

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 181/Sosial Ekonomi Pertanian

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN
HIBAH RISET GURU BESAR UNIVERSITAS ANDALAS**



**MEMBANGUN MODEL PENGELOLAAN DTA (DAERAH TANGKAPAN AIR)
YANG BERKELANJUTAN: KASUS DTA YANG TIDAK MEMILIKI ALAT
UKUR DI DAS SINGKARAK**

TIM PENELITI

KETUA

**Prof. Dr. Ir. Rudi Febriamansyah, M.Sc
NIDN: 0008026306**

ANGGOTA

**Yuerlita, S.Si, M.Si, Ph.D
NIDN: 0018128107
Dr. Ir. Erigas Ekaputra, M.Si.
NIDN: 005126208**

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS ANDALAS
NOVEMBER 2017**

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR
HIBAH RISET GURU BESAR UNIVERSITAS ANDALAS

Judul Penelitian	:	MEMBANGUN MODEL PENGELOLAAN DTA (DAERAH TANGKAPAN AIR) YANG BERKELANJUTAN: KASUS DTA YANG TIDAK MEMILIKI ALAT UKUR DI DAS SINGKARAK
Ketua Peneliti		
a. Nama Lengkap	:	Prof. Dr. Rudi Febriamansyah, M.Sc.
b. NIDN	:	0008026306
c. Jabatan Fungsional	:	Guru Besar
d. Program Studi	:	Agribisnis/Sosial Ekonomi Pertanian
e. Nomor HP	:	081268612115
f. alamat email	:	rudifeb@yahoo.com
Anggota Peneliti (1)		
a. Nama Lengkap	:	Yuerlita, Ph.D
b. NIDN	:	0018128107
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Anggota Peneliti (1)		
a. Nama Lengkap	:	Dr. Ir. Erigas Ekaputra
b. NIDN	:	005126208
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Lama Penelitian Keseluruhan	:	3 tahun
Penelitian Tahun ke-1	:	Rp.113.559.000
Biaya Penelitian Keseluruhan	:	Rp. 345.797.000
Biaya Tahun Berjalan	:	Diusulkan ke MGB: Rp.345.797.000,-
		Dana institusi lain: Rp.0,-
No. Rekening Bank BPD	:	2102 0210 14923-1
Nama rekening	:	Rudi Febriamansyah

Mengetahui:
Ketua MGB Unand

Prof. Dr. Darwin Amir Sp.S(K)
NIP 19481120 197807 1001

Padang, 29 November 2017
Ketua Peneliti,

Prof. Dr. Ir. Rudi Febriamansyah, M.Sc.
NIP. 19630208 198702 1001

Menyetujui:
Ketua Lembaga Penelitian

Dr.-Ing. Uyung Gatot S Dinata
NIP 196600709 199203 1003

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian : Membangun Model Pengelolaan Daerah Tangkapan Air yang Berkelanjutan dari Kasus Wilayah DTA Kecil yang Tidak Memiliki Alat Ukur di Kawasan Danau Singkarak

2. Tim Peneliti :

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Instansi Asal	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Prof. Dr. Ir. Rudi Febriamansyah, M.Sc	Ketua	Pembangunan pedesaan dan pengelolaan sumberdaya alam	Universitas Andalas	20
2.	Dr. Ir. Erigas Ekaputra, M.Si.	Anggota	Hidrologi dan Pengelolaan SDA	Universitas Andalas	20
3	Yuerlita, S.Si, M.Si, Ph.D	Anggota	Pengelolaan sumberdaya alam	Universitas Andalas	20

3. Objek Penelitian (Jenis material yang akan diteliti dan segi penelitian): Daerah Tangkapan Air (DTA) kecil yang tidak memiliki alat ukur

4. Masa Pelaksanaan

Mulai : bulan Maret tahun 2017

Berakhir : bulan Desember tahun 2019

5. Usulan Biaya

- Tahun ke-1 : Rp 113.599.000
- Tahun ke-2 : Rp 117.599.000
- Tahun ke-3 : Rp.114.599.000

6. Lokasi Penelitian (Lab/studi/lapangan): DTA Danau Singkarak

7. Instansi lain yang terlibat (jika ada, dan uraikan apa kontribusinya):

.....

8. Temuan yang ditargetkan

Sebuah model sistim pengambilan keputusan untuk pengelolaan DTA yang tidak mempunyai alat ukur otomatis (ungauged catchments instruments)

9. Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu (uraikan tidak lebih dari 50 kata, tekankan pada gagasan fundamental dan orisinal yang akan mendukung pengembangan iptek)

Menyumbang pada pengembangan modeling DTA kecil tanpa alat ukur yang mengintegrasikan pengetahuan sosial, ekonomi dan sumberdaya air dan lingkungan

10. Jurnal ilmiah yang menjadi sasaran untuk setiap mahasiswa peserta (tuliskan nama terbitan berkala ilmiah internasional bereputasi, nasional terakreditasi, atau nasional tidak terakreditasi dan tahun rencana publikasi)

Tahun -1: International Journal on Advanced Sciences, Engineering and Information Technology (IJASEIT) terindex scopus Q-2

Tahun -2: Journal of Water and Land Development, terindex scopus Q-2

Tahun -3: Journal of Water and Land Development, terindex scopus Q-2

11. Rencana luaran HKI, buku, purwarupa atau luaran lainnya yang ditargetkan, tahun rencana perolehan atau penyelesaiannya untuk setiap mahasiswa peserta: BUKU AJAR DAN COPYRIGHT (HAK CIPTA)

