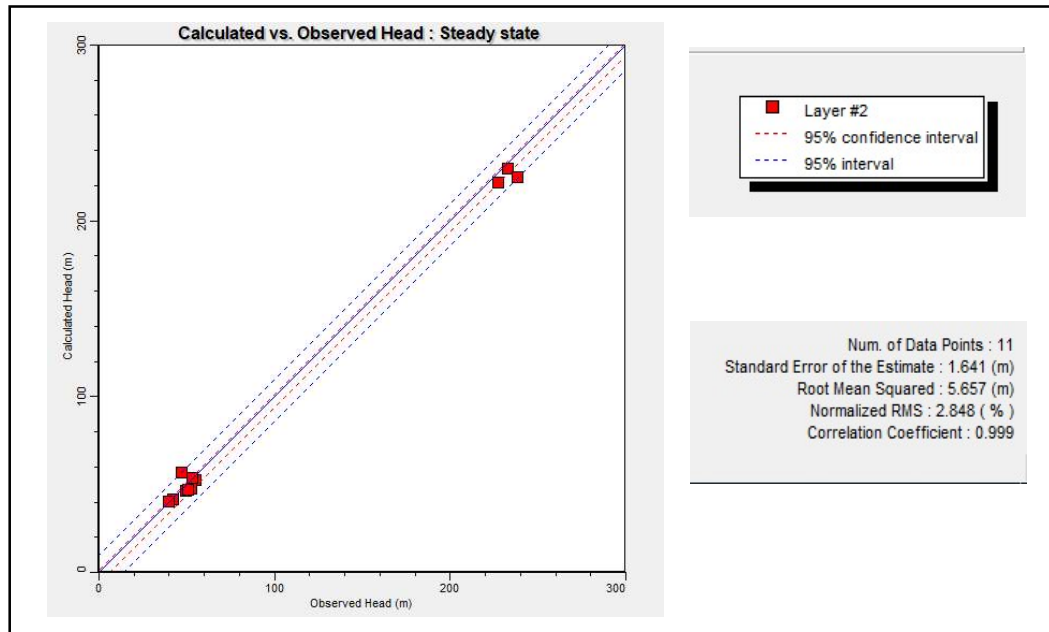
Gambar 4.11
Diagram Scatter Sebelum Kalibrasi

Proses pemodelan dilakukan setelah semua data masukan sudah dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Visual MODFLOW Licence* © Prodi Teknik Pertambangan UPNVYK. Pada pemodelan ini, komputasi model dilakukan dengan asumsi kondisi model *steady state flow*, sehingga komputasi tidak berubah terhadap waktu. Kalibrasi di pemodelan yang dilakukan menggunakan metode *analysisist sensitivity* yaitu dengan mengganti parameter sensitif yang terdapat dalam model berupa nilai *recharge* dan nilai *K*. Hasil (*output*) setelah proses kalibrasi dari proses komputasi dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13 berikut.



Gambar 4.12
Hasil Pemodelan Numerik (*Calibrated*)

Pada Gambar 4.12 didapatkan pemodelan air tanah setelah komputasi yang menggambarkan kondisi air tanah di lapangan. Pada zona yang berwarna biru adalah daerah tak jenuh (*Vadose Zone*), nilai *head* digambarkan oleh garis kontur dan warna yang dapat dilihat pada gambar 4.12 yang merupakan gambaran dari muka air tanah pada daerah penelitian. Selain itu, tingkat akurasi hasil komputasi model juga dapat ditentukan dari grafik kalibrasi seperti pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13

Diagram Scatter Hasil Kalibrasi

Diagram *scatter* hasil kalibrasi juga mengalami perubahan drastis. Nilai *normalized RMS* dan *Standard Error of Estimate* juga dapat diterima. Nilai *Standard Error Estimate* yang didapat setelah kalibrasi *Sensitivity Analysis* menjadi 1,641m, nilai *normalized RMS* menjadi 2,848%, dan memiliki *correlation coefficient* 0,999 (sudah mendekati 1). Diagram *scatter* setelah kalibrasi dapat dilihat pada gambar 4.13.

Grafik kalibrasi di atas membandingkan antara muka air tanah hasil pemodelan (*calculated head*) pada sumbu y dengan muka air tanah hasil observasi sumur pantau (*observed head*) pada sumbu x. Poin-poin merupakan data dari sumur pantau berjumlah 10. Garis diagonal putus-putus berwarna merah di tengah ialah garis kepercayaan, sehingga semakin poin-poin sumur pantau berada di tengah atau mendekati garis kepercayaan, maka semakin akurat kalibrasi model tersebut.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil komputasi model sudah cukup akurat dilihat dari nilai NRMS yang nilainya 2.848%. Hal ini dikarenakan data yang didapatkan sudah cukup menggambarkan kondisi asli di lapangan, dalam kondisi ini menurut Anderson dan Woessner (1992) sudah termasuk dalam kriteria tervalidasi, karena nilai NRMS-nya <15% dan nilai *Correlation Coefficient* mendekati angka 1. Jika parameter yang didapat belum bisa merepresentasikan

kondisi di lapangan dan masih belum terkalibrasi secara akurat, maka pada kondisi ini perlu dilakukan evaluasi parameter agar model menjadi lebih akurat dan dapat mewakili sistem di alam. Evaluasi parameter dapat dilakukan secara manual dengan metode analisis sensitivitas dengan cara mencoba-coba (*trial and error*) dengan mengubah nilai – nilai parameter yang ada di dalam model sehingga didapatkan model yang paling mendekati dengan kondisi lapangan.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Kondisi Hidrologi dan Hidrogeologi

Untuk mengetahui kondisi hidrologi dan hidrogeologi di daerah penelitian dapat dilihat dari beberapa aspek berikut.

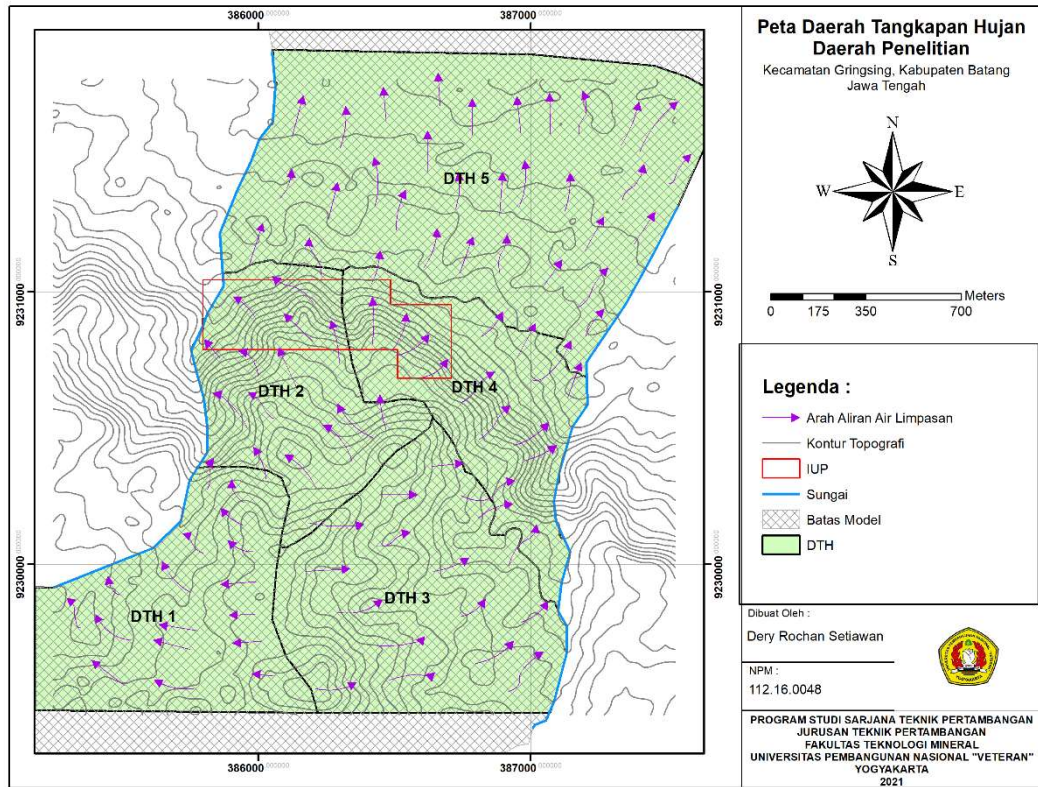
5.1.1. Hidrologi

1. Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana dikaji menggunakan metode distribusi gumbel, dimana perhitungan menggunakan data curah hujan harian maksimal sebagai acuan perhitungan berbeda dengan metode gumbel normal yang menggunakan data curah hujan harian rata-rata sebagai basis perhitungan. Penentuan curah hujan rencana didasarkan pada data curah hujan harian maksimum rata rata tahun 2009-2020. Data curah hujan diperoleh dari BMKG. Perhitungan curah hujan rencana diperlukan untuk mendapat nilai intensitas curah hujan. Perhitungan nilai intensitas curah hujan menggunakan asumsi $t = 1$ jam karena tidak tersedia data terkait jam hujan di daerah penelitian. Intensitas curah hujan merupakan faktor penting dalam suatu kajian air permukaan, karena berhubungan dengan perhitungan debit air limpasan. Berdasarkan perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode gumbell didapat nilai sebesar 76,28mm/hari.

2. Air Limpasan (*run-off*)

Sumber debit air limpasan di daerah penelitian berasal dari air hujan yang jatuh di daerah penelitian. Air hujan yang jatuh pada daerah yang memiliki topografi lebih tinggi akan mengalir ke daerah yang memiliki topografi rendah. Hal ini selaras dengan sifat umum air yaitu air mengalir dari elevasi tinggi menuju ke elevasi rendah. Penentuan nilai debit air limpasan menggunakan rumus rasional, dimana diperlukan data berupa koefisien limpasan, intensitas curah hujan, dan luas daerah tangkapan hujan (DTH). Debit air limpasan dikaji per daerah tangkapan hujan dimana pembagiannya dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1

Daerah Tangkapan Hujan Area Penelitian

Nilai koefisien limpasan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kondisi topografi, kondisi tanah, dan kondisi vegetasi. Klasifikasi nilai koefisien limpasan berdasarkan Tabel 3.3 nilai koefisien limpasan menurut Suripin (2004). Klasifikasi koefisien limpasan dibedakan sesuai dengan daerah tangkapan hujan. Daerah tangkapan hujan ditentukan menggunakan perangkat lunak GIS yang menganalisis bentuk topografi dimana derajat dan arah kemiringan menjadi dasar penentuan daerah tangkapan hujan (Gambar 5.1). Intensitas curah hujan diperoleh menggunakan rumus mononobe yang terlampir pada Lampiran C. Debit air limpasan masing-masing daerah tangkapan hujan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1
Debit Air Limpasan Area Penelitian

Area DTH	Debit Air Limpasan (m ³ /detik)
DTH 1	0,92
DTH 2	1,05

Lanjutan Tabel 5.1

DTH 3	1,16
DTH 4	1,03
DTH 5	2,80
Rata-rata	1,40

Secara umum air limpasan mengalir dari area Selatan menuju ke Utara, hal ini dikarenakan di bagian Selatan merupakan dataran yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah Utara, sehingga air hujan yang jatuh akan terlimpas ke arah Utara daerah penelitian. Air limpasan di daerah penelitian juga mengalir ke arah sungai yang berada di Barat dan Timur area kajian. Dari hasil analisis debit air limpasan yang dilakukan didapat rata – rata debit air limpasan di daerah penelitian sebesar $1,4\text{m}^3/\text{detik}$ dengan debit air limpasan tertinggi ada di DTH 5 sebesar $2,8\text{m}^3/\text{detik}$ dan terendah ada di DTH 1 sebesar $0,92\text{m}^3/\text{detik}$.

5.1.2. Hidrogeologi

1. *Recharge* (imbuan air tanah)

Daerah imbuhan air tanah adalah daerah resapan air yang mampu menambah air tanah secara alamiah pada suatu cekungan air tanah. Pengertian tersebut menunjukkan bahwa tidak semua daerah yang mampu meresapkan air hujan kedalam tanah otomatis merupakan daerah imbuhan. Air hujan yang jatuh di daerah imbuhan pada awalnya mengisi lajur tidak jenuh dan mengubahnya menjadi jenuh sehingga muka air tanah semakin naik/dangkal. Letak daerah imbuhan biasanya berada di kawasan hulu aliran sungai dengan morfologi berupa perbukitan/ pegunungan yang memiliki elevasi lebih tinggi.

Pada daerah penelitian, daerah imbuhan air tanah dibagi sesuai dengan daerah tangkapan hujan. Air hujan yang jatuh pada daerah tangkapan hujan umumnya akan dibagi menjadi 3 jenis yaitu air hujan yang menjadi air limpasan, air hujan yang teruapkan kembali atau yang dikenal dengan istilah evapotranspirasi, dan air hujan yang terinfiltrasi menjadi air tanah atau yang biasa disebut dengan *recharge*. Pada penelitian ini nilai evapotranspirasi dianggap 0 karena keterbatasan data klimatologi di daerah penelitian. Maka nilai *recharge* dapat diketahui dengan cara mengurangi jumlah air hujan yang jatuh dengan jumlah air hujan yang menjadi air limpasan sehingga air yang tidak terlimpas dianggap sebagai nilai imbuhan air

tanah. Nilai *recharge* atau imbuhan air tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2. Perhitungan nilai *recharge* dapat dilihat pada Lampiran F. Analisis nilai *recharge* ini akan digunakan sebagai salah satu parameter masukan kedalam pemodelan air tanah.

