



**PENGARUH EKSPLOITASI SUMUR PRODUKSI TERHADAP  
PENURUNAN MUKA AIR TANAH DI KOTA PROBOLINGGO**

**SKRIPSI**

oleh

**Zuyyina Anta Zakka  
NIM 131910301118**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**PENGARUH EKSPLOITASI SUMUR PRODUKSI TERHADAP  
PENURUNAN MUKA AIR TANAH DI KOTA PROBOLINGGO**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

Zuyyina Anta Zakka  
NIM 131910301118

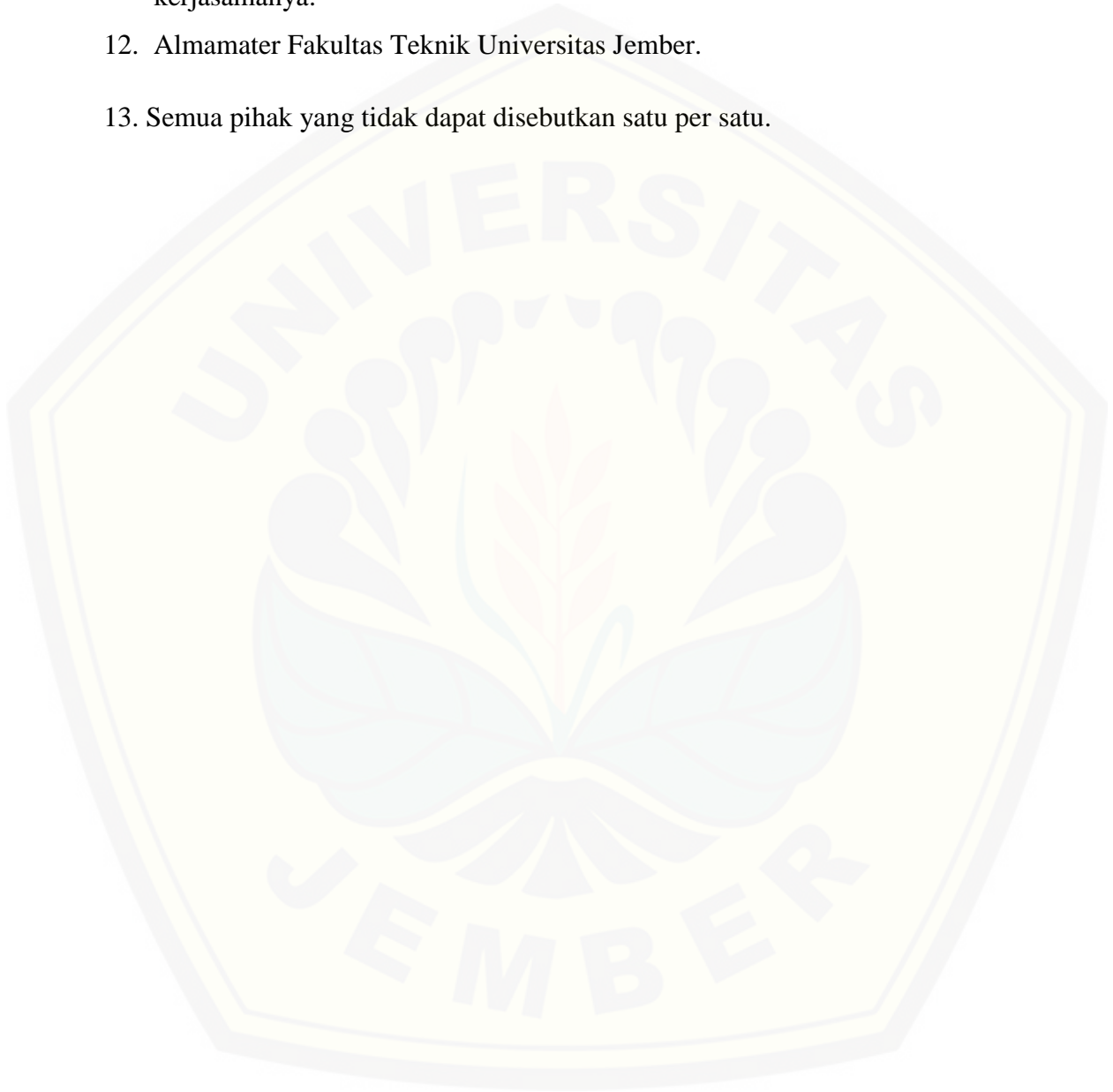
**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

1. Kedua orang tuaku tercinta, ibu Titik Sundari dan bapak Anwar Joesqi, yang selalu mendoakan dan memberi dukungan moril untuk kesuksesan saya.
2. Keluarga yang senantiasa mendukung selama saya kuliah, terimakasih sebanyak-banyaknya kepada M. Rizsa Fahlevi, Tutus Kurniawati, Maharani Daffa Fahlevi, Desta Felicia, Annahlah Tinezia, ibu Umi Aisyah, Ilfatul Millah, dan Lelia Nuraeni.
3. Dosen Pembimbing yang jasanya tak pernah terbalaskan kecuali doa untuk keberkahan beliau ibu Sri Wahyuni ST., MT., Ph. D., dan bapak Dr. Gusfan Halik ST., MT.
4. Sahabat-sahabat saya Priskilla Kurniawati, Nanda Novisiana Tika Nurcahya, Irma Masruro yang sudah menjadi *unbiological sisters* bagi saya, menjadi pemicu untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
5. Elysa Daryu Pangesty sahabat dari jaman mahasiswa baru, yang memperkenalkan Kota Jember dan yang selalu menemani selama perkuliahan.
6. Khusniatul Aini yang selalu memberi motivasi dan menjadi sahabat *sharing*.
7. Ega Mawarni, Muhammad Lutfi Wahid dan Dival Adi Pratama sebagai sahabat saya.
8. Teman-teman Bolinggo Squad, yaitu: Ade Eris Pranata, Badru Tamam, Budi Prawiro Utomo dan MS. Isfan Fatonah serta Dwi Budhi Setiawan.
9. Mutiatul Istiqomah sebagai teman seperjuangan dari seminar proposal sampai ujian tugas akhir ini.
10. Guru-guru tercinta di sekolah TK Nira Indria, SDN Klenang Kidul 1, SMPN 1 Banyunyar dan SMA Negeri 1 Gending.

11. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Jember angkatan 2013 yang tidak mungkin untuk disebut satu per satu. Terima kasih atas semangat serta kerjasamanya.
12. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



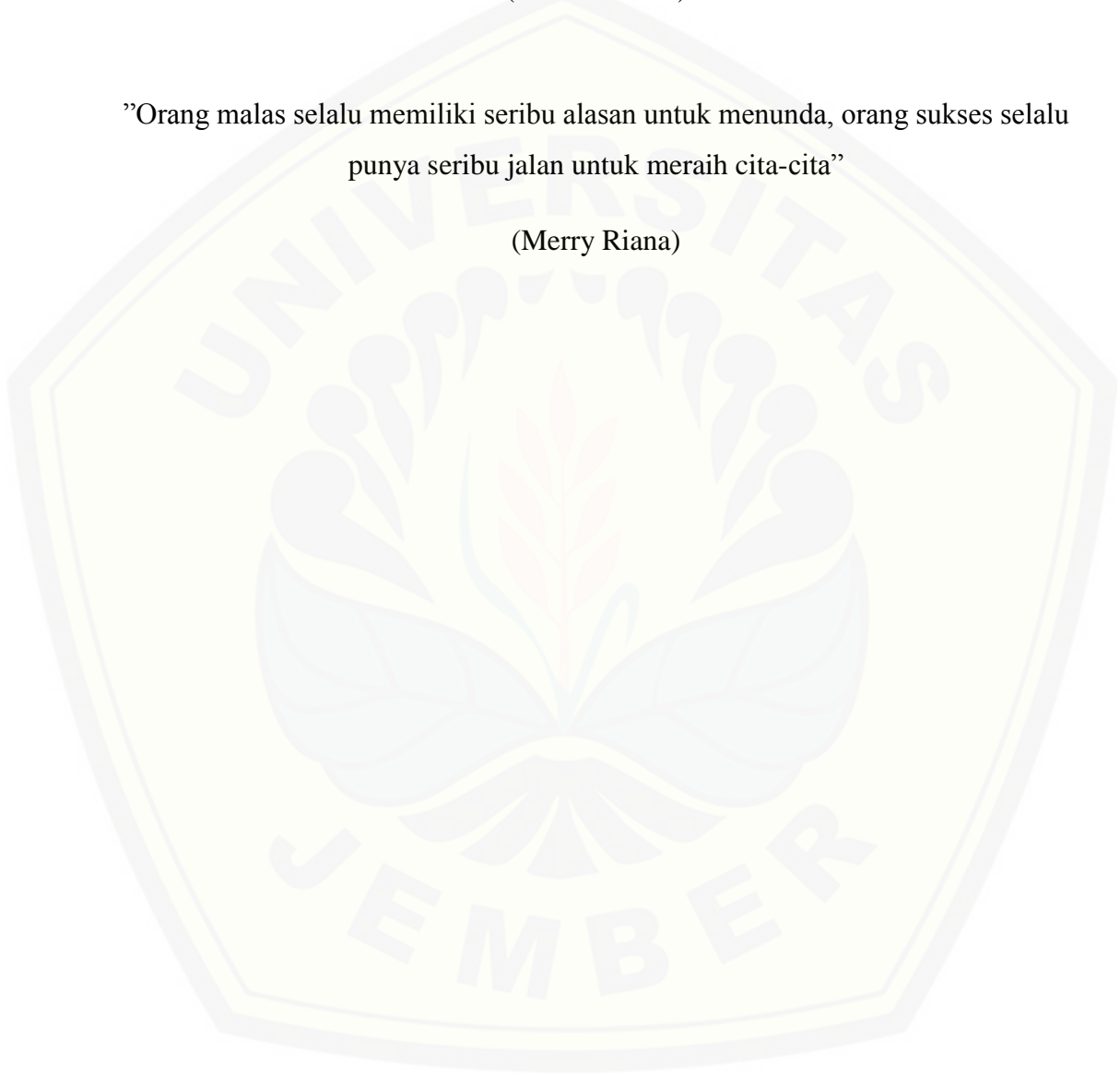
**MOTTO**

*“The difference between successful and failure is Perseverance”*

(Chriss Brown)

”Orang malas selalu memiliki seribu alasan untuk menunda, orang sukses selalu punya seribu jalan untuk meraih cita-cita”

(Merry Riana)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zuyyina Anta Zakka

NIM : 131910301118

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi yang berjudul “Pengaruh Eksploitasi Sumur Produksi Terhadap Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Probolinggo” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung-jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 12 Juli 2017

Yang menyatakan,

Zuyyina Anta Zakka

NIM 131910301118

**SKRIPSI**

**PENGARUH EKSPLOITASI SUMUR PRODUKSI TERHADAP  
PENURUNAN MUKA AIR TANAH DI KOTA PROBOLINGGO**

oleh

Zuyyina Anta Zakka  
NIM 131910301118

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Sri Wahyuni, ST., MT., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Gusfan Halik, ST., MT.

**PENGESAHAN**

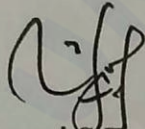
Skripsi berjudul “Pengaruh Eksploitasi Sumur Produksi Terhadap Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Probolinggo” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 12 Juli 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

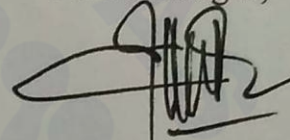
Pembimbing I,



Sri Wahyuni S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19711209 199803 2 001

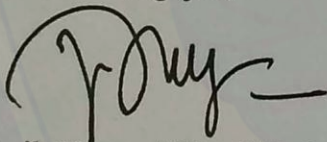
Pembimbing II,



Dr. Gusfan Halik S.T., M.T.

NIP. 19710804 199803 1 002

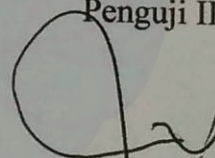
Penguji I,



Wiwik Yunarni W., S.T., M.T.

NIP. 19700613 199802 2 001

Penguji II,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM

NIP. 19661215 199503 2 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP. 19661215 199503 2 001



## RINGKASAN

**Pengaruh Eksploitasi Sumur Produksi Terhadap Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Probolinggo** ; Zuyyina Anta Zakka, 131910301118; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

PT. Eratex Djaja Tbk merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penghasil garmen yang terletak di Kota Probolinggo. Air merupakan kebutuhan vital sebagai pemenuh kebutuhan industri di perusahaan tersebut. Eksploitasi air tanah merupakan salah satu cara untuk memperoleh air, dengan terdapatnya 5 sumur produksi dengan kapasitas debit tertentu setiap harinya.

Apabila jumlah pengambilan lebih besar dibanding dengan pengisian maka akan berdampak pada penurunan muka air tanah. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dalam penelitian ini akan melakukan pemodelan penurunan muka air tanah akibat pemompaan menggunakan Software Visual Modflow Flex yang diintegrasikan dengan ArcGIS.

Dalam penelitian ini dihasilkan penurunan tanah maksimal sebesar 1.83 meter dalam kurun waktu 7 hari simulasi, dengan nilai kesalahan relatif berdasarkan koefisien NASH sebesar 0.934. Setelah simulasi selama 365 hari atau satu tahun diperoleh nilai penurunan muka air tanah sebesar 10.03 meter dan terjadi kekeringan pada lokasi sumur 3 s/d 5. Hal tersebut dapat terjadi karena kapasitas debit pemompaan pada sumur 3 sampai dengan 5 lebih besar daripada sumur 1 dan 2.

## SUMMARY

**The Effect of Exploitation of Production Wells Toward Groundwater Drawdown In Probolinggo City;** Zuyyina Anta Zakka, 131910301118; Department of Civil Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

PT. Eratex Djaja Tbk is a company engaged in the field of garment producers located in the city of Probolinggo. Water is a vital need as a fulfillment of industry needs in the company. Groundwater exploitation is one way to obtain water, with the presence of 5 production wells with a certain discharge capacity each day.

If the number of retrieves is greater than the filling will have an impact on the decrease of ground water level. Based on the problem, in this research will make modeling of ground water drawdown effect groundwater pumping using Visual Modflow Flex Software integrated with ArcGIS.

In this research resulted maximum land reduction of 1.83 meters within 7 days of simulation, with relative error value based on koeficient NASH is 0.934. After simulation for 365 days or one year, the value of groundwater level decreased by 10.03 meters and the drought at the well location 3 s / d 5. This can occur because the pumping discharge capacity at the well 3 to 5 is larger than wells 1 and 2

## PRAKATA

*Alhamdulillah*, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Eksploitasi Sumur Produksi Terhadap Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Probolinggo”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Sri Wahyuni S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Gusfan Halik S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing skripsi ini yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam pelaksanaan penelitian ini.
3. Wiwik Yunarni W. S.T., M.T. dan Ir. Entin Hidayah M.UM. selaku Dosen Penguji.
4. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Timur dan PT. Eratex Djaja Tbk.
5. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, 12 Juli 2017

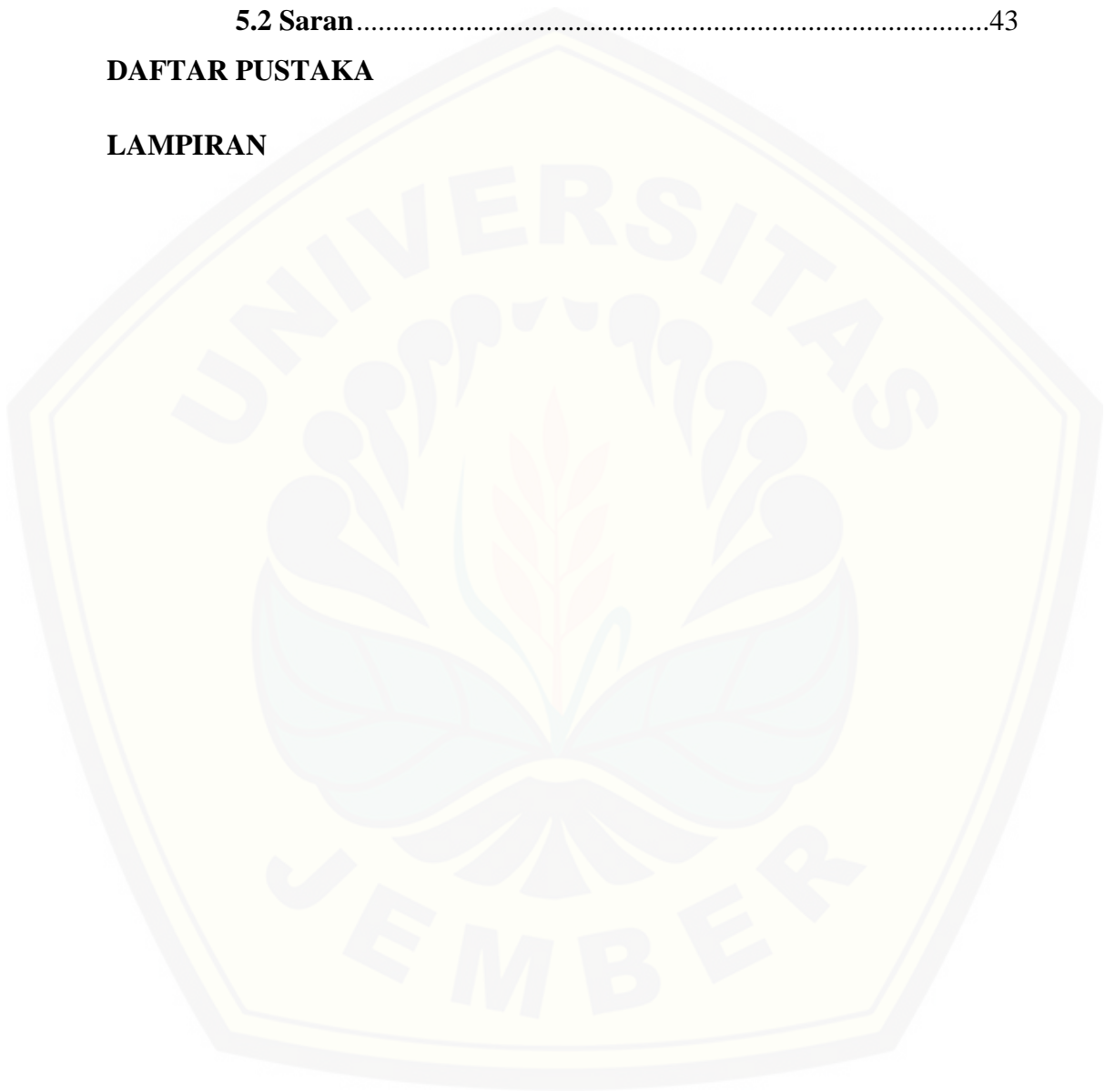
Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Air Tanah</b> .....	4
2.1.1 Muka Air Tanah .....	6
2.1.2 Penurunan Muka Air Tanah .....	6
2.1.3 Uji Pompa .....	6
2.1.3.1 Uji Akuifer .....	8
2.1.3.2 Uji Sumur .....	9