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUTAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Masalah Penelitian	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Urgensi Penelitian.....	5
BAB II. URAIAN KEGIATAN	7
2.1. Peta Jalan Penelitian	7
2.2. Kegiatan yang telah dan yang akan dikerjakan.....	7
2.3. Kebaruan Penelitian	8
BAB III. METODE PENELITIAN	10
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	10
3.2. Metode dan Kerangka Penelitian	10
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	10
3.4. Diagram alir penelitian	13
BAB VI. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	14
4.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian	14
4.2. Karakteristik Biofisik DAS Paninggahan	18
4.3. Analisis Regresi Data Rainfall-Rainoff DAS Paninggahan.....	31
4.4. Irigasi di Sungai Paninggahan	42
4.5. Isu Sosial Ekonomi dan Kelembagaan dalam Pengelolaan Sumberdaya Air.....	41
4.6. Partisipasi Petani dalam Pengelolaan jaringan Irigasi	50
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rencana Target Capaian Tahunan	6
Tabel 2. Topik Data dan Teknik Pengumpulan Data.....	12
Tabel 3. Tata Guna Lahan per Jorong di Nagari Paninggahan.....	16
Tabel 4. Tabulasi Luas dan Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 1992, 2002 dan 2007 di DAS Paninggahan.....	28
Tabel 5. Hasil validasi curah hujan model CHIRPS pada titik-titik sampel curah hujan di wilayah DAS Paninggahan (P ₁ -P ₆) terhadap curah hujan pengamatan (observasi) di titik terdekat dari wilayah DAS.....	35
Tabel 6. Persamaan regresi linier berganda prakiraan runoff (Q) dengan lima dan enam variabel peubah (P).....	37
Tabel 7. Daftar sistem irigasi sepanjang Sungai Paninggahan.....	43
Tabel 8. Pengetahuan petani tentang rencana pembangunan irigasi.....	50
Tabel 9. Keterlibatan petani dalam merumuskan rencana pembangunan irigasi.....	51
Tabel 10. Keterlibatan petani dalam kegiatan pembangunan bangunan irigasi.....	52
Tabel 11. Keterlibatan petani dalam pembentukan P3A.....	52
Tabel 12. Keikutsertaan petani sebagai anggota P3A.....	53
Tabel 13. Peran dan tanggung jawab petani dalam memelihara jaringan irigasi.....	54
Tabel 14. Sosialisasi kepada petani terhadap keberadaan sistem iuran.....	55
Tabel 15. Informasi aturan formal dan informal terhadap distribusi dan alokasi air...	56
Tabel 16. Jumlah petani yang terlibat dalam penyelesaian konflik.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Roadmap Penelitian Hingga 2020.....	7
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3. DAS Kawasan Danau Singkarak.....	14
Gambar 4. Peta Tata Guna Lahan Nagari Paninggahan.....	16
Gambar 5. Lokasi pos cuaca otomatis (<i>automatic weather station/AWS</i>) dan pos pencatat tinggi muka air otomatis (<i>automatic water level recorder/AWLR</i>) di DAS Paninggahan.....	19
Gambar 6. Grafik suhu udara harian ($^{\circ}\text{C}$) hasil pencatatan AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.....	20
Gambar 7. Grafik kelembaban udara (%) harian hasil pencatatan AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.....	20
Gambar 8. Grafik radiasi matahari (MJoule/m^2) harian hasil pencatatan AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.....	21
Gambar 9. Grafik curah hujan (milimeter) harian hasil pencatatan AWLR di bendungan Batang Sabarang periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.....	21
Gambar 10. Windrose hasil pencatatan data arah dan kecepatan angin AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.....	22
Gambar 11. Perbandingan suhu udara rata-rata bulanan hasil model ECMWF dengan data suhu udara rata-rata hasil pembacaan AWS di Kampung Aro pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007.....	23
Gambar 12. Tren tahunan suhu udara rata-rata hasil model ECMWF di Kampung Aro pada periode tahun 1981-2015.....	23
Gambar 13. Pola pergeseran suhu udara rata-rata per dekade di Kampung Aro periode tahun 1981-2015.....	24
Gambar 14. Perbandingan curah hujan bulanan hasil model CHIRPS dengan data curah hujan hasil pembacaan AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007.....	25
Gambar 15. Perbandingan curah hujan bulanan rata-rata di Kampung Aro dan Batang Sabarang pada periode tahun 1981-2015.....	26
Gambar 16. Pola pergeseran curah hujan rata-rata per dekade di Kampung Aro	

periode tahun 1981-2015.....	26
Gambar 17. Pola pergeseran curah hujan rata-rata per dekade di Batang Sabarang periode tahun 1981-2015.....	27
Gambar 18. Perubahan penggunaan lahan pada tahun 1992, 2002 dan 2007 di DAS Paninggahan berdasarkan citra Lansat (digambar ulang dari Pujilestari, 2009).....	28
Gambar 19. Grafik data debit dan curah hujan hasil pembacaan AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Maret 2007.....	29
Gambar 20. Hubungan antara besarnya debit bulanan dengan curah hujan bulanan di Batang Sabarang, berdasarkan data yang tercatat pada alat AWLR di Batang Sabarang.....	30
Gambar 21. Hubungan antara besarnya debit bulanan Batang Sabarang berdasarkan data yang tercatat pada alat AWLR dengan curah hujan bulanan hasil model CHIRPS di Kampung Aro.....	30
Gambar 22. Titik-titik sampel data grid curah hujan model CHIRPS.....	33
Gambar 23. Grafik runoff bulanan hasil prakiraan di DAS Paninggahan periode tahun 1991-2015 dengan menggunakan persamaan regresi linier berganda $Q = -0.26 - 0.018P_1 + 0.095P_2 - 0.184P_3 - 0.245P_4 + 0.281P_5 + 0.135P_6$	34
Gambar 24. Grafik pola rata-rata runoff bulanan periode 1991-2015 di DAS Panningahan.....	38
Gambar 25. Bentuk Pemanfaatan Air Sungai Paninggahan.....	43
Gambar 26. Bandar batu Basih.....	45
Gambar 27. Bandar Lubuk Panjang.....	45
Gambar 28. Bandar Bunian.....	34