Tabel 5.2
 Nilai *Recharge* Daerah Penelitian

Area DTH	Nilai <i>Recharge</i> (mm/jam)
DTH 1	21,15
DTH 2	19,03
DTH 3	21,15
DTH 4	19,03
DTH 5	19,30
Rata-rata	19,93

Pembagian zonasi *recharge* yang diinputkan berfungsi untuk membedakan daerah-daerah yang memiliki kemampuan infiltrasi yang berbeda sehingga data masukan *recharge* menjadi heterogen. Nilai *recharge* di sini memperhitungkan debit air limpasan di setiap daerah tangkapan hujan yang berbeda beda sehingga nilai *recharge* yang dimasukkan dianggap dapat mewakili kondisi permukaan yang berbeda di setiap zonanya. Dari hasil yang diperoleh rata - rata nilai *recharge* di daerah penelitian sebesar 19,93mm/jam dengan *recharge* terbesar di DTH 1 dan DTH 3 yang memiliki nilai *recharge* 21,15mm/jam sedangkan *recharge* terendah ada di DTH 2 dan DTH 4 dengan nilai *recharge* 19,03mm/jam. Kondisi topografi DTH 2 dan 4 memiliki kemiringan yang lebih curam dibandingkan dengan DTH lainnya sehingga nilai *recharge* nya lebih rendah dibanding DTH lain.

2. Hidrogeologi Daerah Penelitian

Kondisi atau jenis akuifer pada daerah penelitian termasuk dalam jenis akuifer bebas (*Unconfined aquifer*). Akuifer bebas (*Unconfined Aquifer*) adalah Lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Akuifer bebas lapisan atasnya mempunyai permeabilitas yang tinggi, sehingga tekanan udara di permukaan air sama dengan atmosfer.

Untuk pemodelan air tanah dibutuhkan data keterangan perlapisan batuan untuk menentukan litologi dari daerah tersebut. Penelitian ini menggunakan data

dari *test pit* di daerah penelitian dikarenakan untuk data bor di daerah penelitian tidak ada maka diasumsikan data *test pit* sama dengan data bor yang menunjukkan litologi dari daerah penelitian. Penelitian ini juga melengkapi penelitian terdahulu yang dilakukan di area yang sama dimana data dari penelitian estimasi cadangan digunakan sebagai basis informasi terkait dengan perlapisan di daerah penelitian. Asumsi perlapisan yang digunakan bersifat homogen karena tidak terdapat data struktur geologi informasi di daerah penelitian yang dapat menunjang informasi heterogenitas lapisan di lapangan. Adapun data pendukung lainnya yaitu parameter akuifer dan nilai curah hujan, *run off* dan *recharge*.

5.2. Kondisi Aliran Air Tanah

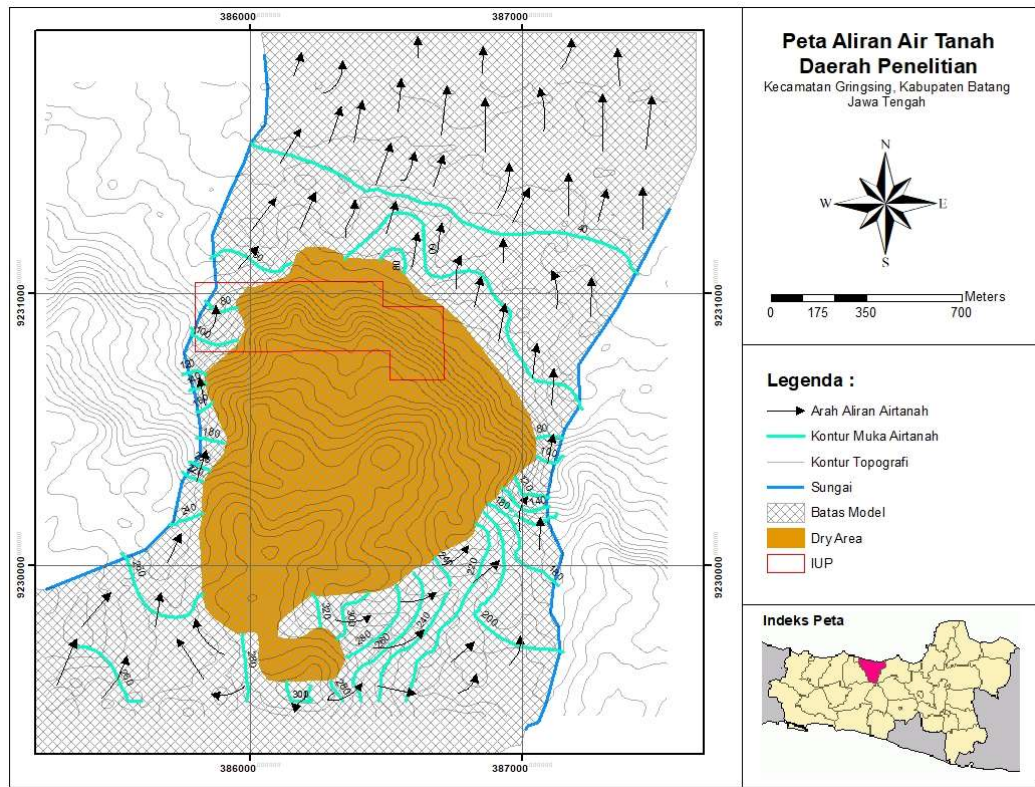
Kondisi air tanah sebelum dilakukannya penambangan harus diketahui terlebih dahulu agar dapat memperkirakan perubahan yang dapat terjadi akibat kegiatan penambangan. Hasil pemodelan pada kondisi alami akan berbeda dengan kondisi setelah adanya kegiatan pertambangan, hal ini disebabkan adanya perubahan tata guna lahan dan hidrostratigrafi.

Data masukan program, yaitu data curah hujan rata-rata, nilai evapotranspirasi, *run off*, *recharge*, konduktivitas hidraulik, permeabilitas, *specific yield* dan porositas. Setelah semua data yang dibutuhkan dimasukkan ke dalam perangkat lunak Visual MODFLOW, diperoleh pemodelan yang mendekati kondisi aktual di lapangan. Pemodelan yang dibuat adalah pemodelan dengan periode waktu 1 hari dengan kalibrasi *steady state*. Hasil pemodelan dapat melihat kondisi dan arah aliran air tanah pada daerah penelitian.

5.2.1. Model Air tanah Sebelum Kalibrasi (*uncalibrated*)

Pemodelan dilakukan dengan memasukkan semua parameter yang telah disiapkan ke dalam komputasi numerik di dalam Visual MODFLOW. Dalam melakukan pemodelan *steady state* perlu dilakukan kalibrasi model, kalibrasi tersebut bertujuan untuk mencocokkan model dengan kondisi aktual di lapangan. Pada dasarnya model yang dibuat ini memiliki keterbatasan data parameter konduktivitas hidraulik, sedangkan parameter konduktivitas hidraulik merupakan salah satu parameter sensitif dalam komputasi model air tanah. Dalam proses kalibrasi parameter konduktivitas hidraulik akan diubah sehingga model aliran air

tanah dapat menyesuaikan data muka air tanah observasi. Model awal aliran air tanah sebelum dilakukan kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2
Model Aliran Air tanah Sebelum Kalibrasi

Hasil model sebelum kalibrasi menunjukkan adanya area kering (*dry area*) yang berada di tengah area model. Hal ini berlawanan dengan keadaan lapangan dimana daerah tersebut merupakan daerah perhutanan dan juga terdapat area perkebunan warga. Arah aliran cenderung mengikuti topografi dimana di daerah Selatan lebih tinggi sehingga aliran air tanah mengalir dari Selatan menuju daerah Utara. Data masukan parameter konduktivitas hidraulik dapat dilihat pada Tabel 5.3, dimana nilai tersebut merupakan data masukan awal yang berasal dari studi literatur.

5.2.2. Kalibrasi Model

Kalibrasi model air tanah dilakukan dengan menggunakan metode *sensitivity analysis*. Metode ini mengubah parameter sensitif yang ada di dalam pemodelan. Adapun parameter sensitif dalam pemodelan air tanah adalah nilai konduktivitas hidrolis lapisan dan nilai *recharge* model area. Penelitian ini menggunakan nilai *recharge* yang dihitung menggunakan pendekatan empiris sedangkan untuk nilai

konduktivitas hidrolik berbasis pada studi literatur. Oleh karena itu, parameter yang akan diubah selama melakukan kalibrasi model adalah nilai konduktivitas hidrolik mengingat nilai yang digunakan masih menggunakan asumsi dari literatur yang ada.

Adapun skenario perubahan nilai parameter konduktivitas hidrolik dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3
Skenario Kalibrasi *Analysis Sensitivity*

No	Skenario Parameter <i>Input</i>	Hasil Komputasi
1	$K_1 = 2 \times 10^{-5} \text{m/s}$ $K_2 = 9 \times 10^{-3} \text{m/s}$ $K_3 = 7 \times 10^{-9} \text{m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard Error of Estimate</i> = 4,57m • <i>Root Mean Squared</i> = 45,36m • <i>Normalized RMS</i> = 350,12% • <i>Corelation Coefficient</i> = -0,63
2	$K_1 = 2 \times 10^{-6} \text{m/s}$ $K_2 = 9 \times 10^{-4} \text{m/s}$ $K_3 = 7 \times 10^{-10} \text{m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard Error of Estimate</i> = 5,91m • <i>Root Mean Squared</i> = 49,59m • <i>Normalized RMS</i> = 370,42% • <i>Corelation Coefficient</i> = 0,13
3	$K_1 = 2 \times 10^{-4} \text{m/s}$ $K_2 = 9 \times 10^{-5} \text{m/s}$ $K_3 = 7 \times 10^{-7} \text{m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard Error of Estimate</i> = 2,81m • <i>Root Mean Squared</i> = 19,71m • <i>Normalized RMS</i> = 90,31% • <i>Corelation Coefficient</i> = 0,31
4	$K_1 = 2 \times 10^{-5} \text{m/s}$ $K_2 = 9,5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ $K_3 = 7,5 \times 10^{-7} \text{m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard Error of Estimate</i> = 2,23m • <i>Root Mean Squared</i> = 11,29m • <i>Normalized RMS</i> = 54,02% • <i>Corelation Coefficient</i> = 0,64
5	$K_1 = 2 \times 10^{-5} \text{m/s}$ $K_2 = 9,4 \times 10^{-5} \text{m/s}$ $K_3 = 7,2 \times 10^{-7} \text{m/s}$	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard Error of Estimate</i> = 1,64m • <i>Root Mean Squared</i> = 5,56m • <i>Normalized RMS</i> = 2,84% • <i>Corelation Coefficient</i> = 0,99

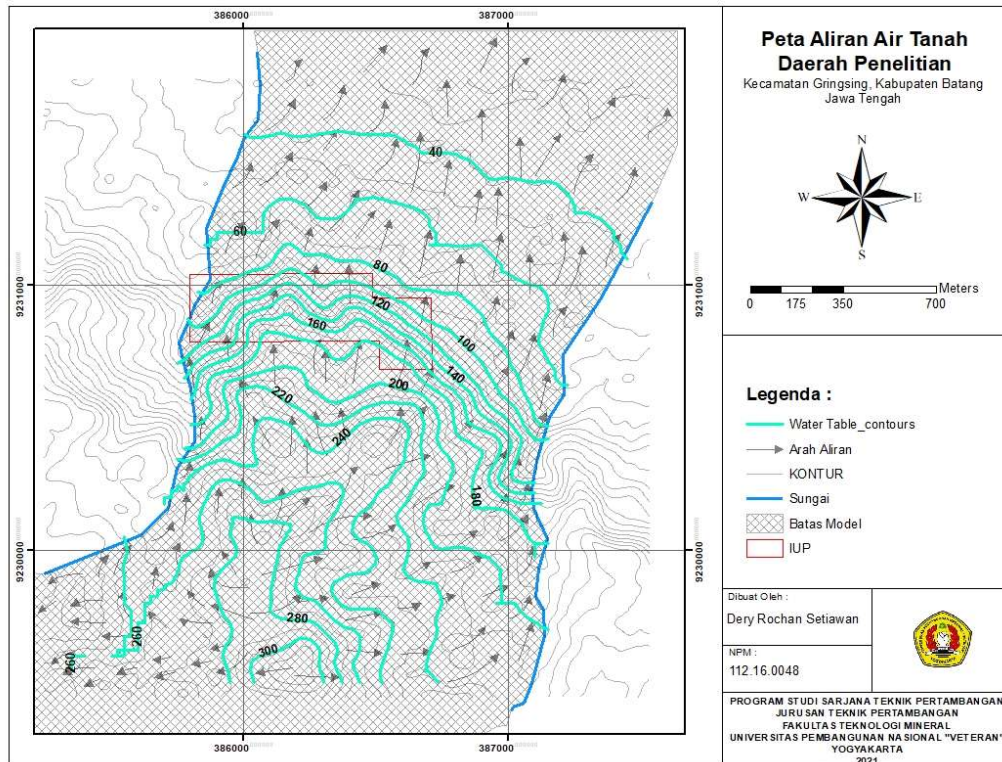
Kalibrasi *analysis sensitivitas* merupakan salah satu metode kalibrasi yang biasa dilakukan dalam pemodelan numerik. Kalibrasi ini mengubah parameter sensitif dalam suatu model. Dalam pemodelan air tanah parameter sensitif model berupa nilai konduktivitas hidrolik dan nilai *recharge*. Nilai *recharge* yang diperoleh merupakan data analisis yang dilakukan secara empiris sehingga nilai

recharge tidak diubah, sementara nilai konduktivitas hidraulik merupakan nilai yang diperoleh dari literatur studi sehingga tingkat kepercayaan nilai tersebut rendah dan perlu diubah untuk menyesuaikan kondisi lapangan. Pada skenario 1 model yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang rendah dapat dilihat dari parameter *corelation coefficient* yang memiliki nilai -0,63 serta parameter *standard error of estimate* sebesar 4,57m. Parameter *corelation coefficient* menunjukkan hubungan antara parameter lain yang dimasukkan ke dalam model, semakin mendekati nilai 1 maka masukan parameter model tersebut dapat dikatakan saling berhubungan satu sama lain. *Standard error of estimate* merupakan nilai error rata-rata di dalam model yang disusun, nilai ini menunjukkan penyimpangan kesalahan rata-rata masing-masing titik observasi.

Perubahan nilai konduktivitas hidraulik selama proses kalibrasi mengubah model aliran air tanah yang dibuat. Model awal sebelum kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 5.2 sedangkan model air tanah setelah kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 5.3. Dapat dilihat terdapat perubahan signifikan terhadap kondisi aliran air tanah sebelum dan sesudah kalibrasi. Pada model sebelum kalibrasi terdapat area kering (*dry area*) yang berada di tengah model, setelah proses kalibrasi area kering tersebut menjadi area tidak kering (*non dry area*).