2.1.4	Persamaan Dasar Aliran .....	9
2.1.5	Hidrolika Aliran Air Tanah .....	10
<b>2.2</b>	<b>Siklus Hidrologi .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Ketersediaan Air Tanah .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Model Air Tanah .....</b>	<b>16</b>
2.4.1	<i>Geographic Information System (GIS)</i> .....	17
2.4.2	<i>Modular Three-Dimensional Finite Difference Ground- Water Flow Model (MODFLOW)</i> .....	17
2.4.2.1	Model Matematis .....	17
2.4.2.2	Parameter Model .....	19
2.4.2.3	Perancangan Model .....	22
<b>BAB III.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Konsep Penelitian .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Lokasi Penelitian .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Sistematika Penelitian .....</b>	<b>26</b>
3.3.1	Pengumpulan Data .....	26
3.3.2	Tahap Penyiapan Data .....	27
3.3.3	Tahap Pengolahan Data dan Analisa Data .....	27
<b>3.4</b>	<b>Tahap Running Model .....</b>	<b>27</b>
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Hasil Pengumpulan Data .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Data Hasil Pengeboran .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Deskripsi Sumur Produksi .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Kondisi Topografi Daerah .....</b>	<b>33</b>
<b>4.5</b>	<b>Data Sumur Pantau .....</b>	<b>35</b>
<b>4.6</b>	<b>Menentukan Boundary Condition .....</b>	<b>36</b>
<b>4.7</b>	<b>Menentukan Data Import .....</b>	<b>37</b>
<b>4.8</b>	<b>Pembahasan Simulasi Pemodelan Air Tanah .....</b>	<b>39</b>
4.8.1	Hasil Simulasi Modflow .....	39

4.8.2 Kalibrasi Model .....	41
4.8.3 Penurunan Muka Air Tanah.....	42
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>43</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Kondisi Sumur Berdasarkan Nilai Koefisien <i>Well Loss</i> .....	7
2.2 Nilai Konduktifitas Hidrolik (K) .....	19
2.3 Spesifik Yield (Sy) .....	20
2.4 Nilai Porositas Efektif ( $n_e$ ) .....	21
2.5 Nilai Porositas Total ( $n_{total}$ ).....	22
3.1 <i>Time Schedule</i> .....	30
4.1 Karakteristik Sumur Produksi .....	33
4.2 Kondisi Lithologi Sumur Produksi .....	33
4.3 Koordinat Sumur Pada <i>Surface ground</i> .....	34
4.4 Koordinat Sumur Pada <i>Surface layer top</i> .....	35
4.5 Koordinat Sumur Pada <i>Surface layer bottom</i> .....	35
4.6 Data Import <i>Observation Well</i> .....	38
4.7 Data Import <i>Pumping Wells</i> .....	38
4.8 Hasil Kalibrasi Model .....	41

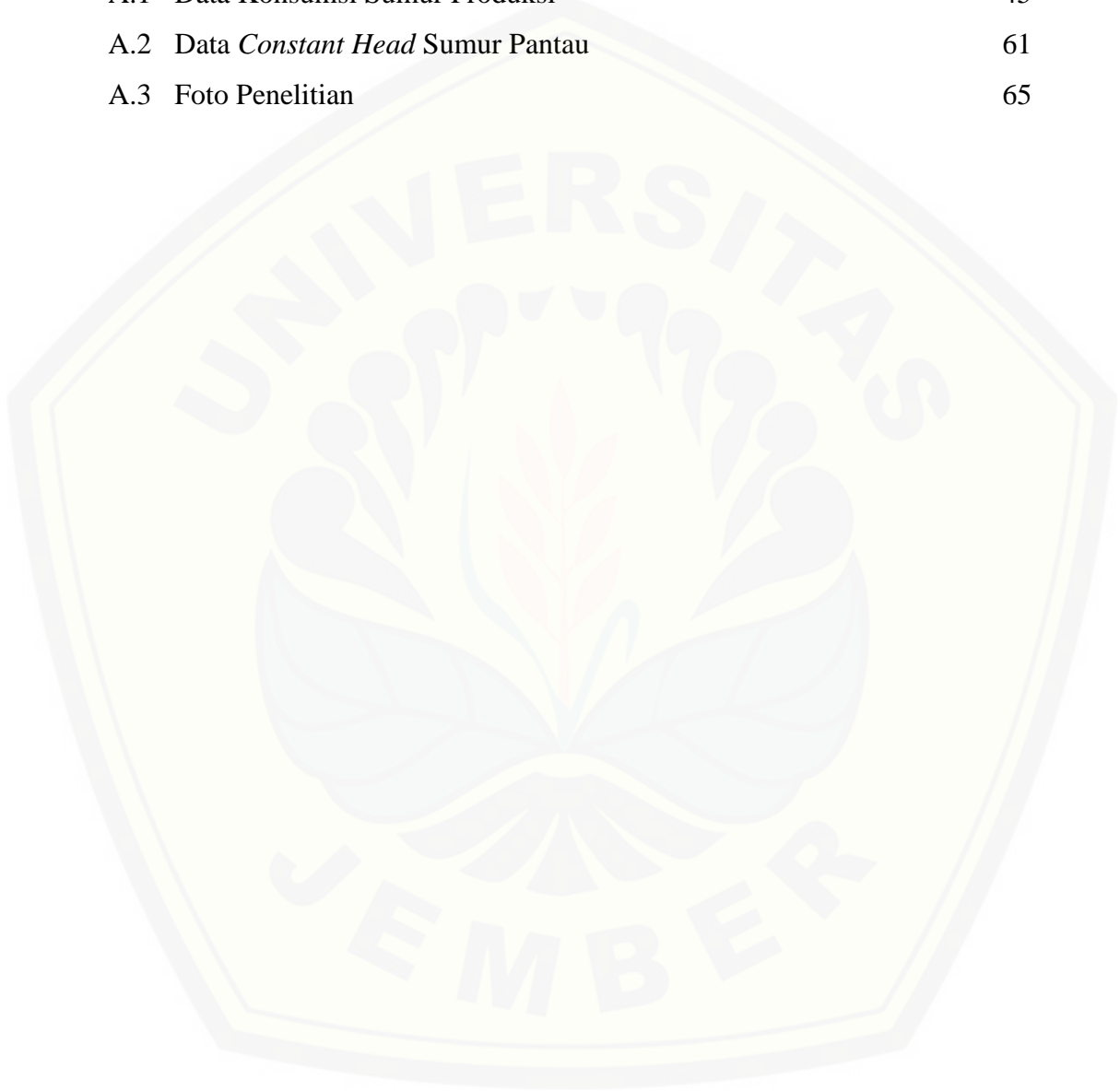
**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Fenomena Air Dibawah Permukaan Tanah Pada CAT .....	5
2.2 Pemompaan Pada Akuifer Terkekang.....	10
2.3 Pemompaan Akuifer Bebas .....	11
2.4 Pemompaan pada Akuifer Setengah Terkekang.....	13
2.5 Siklus Hidrologi.....	14
2.6 Ilustrasi Diskritisasi Pada Sistem Akuifer .....	18
3.1 Peta Lokasi Penelitian Kota Probolinggo .....	25
3.2 Diagram Alir Penyelesaian Penelitian .....	29
4.1 Konstruksi Sumur .....	31
4.2 Log Lithologi Sumur.....	32
4.3 Surface lapangan .GRD .....	34
4.4 Boundary Condition .SHP .....	37
4.5 Kondisi Muka Air Tanah 3D Selama 7 Hari.....	39
4.6 Kondisi Muka Air Tanah 2D Selama 7 Hari .....	39
4.7 Drawdown MAT 3D Selama 7 Hari .....	40
4.8 Drawdown MAT 2D Selama 7 Hari .....	41
4.9 Drawdown selama 365 hari 3 Dimensi .....	42
4.10 Drawdown selama 365 hari 2 Dimensi .....	42



**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A.1 Data Konsumsi Sumur Produksi	45
A.2 Data <i>Constant Head</i> Sumur Pantau	61
A.3 Foto Penelitian	65



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan masyarakat terhadap air semakin hari semakin meningkat, sehingga penyediaan air untuk keperluan domestik, industri dan irigasi dapat diperoleh melalui pemompaan air tanah (*groundwater*) dan air permukaan (*surface water*). Air tanah merupakan sumber air utama selain air hujan, salju dan sungai. Pada kondisi saat ini bertambahnya pertumbuhan penduduk dan industri, memicu untuk dilakukannya pengeboran sumur dengan kebutuhan debit (Q) tertentu di beberapa titik yang memiliki potensi air tanah. Pemompaan sumur produksi yang berlebihan dibandingkan dengan pengisiannya mengakibatkan dampak negatif, beberapa dampak diantaranya adalah penurunan muka air tanah, banjir dan amblesan. Dalam menjaga keseimbangan sumber daya air maka harus dimanfaatkan dan dikendalikan secara optimal agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat sesuai potensi yang ada.

Kota Probolinggo merupakan kota terbesar keempat di Jawa Timur setelah kota-kota lainnya seperti Surabaya, Malang, dan Kediri. Kota Probolinggo terletak pada  $7^{\circ} 43' 41''$  sampai dengan  $7^{\circ} 49' 04''$  Lintang Selatan dan  $113^{\circ} 10'$  sampai dengan  $113^{\circ} 15'$  Bujur Timur dengan luas wilayah  $56,667 \text{ Km}^2$ . Di Probolinggo terdapat industri dari industri kecil hingga besar, industri besar misalnya PT. Eratex Djaja Tbk. Industri ini berdiri sejak 1972, dan fasilitas produksi utamanya sebagai manufaktur Garment terletak di Kota Probolinggo. Industri garmen ini mempekerjakan sekitar  $\pm 8000$  pekerja dan memproduksi ribuan garment per hari, sehingga kebutuhan terhadap air tanah semakin banyak. Tercatat bahwa terdapat beberapa sumur produksi untuk memenuhi kebutuhan air dan satu sumur pantau untuk mengetahui kondisi air tanah akibat pemompaan di beberapa titik sumur produksi milik industri ini. Oleh karena kebutuhan air tanah yang meningkat sehingga perlu kajian mengenai kondisi air tanah pada pemompaan sumur produksi milik PT. Eratex Djaja Tbk.

Dalam memprediksikan kondisi penurunan muka air tanah yang disebabkan oleh pengambilan sumur produksi secara terus-menerus peneliti menggunakan pemodelan aliran air tanah. Selain itu juga pemodelan aliran air tanah merupakan hal yang penting untuk menilai pengaruh aktivitas manusia dimasa depan yang ditunjukkan pada dinamika air tanah. Penilaian potensi air tanah dilakukan dalam penelitian terdahulu seperti memanfaatkan *geoelectrical* (geolistrik), survey seismic dan survey dasar sumur, teknik tersebut dinilai terlalu mahal untuk diterapkan lagi. Teknik tradisional tersebut dibatasi oleh jumlah sumur produksi dan distribusi sumur produksi, sehingga tidak sistematis (Satapathy dan Syed, 2015). Teknik terbaru dalam memodelkan potensi air tanah yaitu dengan menggunakan aplikasi *Geographic Information System* (GIS) dan MODFLOW. GIS adalah sistem yang dirancang untuk menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, mengelola, dan menyajikan semua jenis data spasial atau geografis (<https://en.wikipedia.org>). Pada penelitian ini program GIS digabungkan dengan program *A Modular Three-Dimensional Finite Difference Ground-Water Flow Model* (MODFLOW).

Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Sudarto (2012) menunjukkan penurunan muka air tanah akibat pemompaan air tanah untuk keperluan irigasi. Program bantu MODFLOW juga digunakan untuk mensimulasikan kondisi *groundwater* dalam penelitiannya. Untuk menyempurnakan penelitian ini maka dalam penelitian dilakukan dengan menggabungkan dua aplikasi yakni GIS dan MODFLOW. Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh (Xu, Huang and Qu, 2009) yang meneliti aliran air tanah di cekungan hulu Yellow River di Cina dengan menggunakan program GIS dan MODFLOW. Dalam penelitiannya prioritas air tanah untuk memenuhi irigasi di daerah Hetao, Cina.

Atas dasar latar belakang diatas studi ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai kondisi muka air tanah di Kota Probolinggo khususnya di sekitar sumur bor PT. Eratex Djaja Tbk, terhadap penurunan yang terjadi akibat eksploitasi sumur produksi. Selain itu juga mengembangkan teknologi terpadu

berdasarkan konsep pemodelan GIS dan MODFLOW untuk menggambarkan kondisi penurunan muka air tanah dan pola alirannya.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan dari latar belakang masalah yang diuraikan diatas adalah bagaimana pengaruh eksploitasi sumur produksi/bor terhadap kondisi penurunan muka air tanah di PT Eratex Djaja Tbk?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi muka air tanah akibat eksploitasi sumur bor menggunakan program GIS dan MODFLOW.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran umum mengenai kondisi muka air tanah akibat dari eksploitasi sumur bor. Selain manfaat tersebut, manfaat lainnya adalah:

1. Mengetahui upaya terbaik dalam mengoptimalkan pengendalian dan pemanfaatan air tanah;
2. Menjadikan bahan monitoring untuk menginventarisasi, mengeksplorasi dan mengeksploitasi air tanah;
3. Sebagai gambaran dalam mengkonservasi air tanah di wilayah penelitian dan sekitarnya.

### **1.5 Batasan Masalah**

1. Penelitian dilakukan terhadap muka air tanah tertekan;
2. Jenis sumur yang diteliti yakni sumur dalam;
3. Mengabaikan jenis pompa dan diameter pipa; dan
4. Letak sumur pantau disekitar sumur produksi.
5. Hanya meninjau lima sumur produksi milik PT. Eratex Djaja Tbk.

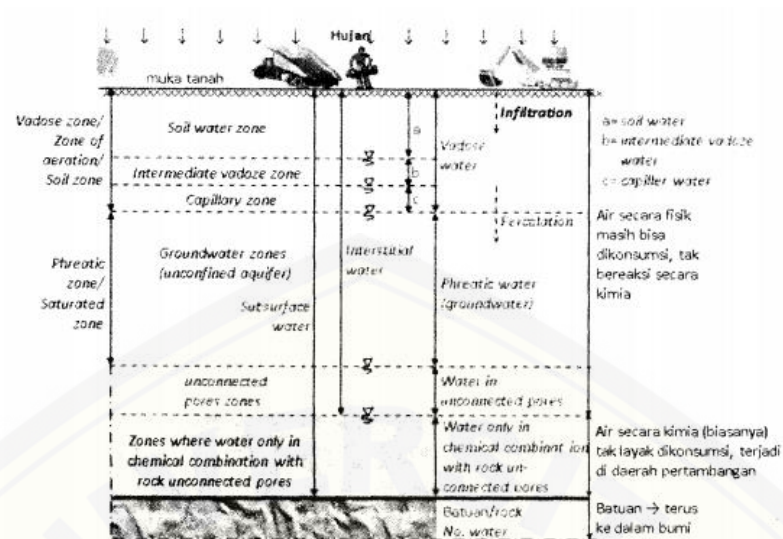
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air Tanah

Menurut UU No 7 Tahun 2004 air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan tanah. Air tanah merupakan salah satu sumber daya air selain air sungai dan air hujan, air tanah juga mempunyai peranan yang sangat penting terutama dalam menjaga keseimbangan dan ketersediaan bahan baku air untuk kepentingan rumah tangga (domestik) maupun untuk kepentingan industri.

Secara umum keberadaan air tanah dibagi menjadi dua tipe yaitu air pada *vadose zone* dan air pada *phreatic zone*. Pada *vadose zone* air dibagi menjadi tiga bagian, yaitu air tanah (*soil water*), *intermediate vadose zone* dan air kapiler. Sedangkan pada tipe kedua yaitu pada *phreatic zone* atau *saturated zone* (zona jenuh) terdapat air tanah (*groundwater*).

*Soil water* dan *groundwater* dalam bahasa Inggris memiliki arti sama yakni air tanah. Namun keberadaannya yang menjadi pembeda di antara keduanya. *Soil water* berada pada kedalaman sekitar 0,91 – 9,1 m. Oleh karena itu pada daerah ini air tanah sebagian besar digunakan untuk keperluan pertanian dan sumber air untuk tanaman. Pembagian zona dapat dilihat pada gambar 2.1. yang menunjukkan potongan zona air tanah



**Gambar 2.1** Formasi air dibawah permukaan tanah pada CAT

Sumber: Kodoatie, J.K, 2012

Suatu lapisan tanah yang pori-porinya berisi air terdapat pembatas dan kondisinya berbeda-beda dapat didefinisikan sebagai akuifer. Berdasarkan susunan lapisan geologi dan harga kelulusan air ( $K$ ), akuifer dapat dibedakan menjadi empat macam (Bisri, 1991) diantaranya adalah:

1. Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*), merupakan suatu akuifer dimana muka air tanah merupakan bidang batas sebelah atas dari daerah jenuh air.
2. Akuifer Terkekang (*Confined Aquifer*), ialah akuifer dimana air tanah terletak di bawah lapisan kedap air (*impermeable*) dan mempunyai tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer.
3. Akuifer Bocor atau Akuifer Setengah Terkekang (*leakage/leaky-artesian Aquifer* atau *semiconfined Aquifer*), ialah suatu akuifer yang sepenuhnya jenuh air dengan bagian atas dibatasi oleh lapisan setengah kedap air (nilai kelulusannya terletak antara akuifer dan akuitar) dan bagian bawah terletak pada suatu dasar kedap air.
4. Akuifer menggantung (*Perched Aquifer*), merupakan akuifer yang mempunyai massa air tanahnya terpisah dari air tanah induk oleh suatu

lapisan yang relatif kedap air yang begitu luas dan terletak di atas daerah jenuh air.