RINGKASAN

Kerusakan daerah tangkapan air (DTA) adalah salah satu permasalahan yang umum terjadi di berbagai wilayah, termasuk Indonesia. Disamping itu, sejumlah danau di wilayah Indonesia, sebagai hilir dari DTA juga sudah mengalami kerusakan akibat terjadinya konversi lahan di wilayah hulu, yang berdampak pada peningkatan aliran permukaan serta peningkatan sedimentasi. Berbagai upaya yang relatif partial telah dilakukan, baik oleh pemerintah maupun organisasi non-pemerintah dalam memperbaiki kondisi daerah tangkapan air yang mengalami kerusakan tersebut, yang pada akhirnya belum bahkan tidak sepenuhnya dapat menyelesaikan permasalahan secara holistik. Suatu wilayah DTA dari hulu ke hilir adalah suatu wilayah kompleks, yang tidak hanya menyangkut hubungan fisik antar faktor alam, iklim, tanah dan air, tetapi juga hubungan antara faktor alam dan faktor non-alam, sosial, kelembagaan dan juga pemerintahan (*governance*). Oleh karena itu diperlukan sebuah pendekatan pengelolaan yang terpadu antar berbagai aspek yang berkaitan dengan sebuah sistem sosial, ekonomi, dan ekologi, untuk menjamin tercapainya tujuan pengelolaan DTA yang berkelanjutan. Penelitian ini, secara khusus ingin membangun suatu kerangka model pengelolaan DTA berkelanjutan, yang mengintegrasikan elemen-elemen sosial, ekonomi dan ekologi di wilayah DTA. Kasus yang dipilih adalah pada wilayah DTA yang kecil yang relatif banyak di Indonesia dan kurang banyak diperhatikan, tetapi secara nyata ikut berpengaruh terhadap populasi penduduk yang cukup besar. Salah satu DTA di wilayah Danau Singkarak dipilih sebagai lokasi penelitian, yaitu Paninggahan karena sudah demikian lama intervensi pemerintah dan juga peneliti, termasuk LSM berupaya memperbaiki kerusakan di wilayah DTA ini tetapi belum juga memberikan hasil yang cukup signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tutupan lahan di daerah tangkapan air semakin berkurang (hutan dan belukar berkurang), berganti dengan kebun campuran di kawasan hulu yang semakin bertambah. Lahan sawah juga semakin menurun, berkaitan dengan ketersediaan air dan perkembangan pemukiman. Masyarakat Paninggahan sangat bergantung dengan DAS Paninggahan terutama untuk irigasi sawah baik secara teknis maupun semi teknis. Selain keterbatasan ketersediaan air terutama saat musim kemarau, petani juga mengeluhkan semakin seringnya terjadi banjir. Berdasarkan pengolahan dan analisis data curah hujan dan runoff yang ada di DAS Paninggahan maka dapat dibangun suatu model hubungan rainfall-runoff model (RRM) berdasarkan persamaan regresi liner berganda, dengan persamaan $Q = -0.26 - 0.018P_1 + 0.095P_2 - 0.184P_3 - 0.245P_4 + 0.281P_5 + 0.135P_6$. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk merekonstruksi besaran nilai runoff bulanan yang telah terjadi dan memprakirakan nilai runoff di *oulet* sungai berdasarkan data hujan pada titik P_1 - P_6 . Hasil validasi menunjukan bahwa model persamaan tersebut mempunyai performa yang baik ditunjukkan dengan nilai determinasi (R^2) sebesar 0.767, PBIAS sebesar -0.01% dan RMSE sebesar 1.42 m³/det. Hasil rekonstruksi data runoff bulanan dengan menggunakan data curah hujan model CHIRPS periode 1991-2015, didapatkan nilai rata-rata runoff bulanan sebesar 9.7 m³/det, dengan rata-rata bulanan terendah terjadi pada bulan Juli sebesar 4.4 m³/det dan tertinggi terjadi pada Maret dan April sebesar 13.8 m³/det. Penelitian lanjutan tentang prakiraan runoff dengan menggunakan pendekatan *rainfall-runoff model* (RRM) yang harus dilakukan adalah dengan melibatkan factor karakteristik fisik dari DAS dan data iklim lainnya (tidak hanya curah hujan).

Kata kunci: keberlanjutan, sosial, ekonomi, ekologi, pemerintahan (*governance*)

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi memacu peningkatan kebutuhan air termasuk kebutuhan domestik, pertanian dan kebutuhan lainnya. Disisi lain, kelangkaan air terus terjadi diberbagai wilayah. Di Indonesia, terdapat tiga permasalahan penting dalam pengelolaan sumberdaya air (Helmi, 2003). Pertama, adalah permintaan terhadap air dari berbagai sektor kehidupan cenderung semakin meningkat. Perkembangan permukiman di wilayah perkotaan, perkembangan industri, pertambangan, dan peningkatan permintaan terhadap energi listrik telah meningkatkan permintaan terhadap air. Peningkatan permintaan ini pada sejumlah daerah telah menimbulkan “kelangkaan” sehingga timbul kompetisi dan konflik dalam pengalokasian terutama diantara penggunaan untuk pertanian (sebagai sektor pengguna terbesar) dengan sektor non-pertanian. Kedua, penurunan kondisi sumberdaya air itu dalam bentuk kerusakan daerah tangkapan dan pencemaran air sehingga terjadi kekeringan dimusim kemarau dan banjir dimusim hujan. Ketiga, permasalahan pengelolaan sumberdaya air yang ditandai oleh “ketidakmampuan” kerangka kebijakan, kerangka hukum, kerangka kelembagaan, dan kapasitas sumberdaya manusia, dalam menyikapi dua permasalahan diatas. Terlebih lagi tantangan pengelolaan sumberdaya air semakin rentan terhadap ketidakpastian yang disebabkan oleh perubahan iklim global dan konteks sosial-ekonomi yang sangat dinamis.

Derah Aliran Sungai (DAS) Danau Singkarak juga tidak luput dari kompleksitas permasalahan kelembagaan dan pengelolaan saat ini. Penelitian Umar (2007) mengungkap bahwa kondisi Danau Singkarak dari aspek ekologi, ekonomi, sosial, dan kelembagaan berada dalam kategori tidak berkelanjutan dan telah mengalami degradasi. Jika dibiarkan dan tidak ditangani, hal ini akan merusak keberlanjutan ekosistem Danau Singkarak. Sumberdaya air Danau Singkarak dimanfaatkan oleh PLTA dengan mengalihkan air ke Batang Anai di Pantai Barat Sumatera. Dampak beroperasinya PLTA Singkarak diantaranya; berkurangnya jumlah irigasi kincir dan luas areal sawah beririgasi, berkurangnya kontinuitas aliran dan berkurangnya hasil padi, nerkurangnya kinerja pertanian beririgasi, serta berdampak pada industri dan pasokan air bersih (Febriamansyah, dkk., 2004). Disamping itu, konflik kepentingan antar stakeholder di kawasan aliran sungai juga sering terjadi. Penurunan kualitas lingkungan Danau

Singkarak juga berdampak pada kemampuan ekosistem danau tersebut menyediakan jasa lingkungan terutama bagi masyarakat sekitar Danau Singkarak yang memiliki ketergantungan terhadap danau tersebut, terutama di sektor perikanan, pertanian dan kebutuhan domestik. Terlebih lagi, masalah perubahan iklim yang juga terjadi di daerah Danau Singkarak dan sekitarnya dapat memperburuk kondisi baik secara ekologi maupun sosial-ekonomi. Perubahan kondisi sumberdaya alam pengelolaannya telah berdampak pada penghidupan masyarakat di daerah tangkapan air Sub-DAS Lembang (Mahdi, dkk., 2009). Febriamansyah, dkk (2012) telah mengidentifikasi perubahan iklim di wilayah tersebut yang ditandai dengan pergeseran pola curah hujan bulanan dan tidak menentu bulan basah pada periode 10 tahun terakhir. Yuerlita, dkk (2013) mengemukakan bahwa dampak kerusakan ekosistem danau dirasakan dan direspon oleh masyarakat secara berbeda karena kondisi sosial ekonomi yang beragam di daerah tersebut.