5.2.3. Model Air tanah Setelah Kalibrasi (*Calibrated*)

Hasil pemodelan yang dapat dilihat bahwa pada daerah penelitian muka air tanah tertinggi terdapat pada bagian selatan dan terendah di bagian utara dengan elevasi muka air tanah berkisar dari 300 mdpl – 40 mdpl, air mengalir dari Selatan menuju ke Utara sejajar dengan sungai yang ada di bagian Barat dan Timur model. Air tanah cenderung mengalir menjauhi punggung yang berada di antara dua sungai yang dijadikan sebagai kondisi batas dan mengalir ke arah sungai di bagian Barat dan Timur. Peta aliran air tanah disajikan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3

Peta Aliran Air Tanah Daerah Penelitian

5.3 Rekomendasi Terkait Rencana Penambangan

Wilayah izin usaha pertambangan berada di kaki bukit daerah penelitian. Secara umum daerah tersebut merupakan daerah yang dilalui air limpasan dari beberapa daerah tangkapan hujan. Wilayah tersebut jika dilakukan penambangan perlu memperhatikan debit aliran air limpasan yang masuk ke area tambang. Kajian lanjutan terkait sistem penyaliran tambang diperlukan guna menunjang aktivitas tambang yang direncanakan.

Dari hasil analisis yang dilakukan diketahui bahwa keberadaan air tanah di daerah penelitian berada dekat dengan permukaan, sehingga perlu dicermati jika kondisi ini dapat mempengaruhi aktivitas penambangan dan juga sebaliknya. Keberadaan air tanah membawa pengaruh pada kegiatan penambangan. Baik buruknya pengaruh yang ditimbulkan oleh keberadaan air tanah terhadap kegiatan penambangan tergantung dari letak, jumlah dan aktivitas air tanah itu sendiri. Pada penelitian ini didapatkan gambaran keadaan air tanah dan arah aliran air tanah pada keadaan sebelum dilakukannya penambangan. Selama aktivitas penambangan tidak

mencapai level tersebut maka kondisi airtanah di daerah penelitian masih *undisturbed* atau tidak terganggu, sebaliknya jika kegiatan penambangan mencapai level tersebut maka ada potensi terpotongnya akuifer dan menyebabkan alterasi terhadap kondisi air tanah Oleh karena itu, perlunya pemodelan air tanah pada daerah penambangan agar dapat memprediksi dan mengasumsikan letak, jumlah serta pergerakan air tanah untuk keperluan perencanaan sistem penyaliran tambang seperti menentukan saluran terbuka, menentukan lokasi dan dimensi *sump*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dan hasil analisis yang telah diperoleh maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi hidrologi dan hidrogeologi di daerah penelitian adalah :
 - a. Nilai curah hujan harian rata-rata maksimum sebesar 602,55mm/tahun dengan rata-rata curah hujan maksimum harian adalah 68,49mm yang dihitung berdasarkan pengamatan curah hujan di daerah penelitian tahun 2009-2020.
 - b. Jumlah hari hujan maksimum per tahun pada daerah penelitian sebesar 316hari dengan rata-rata 232hari dihitung berdasarkan data hujan tahun 2009-2020
 - c. Nilai *run off* di daerah penelitian dihitung menggunakan pendekatan empiris dengan rumus rasional. Hasil dari perhitungan tersebut mendapat nilai *run off* sebesar :
 - DTH 1 = 0,92m³/detik
 - DTH 2 = 1,05m³/detik
 - DTH 3 = 1,16m³/detik
 - DTH 4 = 1,03m³/detik
 - DTH 5 = 2,8m³/detik
 - d. Nilai *recharge* di daerah penelitian merupakan nilai yang dihitung menggunakan konsep siklus air sederhana. Nilai *recharge* daerah penelitian sebesar 238 mm/tahun
 - DTH 1 = 21,15mm/jam
 - DTH 2 = 19,03mm/jam
 - DTH 3 = 21,15mm/jam
 - DTH 4 = 19,03mm/jam

- DTH 5 = 19,30mm/jam
- e. Sistem akuifer di daerah penelitian merupakan sistem akuifer bebas. Dimana lapisan batupasir dianggap sebagai lapisan akuifer.
 2. Arah aliran air di daerah penelitian berasal dari daerah bukit yang berada di bagian selatan area model dan mengalir ke arah pantai yang berada di bagian utara area model mengikuti arah aliran sungai yang ada dengan elevasi berkisar dari 300mdpl – 40mdpl.
 3. Dari hasil analisis air limpasan dan air tanah di daerah penelitian, rekomendasi terkait sistem penyaliran tambang perlu dilakukan karena lokasi tambang yang berada di kaki bukit dan merupakan area yang dilewati air limpasan yang berasal dari selatan. Kondisi air tanah di daerah penelitian dekat dengan permukaan atau termasuk dangkal sehingga perencanaan tambang perlu memperhatikan aspek air tanah selama perancangan geometri tambang.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk menentukan desain perencanaan tambang terkhusus kepada sistem penyaliran tambang yang dapat menunjang jalannya proses penambangan.
2. Perlu dilakukan pengujian nilai parameter akuifer dan *recharge* yang komprehensif sehingga dapat mengurangi asumsi dalam pemodelan ini.
3. Perlu dilakukan kajian hidrologi dan hidrogeologi lebih komprehensif dengan kondisi pasca tambang untuk mengetahui seberapa berdampaknya kegiatan penambangan terhadap kondisi aliran air tanah mengingat lokasi penambangan berdekatan dengan pemukiman warga.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anderson. M.P. Woessner. W.W. (1992). *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport: Academic Press*. San Diego.
2. Ansori, M.I. (2021). *Pemodelan Air Tanah Menggunakan Metode Finite Difference pada Tambang Batubara Terbuka di Kecamatan Meureuboh, Kabupaten Aceh Barat, Nanggroe Aceh Darusalam*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertambangan. Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Yogyakarta.
3. Asdak. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
4. Badan Informasi Geospasial. (2011). *Peta Digital Elevation Model (DEM) Nasional*. <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/inageoportala/>. 13 April 2020.
5. Bemmelen Van, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia Vol.1, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Government Printing Office, The Hague 1949.
6. Bisson R. A., Lehr J. H. (2004) *Modern Groundwater Exploration: Discovering New Water Resources in Consolidated Rocks Using Innovative Hydrogeologic Concepts, Exploration, Drilling, Aquifer Testing and Management Methods*. Wiley-Interscience; 1st edition.
7. Djuri, M., H. Samodra, T.C. Amin, dan S. Gafoer (1996). Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, edisi ke-2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
8. Triatmodjo, B. (2008). "*Hidrologi Terapan*". Yogyakarta: Beta Offset.
9. Bemmelen Van, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Martinus Nyhoff, Netherland: The Haque.
10. Cahyadi, T.A., Iskandar, I., Notosiswoyo, S., Widodo, L.E. (2015). *Studi Literatur Pendugaan Nilai Konduktivitas Hidraulik dengan Menggunakan Data Uji Hidraulik lapangan dan Data Logging Geoteknik*. Earth National Seminar X, Faculty of Mineral Technology, UPN "Veteran" Yogyakarta.
11. Cleary, B., Guiger, N., Franz T. (2010). *Visual Modflow Premium.1. Schlumberger Water Sevices*. Waterloo Hydrogeologic Inc.
12. Condon, W.H., L. Pardyanto, K.B. Ketner, T.C. Amin, S. Gafoer, dan H. Samodra. (1996). *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan*, edisi ke-2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

13. Danaryanto, H. (2005). *Air Tanah di Indonesia dan Pengelolaannya*. Jakarta: Departemen ESDM.
14. Danaryanto, H. (2008). *Manajemen Air Tanah Berbasis Cekungan Air Tanah*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
15. Djuri, M., H. Samodra, T.C. Amin, dan S. Gafoer. (1996). *Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal*, edisi ke-2 Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
16. Domenico, P.A. dan Schwartz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley and Sons, Ltd. Toronto, Canada.
17. Dunne, T. and Leopold L. B. (1978). *Water Enviromental Planning*.
18. Effendi, A. (1985). *Peta Unit Akuifer Cekungan Airtanah Pekalongan-Pemalang*. Badan Geologi, Bandung.
19. Fetter, C.W. (1994). "*Applied Hydrogeology*", Third Edition. Prentice-Hall Inc. USA.
20. Franke, O.L, Reilly, T.E, dan Bennet, G.D. (1987). *Definition of Boundary and Initial Conditions in the Analysis of Saturated Groundwater Flow System - An Introduction*. USGS - TWRI Chapter B5, Book 3.
21. Gautama dan Sayoga, R. (1999). "Diktat Kuliah Sistem Penyaliran Tambang". Jurusan Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
22. Geost, F. (2016). Batu Pasir dan Proses Pembentukannya. *Geology and Earth Science: Geologinesia*.
23. Heath, R. C. (1983). *Basic Ground-Water Hydrology*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220.
24. Hendrayana, H. (1994). "*Dasar-Dasar Hidrogeologi*", Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
25. Herlambang, A. (1996). *Kualitas Air tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
26. Kite, G. W. (1997). *SLURP Hydrological Model*. Canadian Journal of Civil Engineering. Canada.
27. Kodoatie, R. J. dan Roestam, S.. (2012). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
28. Krusseman, G.P. and Ridder, N.A. (1970). *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
29. Morris D A, Johnson I A. (1967). *Summary of Hydrogeologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the US Geological Survey*. US Geological Survey Paper.
30. Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary Rock*. New York: Harper and Row.

31. Poedjoprajitno S., Moechtar H., Hidayat S. (2009). Perubahan Lingkungan Pengendapan Hubungannya Dengan Tektonik Kuarter. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*.
32. Ramrav, H. (2010). *Groundwater Flow and Nitrate Groundwater Contaminant Transport Modelling in Bantul Regency Yogyakarta Indonesia*. Thesis: Universitas Gadjah Mada.
33. Ronodirdjo dan Zuhdi, M. (2019). *Buku Ajar Pengantar Geologi*.
34. Sayoga G, R. (1999). *Sistem Penyaliran Tambang*, Institut Teknologi Bandung.
35. Suyono, S. dan Takeda, K. (2003). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita. Jakarta.
36. Spitz, K. dan Moreno, J. (1996). *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modelling*. John Wiley & Sons, New York.
37. Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. ANDI Offset Yogyakarta.
38. Todd, D. K. (1959). *Groundwater Hydrology*. New York.
39. Todd, D. K. Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology Third Edition*: Wiley. New Jersey.
40. USGS. (2017). *New to MODFLOW*. <https://water.usgs.gov/ogw/modflow/new-start-here.html>. 8 Agustus 2020.
41. Wahyudi, H. (2009). *Kondisi dan Potensi Dampak Pemanfaatan Air Tanah di Kabupaten Bangkalan*.
42. Wibowo, H. (2008). *Desain Prototipe Alat Pengukur Curah Hujan Jarak Jauh Dengan Pengendali Komputer*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

LAMPIRAN A

DATA CURAH HUJAN DAN HARI HUJAN
DAERAH PENELITIAN 2009-2020

Tabel A.1
Data Curah Hujan Harian Tahun 2009 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	12,75	41,15	1,6	0,43	20,07	4,87	0,49	0	0,01	3,31	0,41	6,14
2	10,45	27,32	3,31	0,23	0,97	10,61	0,08	0	0,07	2,9	1,35	17,75
3	0,3	20,51	2,16	0,7	0,07	13,39	3,59	0	0	1,26	1,24	0,54
4	16,73	2,91	13,39	10,94	14,57	3,34	8,53	0	11,79	1,24	0,91	6,59
5	1,05	13,16	26,35	4,2	23,17	1,33	0,22	0	0,13	27,1	2,2	8,24
6	3,52	18,09	0,98	11,41	4,61	1,93	0	0	0,01	0,83	0,47	9
7	1,59	37,07	0,29	1,91	3,56	1	0	0	0	0,22	0,17	4,99
8	18,58	44,85	3,42	0,85	2,19	37,21	0	0	0	0,35	4,9	3,4
9	5,02	27,54	2,64	4,53	3,14	10,67	0	0	0,04	0,92	1,54	1,73
10	9,76	3,53	1,11	7,55	33,49	2,32	0	0	0	2,12	0,92	0,19
11	31,4	8,37	0,8	7,79	16,99	0,42	0	0	0	1,46	1,14	0,02
12	28,75	2,76	4,02	3,41	9,21	2,13	0	0,98	0,08	0,78	0,74	0,27
13	61,25	3,61	2,32	2,23	0,24	7,2	0	0,92	0,03	5,65	33,87	4,77
14	30,76	2,19	0,62	14,46	1,5	1,18	0	0,11	1,38	1,53	23,24	0,75
15	7,95	4,97	0,46	3,44	5,04	1,03	0	0	4,64	0,14	14,97	15,34
16	5,06	4,18	0,29	4,55	0,63	6,49	0,01	5,12	18,81	0,01	9,56	5,4
17	3,67	5,95	7,71	0,83	0,21	7,91	0,01	2,48	0,37	0,7	2,17	0,6
18	8,42	4,35	1,37	0,82	7,9	2,49	0,01	0,14	4,06	0,28	20,23	0,3
19	7,12	10,76	0,2	7,03	2,22	0,34	0	0,01	0,03	0,72	8,44	0,04
20	16,98	8,11	0,32	3,02	0,4	0,06	0,05	0	0,01	0,26	16,94	3,88
21	2,68	14,13	1,96	32,15	2,79	0	0,01	0	0	0,28	7,3	8,45
22	3,99	9,4	16,47	13,22	4,67	0,01	2,55	0	0	20,28	5,23	3,13
23	3,07	5,93	2,38	0,61	18,31	1,5	17,06	0	0,07	13,4	1,19	6,7
24	32,73	5,66	0,76	0,74	15,83	0,24	16,11	0	0,29	8,51	0,14	55,57
25	16	16,6	2,54	0,86	7,16	0,2	2,76	0	0,01	11,15	1,26	36,29
26	6,6	14,46	0,95	0,73	5,73	0,01	0,07	0	0	9,12	0,69	3,73
27	8,74	26,2	6,71	6,68	10,03	0	0	0	0	6,06	6,67	21,05
28	4,48	13,51	2,61	19,76	0,86	0,27	0	0	0	4,51	1,51	8,11
29	12,92		7,1	7,44	6,03	0,08	0	0,01	0	0,66	2,02	25,05
30	15,13		2,37	45,91	6,67	0,01	0	0,02	0,51	0,17	0,68	4,24
31	10,66		0,27		7		0	0,01		1,1		0,81
Hujan Maksimum	61,25	44,85	26,35	45,91	33,49	37,21	17,06	5,12	18,81	27,1	33,87	55,57
Hujan Rata Rata	12,84	14,19	3,79	7,28	7,59	3,94	1,66	0,32	1,41	4,10	5,74	8,49
Jumlah CH	398,11	397,27	117,48	218,43	235,26	118,24	51,55	9,8	42,34	127,02	172,1	263,07
Jumlah Hari Hujan	30	28	20	20	24	17	6	2	5	17	21	22