### 2.1.1 Muka Air Tanah

Muka air tanah (*water table*) merupakan pemisah antara zona air tanah atau *phreatic water* dengan pipa kapiler. Muka air tanah (*water table*) secara teoritis merupakan perkiraan elevasi air permukaan pada sumur yang hanya merembes pada jarak yang pendek ke zona jenuh air. Jika air tanah mengalir horizontal, elevasi muka air pada sumur sangat berhubungan dengan muka air tanah. Dengan adanya sumur akan mengubah bentuk aliran dan elevasi muka air pada sumur.

### 2.1.2 Penurunan Muka Air Tanah

Pemanfaatan air untuk kebutuhan domestik, industri, dan irigasi pada kenyataannya mengandalkan air tanah. Eksploitasi air tanah secara berlebihan menimbulkan dampak negatif terhadap sumber daya air maupun lingkungan, salah satunya adalah penurunan muka air tanah. Penurunan muka air tanah dapat dilihat melalui sumur pantau atau cekungan pada suatu daerah.

Laju pertumbuhan manusia dan pembangunan infrastruktur yang meningkat serta banyaknya sumur bor mempercepat penurunan muka air tanah. Selain itu pemompaan air yang berlebihan juga menjadi salah satu penyebab turunnya muka air tanah.

### 2.1.3 Uji Pompa

Uji pompa dibedakan menjadi dua macam, yaitu uji akuifer dan uji sumur. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai uji sumur dan uji akuifer: Menurut Jacob bahwa penurunan muka air disumur akibat pemompaan terdiri atas dua komponen, yaitu:

1. *Aquifer Loss (BQ)* adalah penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran laminar pada akuifernya sendiri. Besarnya BQ sebanding dengan perubahan debit pemompaan dan sangat bergantung pada sifat hidrolika dari akuifernya dengan kata lain kondisi itu tidak dapat dirubah dan diperbaiki (bersifat alami)

2. *Well Loss* ( $CQ^2$ ) adalah penurunan muka air disumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran turbulen didalam sumur. Besarnya harga  $CQ^2$  ini bergerak secara kwadratis terhadap perubahan debit pemompaan dan sangat tergantung pada karakteristik dari sumur uji, misalnya pencucian sumur (development) kurang bersih akibat adanya hambatan-hambatan pada filter (gravel peck) dan pipa saringan (screen), berarti kondisi ini dapat diperbaiki untuk memperkecil harga Well Lossnya.

Besar total penurunan muka air disumur (SW) dinyatakan sebagai berikut (Bisri,1991):

$$SW = BQ + CQ^2 \quad (2.1)$$

dengan:

SW = total penurunan muka air (m)

BQ = aquifer loss (m)

$CQ^2$  = well loss (m)

Sumur yang produktif menurut Walton dan Bierschenk adalah sumur yang mempunyai harga C dan Fd (faktor development) yang kecil.

$$Fd = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2.2)$$

dengan:

Fd = *factor development* (hari/m<sup>3</sup>)

B = koefisien aquifer loss (dt/m<sup>2</sup>)

C = koefisien well loss (dt<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>)

Tabel 2.1 Kondisi sumur berdasarkan nilai koefisien well loss menurut Walton

Koefisien Well Loss (C) (menit <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	Kodisi Sumur
< 0.5	Baik
0.5-1.0	Mengalami sedikit penyumbatan
1.0-4.0	Penyumbatan dibeberapa tempat
>4.0	Sulit dikembalikan seperti semula

Sumber: Bisri, 1991 :110



### 2.1.3.1 Uji Akuifer

Uji akuifer dilaksanakan untuk mengevaluasi karakteristik akuifer dengan menstimulasi akuifer melalui observasi terhadap respon akuifer berupa penurunan MAT. Karakter akuifer yang dapat diperoleh dari pengujian ini adalah:

- Konduktivitas Hidrolik
- Transimivitas
- Storativitas

Metode yang digunakan pada uji akuifer ini adalah Metode Theis, dimana dalam metode theis anggapan-anggapan yang digunakan sebagai berikut:

- Aliran ke sumur adalah aliran tidak tunak
- Jenis akuifer terkekang
- Akuifer dianggap meluas tak terhingga dalam bidang horizontal, terletak pada suatu dasar lapisan yang kedap air serta mempunyai ketebalan yang seragam
- Akuifer adalah homogeny isotropis dalam daerah yang dipengaruhi oleh pemompaan
- Kehilangan tinggi tekan yang disebabkan oleh komponen aliran vertikal dalam akuifer diabaikan
- Pemompaan dilakukan dengan debit yang tetap

Theis menyederhanakan persamaan sebelumnya menjadi:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(U) \text{ atau } T = \frac{Q}{4\pi S} W(U) \quad (2.3)$$

$$U = \frac{r^2 S'}{4Tt} \text{ atau } S' = \frac{4T}{r^2/t} U \quad (2.4)$$

Keterangan:

- S = penurunan psiometer pada jarak r (m) dari sumur pompa  
 Q = debit tetap sumur yang dipompa (m<sup>3</sup>/det)  
 S' = koefisien tampungan (tidak berdimensi)  
 t = waktu sejak dimulai pemompaan (detik)

W(U)= integral eksponensial atau disebut fungsi sumur U atau juga disebut fungsi sumur Theis dan W(U) dapat dicari dengan menggunakan lengkung jenis normal yang dibuat dengan memplot nilai W(U) vs U atau lengkung jenis kebalikan yang

didapat dibuat dengan memplot nilai  $W(U)$  vs  $1/U$  pada grafik log-log dengan  $W(U)$  sebagai sumbu vertikalnya.

### 2.1.3.2 Uji Sumur

Pada pengujian sumur ini tujuannya adalah menetapkan kemampuan sumur yang akan diproduksi. Dari debit  $Q$  dan penurunan muka air  $S$  yang diukur, dapat diperoleh kapasitas jenis sumur. Kapasitas jenis sumur merupakan ukuran kemampuan produksi suatu sumur.

Di Indonesia metode yang sering digunakan adalah Step Drawdown Test yaitu dengan melakukan pemompaan secara terus menerus dengan perubahan debit secara bertahap pada sumur-sumur yang telah ditetapkan. Kapasitas jenis sumur  $q_s$  dinyatakan sebagai:

$$q_s = \frac{Q}{S_w} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$Q$  = debit pemompaan

$S_w$  = penurunan muka air

### 2.1.4 Persamaan Dasar Aliran Air Tanah

Aliran dasar air tanah dalam keadaan sebenarnya gerakannya tidak berubah. Hukum Darcy dan persamaan kontinuitas merupakan dasar hukum yang berlaku terhadap aliran air tanah yang lewat akuifer.

#### a) Aliran Tak Tunak 3-D

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial^2 x} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial^2 y} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial^2 z} = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.6)$$

keterangan:

$K$  = Konduktivitas hidraulik

$h$  = Tinggi tekanan

$S$  = Koefisien tampungan

#### b) Aliran tunak 3-D

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial^2 x} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial^2 y} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial^2 z} = 0 \quad (2.7)$$

keterangan:

K = Konduktivitas hidraulik

h = Tinggi tekanan

c) Aliran tunak 3-D homogen dan isotropik

$$\frac{\partial^2 h}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 h}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 h}{\partial^2 z} = 0 \quad (\text{persamaan Laplace}) \quad (2.8)$$

d) Aliran tak tunak 3-D, akuifer homogen dan isotropik dengan koordinat radial

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.9)$$

keterangan:

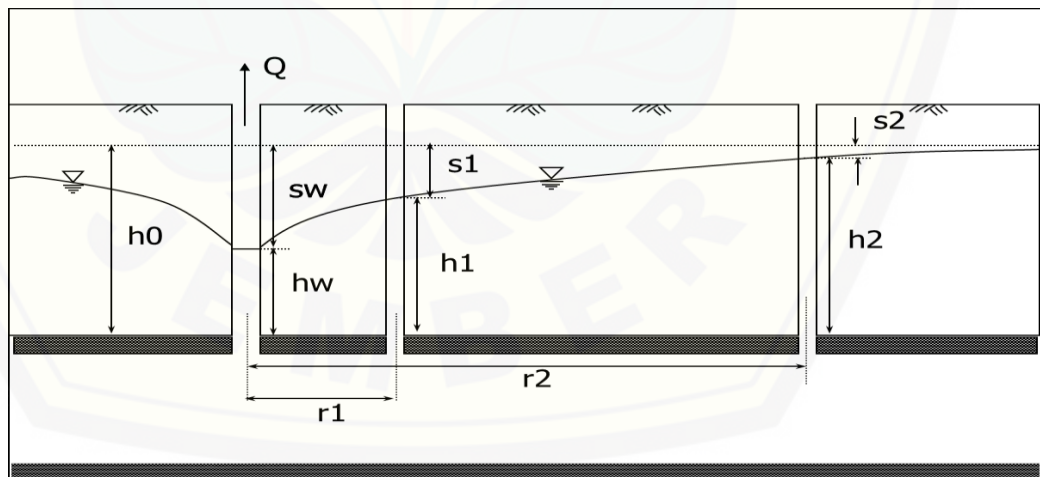
r = jarak dari sumbu koordinat

T = Transimivitas

### 2.1.5 Hidrolika Aliran Air Tanah

#### 1. Pemompaan pada Akuifer Terkekang

Gambar 2.2 menunjukkan muka air tanah akibat pemompaan pada akuifer terkekang.



**Gambar 2.2** pemompaan pada akuifer terkekang

Sumber: <http://luk.staff.ugm.ac.id/aat/pdf/PelatihanDrainase.pdf>

Persamaannya:

$$Q = A \cdot Vr \quad (2.10)$$

$$Q = (2\pi \cdot r)D \times K \frac{\partial h}{\partial r} \quad (2.11)$$

$$\int_{h_0}^h dh = \frac{Q}{2\pi \cdot KD} \int_{r_0}^r \frac{1}{r} dr \quad (2.12)$$

$$h - h_0 = \frac{Q}{2\pi \cdot KD} \ln \frac{r}{r_0} \quad (2.13)$$

dengan:

A adalah luas penampang aliran

$$A = (2\pi \cdot r)D$$

V<sub>r</sub> adalah kecepatan aliran

$$V_r = K \frac{\partial h}{\partial r}$$

D = Tebal akuifer

K = Konduktivitas hidraulis

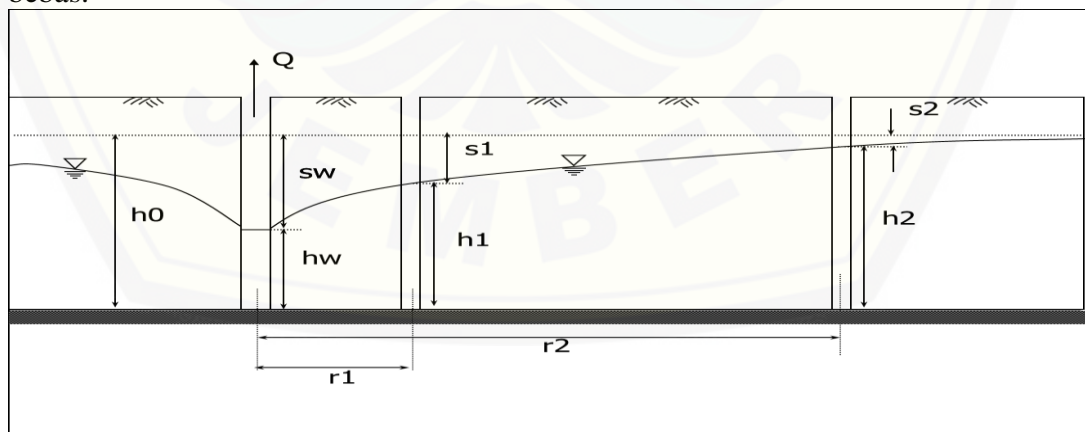
r = Radius pengamatan

Persamaan tinggi tekan aliran tunak pada akuifer terkekang

$$h = h_0 + \frac{Q}{2\pi \cdot KD} (\ln r - \ln r_0) \quad (2.14)$$

## 2. Pemompaan pada Akuifer Bebas

Gambar 2.3 menunjukkan muka air tanah akibat pemompaan pada akuifer bebas.



**Gambar 2.3** Pemompaan Akuifer Bebas

Sumber: <http://luk.staff.ugm.ac.id/aat/pdf/PelatihanDrainase.pdf>

Persamaannya:

$$Q=A \cdot V_r \quad (2.15)$$

$$Q=(2\pi \cdot r)h \times K \frac{\partial h}{\partial r} \quad (2.16)$$

$$\int_{h_0}^h dh = \frac{Q}{2\pi \cdot K} \int_{r_0}^r \frac{1}{r} dr \quad (2.17)$$

$$h^2-h_0^2 = \frac{Q}{2\pi \cdot K} \ln \frac{r}{r_0} \quad (2.18)$$

dengan:

A adalah luas penampang aliran

$$A = (2\pi \cdot r)h$$

$V_r$  adalah kecepatan aliran

$$V_r = K \frac{\partial h}{\partial r}$$

D = Tebal akuifer

K = Konduktifitas hidraulis

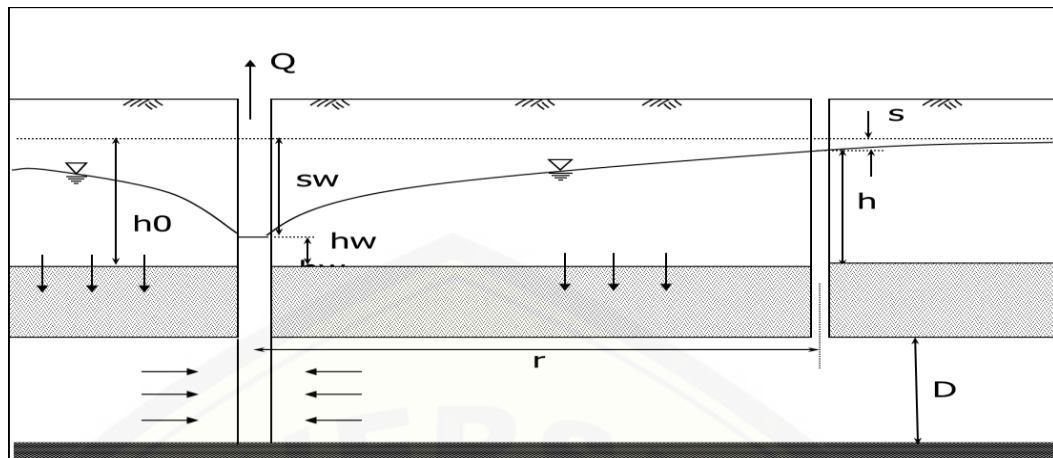
r = Radius pengamatan

dalam bentuk lain dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h^2 = h_0^2 + \frac{Q}{2\pi \cdot K} (\ln r - \ln r_0) \quad (2.19)$$

### 3. Pemompaan pada Akuifer Setengah Terkekang

Pemompaan yang dilakukan pada lapisan atas akan berdampak pada muka air tanah pada lapisan tersebut, muka air tanah pada lapisan tersebut akan mengalami penurunan. Akibatnya sumur-sumur penduduk menjadi kering, oleh karena itu pemompaan sebaiknya dilakukan di bawah lapisan kedap air. Sehingga di lapisan atas muka air tanah hanya turun sedikit tetapi meliputi daerah yang luas. Gambar 2.4 menjelaskan pemompaan pada akuifer setengah terkekang.