Dari uraian permasalahan pengelolaan sumberdaya air tersebut, terlihat bahwa pengelolaan sumberdaya air memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi. Solusi terhadap permasalahan sumberdaya air tidak hanya pada ketersediaan air namun faktor-faktor lainnya seperti proses yang melibatkan pengelolaan sumberdaya air, kemampuan institusi dalam mengelola, kondisi politik yang akan menentukan perencanaan, pembangunan dan pengelolaan sumberdaya air tersebut, ketersediaan dana investasi, system pemerintahan (governance), serta kondisi sosial dan lingkungan (Biswas, 2004). Semua faktor tersebut sangat berbeda dari suatu negara dengan negara lainnya sehingga sebuah konsep atau paradigma umum tidak akan mampu menyelesaikan permasalahan sumberdaya air (Biswas, 2004). Oleh Karena itu diperlukannya sebuah pemahaman dan upaya untuk merubah pola pengelolaan yang ada saat ini menjadi sebuah pengelolaan yang adaptif yang mempertimbangkan aspek lingkungan, teknologi, ekonomi, kelembagaan, dan karakteristik budaya sebuah daerah aliran sungai (Pahl-Wostl, 2007). Falkenmark et.al., (2004) memproposisikan pentingnya dialog antara para ilmuwan, para pembuat kebijakan dan para pemangku kepentingan sebagai reorientasi pengelolaan sumberdaya air terutama menuju pengelolaan terpadu daerah tangkapan air. Dalam konteks Danau Singkarak, Febriamansyah (2007) dalam studinya telah mengidentifikasi banyak permasalahan dalam pengelolaan sumber daya air pada sub-sub daerah aliran sungai termasuk masalah banjir, longsor, polusi air, konflik air, penggundulan hutan dan juga isu dari pengguna

lainnya seperti perikanan darat, dan penambangan sehingga pendekatan pengelolaan sumberdaya air yang holistik mutlak diperlukan.

Kasus yang dipilih pada penelitian ini adalah wilayah DTA yang kecil yang relatif banyak di Indonesia dan kurang banyak diperhatikan, tetapi secara nyata ikut berpengaruh terhadap populasi penduduk yang cukup besar. Salah satu DTA di wilayah Danau Singkarak dipilih sebagai lokasi penelitian, yaitu Paninggahan karena sudah demikian lama intervensi pemerintah dan juga peneliti, termasuk LSM berupaya memperbaiki kerusakan di wilayah DTA ini tetapi belum juga memberikan hasil yang cukup signifikan. Meskipun model yang akan dikembangkan dalam penelitian ini dari sebuah DTA kecil, diharapkan model tersebut dapat diterapkan pada DTA lainnya.

Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan pentingnya mengembangkan sebuah pendekatan yang mengintegrasikan aspek sosial, ekonomi dan hidrologi sehingga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengelolaan DTA dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Penelitian ini juga selaraskan dengan tema penelitian unggulan Universitas Andalas. Rencana Induk Penelitian (RIP) Unand bersifat inter dan multidisiplin dengan tema utama **“Pembangunan Karakter (*character building*) untuk Kejayaan Bangsa”**. Riset unggulan Universitas Andalas dituangkan dalam sembilan dimensi dalam bidang eksakta dan sosial humaniora. Penelitian ini mengusung isu strategis ketahanan pangan dibawah konsep perbaikan akses terhadap sumberdaya, khususnya pada topik kajian kelembagaan dan kebijakan penguasaan dan pemanfaatan sumberdaya.

1.2 Masalah Penelitian

Daerah tangkapan air Danau Singkarak dapat dibagi atas beberapa daerah tangkapan air (sub catchment) yaitu Lembang, Sumani, Sumpur, Aripun, dan Tanah Datar (Gunung Merapi) (Farida, dkk., 2005). Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu dan pengalaman di lapangan sebelumnya, permasalahan di daerah tangkapan air Danau Singkarak meliputi degradasi wilayah tangkapan air terutama Lembang dan Sumani. Hal ini disebabkan penebangan hutan untuk wilayah pertanian dan penebangan liar, pengolahan lahan pertanian didaerah lereng yang tidak memperhatikan teknik pengolahan lahan didaerah dengan kemiringan tinggi, serta penggunaan pestisida untuk pertanian,

pembuangan sampah karena semakin banyaknya pemukiman. Hal tersebut salah satunya berdampak pada penurunan kualitas air. Dampak lainnya yaitu sering terjadi banjir di musim hujan dan sungai-sungai mengalami kekeringan di musim kemarau yang pada akhirnya mengakibatkan terganggunya pemenuhan kebutuhan air terutama untuk tanaman dan pertanian di daerah Lembang, Arian.

Dari sejumlah sungai yang mengalir ke Danau Singkarak, hanya dua buah sungai yang memiliki aliran air yang relatif stabil yaitu Sungai Paninggahan dan Sungai Sumpur. Penelitian yang dilakukan oleh Farida, dkk (2005) menekankan bahwa keseluruhan jumlah aliran air dari semua daerah tangkapan air Singkarak terus mengalami penurunan selama 30 – 40 tahun pengamatan.