Tabel A.2
Data Curah Hujan Harian Tahun 2010 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2,36	7,19	1,95	1,58	3,17	2,66	0,58	0,03	1,54	4,87	1,44	18,41
2	0,29	12,32	0,78	3,6	2,35	2,07	3,62	4,23	21,92	2,08	3,02	4,98
3	12,44	0,98	3,91	1,22	1,87	4,57	7,09	4,09	0,45	4,18	6,73	10,45
4	5,19	22,26	7,17	1,83	7,19	3,67	54,89	6,55	0,33	2,91	9,15	4,91
5	14,74	8,57	62,5	1,66	8,52	13,95	3,36	10,28	5,22	6,14	4,56	6,09
6	17,36	12,8	2,09	0,37	0,89	19,48	0,18	1,53	16,17	8,39	21,82	11,5
7	2,39	20,07	5	3,85	2,79	4,45	0,42	12,86	2,49	2,08	43,51	7,31
8	4,4	5,68	5,68	4,96	5,52	50,76	2,64	0,01	7,23	3,5	8,01	7,56
9	6,92	0,17	9,26	3,97	2,35	8,52	0,15	0,01	6,56	2,71	15,91	6,61
10	2,53	10,22	7,71	0,72	1,09	1,14	0,89	0,35	2,45	0,05	1,78	108,95
11	53,03	30,77	62,96	5,76	11,08	0,49	18,82	0,25	1,84	0	2,96	8,39
12	17,14	1,93	5,16	10,75	7,43	0,61	5,55	0,21	10,91	0	7,74	2,4
13	20,46	4,63	3,25	0,07	4,89	5,38	4,63	5,28	12,7	11,52	5,91	0,46
14	6,17	3,68	4,03	3,44	20,5	5,61	2,28	1,85	3,72	7,47	1,3	31,12
15	3,77	7,88	0,6	49,76	11,22	2,48	1,28	17,48	3,4	4,62	0,55	9,7
16	18,62	2,85	3,95	9,55	59,81	37,62	1,45	4,09	18,66	26,48	9,84	1,26
17	12,32	0,98	22,26	8,57	12,8	20,07	5,68	0,17	10,22	30,77	1,93	4,63
18	6,4	4,31	8	3,38	3,93	6,05	5,36	5,73	14,02	10,17	1	25,66
19	7,17	47,3	5,04	1,22	4,99	2,46	1,04	4,97	9,85	1,59	5,04	4,94
20	4,33	25,42	4,79	4,25	5,02	9,07	0,1	0,76	23,33	6,1	8,66	9,26
21	3,06	7,38	1,2	24,22	6,38	0,22	0,02	7,28	12,16	18,59	3,84	14,76
22	7,02	8,87	4,15	11,49	13,33	0,36	0,26	15,25	3,55	8,18	0,62	7,51
23	3,22	4,6	24,2	8,4	30,07	1,02	0,04	11,97	2,05	14,62	3	5,8
24	6,53	37,82	58,04	3,05	6,1	10,39	0,01	7,78	6,88	10,52	13,29	0,17
25	4,14	16,35	7,82	0,58	3,24	10,39	3,52	3,83	7,41	9,9	1,27	2,32
26	29,12	0,04	2,44	2,47	8,19	24,51	2,25	3,22	8,39	9,49	0,67	7,11
27	35,61	0,75	2,9	20,59	5,61	2,5	7,79	4,78	2,23	10,42	7,99	11,67
28	40,91	0,79	12,13	5,75	6,92	1,56	4,24	2,38	1,89	6,43	13,6	17,71
29	13,41		19,95	23,38	4,77	4,37	8,57	0,6	0,66	10,16	1,34	9,2
30	10,41		18,64	15,21	6,76	3,11	4,04	10,64	21,79	7,75	3,36	2,63
31	5,17		2,59		17,32		2,6	7,2		4,89		3,55
Hujan Maksimum	53,03	47,3	62,96	49,76	59,81	50,76	54,89	17,48	23,33	30,77	43,51	108,95
Hujan Rata Rata	12,15	10,95	12,26	7,86	9,23	8,65	4,95	5,02	8,00	7,95	6,99	11,84
Jumlah CH	376,63	306,61	380,15	235,65	286,1	259,54	153,35	155,66	240,02	246,58	209,84	367,02
Jumlah Hari Hujan	30	22	29	26	30	26	21	22	27	28	26	29

Tabel A.3
Data Curah Hujan Harian Tahun 2011 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	54,92	21,91	7,03	15	13,17	8,07	2,74	0	0	0	4,57	1,17
2	21,15	23,74	0,72	3,05	2,53	5,6	0,01	0	0	0,01	2,6	11,67
3	23,17	13,38	1,45	4,77	1,07	3,17	0	0	0	0	20,51	12,24
4	7,6	46,75	6,88	1,12	14,79	0,62	0	0	0	0,02	21,85	0,47
5	8,92	3,15	1,71	8,13	2,61	0,22	0,01	0	0	0	2,77	6,43
6	8,23	7,45	6,59	5,54	8,69	0,06	0	0	0,01	0	26,41	7,41
7	2,92	4,91	18,7	11,66	7,11	0,05	0	0	0,01	0	9,7	2,77
8	4,74	11,92	2,16	8,41	5,67	0,05	0	0	0	0,04	3,39	0,96
9	9,8	1,62	1,08	13,77	7,07	0	0,05	0	0	0,01	46,85	5,61
10	17,17	0,48	5,49	9,13	0,09	0,01	0,14	0	0,01	0,01	10,28	5,22
11	32,17	0,15	7,83	8,29	0,48	0,04	0,73	0	0	0,06	3,67	3,16
12	22,66	15,29	5,17	3,32	0,59	0,35	0,26	0	0,28	0,09	6,25	8,76
13	7,71	3,56	6,48	6,73	9,6	0,12	15,5	0	24,73	0	21,9	0,48
14	1,59	6,28	4,92	3,97	3,94	0,03	0,1	0	14,15	0	1,1	4,06
15	6,68	10,69	3,82	2,39	4,67	0,01	0,11	0	9,54	0	7,6	3,29
16	2,57	5,05	0,81	1,23	1,66	0	0,03	0,16	1,11	3,6	22,44	8,76
17	10,93	4,09	5,05	0,99	19,25	0	1,36	0,03	0,05	1,93	29,22	13,9
18	8,85	1,02	0,36	0,98	7,54	0,07	0,18	0	0,11	1,25	6,73	8,57
19	2,24	3,13	0,36	0,82	16,59	0	0,5	0	0,05	2,68	4,01	3,46
20	9,03	7,46	2,37	6,77	10,2	0	5,2	0	0	7,54	14,06	14,43
21	5,1	7,93	10,71	2,44	1,44	0	5,72	0	0,01	8,19	7,39	4,63
22	1,55	8,58	3,06	27,43	1,28	0	3,52	0	0	1,11	2,66	0,79
23	7,21	7,94	4,4	20,55	0,17	0	7,01	0	0	3,28	1,23	14,09
24	3,13	5,33	1,93	6,19	0,01	0	0,01	0	0	0,5	5,35	8
25	6,48	4,34	4,45	2,55	2,51	0	0,02	0	0	0,57	1,35	17,19
26	2,3	8,73	4,07	2,22	7,91	0,08	0	0	0	1,22	0,07	11,18
27	1,41	6,9	10,21	5,75	0,74	0,3	0,78	0	0	1,65	1,32	12,04
28	1,86	12,63	10,04	3,24	0,02	2,24	1,71	0	0	15,16	33,48	7,42
29	4,06		9,92	14,54	2,56	31,7	0,39	0	0	2,32	11,14	17,58
30	3,45		13,73	38,3	2,12	16,74	0	0,01	0	3,04	3,4	8,73
31	16,55		8,57		4,44		0	0,01		9,29		12,16
Hujan Maksimum	54,92	46,75	18,7	38,3	19,25	31,7	15,5	0,16	24,73	15,16	46,85	17,58
Hujan Rata Rata	10,20	9,09	5,49	7,98	5,18	2,32	1,49	0,01	1,67	2,05	11,11	7,63
Jumlah CH	316,15	254,41	170,07	239,28	160,52	69,53	46,08	0,21	50,06	63,57	333,3	236,63
Jumlah Hari Hujan	31	26	27	27	24	6	8	0	4	14	29	27

Tabel A.4
Data Curah Hujan Harian Tahun 2012 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	15,22	15,87	2,64	11,61	0,12	0,42	0	0	0,01	0	1,44	6,41
2	15,94	6,81	7,54	8,15	9,72	3,07	0	0	0	0	4,75	5,46
3	5,31	53,97	3,48	12,33	0,72	1,31	0,02	0	0,02	0,03	9,37	4,06
4	2,5	17,73	27,63	5,51	0,41	0,35	0,02	0	0	1,93	15,67	5,13
5	27,37	9,39	11,13	4,6	36,77	0,01	0	0	0	16,51	11,16	14,56
6	8,89	8	10,24	3,52	24,01	1,64	0	0	0,01	3,54	11,09	7,33
7	30,35	1,12	19,88	2,34	9,77	0,93	0	0	0	11,27	14,85	4,19
8	12,24	8,95	16,96	3,05	0,52	1,17	0	0	0,01	5,84	1,51	2,44
9	9,97	13,67	23,52	11,77	0,48	19,77	0	0	0,03	0,43	5,44	3,05
10	13,29	4,6	12,57	3,6	0,08	7,89	0	0	0,04	0,99	7,17	19,34
11	17,8	6,81	3,03	7,94	0	0,21	0,01	0	0,03	3,08	4,21	2,8
12	7,58	5,08	4,87	1,44	0,08	0,05	0	0	0	0,79	8,57	5,56
13	32,5	16,37	18,18	7,92	17,43	0,02	0	0	0	0,44	2,49	3,36
14	7,22	10,53	0,94	4,65	6,32	0,01	0	0	0	2,31	3,86	1,41
15	2,97	27,16	4,74	0,97	4,52	0	0,44	0	0	4,25	7,43	0,66
16	16,73	7,95	3,33	3,25	0,81	0,07	0,05	0	0	2,64	2,52	1,48
17	11,24	3,69	1,53	2,1	0,66	0,94	0	0	0	7,03	3,64	10,32
18	2,85	2,8	2,18	0,49	0,15	0,06	0,01	0	0	24,62	12,65	7,83
19	12,11	17,43	21,8	1,2	2,89	0,01	0,78	0,02	0,04	5,43	23,68	1,4
20	7,06	4,12	2	12,65	1,49	3,63	0,02	0	0,08	21,85	13,26	6,18
21	18,2	18,86	4,32	2,99	0,04	0,72	0	0	0,04	0,63	10,8	18,05
22	4,19	10,28	0,25	0,72	0,01	0,17	0	0	6,31	0,06	13,92	22,93
23	5,97	0,25	0,75	0,12	12,46	0,04	0	0	6,92	0	3,28	3,8
24	3,42	1,83	32,54	0,11	0,43	0	0	0	0	0	18,78	20,63
25	24,64	4,62	14,32	17,08	0,04	0	0	0	0	5,32	8,27	8,36
26	30,45	8,45	45,29	8,9	0	0	0	0,01	0	1,49	1,05	7,29
27	6,28	6,69	4,75	0,3	0,02	0	0	0	0	7,19	0,54	19,89
28	2,17	6,48	0,1	4,73	2,48	0,06	0	0	0	0,68	1	35,64
29	11,81	3,81	0,26	5,9	0,08	0	0	0,03	0	1,13	5,01	11,42
30	20,64		0,01	10,03	5,47	0	0,34	0,08	0	0,45	14,15	33,52
31	26,23		2,32		3,86		0,03	0,57		0,17		13,44
Hujan Maksimum	32,5	53,97	45,29	17,08	36,77	19,77	0,78	0,57	6,92	24,62	23,68	35,64
Hujan Rata Rata	13,33	10,46	9,78	5,33	4,58	1,42	0,06	0,02	0,45	4,20	8,05	9,93
Jumlah CH	413,14	303,32	303,1	159,97	141,84	42,55	1,72	0,71	13,54	130,1	241,56	307,94
Jumlah Hari Hujan	31	28	25	24	13	7	0	0	2	17	28	30