**Gambar 2.4** Pemompaan pada Akuifer Setengah Terkekang

Sumber: <http://luk.staff.ugm.ac.id/aat/pdf/PelatihanDrainase.pdf>

Persamaannya:

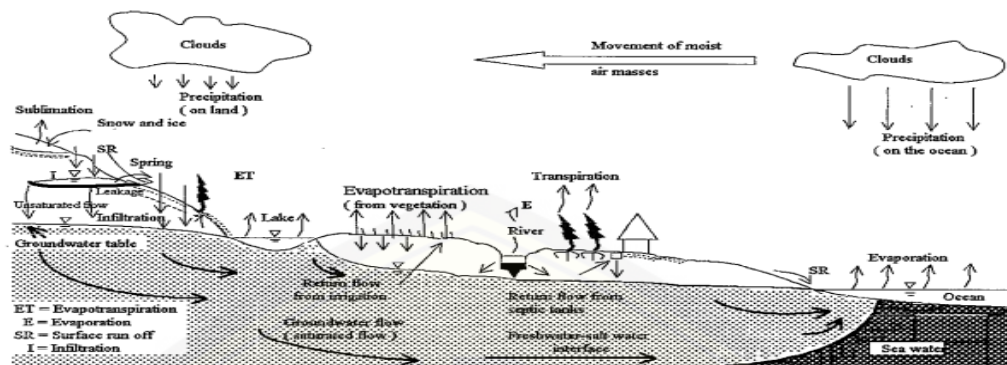
$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{h-h_1}{KDC_1} - \frac{h-h_2}{KDC_2} = 0 \quad (2.20)$$

Untuk kebocoran dari satu arah saja maka persamaan dasar menjadi:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{h-h_1}{KDC_1} = 0 \quad (2.21)$$

## 2.2 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi menjelaskan perjalanan air secara terus-menerus atau kontinu. Proses siklus hidrologi dapat dimulai dari jatuhnya hujan ke muka tanah akibat dari evaporasi dan evapotranspirasi. Kemudian hujan yang jatuh ke permukaan tanah mengalami pergerakan yang berbeda, sebagian bergerak secara horizontal sebagai limpasan langsung (*run-off*). Sedangkan sebagian lagi tertahan di butiran-butiran tanah yang selanjutnya bergerak ke bawah sebagai infiltrasi, sebagian kecil kembali ke atmosfer melalui penguapan. Air yang meresap ini selanjutnya menuju ke *vadose zone* (*soil water*) sebagai *soil water flow* dan juga mengalir menuju *phreatic zone* (*groundwater*) sebagai *ground water flow*. Gambar siklus hidrologi ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Siklus Hidrologi

### 2.3 Ketersediaan Air Tanah

Ketersediaan air tanah merupakan jumlah dari air yang tersimpan ke dalam tanah dan keluar dalam kurun waktu tertentu. Ketersediaan air tanah selisih dari infiltrasi dan kebutuhan air tanah. Perhitungan ketersediaan air di lapangan dilakukan secara empiris dengan mempertimbang nilai koefisien kandungan dan sistem akuifer pada lokasi penelitian, yang dinyatakan dengan rumus:

$$V = S \times V_s \quad (2.22)$$

dengan:

$V$  = volume air yang disimpan di sistem akuifer

$S$  = koefisien kandungan bawah tanah

$V_s$  = volume zona jenuh air atau sistem akuifer

Nilai koefisien kandungan air ( $S$ ) didapatkan dari data sekunder yang dilakukan pumping test pada sumur gali maupun sumur bor di daerah zona daerah penelitian. Untuk perhitungan volume zona jenuh air di daerah penelitian secara numerik menggunakan rumus dasar:

$$V_s = A \times D_s \quad (2.23)$$

dengan:

$V_s$  = volume zona jenuh air atau sistem akuifer

$A$  = luas daerah yang ditinjau

$D_s$  = tebal zona jenuh air dari sistem akuifer

a. Ketersediaan air tanah tertekan

Perhitungan ketersediaan air tanah tertekan berdasarkan jumlah air yang berasal dari aliran air bawah tanah dangkal secara horisontal yang melalui akuifer. Untuk menghitung besarnya cadangan air tanah tertekan tersebut menggunakan rumus dasar:

$$Q = T \times i \times L \quad (2.24)$$

dengan:

$Q$  = debit aliran air tanah

$T$  = transmisivitas

$i$  = landaian hidrolika

$L$  = lebar penampang daerah yang dihitung

b. Transimivitas

Adalah banyaknya air yang dapat mengalir melalui suatu bidang vertikal setebal akuifernya dan selebar satu unit panjang dengan landaian hidrolika satu unit. Dimensinya  $m^2/jam$  atau  $m^2/hari$ . Transmisivitas merupakan hasil kali konduktivitas hidrolik dengan tebal akuifer, dirumuskan :

$$T = K \cdot b \quad (2.25)$$

dengan :

$T$  = Transimivitas (  $m^2/ detik$  )

$K$  = Koefisien permeabilitas (  $m / detik$  )



b = Tebal akuifer ( m )

c. Konduktifitas Hidrolik

Merupakan kecepatan aliran air melewati satu unit secara vertikal dari akuifer. Konduktifitas hidrolik dapat pula disebut sebagai koefisien permeabilitas, dipengaruhi oleh ukuran butir, susunan butir, porositas dan distribusinya.

d. Koefisien Penyimpanan

Merupakan volume air yang dapat disimpan oleh akuifer setiap satuan luas pada satu satuan perubahan kedudukan muka air tanah. Koefisien penyimpanan ditentukan di lapangan dengan uji pemompaan.

## 2. 4 Model Air Tanah

Model air tanah adalah representasi berbasis komputer dari fitur penting dari sistem hidrogeologi yang menggunakan dasar hukum sains dan matematika. Ada dua keutamaan dari sebuah model yaitu model konseptual dan model matematis. Model konseptual merepresentasikan klasifikasi ideal yaitu sebuah gambar yang dipahami dari pemahaman hidrogeologi sebagai kunci proses aliran dari suatu sistem. Model matematis adalah persamaan yang tunduk pada asumsi tertentu, mengkuantifikasi proses fisik aktif dari sistem akuifer yang dimodelkan. Sementara model itu sendiri tidak memiliki realitas rinci dari sistem air tanah. Model ini merupakan sistem air tanah yang memadai tingkat detail, dan menyediakan alat ilmiah prediktif untuk mengukur dampak pada sistem yang ditentukan oleh hidrologi, pemompaan atau irigasi tekanan.

Dalam mengembangkan model air tanah ada tiga tahap utama yakni konseptual model, kalibrasi model dan prediksi model. Setelah itu langkah penting dalam pemodelan yaitu pengembangan dari model konseptual yang valid. Asumsi model juga dilakukan karena kompleksibilitas data atau data tidak layak dan sebagian karena data kurang cukup untuk menggambarkan sistem secara rinci.

Berikut ini model konseptuan berbasis komputer yang diintegrasikan untuk memprediksi kondisi muka air tanah:

#### 2.4.1 Geographic Information System (GIS)

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau dalam bahasa Inggris *Geographic Information System (GIS)* yang dikutip dari Wikipedia adalah sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial (bereferensi keruangan). Atau dalam arti yang lebih sempit, adalah sistem komputer yang memiliki kemampuan untuk membangun, menyimpan, mengelola dan menampilkan informasi bereferensi geografis, misalnya data yang diidentifikasi menurut lokasinya, dalam sebuah database.

#### 2.4.2 A Modular Three-Dimensional Finite Difference Ground-Water Flow Model (MODFLOW)

MODFLOW adalah aliran air tanah yang berbasis pada persamaan beda hingga yang mampu melakukan simulasi untuk semua jenis akuifer, seperti akuifer tertekan, akuifer tidak tertekan, akuifer semi tertekan bahkan akuifer campuran. Kelebihan MODFLOW yang lainnya adalah mampu menerima data masukan yang beragam, baik dari jenis akuifer, ketebalan lapisan maupun karakteristik transimivitasnya.

##### 2.4.2.1 Model Matematis

Aliran air tanah kepadatan konstan melalui material berpori seperti tanah dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial parsial, pada saat akuifer tertekan, bentuk persamaannya adalah:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.26)$$

dengan:

$K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  = Konduktivitas Hidrolik arah sumbu x,y,z

$h$  = tinggi tekan potensial

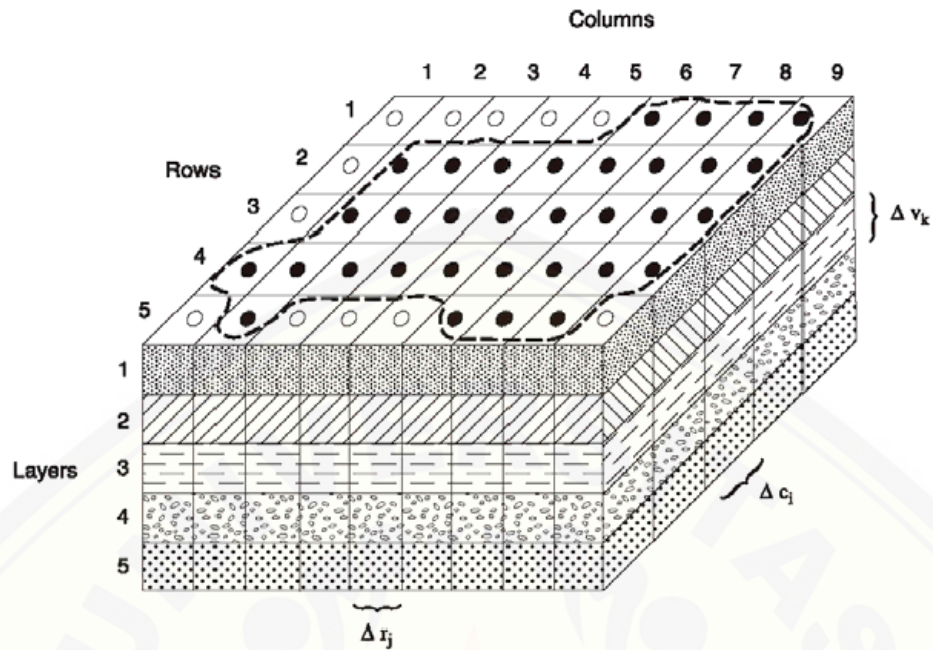
$W$  = fluktuasi volume (Volume Flux per unit volume)

$S_s$  = Koefisien simpanan

$S_s$ ,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  merupakan fungsi ruang.

$h$  dan  $W$  = fungsi waktu

Jadi persamaan pengatur seperti di atas, menguraikan aliran air tanah dalam kondisi tak seimbang pada media heterogen dan anisotropik.



**Gambar 2.6** Ilustrasi Diskritisasi Pada Sistem Akuifer  
(Harbaugh, 2005)

Keterangan:

- = Batas akuifer
- = Sel yang aktif
- = Sel yang tidak aktif
- $r_j$  = Dimensi sel arah - j
- $c_i$  = Dimensi sel arah - i
- $v_k$  = Dimensi sel arah - k

Modflow memperhitungkan sistem tiga dimensi seperti pada rangkaian lapisan material yang porous. Pada grid arah horizontal, umumnya menggunakan grid arah sumbu X dan sumbu Y. sebagai grid beda hingga, grid horizontalnya harus sama pada setiap lapisnya. Model ini tidak memerlukan masukan  $\Delta z$ , sebagai penggantinya adalah masukan berupa masing-masing transimivitas, yang harganya sama dengan konduktivitas hidraulik pada elevasi atas (*top*) dan elevasi dasar (*bottom*) dari lapisan yang ada.

Lapisan-lapisan yang ada didalam tanah dapat berupa akuifer tertekan, tidak tertekan atau diantara keduanya. Apabila akuifernya tertekan, membutuhkan masukan transimivitas dan koefisien simpanan. Lapisan atass dari sistem akuifernya didefinisikan sebagai lapisan tidak tertekan, maka akan membutuhkan massukan konduktivitas hidraulik dan koefisien tampungan spesifik (*spesivic yield*). Modflow akan melakukan perhitungan harga transimivitas dari lapisan tersebut dengan mengalikan antara konduktivitas hidraulik dengan ketebalan lapisan jenuhnya. Setiap akhir dari iterasi, ketebalan lapisan jenuhnya di koreksi dengan mempertimbangkan harga transimivitas yang baru, Modflow mengijinkan permukaan air memancar lebih tinggi dari elevasi permukaan lapis tidak tertekan. Pada kondisi ini, elevasi atas lapisannya dianggap sebagai ketebalan yang tak terbatas. Jika lapisannya dianggap dapat berubah, diberikan data masukan konduktivitas hidraulik dan tebal lapisan akuifer, maka Modflow akan menghitung harga transimivitasnya.

2.4.2.2 Parameter Model

1 Nilai K (Konduktivitas hidrolik)

Konduktivitas hidrolik atau permeabilitas adalah sebuah koefisien perbandingan yang menjelaskan tingkat dimana air dapat bergerak melalui media permeabel (Fetter, dalam Pasaribu, 2009). Besarnya nilai K (konduktivitas hidrolik) tergantung dari jenis tanah yang terdapat pada tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Nilai Konduktivitas Hidrolik (K)

Rocks (Batuan)	Unconsolidated deposits (Material sedimen)	K (m/det)
Karst Limestone		1
permeable fractured metamorphic & igneous		10 <sup>-1</sup>
Limestone & dolomite		10 <sup>-2</sup>
batuan pasir		10 <sup>-3</sup>
unfractured metamorphic & igneous		10 <sup>-4</sup>
shale		10 <sup>-5</sup>
Lempung unweathered marine clay		10 <sup>-6</sup>
	Glacial till	10 <sup>-7</sup>
	silt, loess	10 <sup>-8</sup>
	pasir lanau	10 <sup>-9</sup>
	pasir	10 <sup>-10</sup>
	kerikil	10 <sup>-11</sup>
		10 <sup>-12</sup>
		10 <sup>-13</sup>

Sumber : Freeze & Cherry, 1979 (Dalam Putra, 2010:6)

2 Nilai  $S_s$  (spesifik storage)

Besarnya nilai  $S_s$  (spesifik storage) adalah sebesar  $1/\text{nilai } S_y$ .

3 Nilai  $S_y$  (spesifik storage)

Nilai  $S_y$  (spesifik storage) ditentukan berdasarkan jenis tanah sesuai dengan tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Spesifik Yield ( $S_y$ )

Material	Specific Yield (%)		
	min	avg	Max
Unconsolidated deposits			
Clay	0	2	5
Sandy clay (mud)	3	7	12
Silt	3	18	19
Fine sand	10	21	28
Medium sand	15	26	32
Coarse sand	20	27	35
Gravelly sand	20	25	35
Fine gravel	21	25	35
Medium gravel	13	23	26
Coarse gravel	12	22	26
Consolidated deposits			
Fine-grained sandstone	21		
Medium-grained sandstone	27		
Limestone	14		
Schist	26		
Siltstone	12		
Tuff	21		
Other deposits			
Dune sand	38		
Loess	18		
Peat	44		
Till, predominantly silt	6		
Till, predominantly sand	16		
Till, predominantly gravel	16		

Sumber : Johnson, 1976

(Dalam [http://en.wikipedia.org/wiki/Specific\\_storage](http://en.wikipedia.org/wiki/Specific_storage), 2017)

#### 4 Nilai $n_e$ (porositas efektif)

Untuk mengetahui besarnya nilai  $n_e$  (porositas efektif) berdasarkan jenis tanahnya dapat dilihat dari tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Nilai Porositas Efektif ( $n_e$ )

Material	Total Porosity, pt	
	Range	Arithmetic Mean
Sedimentary material		
Sandstone (fine)	-	-
Sandstone (medium)	0,14 - 0,49	0,34
Siltstone	0,21 - 0,41	0,35
Sand (fine)	0,25 - 0,53	0,43
Sand (medium)	-	-
Sand (coarse)	0,31 - 0,46	0,39
Gravel (fine)	0,25 - 0,38	0,34
Gravel (medium)	-	-
Gravel (coarse)	0,24 - 0,36	0,28
Silt	0,34 - 0,51	0,45
Clay	0,34 - 0,57	0,42
Limestone	0,07 - 0,56	0,30
Wind-laid material		
Loess	-	-
Eolian sand	-	-
Tuff	-	-
Igneous rock		
Weathered granite	0,34 - 0,57	0,45
weathered gabbro	0,42 - 0,45	0,43
Basalt	0,03 - 0,35	0,17
Metamorphic rock		
Schist	0,04 - 0,49	0,38

Sumber : Mc. Worter & Sunada, 1977

(Dalam <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/porosity.htm>, 2017)

#### 5 Nilai $n_{total}$ (porositas total)

Nilai  $n_{total}$  (porositas total) berdasarkan jenis tanah terdapat pada tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.5 Nilai Porositas Total ( $n_{total}$ )

Material	Effective Porosity, $n_{pe}$	
	Range	Arithmetic Mean
Sedimentary material		
Sandstone (fine)	0,02 - 0,40	0,21
Sandstone (medium)	0,12 - 0,41	0,34
Siltstone	0,01 - 0,33	0,35
Sand (fine)	0,01 - 0,46	0,43
Sand (medium)	0,16 - 0,46	-
Sand (coarse)	0,18 - 0,43	0,39
Gravel (fine)	0,13 - 0,40	0,34
Gravel (medium)	0,17 - 0,44	-
Gravel (coarse)	0,13 - 0,25	0,28
Silt	0,01 - 0,39	0,45
Clay	0,01 - 0,18	0,42
Limestone	~0 - 0,36	0,30
Wind-laid material		
Loess	0,14 - 0,22	0,18
Eolian sand	0,32 - 0,47	0,38
Tuff	0,02 - 0,47	0,21
Igneous rock		
Weathered granite	-	-
weathered gabbro	-	-
Basalt	-	-
Metamorphic rock		
Schist	0,22 - 0,33	0,26

Sumber : Mc. Worter & Sunada, 1977

(Dalam <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/porosity.htm>, 2017)

#### 2.4.2.3 Perancangan Model

Dalam perancangan model akan dibahas mengenai diskritisasi, parameter waktu, kondisi batas, kondisi awal serta penentuan parameter. Berikut ini penjelasan mengenai perancangan model:

#### 1. Diskritisasi

Dalam proses ini daerah model dibagi menjadi beberapa grid atau beberapa elemen untuk dapat dihitung dan menghasilkan nilai pendekatan matematis.

#### 2. Kondisi Batas / *Boundary Condition*

Pada kondisi batas dalam pemodelan air tanah yaitu ketinggian awal muka air pada masing-masing sumur yang dikaji.

#### 3. Kondisi Awal / *Initial Condition*

Kondisi awal merupakan suatu keadaan pada sistem akuifer yang mempunyai parameter-parameter dengan nilai tertentu pada waktu tertentu yang digunakan untuk memecahkan masalah pemodelan.

#### 4. Input Data

Setiap masing-masing sumur memiliki perbedaan misalnya pada ketebalan akuifer, konduktivitas (K), debit pemompaan dan lamanya pemompaan. Data-data tersebut di input ke program pada masing-masing sumur yang dikaji.

#### 5. Running Model

Running model dilakukan untuk mengetahui hasil dari pemodelan yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengamatan, apabila factor kesalahan relative besar maka dilakukan kalibrasi.