Berbagai upaya untuk rehabilitasi daerah tangkapan air Danau Singkarak telah dilakukan, diantaranya: (i) Gerakan Nasional Rehabilitasi Lahan dan Hutan (GNRHL) tahun 2002 yang telah melakukan penanaman beberapa jenis tanaman (cengkeh, coklat, petai, alpokat, durian dan mahoni) seluas 50 Ha di Jorong Subarang, Nagari Paninggahan. GNRHL ditargetkan dapat menanam sebanyak 52.000 Ha lahan di Kabupaten Solok dalam waktu 10 tahun; (ii) master plan untuk rehabilitasi lahan kritis sejak 1995. Program tersebut ditargetkan selama 15 tahun untuk penghijauan kembali lahan kritis; (iii) GTZ ProLK project, focus pada penyuluhan dan pelatihan bidang pertanian, pengolahan produk pertanian, pengolahan ikan bilih, pembudidayaan ikan nila dan membuat kerajinan tangan sebagai alternatif sumber pendapatan bagi masyarakat untuk mengurangi interaksinya dengan hutan di daerah tangkapan air. Kegiatan ProLK ini difokuskan pada beberapa nagari yaitu Paninggahan, Muarapingai dan SaningBakar di Kabupaten Solok, serta nagari Simawang dan Ombilin di Kabupaten Tanah Datar. Pelaksanaan program rehabilitasi lahan tersebut dinilai masih belum berhasil karena permasalahan status kepemilikan lahan, sosialisasi program yang tidak efektif sehingga masyarakat tidak mempunyai komitmen yang kuat untuk mendukung dan melaksanakan program tersebut (Farida, dkk., 2005).

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk membangun suatu kerangka model pengelolaan Daerah Tangkapan Air (DTA) berkelanjutan, yang mengintegrasikan

elemen-elemen sosial, ekonomi dan ekologi di wilayah DTA. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis kondisi DTA dari aspek sosio, ekonomi and eco-hidrologi (*situational assessment*).
2. Membangun mekanisme untuk mengatasi permasalahan air dan simulasi dampak yang ditimbulkannya dari hasil analisis pada tujuan pertama.
3. Menyusun kerangka kerja (framework) untuk perumusan model pengambilan keputusan dan kebijakan Daerah Aliran Sungai.

1.4 Urgensi Penelitian

Sumberdaya air merupakan komponen integral dari ekosistem, sebuah sumberdaya alam dan sosial serta barang ekonomi. Semua orang menyadari bahwa sumberdaya air merupakan elemen yang sangat penting di bumi yang menjamin keberlangsungan makhluk hidup. Disisi lain sumberdaya air mengalami berbagai permasalahan dan krisis yang disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya perubahan iklim, pertumbuhan penduduk, urbanisasi, kebutuhan energi. Oleh karena itu, sangat diperlukan pengelolaan sumberdaya air yang mampu mengatasi kompleksitas dan tekanan terhadap sumberdaya air itu sendiri.

Dari beberapa penelitian terdahulu terkait dengan pengelolaan sumberdaya alam, khususnya sumberdaya air, diketahui bahwa pola pengelolaan saat ini sudah semestinya diubah menjadi pengelolaan yang adaptif, integrasi seluruh pemangku kepentingan, holistik dalam artian menginkorporasi berbagai elemen yang menunjang keberlangsungan sumberdaya air, yaitu lingkungan, teknologi, ekonomi, kelembagaan, dan karakteristik budaya (Helmi, 2003; Biswas, 2004; Febriamansyah, 2007; Pahl-Wostl, 2007).

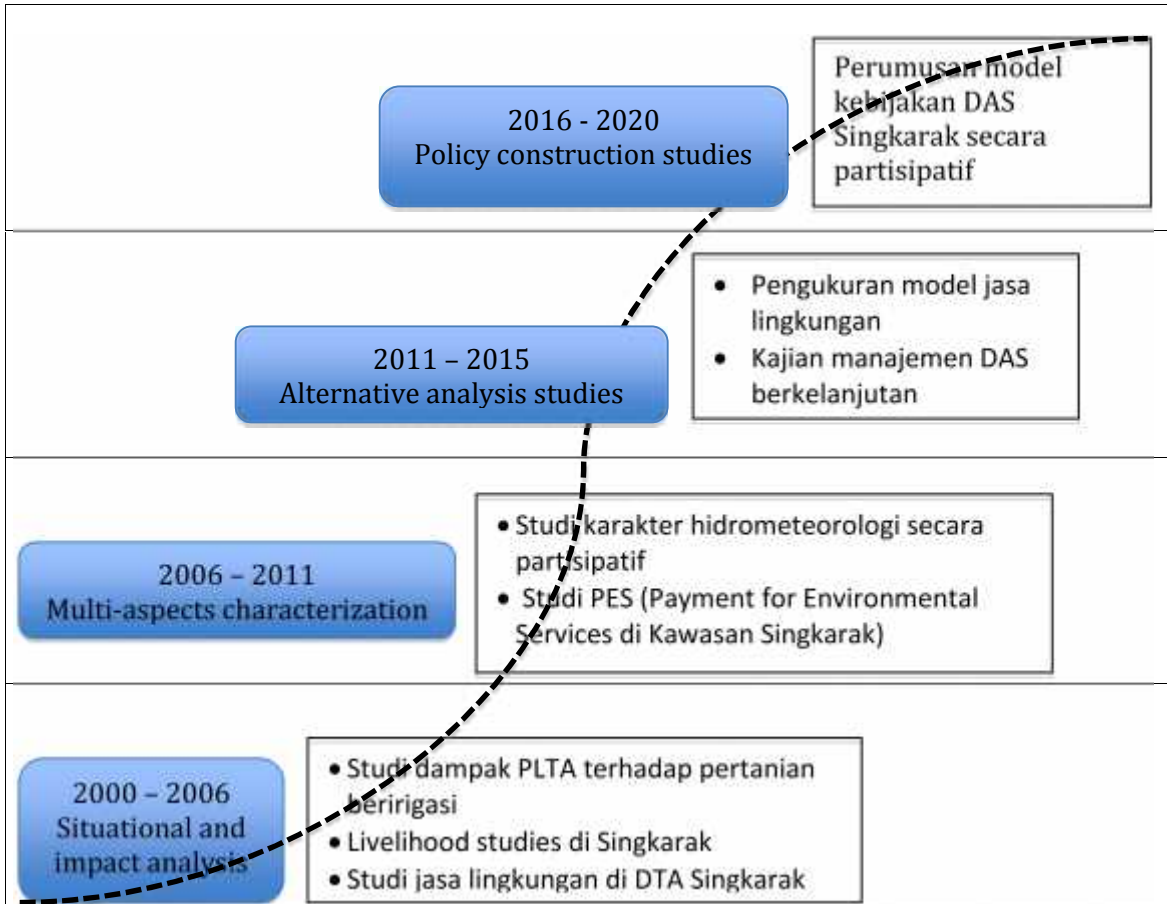
Mengingat pentingnya penelitian ini dilakukan sebagai upaya pengelolaan sumberdaya air, khususnya didaerah tangkapan air, beberapa capaian dan luaran yang ditargetkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana Target Capaian Tahunan