Tabel A.5
Data Curah Hujan Harian Tahun 2013 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	10,58	4,67	15,42	2,6	19,19	7,29	1,37	0	0,02	0,15	0,08	3,08
2	14,89	3,88	6,12	1,03	6,39	20,75	3,04	0,02	0,03	0	10,92	1,31
3	16,05	1,1	1,61	1,36	0,06	15,05	9,51	0,06	6,98	0	19,1	39,08
4	53,8	14,7	1,46	1,55	4,7	1,23	2,63	0,04	0,46	0,01	0,93	4,97
5	27,14	9,36	2,45	4,96	0,04	2,07	4,42	0,01	31,72	0,03	0,3	11,41
6	7,92	11,94	0,61	3,49	1,06	8,76	0,64	0,17	4,59	3,88	4,6	4,62
7	17,31	2,09	1,34	32,9	0,71	25,46	1,06	0,01	0	10,56	2,21	1,89
8	5,97	2,07	5,21	1,71	1,83	5,85	7,27	0	0	0,87	6,8	2,9
9	4,63	5,52	6,96	3,03	1,72	5,72	10,02	0,15	0	0,27	3,01	11,59
10	3,69	17,14	5,71	2,06	2,95	1,14	5,35	7,33	0	0,99	3,41	2,22
11	2,21	6,33	1,96	17,63	0,9	3,04	13,77	0,03	0	0,06	17,62	7,38
12	20,16	2,08	3,21	6,23	0,23	2,75	3,3	0	0,02	0	9,36	17,63
13	31,24	1,3	6,87	1,56	1,28	5,64	9,36	0	0,03	0,57	6,85	24,79
14	32,86	5,87	10,31	9,99	0,07	2,03	24,45	0,81	9,46	0,03	4,87	4,4
15	65,09	2,57	8,8	6,11	0,57	20,73	5,62	1,47	0,64	0	17,55	9,61
16	7,74	14,35	3,77	0,68	16,03	53,98	0,74	1,76	0	0,31	4,66	6,07
17	4,41	3,91	3,28	39,91	27,34	15,3	1,87	22,19	0	0,38	25,26	21,89
18	9,62	21,66	2,41	51,96	9,09	5,37	0	0,11	0,01	2,75	8,91	18,25
19	16,25	7,21	3,67	0,41	4,54	13,79	2,64	1,12	0,03	10,91	4,03	11
20	10,51	8,77	1,75	17,94	1,53	24,67	0,47	0,27	0,63	1,86	2,03	4,23
21	7,01	14,58	0,39	5,5	8,82	2,43	17,39	0,01	0,01	2,67	1,77	6,43
22	6,61	78,81	5,45	9,1	11,02	0,03	11,65	2,85	0,01	0,53	1,97	9,73
23	8,72	30,83	12,56	3,02	1,45	0	6,05	0	0,06	3,89	0,02	8,51
24	17	10,22	3,92	0,37	0,61	0,42	4,86	0	0,01	2,79	0,93	6,66
25	6,06	0,19	34,24	5,53	2,68	0,15	6,93	0,18	0	0,33	12,05	10,46
26	3,26	13,89	11,82	0,2	3,78	2,56	1,12	0,4	0	10,12	2,73	1,4
27	7,11	16,48	1,35	0,67	31,14	6,97	0,14	3,16	0	3,2	0,47	0,38
28	10,2	30,83	1,89	0,2	6,27	6,79	0,04	0,89	0	1,18	0,5	0,36
29	5,83		5,31	4,55	6,01	12,37	0,02	0,44	0,06	0,38	1,43	0,88
30	10,34		5,47	1,12	9,27	3,73	0	10,58	1,05	0,22	0,01	9,88
31	14,33		1,41		16,02		0	3,08		2,68		14,8
Hujan Maksimum	65,09	78,81	34,24	51,96	31,14	53,98	24,45	22,19	31,72	10,91	25,26	39,08
Hujan Rata Rata	14,79	12,23	5,70	7,91	6,36	9,20	5,02	1,84	1,86	1,99	5,81	8,96
Jumlah CH	458,54	342,35	176,73	237,37	197,3	276,07	155,73	57,14	55,82	61,62	174,38	277,81
Jumlah Hari Hujan	31	27	29	24	23	26	22	9	5	12	22	28

Tabel A.6
Data Curah Hujan Harian Tahun 2014 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	10,49	26,12	2,76	1	12,99	0,01	3,86	0,16	0	1,15	0,04	0,87
2	4,89	41,65	3,73	3,44	3,84	0,05	3,14	1,74	0,03	0,38	0,03	6,51
3	41,81	54,93	1,02	7,08	3,55	1,16	4,84	4,51	0,01	0,01	0,13	8,7
4	24	22,05	3,23	4,13	2,32	0,42	7,39	3,74	0,01	0	22,65	23,26
5	21,89	6,51	5,35	8,88	0,94	12,51	1,53	0,24	0	0,35	1,09	28,46
6	41,87	5,94	13,81	9,51	1	1,08	14,14	0,09	1,01	0,85	4,19	4,33
7	20,07	2,96	4,69	8,6	1,79	0,08	12,56	0,4	0,01	0	7,14	1,96
8	16,82	6,87	4,76	6,59	1,47	0	1,18	0,17	0	0,01	12,72	1,37
9	2,3	16,9	17,92	9,44	13,49	0,55	0,89	0,02	0	0	11,96	2,94
10	2,8	0,98	8,07	1,96	11,98	0,88	2,95	1,32	0	0	15,98	3,61
11	12,31	0,71	4,73	2,5	1,19	0,67	7,69	14,2	0	0	6,22	14,47
12	12,82	0,18	2,91	7,23	2,76	0,42	32,01	0,57	0	0	1,36	6,66
13	6,43	0,61	12,44	6,01	9,42	8,04	23,77	0,01	0	0,85	5,28	15,35
14	19,02	2,69	3,93	4,69	5,25	0,7	0,8	0,79	0	0,16	22,63	4,66
15	20,44	19,41	0,3	3,65	0,84	2,11	0,17	0,29	0,03	0,1	2,13	2,98
16	13,2	5,28	0,44	8,19	6,52	6,68	0,6	0,01	0,03	0,09	3,2	12,04
17	69,11	10,83	2,43	4,17	5,37	13,25	0,08	0	0	0,46	1,9	9,14
18	47,56	17,55	11,12	0,25	1,01	10,52	0,82	0	0	0,72	7,29	16,7
19	23,11	7,95	13,54	0,21	0,43	8	8	0,04	0,04	0,29	4,14	17,8
20	27,14	2,11	6,67	0,76	0,4	1,02	2,26	0	0,02	1,17	10,88	9,6
21	33,19	5,44	9,31	1,32	13,95	0,62	7,5	3,46	0,03	1,14	10,39	2,55
22	70,99	21,27	10,54	0,18	13,41	0,61	5,57	1,06	0,04	5,45	7,25	6,91
23	44,98	12,39	0,22	0,32	5,16	0,37	1,72	0,27	0	8,87	14,2	33,97
24	40,35	1,21	12,88	2,18	2,26	0,3	1,98	5,71	0	2,3	9,09	3,18
25	12,12	2,02	15,56	0,91	15,25	1,84	8,26	0,91	0	2,93	7,22	3,53
26	15,4	0,87	0,54	0,36	7,46	13,7	4,87	0,02	0	1,93	4,22	3,79
27	46,04	0,19	4,16	3,84	3,96	4,34	0,72	0,03	0	0,42	9,51	13,98
28	39,11	2,43	11,55	5,61	0,58	0,35	0,13	2,01	0	0,35	2,14	2,9
29	12,45		8,47	0,49	0,07	11,18	1,35	0,03	0,01	0,07	6,08	7,73
30	13,78		4,19	0,28	0,13	1,09	13,55	0,21	0,03	0,74	1,72	16,72
31	12,91		0,5		0,03		3,35	0,15		1,13		18,81
Hujan Maksimum	70,99	54,93	17,92	9,51	15,25	13,7	32,01	14,2	1,01	8,87	22,65	33,97
Hujan Rata Rata	25,14	10,64	6,51	3,79	4,80	3,42	5,73	1,36	0,04	1,03	7,09	9,85
Jumlah CH	779,4	298,05	201,77	113,78	148,82	102,55	177,68	42,16	1,3	31,92	212,78	305,48
Jumlah Hari Hujan	31	22	26	20	22	15	23	9	1	9	27	30

Tabel A.7
Data Curah Hujan Harian Tahun 2015 (mm)

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2.36	7.19	1.95	1.58	3.17	2.66	0.58	0.03	1.54	4.87	1.44	18.41
2	0.29	12.32	0.78	3.6	2.35	2.07	3.62	4.23	21.92	2.08	3.02	4.98
3	12.44	0.98	3.91	1.22	1.87	4.57	7.09	4.09	0.45	4.18	6.73	10.45
4	5.19	22.26	7.17	1.83	7.19	3.67	54.89	6.55	0.33	2.91	9.15	4.91
5	14.74	8.57	62.5	1.66	8.52	13.95	3.36	10.28	5.22	6.14	4.56	6.09
6	17.36	12.8	2.09	0.37	0.89	19.48	0.18	1.53	16.17	8.39	21.82	11.5
7	2.39	20.07	5	3.85	2.79	4.45	0.42	12.86	2.49	2.08	43.51	7.31
8	4.4	5.68	5.68	4.96	5.52	50.76	2.64	0.01	7.23	3.5	8.01	7.56
9	6.92	0.17	9.26	3.97	2.35	8.52	0.15	0.01	6.56	2.71	15.91	6.61
10	2.53	10.22	7.71	0.72	1.09	1.14	0.89	0.35	2.45	0.05	1.78	108.95
11	53.03	30.77	62.96	5.76	11.08	0.49	18.82	0.25	1.84	0	2.96	8.39
12	17.14	1.93	5.16	10.75	7.43	0.61	5.55	0.21	10.91	0	7.74	2.4
13	20.46	4.63	3.25	0.07	4.89	5.38	4.63	5.28	12.7	11.52	5.91	0.46
14	6.17	3.68	4.03	3.44	20.5	5.61	2.28	1.85	3.72	7.47	1.3	31.12
15	3.77	7.88	0.6	49.76	11.22	2.48	1.28	17.48	3.4	4.62	0.55	9.7
16	18.62	2.85	3.95	9.55	59.81	37.62	1.45	4.09	18.66	26.48	9.84	1.26
17	12.32	0.98	22.26	8.57	12.8	20.07	5.68	0.17	10.22	30.77	1.93	4.63
18	6.4	4.31	8	3.38	3.93	6.05	5.36	5.73	14.02	10.17	1	25.66
19	7.17	47.3	5.04	1.22	4.99	2.46	1.04	4.97	9.85	1.59	5.04	4.94
20	4.33	25.42	4.79	4.25	5.02	9.07	0.1	0.76	23.33	6.1	8.66	9.26
21	3.06	7.38	1.2	24.22	6.38	0.22	0.02	7.28	12.16	18.59	3.84	14.76
22	7.02	8.87	4.15	11.49	13.33	0.36	0.26	15.25	3.55	8.18	0.62	7.51
23	3.22	4.6	24.2	8.4	30.07	1.02	0.04	11.97	2.05	14.62	3	5.8
24	6.53	37.82	58.04	3.05	6.1	10.39	0.01	7.78	6.88	10.52	13.29	0.17
25	4.14	16.35	7.82	0.58	3.24	10.39	3.52	3.83	7.41	9.9	1.27	2.32
26	29.12	0.04	2.44	2.47	8.19	24.51	2.25	3.22	8.39	9.49	0.67	7.11
27	35.61	0.75	2.9	20.59	5.61	2.5	7.79	4.78	2.23	10.42	7.99	11.67
28	40.91	0.79	12.13	5.75	6.92	1.56	4.24	2.38	1.89	6.43	13.6	17.71
29	13.41		19.95	23.38	4.77	4.37	8.57	0.6	0.66	10.16	1.34	9.2
30	10.41		18.64	15.21	6.76	3.11	4.04	10.64	21.79	7.75	3.36	2.63
31	5.17		2.59		17.32		2.6	7.2		4.89		3.55
Hujan Maksimum	53.03	47.3	62.96	49.76	59.81	50.76	54.89	17.48	23.33	30.77	43.51	108.95
Hujan Rata Rata	12.15	10.95	12.26	7.86	9.23	8.65	4.95	5.02	8.00	7.95	6.99	11.84
Jumlah CH	376.63	306.61	380.15	235.65	286.1	259.54	153.35	155.66	240.02	246.58	209.84	367.02
Jumlah Hari Hujan	30	22	29	26	30	26	21	22	27	28	26	29

Tabel A.8
Data Curah Hujan Harian Tahun 2016 (mm)

Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	1,58	5,16	9,62	2,44	0,89	2,08	10,2	0,84	11,64	3,09	2,19	6,58
2	5,54	6,84	1,71	0,86	1,21	3,24	25,65	0,01	13,54	17,75	5,1	9,54
3	22,52	4,55	2,86	12,54	0,42	3,82	28,39	0,02	15,23	2,57	1,06	5,02
4	22,43	5,99	12,29	15,6	3,1	0,17	4,2	0,14	14,55	1,22	6,09	18,35
5	7,25	14,68	5,01	7,18	3,5	0,88	0,54	0,07	0,46	6,38	19,89	11,39
6	1,49	23,54	2,11	7,8	0,02	0,27	0,03	0,38	1,65	8,14	14,22	9,32
7	0,07	29,85	0,23	0,41	2,22	1,76	1,1	1,55	7,65	1,14	6,7	26,52
8	13,38	13,16	0,6	6,69	0,67	3,1	5,12	6,73	6,17	36,29	2,37	6,39
9	4,72	23,81	1,22	8,89	2,68	5,09	5,17	0,23	45,49	16,43	17,4	3,71
10	1,84	8,77	2,06	31,91	5,46	2,85	13,59	0,05	9	11,03	2,56	8,44
11	0,22	9,43	0,61	19,28	1,71	0,19	16,08	0,1	0,4	4,54	12,25	7,98
12	0,15	15,64	0,17	3,36	10,17	0,18	4,26	36,53	2,21	5,4	6,88	4,17
13	0,18	9,2	0,16	26,36	2,49	0,19	0,87	7,73	7,72	1,29	7,88	7,12
14	1,96	3,56	1,87	4,52	1,12	0,77	7,52	2,12	6,98	5,85	11,04	7,39
15	0,74	22,54	0,7	3,3	5,8	1,85	4,59	1,19	5,38	2,49	27,55	1,36
16	1,43	6,25	0,97	2,67	6,71	3,03	6,22	4,19	22,25	0,16	14,04	6,66
17	6,91	2,76	1,31	0,73	5,01	4,69	4,38	11,84	27,01	0,35	8,09	8,85
18	11,31	6,28	1,31	4,78	1,01	18,39	4,08	2,43	1,51	6,86	6,67	3,99
19	9,13	0,99	0,19	3,16	15,57	1,07	9,12	0,05	28,62	4,31	4,23	3,82
20	10,57	5,63	0,84	10,43	4,4	1,91	7,82	0	33,45	4,68	4,6	0,65
21	3,34	45,37	0,2	2,44	2,19	0,72	6,65	0,48	20,79	5,05	6,88	0,07
22	19,53	32,8	5,62	5,69	10,99	7,4	2,09	0,68	12,37	6,77	5,58	0,42
23	22,05	17,25	3,78	5,18	2,85	34,68	0,41	0,06	8,35	25,68	10	7,5
24	8,7	3,5	0,82	0,63	1,12	5,95	0,28	4,05	1,79	5,61	14,39	2,55
25	6,63	8,24	4,6	0,32	7,55	3,3	1,94	2,01	5,72	2,11	3,75	1,72
26	5,8	2,61	10,95	2,76	8,22	1,31	0,8	2,34	20,55	1,57	3,47	12,21
27	3,04	6,49	6,8	0,99	4,65	8,14	4,18	2,92	35,95	1,7	2,72	17,7
28	18,32	5,77	3,91	15,7	2,4	5,18	9,8	9,07	26,78	10,11	16,92	3,03
29	5,7	31,72	0,89	7,22	3,61	1,68	3,22	23,45	0,13	10,69	7,1	12,12
30	11,12		5,03	1,55	2,01	1,41	1,31	3,68	5,76	9,89	4,62	26,49
31	15,98		9,44		0,75		0,43	1,73		8,87		14,06
Hujan Maksimum	22,52	45,37	12,29	31,91	15,57	34,68	28,39	36,53	45,49	36,29	27,55	26,52
Hujan Rata Rata	7,86	12,84	3,16	7,18	3,89	4,18	6,13	4,09	13,30	7,36	8,54	8,23
Jumlah CH	243,63	372,38	97,88	215,39	120,5	125,3	190,04	126,67	399,1	228,02	256,24	255,12
Jumlah Hari Hujan	26	28	19	24	26	22	24	17	27	29	30	28