#### 6. Kalibrasi Model

Seperti halnya yang sudah dijelaskan diatas kalibrasi digunakan untuk membandingkan hasil pemodelan dan pengamatan untuk memperoleh hasil terbaik. Untuk memperbaiki factor kesalahan dengan mengubah nilai parameter-parameter yang ditentukan pada tahap awal. Beberapa metode yang digunakan untuk mengkalibrasi hasil simulasi:

##### a. MSE (*Mean Square Error*)

$$MSE_1 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (y_j(t) - d_j(t))^2 \quad (2.27)$$

dengan :  $y_j(t)$  = penjumlahan output hasil prediksi`

$d_j(t)$  = output aktual



b. RMSE (*Root Mean Square Error*)

$$RSME(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}} \quad (2.28)$$

dengan :  $x_i$  = nilai observasi/aktual

$Y_i$  = nilai hasil prediksi

$N$  = jumlah pola

c. NASH (EF)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=t}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=t}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (2.29)$$

dengan :  $Q_{obs}$  = nilai observasi/aktual

$Q_{sim}$  = nilai hasil prediksi

$\bar{Q}_{obs}$  = nilai rata-rata observasi

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Konsep penelitian

Dalam penelitian ini tahapan pertama yang dilakukan yaitu pengumpulan data, kemudian data yang diperoleh diolah sesuai dengan tahapan yang ditentukan. Metode yang digunakan adalah dengan program bantu MODFLOW dan GIS. Kemudian hasil dari pemodelan tersebut di kalibrasi untuk memperoleh perbandingan terbaik antara observasi dan simulasi. Konseptual model dibentuk dari kajian menyeluruh dari akuisisi data primer dan data sekunder serta analisis data.

### 3.2 Lokasi Penelitian.

Penelitian ini dilakukan di sumur produksi milik PT. Eratex Djaja Tbk yang secara administratif terletak di Gg Salak, Curahgrinting, Kanigaran, Kota Probolinggo, Provinsi Jawa Timur. Industri ini berada diatas lahan seluas 17 ha dengan luas bangunan 5000 m<sup>2</sup>.



Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian Kota Probolinggo.

Sumber: *Google Maps*

### 3.3 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian merupakan langkah-langkah mulai dari pengumpulan data hingga pengolahan data yang nantinya hasilnya dijadikan sebagai dasar dalam menarik kesimpulan. Berikut ini sistematika penelitian:

#### 3.3.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan merupakan kebutuhan data dalam mengembangkan konseptual penelitian aliran air tanah dan dampak pemompaan terhadap penurunannya. Kebutuhan data yang kompleks sehingga dilakukan akuisisi data dan interpretasi untuk melengkapi konseptual model sehingga diperoleh *output* yang akurat. Disamping itu terdapat beberapa data yang juga diperlukan dalam penelitian ini diantaranya:

1. Lithologi

Keadaan geometri akuifer diperoleh melalui data logging pemboran yang diperoleh dari Dinas ESDM Provinsi Jawa Timur. Hasil dari data geometri akuifer dapat diperoleh kondisi bawah tanah pada sumur yang dianalisis.

2. Data Pemompaan

Data uji pemompaan dipakai dan dianggap sebagai data pengambilan air tanah pada sumur produksi. Data ini kemudian dijadikan sebagai kajian sampai sejauh mana pengaruhnya terhadap kondisi muka air tanah. Hasil dari data pemompaan dapat diperoleh debit ( $Q$ ), dan waktu ( $t$ ) selama satu tahun.

3. Data Konstruksi Sumur

Data konstruksi sumur dibutuhkan untuk mengetahui kondisi dari air tanah yang berkaitan dengan kondisi konstruksi sumur. Data konstruksi diperoleh kedalaman, tebal akuifer dan jari-jari sumur ( $r_w$ ).

4. Data Spasial

Data spasial berupa:

1. Peta lokasi penelitian yaitu peta RBI Kota Probolinggo;

2. Data koordinat sumur yang didapat dari Dinas ESDM Provinsi Jawa Timur;
3. Data koordinat boundary condition dari Google Earth.

### 3.3.2 Tahap Penyiapan Data

Dalam tahap ini, data-data yang digunakan berupa data perencanaan sumur yang diperoleh dari Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Timur. Adapun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah : data log lithologi, data debit dan eksploitasi air tanah, data konstruksi sumur dan data uji pemompaan. Selain data-data tersebut data yang harus dipersiapkan yaitu data peta Kota Probolinggo.

### 3.3.3 Tahap Pengolahan Data dan Analisa Data

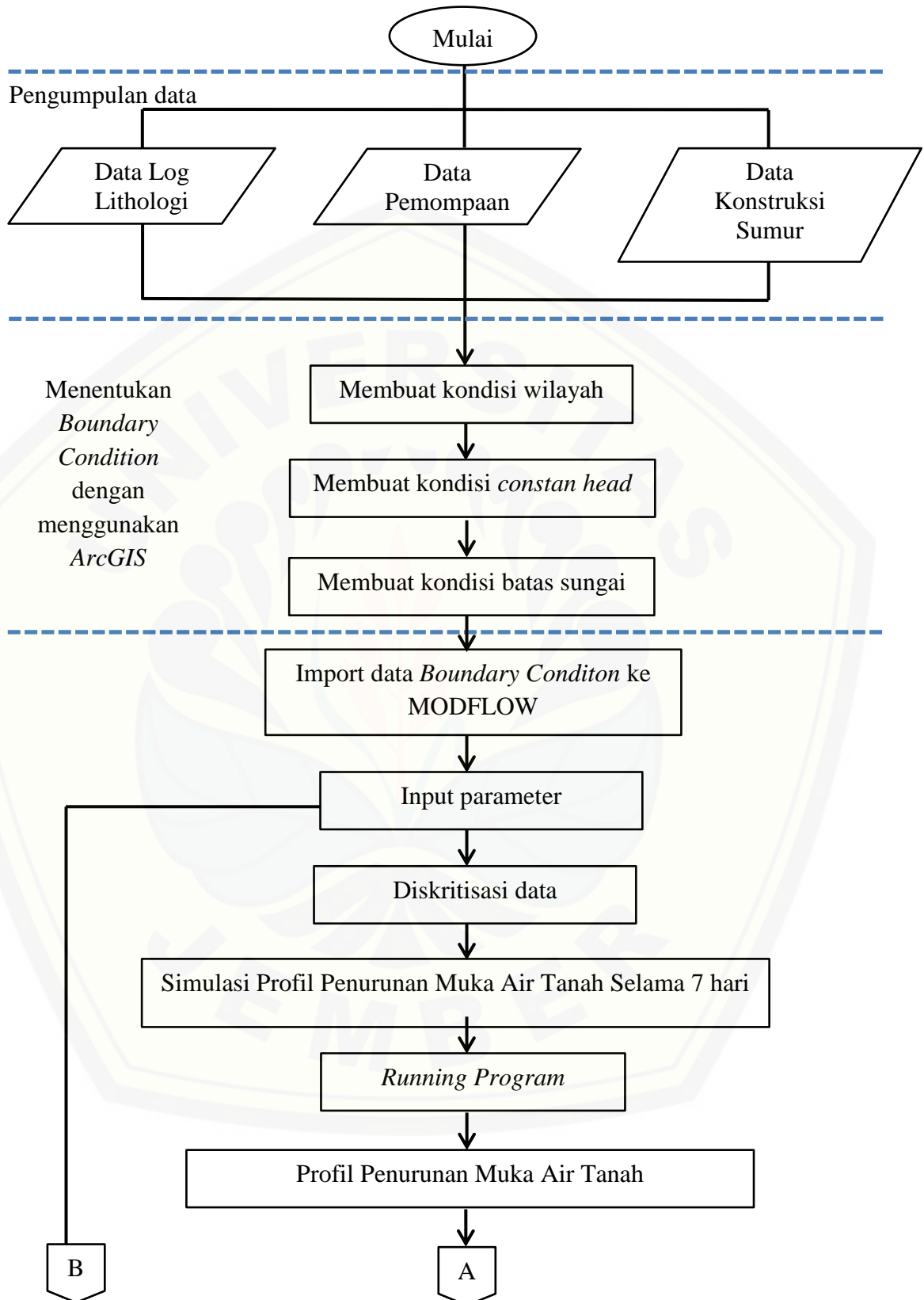
Pada tahapan ini adapun analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut:

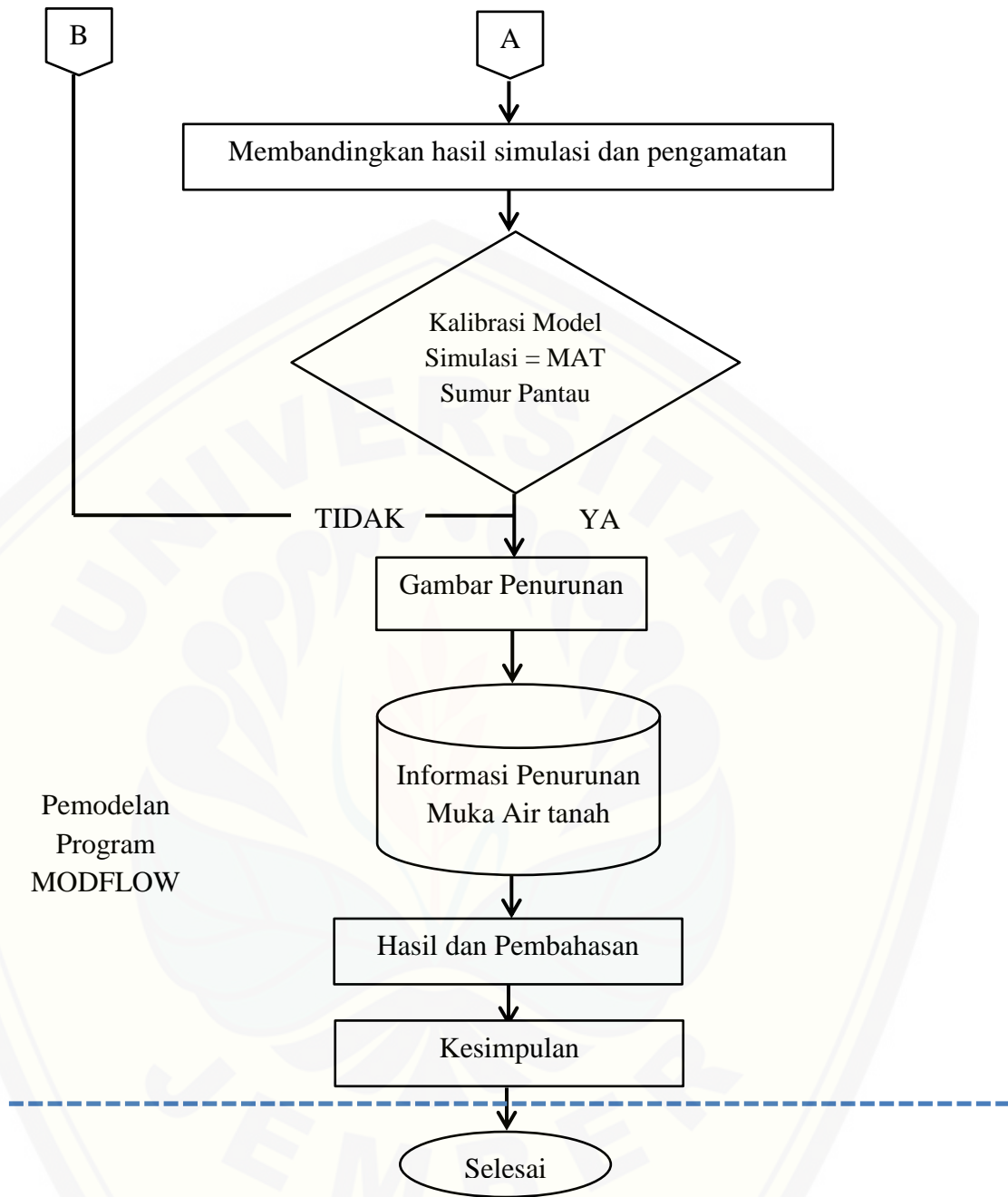
- 1) Proses penyiapan data *boundary condition* dan lokasi sumur produksi sesuai data koordinat sumur menggunakan ArcGIS
- 2) Menganalisa penurunan muka air tanah

### 3.3.4 Tahap running model

Tahap running model dengan menggunakan program bantu MODFLOW untuk mengetahui profil penurunan muka air tanah meliputi:

- Import data *Boundary Condition.shp*
- Menentukan parameter model yaitu *Initial Condition*
- Diskritisasi data
- Input data sumur produksi
- Membandingkan hasil simulasi dan hasil pengamatan
- Menetapkan factor toleransi program
- Kalibrasi model apabila factor kesalahan relative besar antara hasil perhitungan program dan hasil pengamatan
- Diperoleh hasil dan pembahasan serta kesimpulan





Gambar 3.2 Diagram Alir Penyelesaian Penelitian



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pengaruh eksploitasi sumur produksi terhadap penurunan muka air tanah pada PT. Eratex Djaja Tbk. dengan menggunakan software Visual Modflow, setelah running program dengan simulasi waktu selama 7 hari mengalami penurunan terbesar 1.83 meter, yaitu terletak disekitar sumur produksi 3 s/d 5. Sedangkan apabila simulasi selama 365 hari terjadi penurunan sebesar 10.03 meter pada sumur produksi 2 dan terjadi kekeringan pada sumur produksi 3 s/d 5.

### 5.2 Saran

Pada penelitian ini menggunakan sungai atau *river* sebagai *boundary condition* atau sebagai kondisi batas. Untuk memperoleh hasil yang berbeda atau memperoleh hasil lebih baik dapat menggunakan kondisi batas yang lain misalnya *Recharge*. Selain itu pada penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan intrusi air laut.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Penerbit Universitas Jember. 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*, Edisi Ketiga Jember: Badan Penerbit Universitas Jember.
- Bisri, M. 1991. *Aliran Air Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Harbaugh, Arlen, W. (2005) 'MODFLOW-2005 , The U . S . Geological Survey Modular Ground-Water Model — the Ground-Water Flow Process', *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, p. 253.
- Pasaribu, J.M. 2009. *Simulasi Aliran Air Tanah Dengan Menggunakan Software Modflow Berdasarkan Curah Hujan*. Bandung. ITB.
- Putra, A. I. B. 2010. *Studi Perbandingan Pendugaan Potensi Air Bawah Tanah Metode Geolistrik Dengan Metode Spasial di Kabupaten Sampang – Jawa Timur* . Jember : Universitas Jember.
- Pemerintah Republik Indonesia (2004) 'Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air', p. 110.
- Satapathy, I. and Syed, T. H. (2015) 'Characterization of groundwater potential and artificial recharge sites in Bokaro District , Jharkhand ( India ), using remote sensing and GIS-based techniques', pp. 4215–4232. doi: 10.1007/s12665-015-4474-8.
- Sudarto, L. (2012) 'Prediksi Penurunan Muka Air Tanah Akibat Pemompaan', 2012(semnasIF), pp. 36–43.
- Xu, X., Huang, G. and Qu, Z. (2009) 'Integrating MODFLOW and GIS technologies for assessing impacts of irrigation management and groundwater use in the Hetao Irrigation District, Yellow River basin', *Science in China, Series E: Technological Sciences*, 52(11), pp. 3257–3263. doi: 10.1007/s11431-009-0328-5.
- Xu, X., Huang, G., Qu, Z. and Pereira, L. S. (2011) 'Using MODFLOW and GIS to Assess Changes in Groundwater Dynamics in Response to Water Saving Measures in Irrigation Districts of the Upper Yellow River Basin', *Water Resources Management*, 25(8), pp. 2035–2059. doi: 10.1007/s11269-011-9793-2.
- Specific Storage*. [serial on line]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Specific\\_storage](http://en.wikipedia.org/wiki/Specific_storage). [5 Juli 2017]

## Lampiran A.1

## Data Debit Konsumsi Sumur Produksi PT. Eratex Djaja Tbk

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-Dec-15	188971.9	376	298616.7	473	622,834	929	970,913	1,316	540,831	1,524
1-Jan-16										
2-Jan-16	189186.6	215	298816.7	200	623,528	694	972,139	1,226	540,771	(60)
3-Jan-16	189342.6	156	299081.1	264	623,702	174	972,514	375	541,159	388
4-Jan-16	189560.1	218	299367.5	286	624,192	490	973,382	868	541,796	637
5-Jan-16	189784.4	224	299631.7	264	624,778	586	974,431	1,049	542,418	622
6-Jan-16	189991.3	207	299892.3	261	625,243	465	975,264	833	543,057	639
7-Jan-16	190190.8	200	300154.4	262	625,708	465	976,074	810	543,692	635
8-Jan-16	190407.3	217	300429.8	275	626,273	565	977,049	975	544,302	610
9-Jan-16	190644.8	238	300639.8	210	626,858	585	978,053	1,004	544,899	597
10-Jan-16	190791.1	146	300898.3	259	626,858	-	978,053	-	544,899	-
11-Jan-16	191007.7	217	301177.7	279	627,461	603	978,988	935	545,562	663
12-Jan-16	191214.6	207	301438.7	261	628,083	622	979,959	971	546,072	510
13-Jan-16	191447.8	233	301724.6	286	628,760	677	980,999	1,040	546,650	578
14-Jan-16	191662.6	215	301984.4	260	629,461	701	982,117	1,118	547,284	634
15-Jan-16	191871.6	209	302243.8	259	630,230	769	983,377	1,260	547,871	587
16-Jan-16	192223.3	352	302693.6	450	631,627	1,397	984,668	1,291	548,477	606
17-Jan-16										
18-Jan-16	192472.4	249	303010.2	317	631,863	236	985,851	1,183	549,177	700
19-Jan-16	192720.0	248	303306.4	296	632,602	739	987,019	1,168	549,800	623
20-Jan-16	192955.6	236	303593.7	287	633,419	817	988,376	1,357	550,409	609
21-Jan-16	193188.7	233	303883.7	290	634,272	853	989,811	1,435	551,035	626
22-Jan-16	193431.4	243	304184.2	301	635,089	817	991,170	1,359	551,650	615