No	Jenis Luaran		Indikator Capaian		
			TS ¹⁾	TS+1	TS+2
1	Publikasi Ilmiah ²⁾	Internasional	Terbit	Terbit	Terbit
		Nasional Terakreditasi			
2	Pemakalah dalam temu ilmiah	Internasional	Sudah dilaksanakan	Sudah dilaksanakan	Sudah dilaksanakan
		Nasional		Sudah dilaksanakan	
3	Invited speaker dalam temu ilmiah	Internasional	Terdaftar		Sudah dilaksanakan
		Nasional		Sudah dilaksanakan	
4	Visiting Lecturer	Internasional	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI)	Paten	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Paten Sederhana	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Hak Cipta	Tidak ada	Tidak ada	Terdaftar
		Merek Dagang	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Rahasia Dagang	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Desain Produk Industri	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Indikasi Geografis	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Perlindungan Varietas Tanaman	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Perlindungan Topografi Sirkuit Terpadu	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
6	Teknologi Tepat Guna		Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
7	Model/ purwarupa/ desain/ karya seni/ rekayasa sosial		Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
8	Buku Ajar (ISBN)		Draft	Submit	Terbit
9	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)			Skala 6	

BAB II URAIAN KEGIATAN

2.1. Peta Jalan Penelitian



Gambar 1. Skema road map penelitian hingga 2020.

2.2. Kegiatan yang telah dan yang akan dikerjakan

Penelitian berkaitan dengan pengelolaan DAS di kawasan sekitar Danau Singkarak telah dilakukan oleh peneliti bersama dengan peneliti lainnya dalam kelompok peneliti di Pusat Studi Irigasi, Sumberdaya Air, Lahan dan Pembangunan (PSI-SDALP) di Universitas Andalas, sejak tahun 2000, yang bermula dari suatu studi tentang pengelolaan sumberdaya air di wilayah DAS Agam-Kuantan, yang didanai oleh Bank Dunia. Hasil analisa kajian ini telah dipublikasikan dalam berbagai forum seminar

nasional dan international, yang memperlihatkan bahwa kawasan Daerah Tangkapan Air di wilayah Singkarak sudah sangat memerlukan perhatian khusus demi menjamin ketersediaan air di Danau Singkarak khususnya serta pertanian di sekitar kawasan Danau pada umumnya (Helmi, 2003 dan Febriamansyah dkk., 2004).

Hasil kajian ini selanjutnya mendapat perhatian dari lembaga dunia, ICRAF bekerja sama dengan peneliti di PSI-SDALP telah melakukan kajian lebih specific di kawasan hulu sebelah barat danau Singkarak, terutama dalam konteks penelitian jasa lingkungan (*Payment for Environmental Services*), yang melihat secara detil masalah pengelolaan DAS dalam konteks hubungan hulu dan hilir, lihat ICRAF (2013), serta laporan Farida dkk (2005). Rangkaian penelitian tersebut semakin menjadi perhatian bagi peneliti, sehingga pada 5 tahun terakhir (2012-2016) telah meneliti secara menyeluruh masalah hubungan antara perubahan iklim dan pengelolaan sumberdaya alam sekitar danau singkarak yang didanai oleh USAID. Sejumlah penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa bimbingan dalam proyek USAID tersebut, telah menghasilkan publikasi ilmiah berupa skripsi, tesis, artikel jurnal, artikel seminar nasional dan artikel seminar international. Temuan pokok terkait dengan usulan penelitian ini adalah kajian potensi agroforestry di kawasan hulu DAS Singkarak yang akan ikut mempengaruhi perubahan ketersediaan air bagi kawasan hilirnya (Febriamansyah dkk, 2012).

Berdasar kemajuan studi tersebut, dalam 3 tahun ke depan, peneliti akan memfokuskan pada riset yang akan menghasilkan satu model pengelolaan salah satu sub-DAS di hulu danau Singkarak ini (Gambar 1).

2.3. Kebaruan hasil penelitian

Upaya untuk mengintegrasikan komponen hidrologi, sosial, ekonomi dan lingkungan kedalam satu model pengelolaan DAS sudah cukup lama dilakukan, termasuk penggunaan GIS dalam rancangan model sistim pengambilan keputusan. Males (1990) pertama kali menggunakan GIS technology dalam model komputasi hidrologi dari suatu daerah aliran sungai di Amerika. Kemudian secara khusus Mc. Kinney et.al. (1999) lebih mengembangkan aplikasi GIS dan hidrologi ini dengan mengintegrasikannya dengan komponen sosial, agronomi, dan ekonomi lingkungan. Selanjutnya, setelah pemahaman *adaptive* dan *participative management* semakin menguat di era tahun 2000an, telah

menggiring temuan modeling pengelolaan DAS yang lebih participatory yang membutuhkan tim kerja dari berbagai bidang ilmu (*multi disciplinary teamwork*).

Hanya saja, pada umumnya pengembangan modeling tersebut pada umumnya dibangun pada kondisi DAS yang telah memiliki rekam data hidrologi yang relatif lengkap tersedia, baik dari *automatic instrument* maupun manual. Tidak banyak modeling DAS dikembangkan dalam konteks DAS yang kecil yang tidak atau kurang data hidrologi (*ungauged catchment*). Peneliti sendiri, dalam penyelesaian disertasinya telah mencoba membangun model pengelolaan alokasi air irigasi pada DAS yang tidak mempunyai alat ukur yang cukup (Febriamansyah, 2003). Sejak menghasilkan disertasi tersebut, peneliti mencoba mendalami lebih luas pemahamannya terhadap pengelolaan DAS yang tidak punya rekam data ini. Hal ini lah yang menjadi kebaruan studi ini, yang diharapkan dapat menyumbangkan pemikiran ilmiah, serta sekaligus memberi solusi kepada pengambil kebijakan di wilayah studi untuk mengatasi masalah sumberdaya alamnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Kasus yang dipilih adalah pada wilayah DTA yang kecil yang relatif banyak di Indonesia dan kurang banyak diperhatikan, tetapi secara nyata ikut berpengaruh terhadap populasi penduduk yang cukup besar. Paninggahan sebagai salah satu DTA di wilayah Danau Singkarak dipilih sebagai lokasi penelitian, karena sudah demikian lama intervensi pemerintah dan juga peneliti, termasuk LSM berupaya memperbaiki kerusakan di wilayah DTA ini tetapi belum juga memberikan hasil yang cukup signifikan.