Tabel A.9
Data Curah Hujan Harian Tahun 2017 (mm)

Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	23,92	14,92	24,88	1,39	8,17	15,01	1,88	0,11	0,03	13,83	0	12,99
2	25,19	8,32	4,62	9,98	6,12	10,84	6,35	0,05	0,03	44,48	0,15	0,25
3	4,8	7,78	29,28	31,41	19,3	3,15	0,65	0	0,01	16,59	5,06	1,73
4	18,34	5,22	13,61	10,87	8,02	0,48	0,19	0	0,01	3,81	15,38	11,04
5	7	0,2	0,96	4,16	7,07	0,76	0,05	0	0,05	1,58	3,38	2,2
6	9,26	20,48	1,02	6,99	3,05	0,42	0,02	0	0,05	10,58	0,47	0,56
7	13,24	8,16	24,75	5,45	1,13	0,59	0,02	0	1,25	13,48	1,96	1,57
8	7,66	13,19	0,51	9,83	0,55	0,56	2,98	0	0,85	5,8	1,24	2,62
9	9,64	15,92	2,17	0,96	0,38	0,12	0,71	0,03	0,04	5,37	4,17	7,62
10	6,89	49,13	0,9	2,24	0,38	0,28	0,08	0,95	1,22	5,68	12	45,91
11	4,7	26,64	1,46	16,54	0,03	0,16	0,01	0,12	0,19	2,8	5,26	7,52
12	2,99	11,77	2,32	7,3	9,94	2,37	0,02	0	0	1,07	4,78	1,32
13	7,56	31,47	11,92	27,14	1,32	22,25	0,39	0,01	0	5,71	24,37	10,49
14	13,79	16,13	3,33	6,36	0,22	1,86	0,1	0,02	0,03	0,89	8,85	1,05
15	9,82	30,52	29,33	3,41	0,27	6,44	0,13	0	0,03	3,41	7,55	1,46
16	18,86	16,63	1,45	0,92	5,5	0,52	0	0	0,15	45,57	5,67	2,27
17	8,15	1,51	0,49	27,89	1,53	0,14	0,02	0	9,17	9,4	5,23	2,39
18	3,92	1,54	10,26	23,97	0,04	0,03	0,65	0	1,95	5,5	2,48	6,6
19	12,83	0,6	1,5	1,55	0,01	3,33	0,58	0,02	0	4,02	7,23	6,98
20	6,23	6,97	0,9	12,11	0,01	0,85	2,02	0,01	0	1,56	8,55	16,85
21	3,53	1,87	3,17	7,02	0,01	7,29	4,77	0	0	0,43	1,68	12,83
22	8,32	19,01	3,81	1,41	0,03	16,18	1,55	0	1,83	0,04	0,6	4,39
23	14,54	13,13	1,95	0,49	0,01	0,86	0,17	0	0,5	1,32	1,07	0,39
24	2,78	7,07	2,23	0,09	0	2,65	0,03	0,01	5,36	3,74	3,63	0,23
25	21,12	75,76	1,2	2,35	0	3,58	0	0,01	3	1,26	5,95	8,54
26	3,54	4,72	8,71	2,21	14,47	1,9	0,03	0	6,37	3,9	14,23	8,7
27	0,88	3,28	0,56	2,18	5,19	2,69	4,83	0,01	8,55	41,39	19,12	15,27
28	24,12	5,3	8,9	5,93	6,88	0,74	0,51	0,58	0,27	37,72	20,1	22,39
29	9,66	31,72	3,35	5,27	2,57	0,59	3,85	1,23	11,97	7,49	11,08	1,17
30	0,45		0,71	1,94	6,5	0,32	0,08	0,62	34,72	1,83	31,15	6,15
31	4,63		0,86		6,48		0	0,23		0,12		5,18
Hujan Maksimum	25,19	75,76	29,33	31,41	19,3	22,25	6,35	1,23	34,72	45,57	31,15	45,91
Hujan Rata Rata	9,95	15,48	6,49	7,98	3,72	3,57	1,05	0,13	2,92	9,69	7,75	7,38
Jumlah CH	308,36	448,96	201,11	239,36	115,18	106,96	32,67	4,01	87,63	300,37	232,39	228,66
Jumlah Hari Hujan	29	27	23	26	17	14	8	1	11	27	26	27

Tabel A.10
Data Curah Hujan Harian Tahun 2018 (mm)

Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	8,83	35,42	6,35	5,54	0	0,01	0	0	3,75	0,4	2,64	0,24
2	8,31	12,66	5,65	33,96	0	0,03	0,01	0,06	1,04	3,33	2,11	12,7
3	2,39	22,41	2,42	17,18	0	0,11	0,35	0,11	0,08	2,88	6,58	63,81
4	9,74	7,29	0,64	0,96	0	0,12	0,63	0	0,02	0,97	1,61	21,69
5	3,86	35,05	1,37	9,33	0	0,18	0,16	0,02	0,04	0,02	5,32	9,38
6	2,11	11,62	1,83	6,1	0,04	0,03	0	0	0,01	0,01	28,05	5,05
7	15,46	5,49	2,33	1,21	0,21	0,35	0	0	0,04	0,05	16,78	13,33
8	1,08	14,55	1,98	3,17	0,43	8,11	0	0	0,01	0	6,58	18,21
9	1,61	67,53	13,85	0,39	0,15	0,85	0	0,04	0	0	22,71	10,51
10	8,35	7,92	58,43	2,52	0,94	0,65	0	0,03	0	0	9,33	2,47
11	13,28	19,18	38,73	0,79	0,55	0,42	0	0	0	0	8,54	1,12
12	4,8	16,74	21,25	1,36	0	1,14	0	0,03	0	0	2,95	11,85
13	18,19	12,43	0,47	2,02	0,04	0,03	0	0,04	0	0,27	4,85	20,88
14	23,81	6,56	0,5	2,85	0,03	0	0	0,05	0	0,42	5,32	6,22
15	5,26	36,7	1,52	1,68	0,16	0	0	0	0	12,22	0,62	13,92
16	2,11	86,82	0,99	0,81	0,16	0,02	0	0	0	14,27	3,07	0,07
17	0,9	29,15	4,46	0,81	0,42	0,56	0,04	0	0	0,32	1,29	0,04
18	4,21	23,76	1,02	1,55	1,49	1,75	0,02	0	0,57	0,11	0,74	0,47
19	1,64	11,37	0,31	25,01	1,93	2,33	0	0	0,7	0,02	0,45	4,64
20	3,88	30,69	0,42	10,95	1,55	2,1	0	0	0,56	1,85	0,35	2,47
21	7,71	30,83	4,56	3,97	4,33	1,63	0,01	0,03	0,19	0,72	0,22	0,34
22	20,15	38,67	9,9	2,84	4,58	0,98	0	0	0,65	0,56	0,26	0,5
23	3,82	10,23	3,11	10,28	5,39	0,42	0	0	0,73	7,45	0,09	11,59
24	4,67	17,48	3,51	1,81	2,75	13,48	0,01	0	0,06	13,2	2,46	5,22
25	4,24	14,53	21,66	3,55	0,46	22,68	0	0	0	3,96	3,19	16,59
26	2,43	4,92	5,05	3,12	0,17	0,71	0	0	1,07	1,48	3,98	9,61
27	17,31	1,88	4,57	1,96	0,16	0,01	0	0	0,23	1,82	6,93	2,53
28	11,16	7,69	2,04	8,69	0,01	0,01	0	0,02	0	0,74	10,65	1,12
29	17,07	31,72	0,79	0,18	1,37	0	0	0,05	0,02	1,91	16,48	0,58
30	14,88		0,95	0	0,17	0	0	0,08	0,02	0,2	5,57	0,6
31	9,54		0,62		0,01		0,01	0,12		0,19		19,77
Hujan Maksimum	23,81	86,82	58,43	33,96	5,39	22,68	0,63	0,12	3,75	14,27	28,05	63,81
Hujan Rata Rata	8,15	22,46	7,14	5,49	0,89	1,96	0,04	0,02	0,33	2,24	5,99	9,27
Jumlah CH	252,8	651,29	221,28	164,59	27,5	58,71	1,24	0,68	9,79	69,37	179,72	287,52
Jumlah Hari Hujan	30	29	22	23	8	8	0	0	3	11	23	23

Tabel A.11
Data Curah Hujan Harian Tahun 2019 (mm)

Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2,25	12,2	21,79	9,64	22,66	0	0	0,04	0,02	0,13	5,23	0,57
2	10,61	5,43	5,84	18,3	3,97	0	0	0,06	0,02	0,24	9,4	0,36
3	4,17	4,24	6,22	3,14	0,44	0	0,01	1,51	0,03	0,31	0,63	1,28
4	0,89	27,06	18,54	14,25	4,41	0,04	0,44	1,58	0	0,16	0,5	32,43
5	1,47	7,22	2,41	19,15	18,88	0,07	2,06	0	0	0	0,1	15,36
6	1,28	25,86	25,18	2,89	4,58	0,07	0,66	0	0	0	0,01	14,38
7	4,98	38,6	7,87	34,17	5,45	0,17	0,13	0	0	0	0	4,17
8	31,4	36,39	0,42	39,64	4,18	0,04	0,01	0	0	0,16	0	3,54
9	3,74	9,76	4,86	2,98	12,98	0	0,01	0	0	0,33	0,01	13,21
10	6,14	5,89	1,34	1,39	3,57	0	0	0	0	11,73	0,68	13,6
11	2,66	10,46	2,56	2,01	0,35	0	0	0	0	3,94	0,41	1,27
12	11,53	14,2	0,92	3,47	1,92	0	0	0	0	0,06	0,07	1,28
13	16,22	2,64	3	6,97	0,83	0,04	0	0	0	0,03	9,77	0,86
14	2,01	1,65	5,15	12,44	0,28	0,1	0	0	0,01	0	6,42	4,48
15	6,77	32,44	8,83	4,46	9,3	0,53	0	0,06	0,92	0,02	0,41	39,67
16	34,7	32,64	1,42	1,75	0,52	0,14	0	0,07	0,8	0,01	0,03	2,26
17	24,6	2,16	7,84	2,22	0,04	0	0	0	0,02	0	0,01	19,82
18	6,01	0,97	6,44	1,57	0,01	0,03	0	0	0,01	0,01	0,06	12,63
19	5,84	3,68	9,44	3,84	0,13	0,04	0	0	0,06	0,28	0,17	3,58
20	19,22	0,83	1,41	0,71	0,01	0	0,16	0	0,01	0,03	1,84	1,02
21	9,19	5,04	18,84	5,48	0,02	0	0,04	0,02	0	0	0,63	7,58
22	41,94	9,2	19,75	4,08	0	0	0	0,03	0	0	0,68	7,35
23	13,77	12,28	10,52	3,9	0,07	0	0	0	0,01	0,06	0,28	7,23
24	15,94	6,7	11,98	1,73	0,08	0,01	0,01	0	0,01	0,03	0,7	1,31
25	12,17	3,65	23,07	6,35	0,01	0	0	0	0,01	0,03	1,94	10,56
26	28,33	0,72	0,33	5,96	0,03	0	0,01	0	4,21	0,1	0,91	14,35
27	31,34	0,13	3,62	1,4	0,83	0	0,17	0	1,61	0,16	0,96	32,67
28	8,37	6,95	6,55	11,74	0,11	0	0,09	0,01	18,39	0,17	1,05	26,69
29	3,18	31,72	6,05	3,58	0,36	0	0	0,05	6,8	0,19	8,95	6,38
30	7,91		6,53	11,8	0,32	0	0,04	0,03	0,14	0,05	10,22	4,81
31	23,73		3,49		0,05		0,07	0,02		2,21		35,01
Hujan Maksimum	41,94	38,6	25,18	39,64	22,66	0,53	2,06	1,58	18,39	11,73	10,22	39,67
Hujan Rata Rata	12,66	12,09	8,14	8,03	3,11	0,04	0,13	0,11	1,10	0,66	2,07	10,96
Jumlah CH	392,36	350,71	252,21	241,01	96,39	1,28	3,91	3,48	33,08	20,44	62,07	339,71
Jumlah Hari Hujan	30	25	28	29	11	0	1	2	4	3	9	28

Tabel A.12
Data Curah Hujan Harian Tahun 2020 (mm)