Date	Deepwell pump									
	I		I		I		I		I	
23-Jan-16	193667.8	236	304477.5	293	635,828	739	992,357	1,187	552,274	624
24-Jan-16	193851.0	183	304708.3	231	636,163	335	992,835	478	552,911	637
25-Jan-16	194096.5	246	305017.2	309	636,768	605	993,700	865	553,540	629
26-Jan-16	194323.8	227	305302.4	285	637,529	761	994,924	1,224	554,176	636
27-Jan-16	194548.8	225	305593.7	291	638,328	799	996,199	1,275	554,820	644
28-Jan-16	194781.7	233	305883.2	290	639,033	705	997,511	1,312	555,447	627
29-Jan-16	194997.6	216	306171.8	289	639,882	849	998,847	1,336	556,076	629
30-Jan-16	195260.3	263	306492.2	320	640,792	910	999,336	489	556,564	488
31-Jan-16	195430.6	170	306717.5	225	641,395	603	1,001,007	1,001,671	557,046	482
<b>Total</b>		6,459		8,101		18,561		1,030,094		16,215
<b>Avg/day</b>		223		279		640		35,520		559

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-Jan-16	195430.6	170	306717.5	225	641,395	603	1,007	1,001,671	557,046	482
1-Feb-16	195647.5	217	306989.5	272	642,212	817	2,240	1,233	557,703	657
2-Feb-16	195877.8	230	307288.3	299	643,131	919	3,675	1,435	558,359	656
3-Feb-16	196087.7	210	307555.2	267	644,069	938	5,122	1,447	558,999	640
4-Feb-16	196322.2	235	307854.0	299	645,035	966	6,604	1,482	559,651	652
5-Feb-16	196585.5	263	308187.4	333	645,897	862	7,949	1,345	560,299	648
6-Feb-16	197070.8	485	308836.2	649	646,649	752	9,029	1,080	561,250	951
7-Feb-16										
8-Feb-16										
9-Feb-16	197280.3	210	309089.8	254	647,401	752	10,109	1,080	561,825	575
10-Feb-16	197464.3	184	309328.3	239	648,152	751	11,167	1,058	562,484	659
11-Feb-16	197675.4	211	309599.8	272	648,661	509	11,859	692	563,154	670

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
12-Feb-16	197877.7	202	309862.7	263	649,224	563	12,631	772	563,825	671
13-Feb-16	198092.5	215	309999.9	137	649,768	544	13,369	738	564,494	669
14-Feb-16	198244.4	152	310206.6	207	650,114	346	13,713	344	564,980	486
15-Feb-16	198471.8	227	310507.7	301	650,763	649	14,494	781	565,635	655
16-Feb-16	198686.7	215	310770.9	263	651,499	736	15,558	1,064	566,273	638
17-Feb-16	198887.2	201	311032.7	262	652,177	678	16,569	1,011	566,932	659
18-Feb-16	199086.2	199	311295.2	263	652,941	764	17,655	1,086	567,588	656
19-Feb-16	199294.6	208	311573.1	278	653,767	826	18,837	1,182	568,233	645
20-Feb-16	199507.5	213	311830.7	258	654,660	893	20,137	1,300	568,897	664
21-Feb-16	199666.2	159	312039.8	209	655,612	952	20,614	477	569,391	494
22-Feb-16	199885.5	219	312324.5	285	655,765	153	21,670	1,056	570,021	630
23-Feb-16	200080.8	195	312578.7	254	656,709	944	23,027	1,357	570,686	665
24-Feb-16	200290.1	209	312847.5	269	657,555	846	24,216	1,189	571,340	654
25-Feb-16	200510.6	221	313135.9	288	658,262	707	25,380	1,164	571,992	652
26-Feb-16	200699.1	189	313381.3	245	658,969	707	26,969	1,589	572,628	636
27-Feb-16	200904.3	205	313649.2	268	659,443	474	27,035	66	573,296	668
28-Feb-16	201049.3	145	313840.3	191	659,591	148	27,277	242	573,694	398
29-Feb-16	201255.6	206	314117.5	277	660,051	460	27,800	523	574,327	633
<b>Total</b>		<b>5,825</b>		<b>7,400</b>		<b>18,656</b>		<b>26,793</b>		<b>17,281</b>
<b>Avg/day</b>		<b>216</b>		<b>274</b>		<b>691</b>		<b>992</b>		<b>640</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
29-Feb-16	201255.6	206	314117.5	277	660,051	460	27,800	523	574,327	633
1-Mar-16	201489.3	234	314416.1	299	660,113	62	28,484	684	575,013	686
2-Mar-16	201716.5	227	314712.0	296	660,694	581	29,237	753	575,690	677

3-Mar-16	201905.4	189	314960.3	248	661,347	653	30,229	992	576,328	638
4-Mar-16	202103.5	198	315219.6	259	662,072	725	31,210	981	577,003	675
5-Mar-16	202306.1	203	315485.5	266	662,767	695	32,113	903	577,639	636
6-Mar-16	202435.0	129	315655.2	170	663,038	271	32,410	297	578,192	553
7-Mar-16	202622.1	187	315914.9	260	663,576	538	33,079	669	578,856	664
8-Mar-16	202916.2	294	316284.6	370	664,196	620	33,617	538	579,511	655
9-Mar-16										
10-Mar-16	203129.0	213	316564.8	280	664,753	557	34,361	744	580,159	648
11-Mar-16	203307.2	178	316803.0	238	665,334	581	35,213	852	580,793	634
12-Mar-16	203497.3	190	317021.0	218	666,013	679	36,136	923	581,456	663
13-Mar-16	203645.8	149	317239.2	218	666,350	337	36,580	444	581,896	440
14-Mar-16	203842.2	196	317495.1	256	666,831	481	37,205	625	582,516	620
15-Mar-16	204026.2	184	317734.2	239	667,325	494	37,908	703	583,109	593
16-Mar-16	204223.1	197	317989.6	255	667,868	543	38,706	798	583,693	584
17-Mar-16	204460.3	237	318296.2	307	668,414	546	39,419	713	584,282	589
18-Mar-16	204665.9	206	318561.5	265	668,971	557	40,208	789	584,876	594
19-Mar-16	204864.1	198	318820.1	259	669,578	607	40,849	641	585,456	580
20-Mar-16	204995.9	132	318995.3	175	669,578	-	40,849	-	585,456	-
21-Mar-16	205187.5	192	319245.9	251	670,056	478	41,707	858	586,065	609
22-Mar-16	205381.4	194	319497.3	251	670,426	370	42,195	488	586,686	621
23-Mar-16	205570.3	189	319757.4	260	670,758	332	42,659	464	587,304	618
24-Mar-16	205927.9	358	320035.4	278	671,312	554	43,462	803	587,925	621
25-Mar-16										
26-Mar-16	206156.1	228	320334.2	299	671,843	531	43,897	435	588,396	471
27-Mar-16	206264.0	108	320478.6	144	671,843	-	43,897	-	588,396	-
28-Mar-16	206466.1	202	320740.1	262	672,187	344	44,315	418	589,021	625
29-Mar-16	206654.1	188	320983.0	243	672,511	324	44,841	526	589,627	606
30-Mar-16	206886.8	233	321299.3	316	673,000	489	45,497	656	590,260	633
31-Mar-16	207096.5	210	321556.8	258	673,535	535	46,228	731	590,915	655
<b>Total</b>		<b>5,841</b>		<b>7,439</b>		<b>13,484</b>		<b>18,428</b>		<b>16,588</b>

<b>Avg/day</b>	201	257	465	635	572
----------------	-----	-----	-----	-----	-----

Date	Deepweell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-Mar-16	207096.5	210	321556.8	258	673,535	535	46,228	731	590,915	655
1-Apr-16	207297.1	201	321825.4	269	674,252	717	47,130	902	591,572	657
2-Apr-16	207510.1	213	322099.2	274	674,253	1	47,130	-	591,572	-
3-Apr-16	207620.6	111	322240.0	141	674,253	-	47,130	-	591,572	-
4-Apr-16	207820.8	200	322507.4	267	675,733	1,480	49,103	1,973	592,927	1,355
5-Apr-16	208004.9	184	322739.7	232	676,386	653	50,236	1,133	593,582	655
6-Apr-16	208209.4	205	323003.6	264	677,086	700	51,378	1,142	594,226	644
7-Apr-16	208401.2	192	323267.5	264	677,706	620	52,410	1,032	594,883	657
8-Apr-16	208586.2	185	323493.5	226	678,380	674	53,433	1,023	595,532	649
9-Apr-16	208781.6	195	323748.2	255	679,168	788	54,672	1,239	596,181	649
10-Apr-16	208946.4	165	323963.7	216	679,746	578	55,540	868	596,834	653
11-Apr-16	209133.0	187	324219.2	256	680,509	763	56,781	1,241	597,476	642
12-Apr-16	209324.0	191	324468.2	249	681,254	745	58,098	1,317	598,122	646
13-Apr-16	209523.6	200	324713.1	245	681,888	634	59,271	1,173	598,764	642
14-Apr-16	209710.8	187	324957.7	245	682,638	750	60,583	1,312	599,411	647
15-Apr-16	209905.2	194	325210.9	253	683,367	729	61,808	1,225	600,053	642
16-Apr-16	210125.2	220	325495.0	284	684,235	868	63,065	1,257	600,699	646
17-Apr-16	210266.5	141	325678.6	184	684,788	553	63,832	767	601,288	589
18-Apr-16	210477.6	211	325958.4	280	685,491	703	64,799	967	601,951	663
19-Apr-16	210685.8	208	326230.0	272	686,273	782	65,928	1,129	602,590	639
20-Apr-16	210904.9	219	326526.8	297	687,096	823	67,073	1,145	603,236	646
21-Apr-16	211114.4	210	326786.7	260	687,851	755	68,040	967	603,873	637

22-Apr-16	211330.8	216	327082.0	295	688,465	614	68,864	824	604,499	626
23-Apr-16	211550.0	219	327353.1	271	689,077	612	69,715	851	605,134	635
24-Apr-16	211708.4	158	327557.1	204	689,354	277	70,137	422	605,670	536
25-Apr-16	211912.6	204	327814.8	258	689,855	501	70,903	766	606,238	568
26-Apr-16	212138.0	225	328116.7	302	690,570	715	72,081	1,178	606,872	634
27-Apr-16	212356.7	219	328399.6	283	691,334	764	73,368	1,287	607,500	628
28-Apr-16	212544.1	187	328647.4	248	692,169	835	74,619	1,251	608,127	627
29-Apr-16	212751.6	208	328909.8	262	693,020	851	75,948	1,329	608,748	621
30-Apr-16	213065.1	314	329320.1	410	693,843	823	77,223	1,275	609,374	626
1-May-16	213264.0	199	329583.7	264	694,766	923	78,397	1,174	609,994	620
<b>Total</b>		<b>6,168</b>		<b>8,027</b>		<b>21,231</b>		<b>32,169</b>		<b>19,079</b>
<b>Avg/day</b>		<b>199</b>		<b>259</b>		<b>685</b>		<b>1,038</b>		<b>615</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
30-Apr-16	213065.1	314	329320.1	410	693,843	823	77,223	1,275	609,374	626
1-May-16										
2-May-16	213264.0	199	329583.7	264	694,766	923	78,397	1,174	609,994	620
3-May-16	213471.2	207	329845.0	261	695,609	843	78,578	181	610,617	623
4-May-16	213960.0	489	330418.3	573	696,376	767	80,639	2,061	611,232	615
5-May-16										
6-May-16										
7-May-16	214172.6	213	330692.9	275	697,404	1,028	81,709	1,070	611,876	644
8-May-16	214324.5	152	330889.4	197	697,881	477	82,390	681	612,487	611
9-May-16	214519.5	195	331154.6	265	698,608	727	83,566	1,176	613,104	617
10-May-16	214721.3	202	331400.7	246	699,376	768	84,713	1,147	613,717	613
11-May-16	214932.9	212	331673.2	273	700,140	764	85,884	1,171	614,339	622
12-May-16	215132.1	199	331932.6	259	700,820	680	86,888	1,004	614,947	608

13-May-16	215387.1	255	332280.6	348	701,579	759	88,014	1,126	615,558	611
14-May-16	215567.5	180	332440.0	159	702,400	821	89,159	1,145	616,182	624
15-May-16	215729.8	162	332699.0	259	702,966	566	90,009	850	616,794	612
16-May-16	215935.0	205	332969.0	270	703,662	696	91,142	1,133	617,402	608
17-May-16	216131.3	196	333215.3	246	704,410	748	92,318	1,176	618,008	606
18-May-16	216341.0	210	333484.7	269	705,213	803	93,663	1,345	618,614	606
19-May-16	216548.1	207	333769.5	285	706,030	817	95,046	1,383	619,215	601
20-May-16	216742.3	194	334016.6	247	706,753	723	96,213	1,167	619,827	612
21-May-16	217100.5	358	334463.7	447	707,533	780	97,535	1,322	620,434	607
22-May-16										
23-May-16	217308.6	208	334730.8	267	708,259	726	98,551	1,016	621,028	594
24-May-16	217504.4	196	334982.6	252	708,888	629	99,690	1,139	621,631	603
25-May-16	217705.2	201	335240.0	257	709,579	691	100,846	1,156	622,236	605
26-May-16	217915.7	211	335505.9	266	710,298	719	102,128	1,282	622,838	602
27-May-16	218138.4	223	335802.4	297	711,018	720	103,387	1,259	623,460	622
28-May-16	218386.3	248	336117.3	315	711,802	784	104,790	1,403	624,081	621
29-May-16	218537.2	151	336313.3	196	712,290	488	105,522	732	624,496	415
30-May-16	218755.5	218	336593.7	280	712,839	549	106,457	935	625,327	831
31-May-16	218964.8	209	336872.0	278	713,435	596	107,025	568	625,936	609
<b>Total</b>		<b>5,900</b>		<b>7,552</b>		<b>19,592</b>		<b>29,802</b>		<b>16,562</b>
<b>Avg/day</b>		<b>219</b>		<b>280</b>		<b>726</b>		<b>1,104</b>		<b>613</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-May-16	218964.8	209	336872.0	278	713,435	596	107,025	568	625,936	609
1-Jun-16	219173.5	209	337131.2	259	713,839	404	107,457	432	626,322	386
2-Jun-16	219387.7	214	337404.3	273	714,799	960	109,302	1,845	627,157	835
3-Jun-16	219590.6	203	337665.7	261	715,325	526	110,289	987	627,744	587



4-Jun-16	219846.1	256	337992.8	327	715,977	652	111,478	1,189	628,344	600
5-Jun-16	219992.2	146	338179.2	186	716,398	421	111,552	74	628,958	614
6-Jun-16	220192.4	200	338437.1	258	716,933	535	113,049	1,497	629,509	551
7-Jun-16	220382.4	190	338683.2	246	717,625	692	114,198	1,149	630,127	618
8-Jun-16	220586.2	204	338935.6	252	718,330	705	115,313	1,115	630,717	590
9-Jun-16	220776.6	190	339184.4	249	719,006	676	116,423	1,110	631,311	594
10-Jun-16	220972.4	196	339434.5	250	719,684	678	117,509	1,086	631,917	606
11-Jun-16	221174.1	202	339691.7	257	720,288	604	118,457	948	632,512	595
12-Jun-16	221340.5	166	339907.1	215	720,580	292	118,772	315	633,071	559
13-Jun-16	221555.6	215	339999.9	93	721,041	461	119,400	628	633,655	584
14-Jun-16	221748.7	193	340143.4	144	721,683	642	120,394	994	634,264	609
15-Jun-16	221947.0	198	340391.0	248	722,200	517	121,201	807	634,851	587
16-Jun-16	222152.6	206	340657.0	266	722,929	729	122,320	1,119	635,441	590
17-Jun-16	222336.6	184	340657.0	-	723,683	754	123,308	988	636,027	586
18-Jun-16	222,607	270	340657.0	-	724,363	680	124,466	1,158	636,625	598
19-Jun-16	222,697	90	340657.0	-	724,434	71	125,004	538	637,234	609
20-Jun-16	222,888	191	340657.0	-	725,232	798	125,611	607	637,800	566
21-Jun-16	223072.0	184	340657.0	-	725,859	627	126,715	1,104	638,398	598
22-Jun-16	223270.5	199	340657.0	-	726,500	641	127,789	1,074	639,008	610
23-Jun-16	223458.2	188	340657.0	-	727,288	788	129,051	1,262	639,610	602
24-Jun-16	223639.3	181	340657.0	-	728,047	759	130,227	1,176	640,214	604
25-Jun-16	223871.7	232	340657.0	-	728,860	813	131,521	1,294	640,822	608
26-Jun-16	223963.9	92	340657.0	-	729,570	710	132,288	767	641,341	519
27-Jun-16	224153.5	190	340657.0	-	730,270	700	133,239	951	641,944	603
28-Jun-16	224342.3	189	340657.0	-	731,043	773	134,547	1,308	642,560	616
29-Jun-16	224540.2	198	340657.0	-	731,818	775	135,882	1,335	643,151	591
30-Jun-16	224724.1	184	340657.0	-	732,674	856	137,272	1,390	643,772	621
1-Jul-16	224899.9	176	340657.0	-	733,407	733	138,406	1,134	644,387	615
<b>Total</b>		<b>5,726</b>		<b>3,526</b>		<b>19,568</b>		<b>30,949</b>		<b>18,065</b>
<b>Avg/day</b>		<b>191</b>		<b>118</b>		<b>652</b>		<b>1,032</b>		<b>602</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
30-Jun-16	224724.1	184	340657.0	-	732,674	856	137,272	1,390	643,772	621
1-Jul-16	224899.9	176	340657.0	-	733,407	733	138,406	1,134	644,387	615
2-Jul-16	225144.6	245	340657.0	-	734,505	1,098	138,406	-	645,247	860
3-Jul-16	225258.6	114	340657.0	-	734,505	-	138,406	-	645,247	-
4-Jul-16	227061.2	1,803	340657.0	-	735,104	599	139,773	1,367	645,482	235
5-Jul-16										
6-Jul-16										
7-Jul-16										
8-Jul-16										
9-Jul-16										
10-Jul-16										
11-Jul-16	227264.0	203	340657.0	-	735,773	669	140,926	1,153	646,380	898
12-Jul-16	227450.9	187	340657.0	-	736,445	672	142,126	1,200	646,638	258
13-Jul-16	227644.8	194	340657.0	-	737,233	788	143,575	1,449	647,239	601
14-Jul-16	227837.3	193	340657.0	-	738,078	845	145,048	1,473	647,829	590
15-Jul-16	228051.1	214	340657.0	-	738,907	829	146,471	1,423	648,419	590
16-Jul-16	228295.9	245	340657.0	-	739,772	865	147,971	1,500	649,020	601
17-Jul-16	228398.5	103	340657.0	-	739,772	-	147,971	-	649,020	-
18-Jul-16	228596.4	198	340657.0	-	740,708	936	149,646	1,675	650,027	1,007
19-Jul-16	228785.8	189	340657.0	-	741,438	730	151,027	1,381	650,695	668
20-Jul-16	229016.4	231	340657.0	-	742,232	794	152,503	1,476	651,294	599
21-Jul-16	229200.6	184	340657.0	-	742,965	733	153,833	1,330	651,907	613
22-Jul-16	229403.9	203	340657.0	-	743,546	581	154,878	1,045	652,509	602
23-Jul-16	229642.4	239	340657.0	-	744,213	667	156,060	1,182	653,119	610
24-Jul-16	229754.3	112	340657.0	-	744,739	526	156,942	882	653,722	603