3.2 Metode dan Kerangka Penelitian

Penelitian ini didesain sebagai sebuah studi kasus. Secara umum, metoda penelitian yang akan digunakan adalah kombinasi antara metoda penelitian kualitatif dan penelitian kuantitatif. Metoda penelitian kualitatif dilakukan diawal untuk menemukan secara spesifik hipotesis-hipotesis hubungan antar variabel yang akan diuji lebih lanjut secara kuantitatif untuk selanjutnya dipakai dalam membangun model sintesis yang direncanakan.

3.3 Tahapan Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahapan (Gambar 2), setiap tahapan merupakan penyempurnaan dari tahapan sebelumnya. Berikut ini merupakan tahapan penelitian beserta teknik pengumpulan data setiap tahapannya:

1. Asesmen awal

Tujuan assesmen awal adalah untuk menganalisis kondisi saat ini baik dari aspek hidrologi, sosial dan ekonomi. Tahapan penelitian ini juga digunakan sebagai media untuk mengklarifikasi permasalahan penelitian dan menentukan metode yang tepat untuk permasalahan tersebut. Identifikasi data yang dibutuhkan, teknik pengumpulan data dan analisis data yang diajukan dalam penelitian ini merupakan identifikasi awal yang bersumber dari review literatur dan pengalaman studi sebelumnya. Data yang dikumpulkan meliputi karakteristik fisik dari DTA, identifikasi pengguna air, konflik yang terjadi, serta ketersediaan data hidrologi. Teknik pengumpulan data adalah Participatory Rural Appraisal (PRA), khususnya wawancara mendalam dengan informan kunci dan observasi. Fokus data pada tahap ini adalah:

- Identifikasi *offtake* sepanjang sungai
- Klarifikasi konflik air dalam hal besarnya konflik dan lokasi
- Menentukan jaringan hidrologis dari sungai serta identifikasi daerah konflik
- Mengumpulkan dan menganalisis data hidrologi yang tersedia
- Mempersiapkan survei yang lebih mendalam dan menentukan teknik pengumpulan data yang tepat untuk dapat membangun sebuah model terintegrasi

2. Mengembangkan sebuah model terintegrasi untuk pengelolaan DTA

Tahap ini merupakan proses mencapai tujuan utama dari penelitian ini yaitu mengembangkan sebuah model terintegrasi di DTA kecil yang menggabungkan aspek sosio-institusional, ekonomi dan aspek fisik.

- Variabel aspek sosio-institusional:
 - Karakteristik pengelolaan sumberdaya air, permasalahan penggunaan air, baik pada satu sistem irigasi maupun antar sistem.
 - Hak penggunaan air, dalam hal praktik, hukum, peraturan, norma, atau lainnya.
 - Organisasi di tingkat lokal yang dapat mempengaruhi sistem pengelolaan air.
 - Alternatif alokasi air menurut perspektif *stakeholders*
- Variabel aspek ekonomi
 - Input-output dalam pertanian
 - Aktifitas non-pertanian
- Variabel aspek fisik
 - Analisis hidrologi sumberdaya air
 - Jaringan sungai
 - Analisis kuantitatif permintaan air
 - Analisis kebijakan

Secara keseluruhan, topik data dan teknik pengumpulan data pada tahap ini dapat dilihat pada Tabel 2.

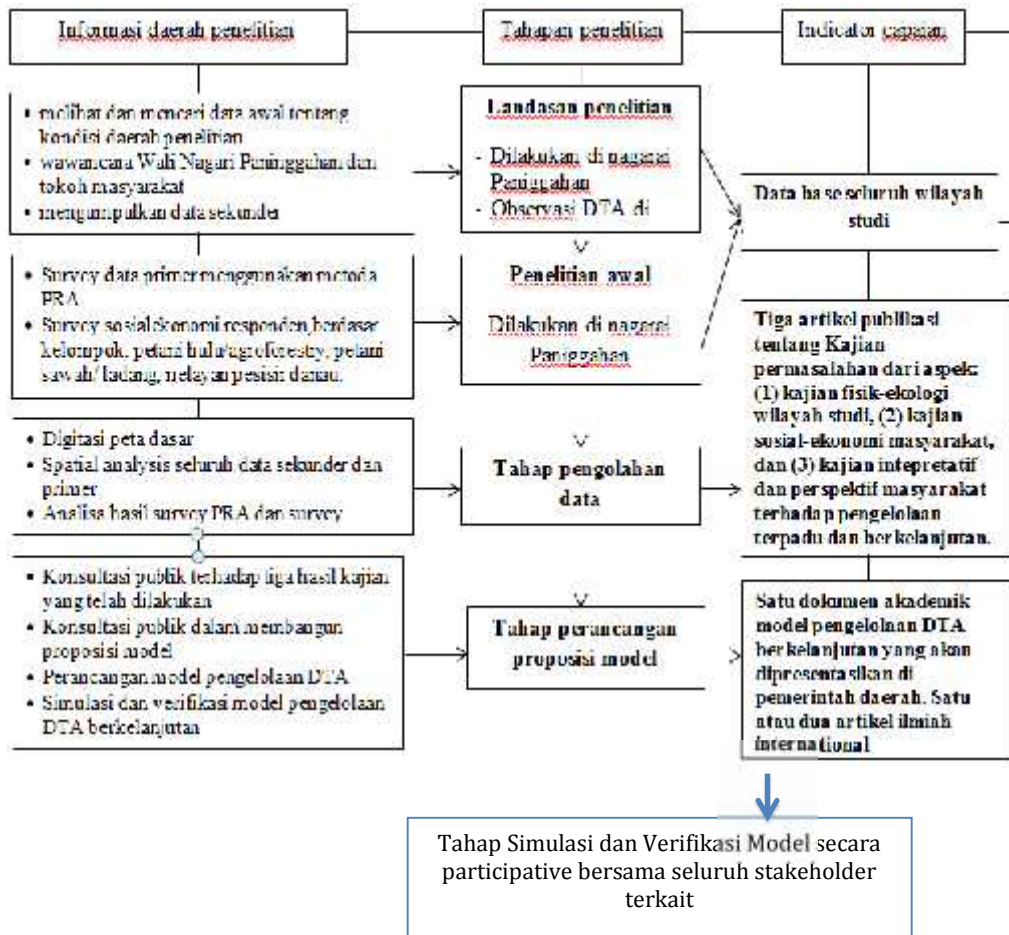
Tabel 2. Topik Data dan Teknik Pengumpulan Data