Tanggal	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	24,49	5,95	22,64	21,42	6,26	4,43	0,36	0	0,41	3,08	37,54	2,55
2	1,82	1,86	4,7	4,78	12,25	3,21	34,73	0	1,13	9,91	5,75	26,69
3	16,06	23,26	17,98	4,38	0,37	2,06	14,26	0,01	16,42	4,65	2,43	24,57
4	3,17	18,47	34,7	1,3	3,25	0,58	0,04	0,02	20,3	2,06	1,13	7,52
5	7,12	18,39	15,66	3,63	2,28	6,96	1,7	0,14	2,01	5,32	14,32	22,13
6	21,7	2,95	15,2	2,68	4,08	5,17	16,32	0,03	1,1	1,3	0,42	27,96
7	34,97	29,17	8,64	1,74	1,29	3,08	0,84	0,03	0,28	0,1	2,09	25,03
8	24,23	4,81	9,25	3,11	1,36	5,56	0,11	0,01	0,15	0,07	6,34	16,12
9	16,51	1,6	2,89	7,35	8,47	3,85	1,11	1,18	0,03	0,15	2,21	15,91
10	3,87	3,15	0,31	7,04	2,57	1,97	1,61	0,51	0,03	6,98	27,56	3,36
11	22,45	12,92	10,16	5,33	5,14	0,79	0,43	1,81	0,02	3,34	11,61	6,73
12	1,73	4,57	3,52	14,41	0,95	0,19	0,65	0,38	0,01	10,94	5,06	20,23
13	5,81	1,29	0,41	16,59	0,15	0,27	0,16	6,41	0,02	12,12	1,52	10,56
14	3	0,05	2,62	8,07	0,57	0,6	3,77	3,01	0,02	2,9	4,35	4,97
15	0,41	11,61	14,24	0,64	2,51	10,55	2,38	21,07	0,01	13,8	7,82	6,56
16	4,03	7,64	10,26	0,75	6,24	2,78	0,39	9,39	0,02	3,22	13,2	4,65
17	7,99	13,59	11,36	2,42	5,52	1,48	1,71	0,54	0,03	0,11	19,1	17,46
18	3,9	14,71	1,16	1,86	26,8	3,31	0,88	7,61	0,03	4,78	9,39	29,52
19	0,36	49,89	9,86	0,56	22,92	3,1	21,46	0,67	1,21	3,87	4,55	49,1
20	5,16	49,2	19,2	14,66	17,61	0,08	3,66	0,57	2,85	3,55	11,96	3,95
21	2,4	4,97	11,35	32,08	13,69	0,3	0,74	0,28	14,22	11,77	7,16	4,4
22	0,61	15,38	13,84	0,3	1,95	0,55	0,07	0,01	22,33	7,86	2,39	5,75
23	1,1	50,19	6,1	1,36	0,85	0,08	0,01	0,13	2,7	8,72	0,44	2,69
24	2,51	8,48	1,64	5,71	3,49	1,63	0,64	0,05	1,05	5,35	3,98	4,48
25	51,81	4,53	3,92	0,64	16,18	2,74	0,5	0	0,42	5,52	3,61	7,6
26	54,55	1,49	14,87	3,4	13,01	5,41	0	0	6,01	11,41	0,63	3,14
27	1,26	16,89	4,09	1,58	4,13	5,94	0	0	26,88	9,71	5,19	10,13
28	0,49	11,55	0,08	6	3,9	0,06	0	0,02	10,05	4,9	12,09	11,7
29	1,09	29,18	2,95	1,33	43,45	0,62	0	4,79	0,37	6,83	19,14	26,03
30	4,84		7,1	1,98	35,55	0,39	0	0,27	1,47	8,32	1,28	29,02
31	6,2		11,25	0,05	8,2		0	0,01		20,87		6,6
Hujan Maksimum	54,55	50,19	34,7	32,08	43,45	10,55	34,73	21,07	26,88	20,87	37,54	49,1
Hujan Rata Rata	10,83	14,40	9,42	5,71	8,87	2,59	3,50	1,90	4,39	6,24	8,14	14,10
Jumlah CH	335,64	417,74	291,95	177,15	274,99	77,74	108,53	58,95	131,58	193,51	244,26	437,11
Jumlah Hari Hujan	27	28	28	25	26	18	11	8	15	27	27	31

Tabel A.13
Data Hari Hujan Tahun 2009-2020

Tahun	Bulan												Total
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Novembe	Desember	
2009	30	28	20	20	24	17	6	2	5	17	21	22	212
2010	30	22	29	26	30	26	21	22	27	28	26	29	316
2011	31	26	27	27	24	6	8	0	4	14	29	27	223
2012	31	28	25	24	13	7	0	0	2	17	28	30	205
2013	31	27	29	24	23	26	22	9	5	12	22	28	258
2014	31	22	26	20	22	15	23	9	1	9	27	30	235
2015	28	19	24	28	14	7	2	5	0	0	22	31	180
2016	26	28	19	24	26	22	24	17	27	29	30	28	300
2017	29	27	23	26	17	14	8	1	11	27	26	27	236
2018	30	29	22	23	8	8	0	0	3	11	23	23	180
2019	30	25	28	29	11	0	1	2	4	3	9	28	170
2020	27	28	28	25	26	18	11	8	15	27	27	31	271
Maksimum	31	29	29	29	30	26	24	22	27	29	30	31	316
Rata-rata	30	26	25	25	20	14	11	6	9	16	24	28	232

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN CURAH HUJAN RENCANA

A. Pengolahan Data Curah Hujan

Data yang ada diolah dengan menggunakan Distribusi Gumbell. Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu menentukan curah hujan maksimum di setiap bulannya. Kemudian didapat curah hujan maksimum pada tahun tersebut. Data curah hujan harian maksimum tahun 2009-2020 dapat dilihat pada tabel B.1. Rumus untuk menghitung curah hujan rencana adalah seperti di bawah ini. Persamaan Gumbel:

$$X_r = \bar{X} + \frac{S_x}{S_n} (Y_r - Y_n) \text{ atau } X_t = \bar{X} + k \cdot S_d$$
$$k = (Y_r - Y_n) / S_n$$

Keterangan :

X_r = Curah Hujan Rencana (mm/hari)

X = Curah Hujan Rata Rata

K = *Reduce Variate Factor*

S_d = Standar Deviasi

S_n = Standar Deviasi dari Reduksi Variat

Y_t = Nilai Reduksi Variat

Y_n = Nilai Rata rata dari Reduksi Variat

Tabel B.1
Data Curah Hujan Harian Maksimum 2009-2020 (mm)

Tahun	Data Curah Hujan Maksimal 2013-2019												Total	Maksimal per Tahun
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember		
2009	61,25	44,85	26,35	45,91	33,49	37,21	17,06	5,12	18,81	27,10	33,87	55,57	406,59	61,25
2010	53,03	47,30	62,96	49,76	59,81	50,76	54,89	17,48	23,33	30,77	43,51	108,95	602,55	108,95
2011	54,92	46,75	18,70	38,30	19,25	31,70	15,50	0,16	24,73	15,16	46,85	17,58	329,60	54,92
2012	32,50	53,97	45,29	17,08	36,77	19,77	0,78	0,57	6,92	24,62	23,68	35,64	297,59	53,97
2013	65,09	78,81	34,24	51,96	31,14	53,98	24,45	22,19	31,72	10,91	25,26	39,08	468,83	78,81
2014	70,99	54,93	17,92	9,51	15,25	13,70	32,01	14,20	1,01	8,87	22,65	33,97	295,01	70,99
2015	35,57	88,46	26,94	73,39	36,15	22,24	3,23	5,08	0,10	0,30	17,74	43,35	352,55	88,46
2016	22,52	45,37	12,29	31,91	15,57	34,68	28,39	36,53	45,49	36,29	27,55	26,52	363,11	45,49
2017	25,19	75,76	29,33	31,41	19,30	22,25	6,35	1,23	34,72	45,57	31,15	45,91	368,17	75,76
2018	23,81	86,82	58,43	33,96	5,39	22,68	0,63	0,12	3,75	14,27	28,05	63,81	341,72	86,82
2019	41,94	38,60	25,18	39,64	22,66	0,53	2,06	1,58	18,39	11,73	10,22	39,67	252,20	41,94
2020	54,55	50,19	34,70	32,08	43,45	10,55	34,73	21,07	26,88	20,87	37,54	49,10	415,71	54,55
Rata Rata CH Maksimum													68,49	

Pada hasil perhitungan dari table B.1 maka didapatkan curah hujan rata-rata maksimum sebesar 68,5 mm

B. Periode Ulang Hujan dan Resiko Hidrologi

Penentuan periode ulang dan resiko hidrologi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Pr = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{TL}$$

Keterangan :

Pr = Resiko Hidrologi

Tr = Periode Ulang (Analisis ini menggunakan periode ulang 3 tahun)

TL = 5 tahun (Asumsi)

$$Pr = 1 - \left(1 - \frac{1}{3}\right)^5 \times 100\% = 86.83\%$$

Tabel Perhitungan Periode Ulang terdapat pada Tabel B.2.

Tabel B.2
 Risiko Hidrologi pada Periode Ulang yang Berbeda

Periode Ulang Hujan (Tahun)	Resiko Hidrologi (%)
1	100,00%
2	96,88%
3	86,83%
4	76,27%
5	67,23%
6	59,81%
7	53,73%
8	48,71%
9	44,51%
10	40,95%
15	29,18%
20	22,62%
25	18,46%
30	15,59%
35	13,49%

C. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Untuk menghitung curah hujan rencana, terlebih dahulu harus dicari beberapa variabel (lihat Tabel. B.3) sebagai berikut :

Tabel B.3
 Perhitungan Curah Hujan Rencana

No	Tahun	CH (X)	Xavg	(X - Xavg) ²	n	m	Yn	Ynavg	(Yn - Ynavg)	(Yn - Ynavg) ²	Sn	Sd
1	2009	61	68,49	52,45	12	7	0,26	0,50	-0,25	0,06	1,027	20,03
2	2010	109	68,49	1636,81	12	1	2,53	0,50	2,02	4,09		
3	2011	55	68,49	184,21	12	8	0,05	0,50	-0,46	0,21		
4	2012	54	68,49	210,90	12	10	-0,38	0,50	-0,89	0,79		
5	2013	79	68,49	106,45	12	4	1,00	0,50	0,50	0,25		
6	2014	71	68,49	6,24	12	6	0,48	0,50	-0,02	0,00		
7	2015	88	68,49	398,70	12	2	1,79	0,50	1,29	1,65		
8	2016	45	68,49	529,12	12	11	-0,63	0,50	-1,13	1,28		
9	2017	76	68,49	52,82	12	5	0,72	0,50	0,22	0,05		
10	2018	87	68,49	335,90	12	3	1,34	0,50	0,83	0,70		
11	2019	42	68,49	705,04	12	12	-0,94	0,50	-1,45	2,09		
12	2020	55	68,49	194,39	12	9	-0,16	0,50	-0,67	0,45		
Jumlah				4413,03			Jumlah			11,6018		

1. Perhitungan Curah Hujan Harian Rata-Rata (\bar{x})

$$\bar{X} = \frac{61+109+55+54+79+71+88+45+76+87+42+55}{12} = 68,49$$

2. Perhitungan *Reduced Mean* (Yn)

Nilai *reduced mean* dapat diterapkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Yn = -\ln [-\ln \{ \frac{(n+1)-m}{n+1} \}]$$

Keterangan :

n = jumlah sampel

m = urutan sampel (1,2,3,...) dari nilai terbesar ke terkecil.

Maka nilai *reduced mean* adalah :

Misal untuk m = 5 yaitu $Y_n = -\ln [-\ln \{ \frac{(12+1)^{-5}}{12+1} \}] = 0,72$ (tabel B.3)

3. Perhitungan *Reduced Mean Rata rata* (\bar{Y}_n)

$$\bar{Y}_n = \frac{0,26+2,53+0,05+(-0,38)+1+0,48+1,79+(-0,63)+0,72+1,34+(-0,94)+(-0,16)}{12} = 0,5$$

4. Perhitungan *Standard Deviation (SD)*

Nilai dari *standard deviation* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Maka nilai *standar deviation* adalah :

$$SD = \sqrt{\frac{4413,03}{12-1}} = 20,03$$

5. Perhitungan *Reduced Standard Deviation*

Nilai dari *reduced standard deviation* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_n - \bar{Y}_n)^2}{n-1}}$$

Maka nilai *reduced standard deviation* adalah :

$$S_n = \sqrt{\frac{11,6018}{12-1}} = 1,027$$

D. Perhitungan Curah Hujan Rencana pada Periode Ulang Berbeda

Berdasarkan perhitungan data curah hujan diatas maka diperoleh :

Curah Hujan Rata Rata (\bar{x}) = 68,49 mm/hari

$$\text{Standard Deviation (SD)} = 20,03$$

$$\text{Reduced Mean Rata Rata } (\bar{Yn}) = 0,5$$

$$\text{Reduced Standar Deviation (Sn)} = 1,027$$

Perhitungan curah hujan rencana pada periode ulang yang berbeda menggunakan pendekatan metode gumbel , dapat dilihat pada table B.4

Tabel B.4
Curah Hujan Rencana pada Periode Ulang Berbeda

Periode Ulang (th)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35
Resiko Hidrologi (%)	96,88%	86,83%	76,27%	67,23%	59,81%	53,73%	48,71%	44,51%	40,95%	29,18%	22,62%	18,46%	15,59%	13,49%
Reduced Variate (Yt)	0,37	0,90	1,25	1,50	1,70	1,87	2,01	2,14	2,25	2,67	2,97	3,20	3,38	3,54
Reduced Mean (Yn)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Reduce variate factor (k)	-0,1334	0,3887	0,7229	0,9702	1,1670	1,3304	1,4702	1,5924	1,7009	2,1132	2,4018	2,6242	2,8051	2,9575
Standard Deviation	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300	20,0300
Reduced Standard Deviation	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270	1,0270
CH Rata-rata (mm)	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49	68,49
CH rencana (mm)	65,82	76,28	82,97	87,93	91,87	95,14	97,94	100,39	102,56	110,82	116,60	121,05	124,68	127,73

1. Perhitungan *Reduce Variate*

Nilai dari *reduced variate* dapat diterapkan dengan menggunakan rumus :

$$Yt = -\ln [-\ln \{ \frac{T-1}{T} \}]$$

Maka perhitungan nilai *reduced variate* adalah (T = 3) :

$$Yt = -\ln [-\ln \{ \frac{3-1}{3} \}] = 0,9$$

2. Perhitungan Faktor *Reduced Variate*

Nilai dari faktor *reduced variate* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$K = (Yt - \bar{Yn}) / Sn$$

Maka nilai K adalah:

$$K = (0,9 - 0,5) / 1,027 = 0,3887$$

3. Perhitungan Curah Hujan Harian Rencana

Untuk mengetahui nilai curah hujan rencana dapat menggunakan rumus berikut :

$$Xt = \bar{X} + k. SD$$

Maka nilai curah hujan harian rencana adalah (Tahun 3) :

$$Xt = 68,49 + (0,3887 \times 20,03) = 76,28 \text{ mm/hari}$$

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN INTENSITAS HUJAN

Perhitungan intensitas curah hujan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan menggunakan rumus Mononobe. Harga R24 adalah besarnya curah hujan rencana yang telah ditentukan yaitu sebesar 76,28 mm/hari. Nilai $t = 1$ jam, disebabkan tidak ada data curah hujan yang disajikan dalam durasi waktu satu jam lebih atau kurang. Pada perhitungan intensitas curah hujan, dikonversikan dari curah hujan harian menjadi jumlah curah hujan dalam satuan jam. Jadi, besarnya intensitas curah hujan dalam 1 jam adalah:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \text{ mm/jam}$$

$$= \frac{76,28}{24} \left(\frac{24}{1}\right)^{2/3} \text{ mm/jam}$$

$$= 26,44 \text{ mm/jam}$$

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN KOEFISIEN LIMPASAN

Penentuan koefisien limpasan adalah dengan cara pengamatan langsung ke lokasi penambangan dan berdasarkan peta topografi. Harga koefisien limpasan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kondisi topografi, kondisi tanah, dan kondisi vegetasi. Nilai koefisien limpasan dapat dilihat pada Tabel D.1.