25-Jul-16	229964.0	210	340657.0	-	745,375	636	158,060	1,118	654,333	611
26-Jul-16	230153.5	190	340657.0	-	746,040	665	159,261	1,201	654,930	597
27-Jul-16	230354.7	201	340657.0	-	746,716	676	160,396	1,135	655,524	594
28-Jul-16	230539.3	185	340657.0	-	747,359	643	161,546	1,150	656,126	602
29-Jul-16	230714.5	175	340657.0	-	748,096	737	162,918	1,372	656,731	605
30-Jul-16	230916.9	202	340657.0	-	748,764	668	164,177	1,259	657,323	592
31-Jul-16	231080.3	163	340657.0	-	749,343	579	164,845	668	657,890	567
<b>Total</b>		<b>6,180</b>		<b>-</b>		<b>15,936</b>		<b>26,439</b>		<b>13,503</b>
<b>Avg/day</b>		<b>258</b>		<b>-</b>		<b>664</b>		<b>1,102</b>		<b>563</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-Jul-16	231080.3	163	340657.0	-	749,343	579	164,845	668	657,890	567
1-Aug-16	231282.9	203	340657.0	-	749,875	532	165,721	876	658,450	560
2-Aug-16	231489.7	207	340657.0	-	750,556	681	166,965	1,244	659,047	597
3-Aug-16	231655.9	166	340657.0	-	751,278	722	168,318	1,353	659,643	596
4-Aug-16	231895.6	240	340843.3	186	752,096	818	169,827	1,509	660,234	591
5-Aug-16	232083.0	187	341082.8	240	752,901	805	171,261	1,434	660,823	589
6-Aug-16	232381.1	298	341441.4	359	753,681	780	172,653	1,392	661,413	590
7-Aug-16	232478.4	97	341564.8	123	754,241	560	173,586	933	661,997	584
8-Aug-16	232703.6	225	341831.8	267	754,913	672	174,748	1,162	662,588	591
9-Aug-16	232886.8	183	342080.1	248	755,697	784	176,167	1,419	663,168	580
10-Aug-16	233080.1	193	342318.2	238	756,484	787	177,559	1,392	663,753	585
11-Aug-16	233284.1	204	342582.7	265	757,252	768	178,901	1,342	664,337	584
12-Aug-16	233482.3	198	342838.0	255	757,986	734	180,204	1,303	664,907	570
13-Aug-16	233714.5	232	343117.3	279	758,737	751	181,466	1,262	665,496	589
14-Aug-16	233898.3	184	343357.8	241	759,144	407	182,105	639	666,073	577
15-Aug-16	234135.9	238	343658.3	301	759,822	678	182,326	221	666,655	582

16-Aug-16	234467.6	332	344079.5	421	760,522	700	184,526	2,200	666,955	300
17-Aug-16										
18-Aug-16	234666.6	199	344333.9	254	761,429	907	185,855	1,329	667,764	809
19-Aug-16	234890.0	223	344614.4	281	762,083	654	187,037	1,182	668,316	552
20-Aug-16	235132.0	242	344921.6	307	762,693	610	188,120	1,083	668,852	536
21-Aug-16	235270.7	139	345088.5	167	762,999	306	188,674	554	669,400	548
22-Aug-16	235479.5	209	345362.2	274	763,544	545	189,485	811	669,977	577
23-Aug-16	235698.7	219	345627.2	265	764,116	572	190,552	1,067	670,558	581
24-Aug-16	235900.0	201	345910.2	283	764,748	632	191,794	1,242	671,133	575
25-Aug-16	236127.4	227	346179.2	269	765,395	647	193,101	1,307	671,711	578
26-Aug-16	236321.1	194	346444.5	265	766,002	607	194,266	1,165	672,291	580
27-Aug-16	236537.0	216	346695.5	251	766,647	645	195,400	1,134	672,871	580
28-Aug-16	236703.9	167	346903.5	208	766,785	138	195,537	137	673,361	490
29-Aug-16	236912.7	209	347172.4	269	767,179	394	196,146	609	673,929	568
30-Aug-16	237155.4	243	347472.0	300	767,751	572	197,234	1,088	674,509	580
31-Aug-16	237397.3	242	347771.0	299	768,473	722	198,584	1,350	675,085	576
<b>Total</b>		<b>6,317</b>		<b>7,114</b>		<b>19,130</b>		<b>33,739</b>		<b>17,195</b>
<b>Avg/day</b>		<b>211</b>		<b>245</b>		<b>641</b>		<b>1,133</b>		<b>574</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-Aug-16	237397.3	242	347771.0	299	768,473	722	198,584	1,350	675,085	576
1-Sep-16	237603.5	206	348041.5	271	769,105	632	199,850	1,266	675,659	574
2-Sep-16	237810.9	207	348308.0	267	769,873	768	201,244	1,394	676,229	570
3-Sep-16	238024.2	213	348566.0	258	770,620	747	202,508	1,264	676,798	569
4-Sep-16	238148.8	125	348731.0	165	770,769	149	202,576	68	677,006	208
5-Sep-16	238358.7	210	348982.8	252	771,296	527	203,343	767	677,628	622
6-Sep-16	238558.9	200	349250.6	268	771,926	630	204,448	1,105	678,202	574

7-Sep-16	238763.6	205	349492.7	242	772,620	694	205,689	1,241	678,784	582
8-Sep-16	238966.2	203	349764.6	272	773,374	754	206,965	1,276	679,343	559
9-Sep-16	239158.8	193	349999.9	235	774,122	748	208,183	1,218	679,921	578
10-Sep-16	239336.6	178	350223.5	224	774,356	234	208,200	17	679,968	47
11-Sep-16	239556.3	220	350504.9	281	774,356	-	208,200	-	679,968	-
12-Sep-16										
13-Sep-16	239749.2	193	350750.0	245	775,643	1,287	210,483	2,283	681,272	1,304
14-Sep-16	239945.8	197	350997.3	247	776,338	695	211,716	1,233	681,840	568
15-Sep-16	240153.9	208	351271.2	274	777,085	747	213,065	1,349	682,407	567
16-Sep-16	240366.1	212	351539.3	268	777,877	792	214,516	1,451	682,972	565
17-Sep-16	240580.2	214	351802.1	263	778,642	765	215,893	1,377	683,543	571
18-Sep-16	240727.7	148	351988.2	186	779,028	386	216,547	654	684,115	572
19-Sep-16	240938.8	211	352237.5	249	779,674	646	217,699	1,152	684,678	563
20-Sep-16	241183.8	245	352558.8	321	780,393	719	219,044	1,345	685,239	561
21-Sep-16	241403.2	219	352797.5	239	781,068	675	220,334	1,290	685,807	568
22-Sep-16	241631.2	228	353088.2	291	781,647	579	221,505	1,171	686,358	551
23-Sep-16	241830.5	199	353337.3	249	782,377	730	222,848	1,343	686,976	618
24-Sep-16	242058.7	228	353624.6	287	783,153	776	224,287	1,439	687,485	509
25-Sep-16	242191.5	133	353774.1	150	783,748	595	225,271	984	687,985	500
26-Sep-16	242406.7	215	354064.6	291	784,514	766	226,701	1,430	688,426	441
27-Sep-16	242599.7	193	354304.7	240	785,313	799	228,202	1,501	688,866	440
28-Sep-16	242806.2	207	354562.5	258	786,209	896	229,658	1,456	689,280	414
29-Sep-16	242991.9	186	354800.0	238	787,066	857	230,938	1,280	689,595	315
30-Sep-16	243228.5	237	355096.7	297	787,796	730	232,284	1,346	689,928	333
<b>Total</b>		<b>5,831</b>		<b>7,326</b>		<b>19,323</b>		<b>33,700</b>		<b>14,843</b>
<b>Avg/day</b>		<b>201</b>		<b>252</b>		<b>668</b>		<b>1,158</b>		<b>510</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
30-Sep-16	243228.5	237	355096.7	297	787,796	730	232,284	1,346	689,928	333
1-Oct-16	243542.5	314	355484.9	388	788,648	852	233,675	1,391	689,998	70
2-Oct-16										
3-Oct-16	243721.1	179	355720.2	235	789,364	716	234,976	1,301	690,539	541
4-Oct-16	243903.7	183	355959.0	239	790,094	730	236,378	1,402	690,811	272
5-Oct-16	244079.9	176	356172.5	214	790,929	835	237,818	1,440	691,227	416
6-Oct-16	244264.8	185	356405.6	233	791,713	784	239,292	1,474	691,640	413
7-Oct-16	244436.7	172	356623.5	218	792,516	803	240,722	1,430	692,021	381
8-Oct-16	244636.7	200	356843.8	220	793,379	863	242,220	1,498	692,267	246
9-Oct-16	244758.1	121	357021.2	177	794,063	684	243,396	1,176	692,511	244
10-Oct-16	244942.4	184	357269.9	249	794,909	846	244,904	1,508	692,926	415
11-Oct-16	245153.2	211	357519.7	250	795,807	898	246,477	1,573	693,442	516
12-Oct-16	245382.2	229	357823.0	303	796,713	906	248,011	1,534	693,900	458
13-Oct-16	245595.3	213	358093.8	271	797,580	867	249,472	1,461	694,122	222
14-Oct-16	245802.7	207	358357.5	264	798,422	842	250,888	1,416	694,243	121
15-Oct-16	246005.5	203	358618.1	261	799,085	663	252,304	1,416	694,412	169
16-Oct-16	246158.2	153	358811.6	194	799,573	488	253,553	1,249	694,499	87
17-Oct-16	246367.6	209	359062.8	251	800,352	779	254,993	1,440	694,978	479
18-Oct-16	246567.7	200	359328.7	266	801,194	842	256,492	1,499	695,347	369
19-Oct-16	246752.1	184	359564.1	235	802,040	846	257,911	1,419	695,427	80
20-Oct-16	246974.0	222	359844.8	281	802,898	858	259,379	1,468	695,660	233
21-Oct-16	247205.5	232	359999.0	154	803,751	853	260,844	1,465	696,025	365
22-Oct-16	247439.2	234	360296.3	297	804,631	880	262,357	1,513	696,233	208
23-Oct-16	247588.8	150	360488.9	193	805,379	748	263,596	1,239	696,233	-
24-Oct-16	247779.7	191	360733.7	245	806,234	855	265,058	1,462	696,404	171

25-Oct-16	247996.7	217	360989.9	256	807,108	874	266,566	1,508	696,613	209
26-Oct-16	248201.5	205	361271.3	281	807,966	858	268,052	1,486	696,795	182
27-Oct-16	248403.9	202	361515.9	245	808,829	863	269,542	1,490	697,089	294
28-Oct-16	248596.6	193	361762.7	247	809,471	642	270,960	1,418	697,440	351
29-Oct-16	248778.5	182	361993.3	231	810,164	693	272,528	1,568	697,886	446
30-Oct-16	248937.7	159	362197.7	204	810,744	580	273,760	1,232	698,023	137
31-Oct-16	249116.5	179	362426.8	229	811,407	663	275,193	1,433	698,180	157
<b>Total</b>		5,888		7,330		23,611		42,909		8,252
<b>Avg/day</b>		192		239		785		1,432		282

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
31-Oct-16	249116.5	179	362426.8	229	811,407	663	275,193	1,433	698,180	157
1-Nov-16	249274.9	158	362625.8	199	812,241	834	276,717	1,524	698,471	291
2-Nov-16	249505.1	230	362919.2	293	813,102	861	278,233	1,516	698,846	375
3-Nov-16	249700.2	195	363165.7	247	813,997	895	279,749	1,516	699,200	354
4-Nov-16	249872.4	172	363384.8	219	814,845	848	281,169	1,420	699,428	228
5-Nov-16	250034.7	162	363590.7	206	815,675	830	282,585	1,416	699,681	253
6-Nov-16	250168.7	134	363762.5	172	816,539	864	284,062	1,477	700,129	448
7-Nov-16	250336.0	167	363975.7	213	817,430	891	285,594	1,532	700,416	287
8-Nov-16	250525.4	189	364202.7	227	818,269	839	287,110	1,516	700,573	157
9-Nov-16	250710.2	185	364452.6	250	818,931	662	288,368	1,258	700,617	44
10-Nov-16	250878.9	169	364668.4	216	819,541	610	289,556	1,188	700,983	366
11-Nov-16	251045.5	167	364879.7	211	820,368	827	290,742	1,186	701,555	572
12-Nov-16	251211.7	166	365092.0	212	821,214	846	292,132	1,390	702,096	541
13-Nov-16	251330.9	119	365243.8	152	821,757	543	292,981	849	702,673	577
14-Nov-16	251505.0	174	365463.6	220	822,272	515	293,583	602	703,083	410
15-Nov-16	251667.2	162	365572.4	109	822,942	670	294,674	1,091	703,548	465

16-Nov-16	251834.0	167	365884.7	312	823,619	677	295,767	1,093	704,066	518
17-Nov-16	252000.6	167	366096.7	212	824,210	591	296,719	952	704,589	523
18-Nov-16	252157.6	157	366297.0	200	824,776	566	297,682	963	705,089	500
19-Nov-16	252382.8	225	366583.5	287	825,338	562	298,640	958	705,569	480
20-Nov-16	252498.6	116	366732.2	149	825,718	380	299,135	495	705,818	249
21-Nov-16	252697.1	199	366983.8	252	826,311	593	300,018	883	706,364	546
22-Nov-16	252901.9	205	367231.9	248	826,898	587	301,021	1,003	706,890	526
23-Nov-16	253079.9	178	367478.7	247	827,485	587	302,053	1,032	707,435	545
24-Nov-16	253278.0	198	367718.7	240	828,077	592	303,054	1,001	707,985	550
25-Nov-16	253478.4	200	367975.7	257	828,643	566	303,952	898	708,547	562
26-Nov-16	253662.5	184	368212.3	237	829,161	518	304,777	825	709,033	486
27-Nov-16	253805.7	143	368399.3	187	829,671	510	305,544	767	709,392	359
28-Nov-16	253993.9	188	368637.8	239	830,387	716	306,716	1,172	709,865	473
29-Nov-16	254167.7	174	368865.2	227	831,052	665	307,833	1,117	710,415	550
30-Nov-16	254357.9	190	369110.2	245	831,765	713	309,054	1,221	710,975	560
<b>Total</b>		<b>5,241</b>		<b>6,683</b>		<b>20,358</b>		<b>33,861</b>		<b>12,795</b>
<b>Avg/day</b>		<b>173</b>		<b>221</b>		<b>667</b>		<b>1,101</b>		<b>433</b>

Date	Deepwell Pump									
	I	Cons	II	Cons	III	Cons	IV	Cons	V	Cons
30-Nov-16	254357.9	190	369110.2	245	831,765	713	309,054	1,221	710,975	560
1-Dec-16	254601.9	244	369422.5	312	832,475	710	310,208	1,154	711,521	546
2-Dec-16	254834.2	232	369722.6	300	833,261	786	311,423	1,215	712,024	503
3-Dec-16	255006.2	172	369945.5	223	833,964	703	312,474	1,051	712,576	552
4-Dec-16	255149.0	143	369999.0	54	834,459	495	313,020	546	712,839	263
5-Dec-16	255340.2	191	370248.8	250	835,283	824	314,363	1,343	713,393	554
6-Dec-16	255525.8	186	370486.4	238	836,169	886	315,803	1,440	713,927	534
7-Dec-16	255700.0	174	370712.9	227	836,955	786	317,091	1,288	714,467	540

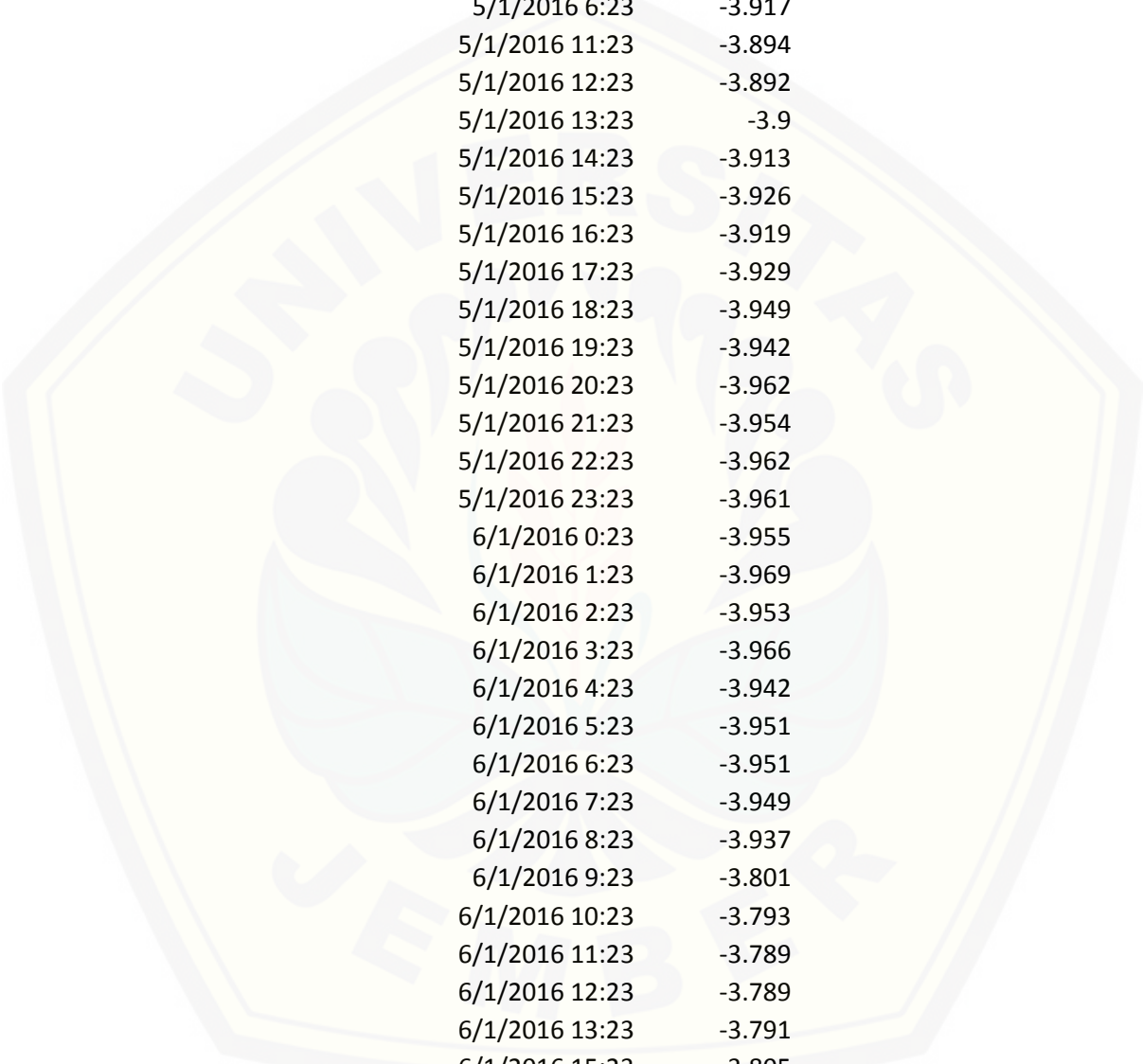


8-Dec-16	255879.7	180	370945.6	233	837,697	742	318,286	1,195	715,002	535
9-Dec-16	256049.1	169	371163.7	218	838,364	667	319,366	1,080	715,492	490
10-Dec-16	256244.2	195	371416.6	253	839,232	868	320,410	1,044	716,481	989
11-Dec-16	256478.0	234	371723.5	307	839,866	634	320,410	-	716,568	87
12-Dec-16										
13-Dec-16	256651.2	173	371947.1	224	839,925	59	321,109	699	717,284	716
14-Dec-16	256816.4	165	372161.1	214	840,379	454	322,001	892	717,834	550
15-Dec-16	256962.3	146	372350.7	190	840,960	581	323,004	1,003	718,404	570
16-Dec-16	257130.3	168	372577.3	227	841,621	661	324,157	1,153	718,928	524
17-Dec-16	257333.8	204	372833.4	256	842,189	568	325,164	1,007	719,427	499
18-Dec-16	257471.4	138	373013.1	180	842,598	409	325,475	311	719,641	214
19-Dec-16	257642.5	171	373238.2	225	843,123	525	326,354	879	720,057	416
20-Dec-16	257836.1	194	373487.8	250	843,769	646	327,432	1,078	720,531	474
21-Dec-16	258016.4	180	373723.0	235	844,422	653	328,650	1,218	721,017	486
22-Dec-16	258203.8	187	373966.7	244	845,100	678	329,800	1,150	721,508	491
23-Dec-16	258391.1	187	374204.5	238	845,643	543	330,726	926	721,957	449
24-Dec-16	258627.7	237	374517.2	313	846,209	566	331,707	981	722,433	476
25-Dec-16	258703.8	76	374618.7	102	846,325	116	331,707	-	722,558	125
26-Dec-16	258920.1	216	374897.7	279	846,858	533	332,844	1,137	723,018	460
27-Dec-16	259121.5	201	375160.6	263	847,453	595	333,999	1,155	723,515	497
28-Dec-16	259366.0	245	375476.9	316	847,835	382	334,713	714	723,930	415
29-Dec-16	259578.7	213	375754.1	277	848,288	453	335,463	750	724,382	452
30-Dec-16	259779.4	201	376015.9	262	848,856	568	336,882	1,419	724,872	490
31-Dec-16	260099.1	320	376454.5	439	849,550	694	337,950	1,068	725,450	578
<b>Total</b>		<b>5,741</b>		<b>7,344</b>		<b>17,785</b>		<b>28,896</b>		<b>14,475</b>
<b>Avg/day</b>		<b>188</b>		<b>240</b>		<b>582</b>		<b>947</b>		<b>480</b>

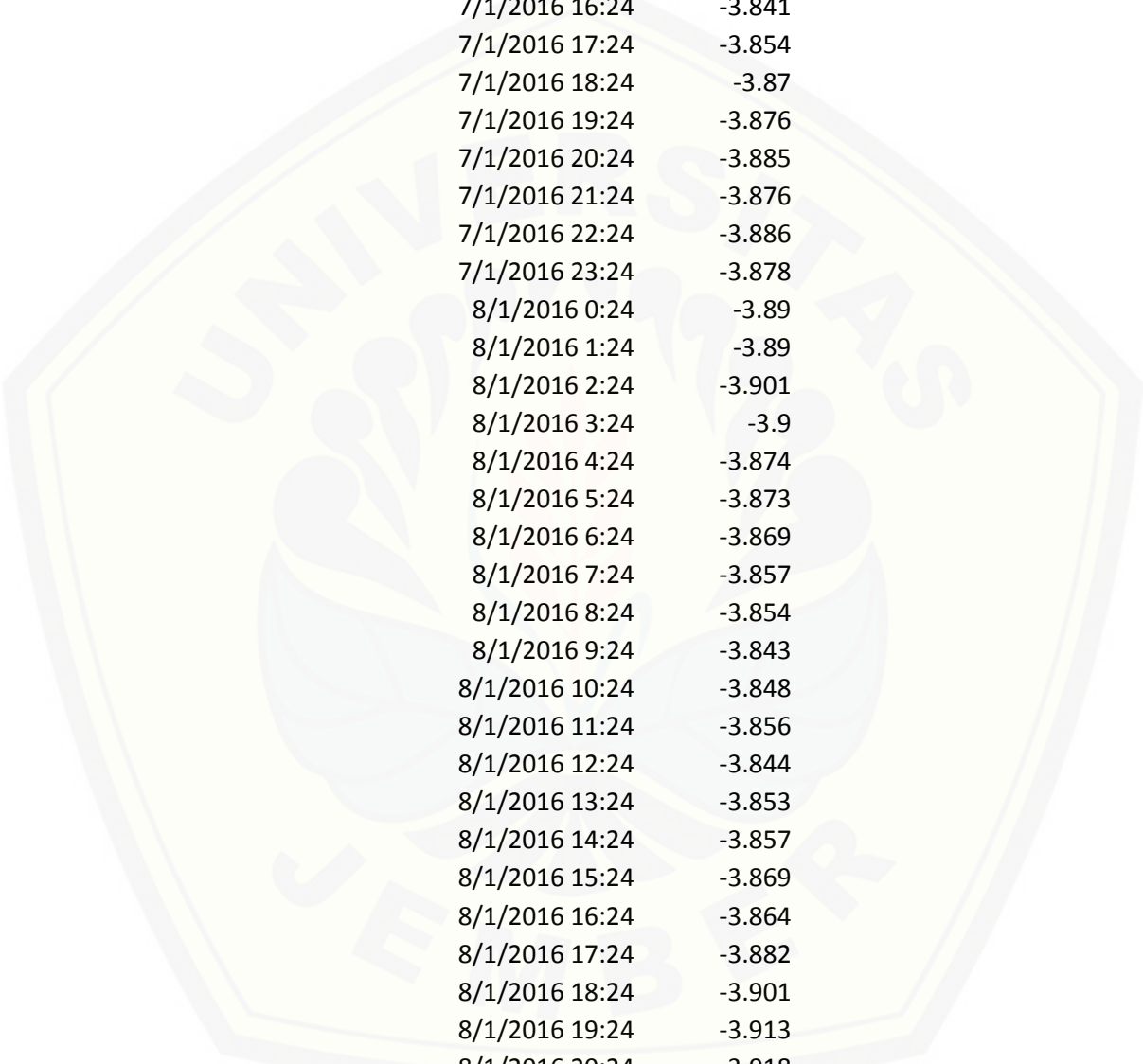
## Lampiran A.2

## Data Sumur Pantau PT. Eratex Djaja Tbk

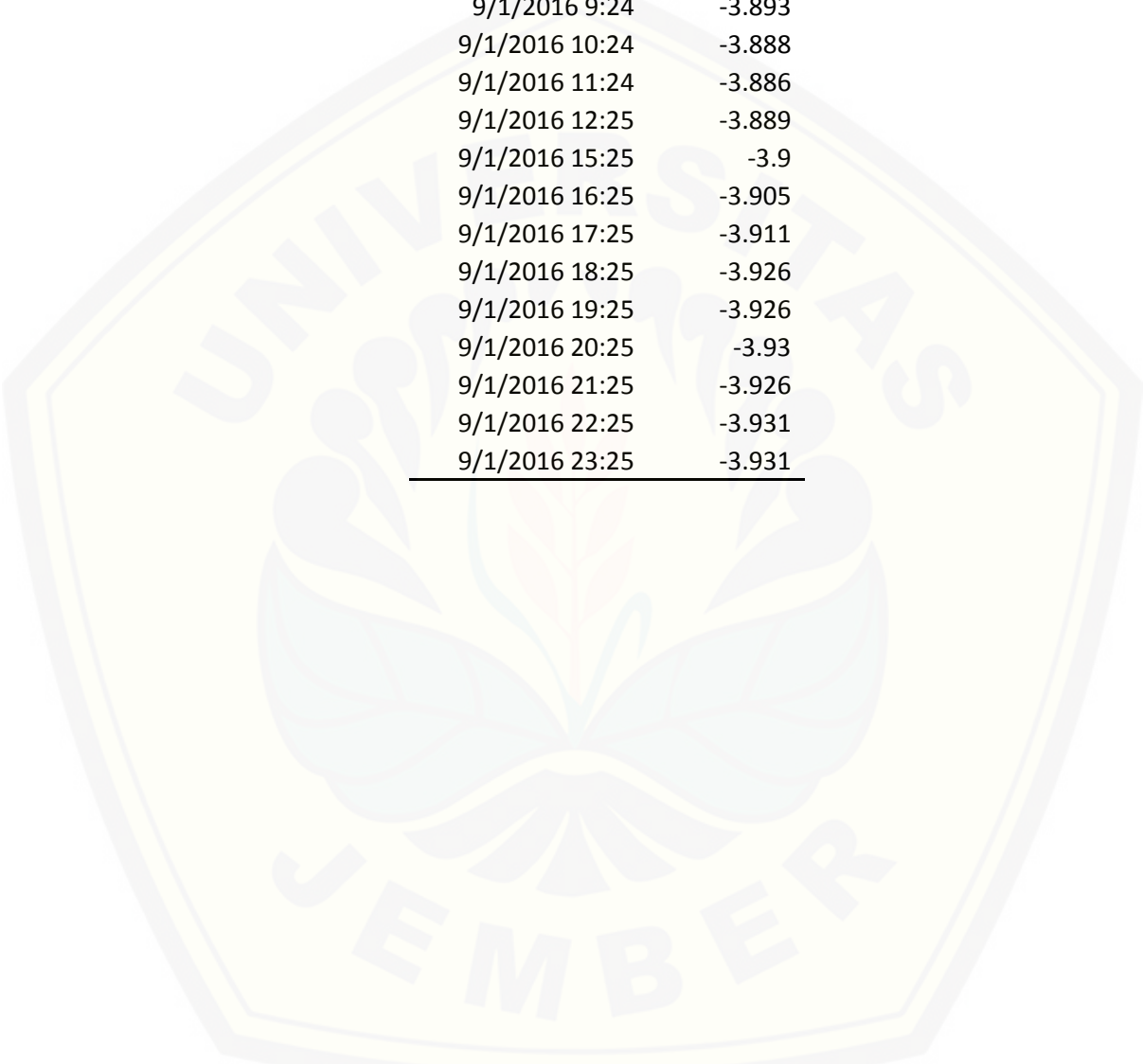
<b>Sampling Time</b>	<b>Level Ch.1</b>
3/1/2016 1:28	-3.95
3/1/2016 2:28	-3.926
3/1/2016 3:28	-3.927
3/1/2016 4:28	-3.934
3/1/2016 5:28	-3.93
3/1/2016 6:28	-3.93
3/1/2016 7:28	-3.911
3/1/2016 8:28	-3.897
3/1/2016 9:28	-3.926
3/1/2016 10:28	-3.938
3/1/2016 11:28	-3.927
3/1/2016 12:28	-3.93
3/1/2016 13:28	-3.933
3/1/2016 14:28	-3.918
3/1/2016 15:28	-3.906
3/1/2016 16:28	-3.904
3/1/2016 17:28	-3.908
3/1/2016 18:28	-3.893
3/1/2016 19:28	-3.894
3/1/2016 20:28	-3.884
3/1/2016 21:28	-3.877
3/1/2016 22:28	-3.864
3/1/2016 23:28	-3.854
4/1/2016 0:28	-3.841
4/1/2016 1:28	-3.835
4/1/2016 2:28	-3.827
4/1/2016 3:28	-3.82
4/1/2016 4:28	-3.82
4/1/2016 5:28	-3.832
4/1/2016 6:28	-3.853
4/1/2016 7:28	-3.868
4/1/2016 8:28	-3.881
4/1/2016 19:23	-3.897
4/1/2016 20:23	-3.896
4/1/2016 21:23	-3.897
4/1/2016 22:23	-3.917



<b>Sampling Time</b>	<b>Level Ch.1</b>
4/1/2016 23:23	-3.925
5/1/2016 0:23	-3.922
5/1/2016 3:23	-3.933
5/1/2016 4:23	-3.909
5/1/2016 5:23	-3.911
5/1/2016 6:23	-3.917
5/1/2016 11:23	-3.894
5/1/2016 12:23	-3.892
5/1/2016 13:23	-3.9
5/1/2016 14:23	-3.913
5/1/2016 15:23	-3.926
5/1/2016 16:23	-3.919
5/1/2016 17:23	-3.929
5/1/2016 18:23	-3.949
5/1/2016 19:23	-3.942
5/1/2016 20:23	-3.962
5/1/2016 21:23	-3.954
5/1/2016 22:23	-3.962
5/1/2016 23:23	-3.961
6/1/2016 0:23	-3.955
6/1/2016 1:23	-3.969
6/1/2016 2:23	-3.953
6/1/2016 3:23	-3.966
6/1/2016 4:23	-3.942
6/1/2016 5:23	-3.951
6/1/2016 6:23	-3.951
6/1/2016 7:23	-3.949
6/1/2016 8:23	-3.937
6/1/2016 9:23	-3.801
6/1/2016 10:23	-3.793
6/1/2016 11:23	-3.789
6/1/2016 12:23	-3.789
6/1/2016 13:23	-3.791
6/1/2016 15:23	-3.805
6/1/2016 16:23	-3.816
6/1/2016 19:23	-3.854
6/1/2016 20:23	-3.861
6/1/2016 21:23	-3.844
6/1/2016 22:23	-3.85



<b>Sampling Time</b>	<b>Level Ch.1</b>
6/1/2016 23:23	-3.844
7/1/2016 0:24	-3.839
7/1/2016 7:24	-3.837
7/1/2016 8:24	-3.823
7/1/2016 15:24	-3.853
7/1/2016 16:24	-3.841
7/1/2016 17:24	-3.854
7/1/2016 18:24	-3.87
7/1/2016 19:24	-3.876
7/1/2016 20:24	-3.885
7/1/2016 21:24	-3.876
7/1/2016 22:24	-3.886
7/1/2016 23:24	-3.878
8/1/2016 0:24	-3.89
8/1/2016 1:24	-3.89
8/1/2016 2:24	-3.901
8/1/2016 3:24	-3.9
8/1/2016 4:24	-3.874
8/1/2016 5:24	-3.873
8/1/2016 6:24	-3.869
8/1/2016 7:24	-3.857
8/1/2016 8:24	-3.854
8/1/2016 9:24	-3.843
8/1/2016 10:24	-3.848
8/1/2016 11:24	-3.856
8/1/2016 12:24	-3.844
8/1/2016 13:24	-3.853
8/1/2016 14:24	-3.857
8/1/2016 15:24	-3.869
8/1/2016 16:24	-3.864
8/1/2016 17:24	-3.882
8/1/2016 18:24	-3.901
8/1/2016 19:24	-3.913
8/1/2016 20:24	-3.918
8/1/2016 21:24	-3.905
8/1/2016 22:24	-3.892
8/1/2016 23:24	-3.9
9/1/2016 0:24	-3.892
9/1/2016 3:24	-3.906



<b>Sampling Time</b>	<b>Level Ch.1</b>
9/1/2016 4:24	-3.878
9/1/2016 5:24	-3.878
9/1/2016 6:24	-3.886
9/1/2016 7:24	-3.886
9/1/2016 8:24	-3.885
9/1/2016 9:24	-3.893
9/1/2016 10:24	-3.888
9/1/2016 11:24	-3.886
9/1/2016 12:25	-3.889
9/1/2016 15:25	-3.9
9/1/2016 16:25	-3.905
9/1/2016 17:25	-3.911
9/1/2016 18:25	-3.926
9/1/2016 19:25	-3.926
9/1/2016 20:25	-3.93
9/1/2016 21:25	-3.926
9/1/2016 22:25	-3.931
9/1/2016 23:25	-3.931

Lampiran A.3 – Foto Penelitian