Tabel D.1
Nilai Koefisien Limpasan

Koefisien Aliran $C = C_t + C_v + C_s$					
Topografi (C_t)		Tanah (C_s)		Vegetasi (C_v)	
Datar (<1%)	0,03	Pasir dan Gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempung Berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung dan Lanau	0,16	Padang Rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lapisan Batu	0,26	Tanpa Tanaman	0,28

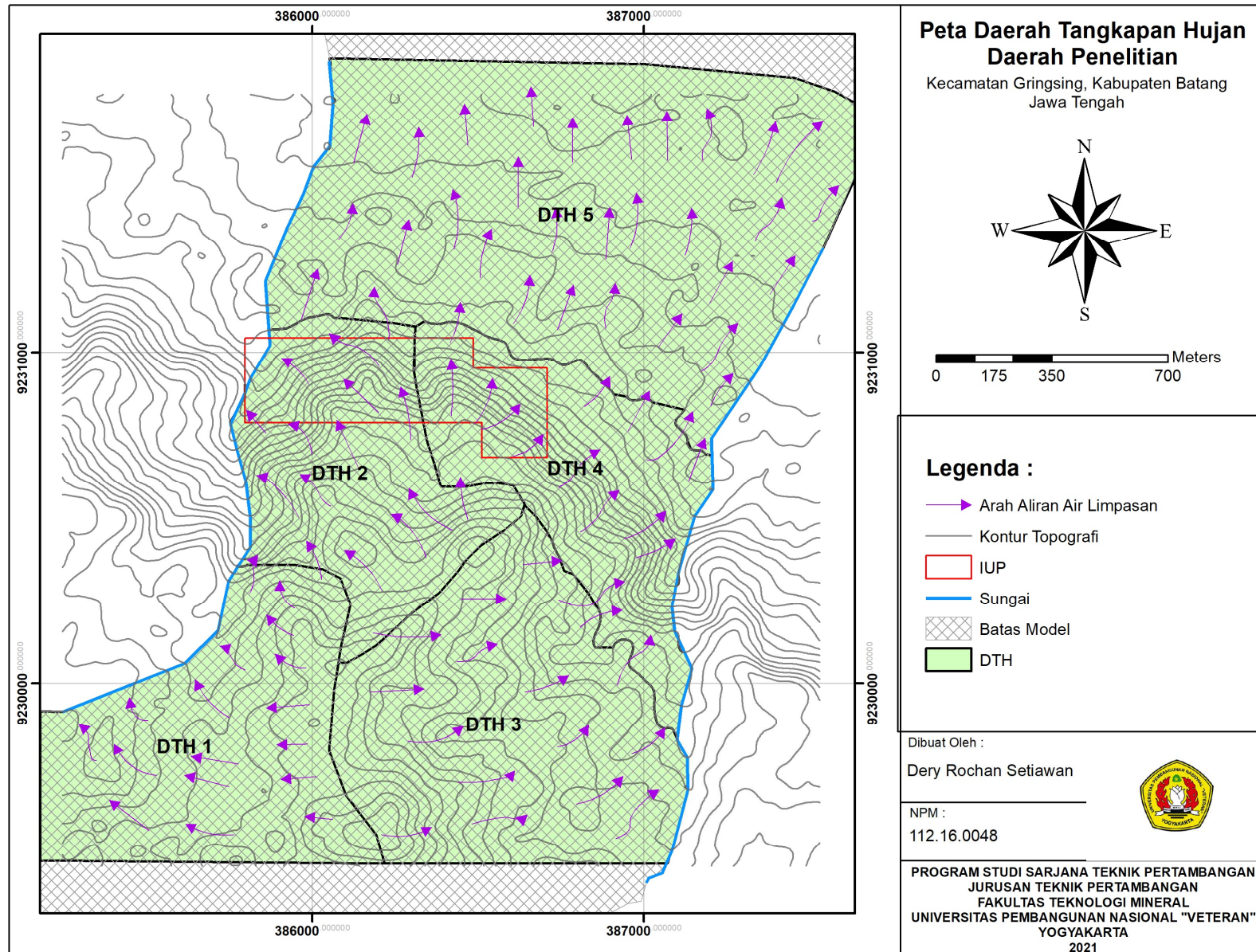
Sumber : Suripin, 2004

Sesuai dengan Tabel D.1, maka dapat diperoleh nilai koefisien dengan nilai yang berbeda – beda sesuai dengan kondisi yang ada. Berikut adalah luas daerah tangkapan hujan dengan bantuan software ArcGIS dan nilai koefisien pada setiap daerah tangkapan hujan, yaitu:

Tabel D.2
Luas Daerah Tangkapan Hujan dan Nilai Koefisien Limpasan

LOKASI	LUAS AREA (M2)	LUAS AREA (KM2)	C
DTH 1	629343.28	0.63	$0,08+0,08+0,04 = 0,2$
DTH 2	506454.86	0.51	$0,16+0,08+0,04 = 0,28$
DTH 3	787289.69	0.79	$0,08+0,08+0,04 = 0,2$
DTH 4	504591.43	0.50	$0,16+0,08+0,04 = 0,28$
DTH 5	1412489.91	1.41	$0,08+0,08+0,11 = 0,27$

LAMPIRAN E
PETA ARAH ALIRAN LIMPASAN DAN DAERAH TANGKAPAN
HUJAN



LAMPIRAN F

PERHITUNGAN DEBIT AIR LIMPASAN DAN NILAI *RECHARGE* DAERAH PENELITIAN

A. Perhitungan Debit Air Limpasan

Sumber debit air limpasan daerah penelitian berasal dari air hujan yang jatuh di daerah penelitian. Debit air limpasan nantinya akan digunakan dalam perhitungan jumlah air yang terinfiltrasi ke dalam tanah (*recharge*). Dikarenakan model air tanah yang dibentuk dalam kondisi *steady state* maka nilai *recharge* yang akan digunakan adalah dalam satuan mm/hari. Perhitungan debit air limpasan dilakukan dengan menggunakan rumus rasional sebagai berikut:

$$Q_{\text{maks}} = 0,278 \times C \times I \times A \text{ (m}^3\text{/detik)}$$

Keterangan:

Q_{maks} = Debit air limpasan (m³/detik).

C = Koefisien limpasan

I = Intensitas curah hujan (mm/jam).

A = Luas daerah tangkapan hujan (km²)

1. Perhitungan Air Limpasan DTH 1

Debit air limpasan DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

Luas daerah = 0,63 km²

Intensitas Curah Hujan = 26,44 mm/jam

Koefisien Limpasan = 0,2

Sehingga debit air limpasan adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks}} &= 0,278 \times C \times I \times A \text{ (m}^3\text{/detik)} \\ &= 0,278 \times 0,2 \times 26,44 \text{ mm/jam} \times 0,63 \text{ km}^2 \\ &= 0,92 \text{ m}^3\text{/detik} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Air Limpasan DTH 2

Debit air limpasan DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

Luas daerah = 0,51 km²

Intensitas Curah Hujan = 26,44 mm/jam

Koefisien Limpasan = 0,28

Sehingga debit air limpasan adalah :

$$Q_{\text{maks}} = 0,278 \times C \times I \times A \text{ (m}^3\text{/detik)}$$

$$= 0,278 \times 0,2 \times 26,44 \text{ mm/jam} \times 0,51 \text{ km}^2$$

$$= 1,05 \text{ m}^3/\text{detik}$$

3. Perhitungan Air Limpasan DTH 3

Debit air limpasan DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah} = 0,79 \text{ km}^2$$

$$\text{Intensitas Curah Hujan} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Koefisien Limpasan} = 0,2$$

Sehingga debit air limpasan adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks}} &= 0,278 \times C \times I \times A \text{ (m}^3/\text{detik)} \\ &= 0,278 \times 0,2 \times 26,44 \text{ mm/jam} \times 0,79 \text{ km}^2 \\ &= 1,16 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Air Limpasan DTH 4

Debit air limpasan DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah} = 0,5 \text{ km}^2$$

$$\text{Intensitas Curah Hujan} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Koefisien Limpasan} = 0,28$$

Sehingga debit air limpasan adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks}} &= 0,278 \times C \times I \times A \text{ (m}^3/\text{detik)} \\ &= 0,278 \times 0,28 \times 26,44 \text{ mm/jam} \times 0,5 \text{ km}^2 \\ &= 1,03 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Air Limpasan DTH 5

Debit air limpasan DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah} = 1,41 \text{ km}^2$$

$$\text{Intensitas Curah Hujan} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Koefisien Limpasan} = 0,27$$

Sehingga debit air limpasan adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks}} &= 0,278 \times C \times I \times A \text{ (m}^3/\text{detik)} \\ &= 0,278 \times 0,27 \times 26,44 \text{ mm/jam} \times 1,41 \text{ km}^2 \\ &= 2,80 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

B. Perhitungan Nilai *Recharge*

Nilai *recharge* digunakan sebagai salah satu parameter input dalam pemodelan air tanah. Untuk memperoleh nilai *recharge* digunakan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{[(\frac{Presipitasi (mm/jam) \times A}{1000}) - run\ off (m^3/jam)]}{A} \times 1000$$

Keterangan :

R = Recharge (mm/jam)

A = Luasan DTH (m²)

1. Perhitungan nilai recharge DTH 1

Nilai *Recharge* DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah (m}^2\text{)} = 630.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Curah Hujan (mm/jam)} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Run off} = 0,92 \text{ m}^3/\text{detik} = 3.334 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sehingga nilai recharge DTH 1 adalah :

$$R = \frac{[(\frac{26,44 (mm/jam) \times 630000}{1000}) - 3.334 (m^3/jam)]}{630000} \times 1000 = 21,15 \text{ mm/jam}$$

2. Perhitungan nilai recharge DTH 2

Nilai *Recharge* DTH 1 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah (m}^2\text{)} = 510.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Curah Hujan (mm/jam)} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Run off} = 1,05 \text{ m}^3/\text{detik} = 3.778 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sehingga nilai recharge DTH 2 adalah :

$$R = \frac{[(\frac{26,44 (mm/jam) \times 510000}{1000}) - 3.778 (m^3/jam)]}{510000} \times 1000 = 19,03 \text{ mm/jam}$$

3. Perhitungan nilai recharge DTH 3

Nilai *Recharge* DTH 3 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah (m}^2\text{)} = 790.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Curah Hujan (mm/jam)} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Run off} = 1,16 \text{ m}^3/\text{detik} = 4.118 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sehingga nilai recharge DTH 3 adalah :

$$R = \frac{[(\frac{26,44 (mm/jam) \times 790000}{1000}) - 4.118 (m^3/jam)]}{790000} \times 1000 = 21,15 \text{ mm/jam}$$

4. Perhitungan nilai recharge DTH 4

Nilai *Recharge* DTH 4 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah (m}^2\text{)} = 500.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Curah Hujan (mm/jam)} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Run off} = 1,03 \text{ m}^3/\text{detik} = 3.704 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sehingga nilai recharge DTH 4 adalah :

$$R = \frac{\left[\left(\frac{26,44 \left(\frac{\text{mm}}{\text{jam}} \right) \times 500000}{1000} \right) - 3.704 \text{ (m}^3/\text{jam)} \right]}{500000} \times 1000 = 19,03 \text{ mm/jam}$$

5. Perhitungan nilai recharge DTH 5

Nilai *Recharge* DTH 5 dapat diketahui dengan penyelesaian sebagai berikut :

$$\text{Luas daerah (m}^2\text{)} = 1.410.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Curah Hujan (mm/jam)} = 26,44 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Run off} = 2,80 \text{ m}^3/\text{detik} = 10.073 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sehingga nilai recharge DTH 5 adalah :

$$R = \frac{\left[\left(\frac{26,44 \text{ (mm/jam)} \times 1410000}{1000} \right) - 10.073 \text{ (m}^3/\text{jam)} \right]}{1410000} \times 1000 = 19,30 \text{ mm/jam}$$

LAMPIRAN G

PENGUKURAN MUKA AIR TANAH

Tabel G.1
Hasil Pengukuran Muka Air Tanah di Lokasi Penelitian

Sumur Observasi	X(m)	Y(m)	MAT (m)
Obs 1	387351	9230898	2,4
Obs 2	387159	9230979	9,65
Obs 3	387117	9230951	8,7
Obs 4	387142	9231011	10,6
Obs 5	387036	9231238	7,96
Obs 6	386995	9231277	10,0
Obs 7	385683	9231563	5,63
Obs 8	385700	9231483	6,21
Obs 9	385725	9231478	6,01
Obs 10	385685	9230274	14,56



Gambar G.1
Dokumentasi Pengukuran MAT di Lokasi Penelitian