No	Topik Data	Teknik Pengumpulan Data
I	<p>Karakteristik fisik DTA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gambaran geografis wilayah penelitian • Kondisi sumberdaya alam dan lingkungan: DTA, data iklim (curah hujan, suhu udara), • Sistem irigasi dan pengguna air lainnya 	<p>Data sekunder Data sekunder, review literatur Data sekunder, review literatur, interview, observasi</p>
II	<p>Sejarah (historical background) tentang institusi pengguna air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pembangunan dan perawatan irigasi • Penggunaan air • Alokasi air • Pengelolaan konflik • Peraturan tertulis maupun tidak tertulis tentang hak penggunaan air • Identifikasi peran organisasi masyarakat yang ada disekitar wilayah basin 	<p>Data sekunder, review literatur, interview, observasi</p>
III	<p>Aspek sosial-ekonomi penggunaan air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Input-output dalam sistem pertanian • Perubahan populasi • Aktifitas non-pertanian 	<p>Data sekunder, review literatur, survei Data sekunder Interview</p>
IV	<p>Alternatif pengelolaan air</p> <ul style="list-style-type: none"> • Persepsi petani • Persepsi pemimpin formal/informal • Persepsi aparat pemerintah daerah 	<p>Survei Interview Interview</p>

3. Evaluasi Model

Proses evaluasi model mencakup 2 hal utama yaitu evaluasi terhadap model dan metode yang digunakan dalam simulasi model, serta evaluasi terhadap penerapannya terkait dengan alternatif yang digunakan untuk menyelesaikan konflik penggunaan air dan alokasinya.

3.4 Diagram Alir Penelitian

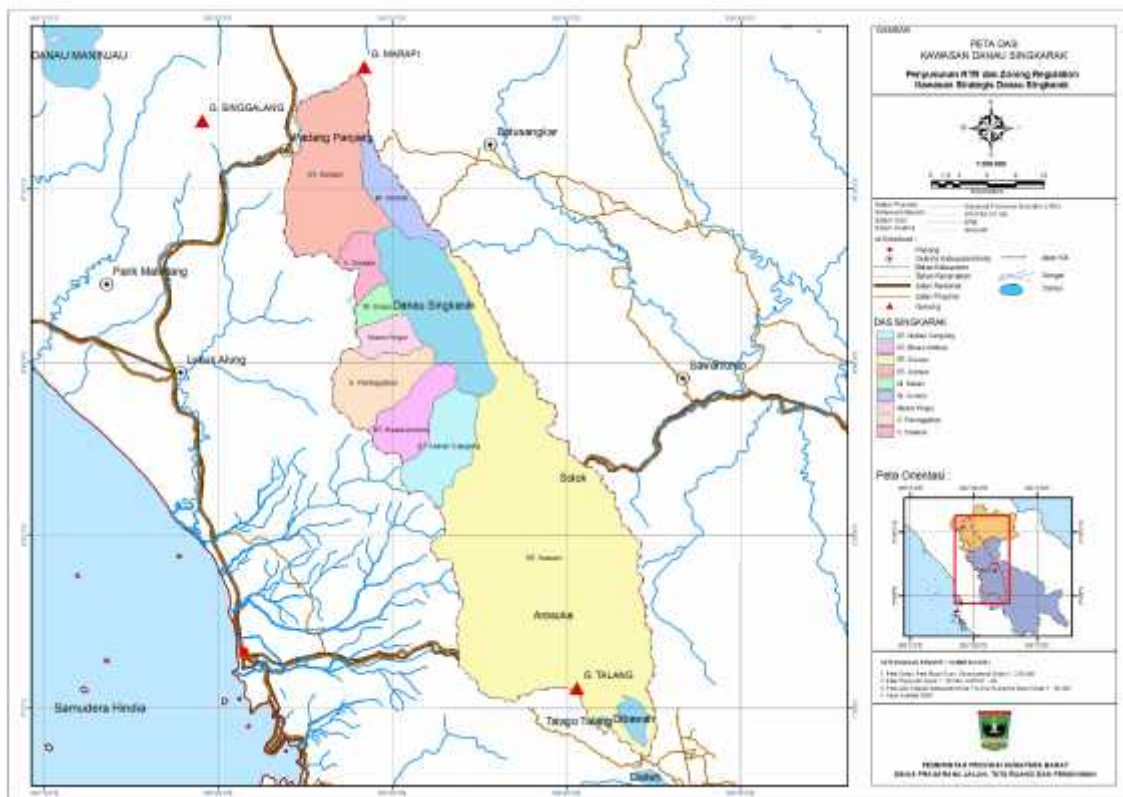


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

DAS Paninggahan merupakan salah satu Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Singkarak. Sungai Paninggahan adalah sungai yang bermuara ke Danau Singkarak, disamping beberapa sungai lainnya yang berada di wilayah Kabupaten/Kota Solok yaitu Sungai Lembang, Sumani dan Kuok. Sungai sepanjang lebih kurang 15,24 Km ini berhulu di Rimbo Paninggahan yang merupakan bagian dari Pegunungan Bukit Barisan dan bermuara di Danau Singkarak. Sungai Paninggahan merupakan hasil pertemuan beberapa anak sungai, dengan sumber air utama adalah Mata Air Badarun. Luas DAS paninggahan adalah 57,70 km². Sungai-sungai yang berada DAS Singkarak meliputi: Sungai Paninggahan, Sungai Sibaladi, Sungai Muaro Pingai, Batang Alahan Cangking, Sungai Muaro Ambius, Sungai Sumani, Sungai Sumpur, Sungai Malalo, dan Sungai Ombilin (Gambar 3). Penelitian dilakukan di DAS Paninggahan. Gambar 3 sekaligus menginformasikan letak DAS Paninggahan.

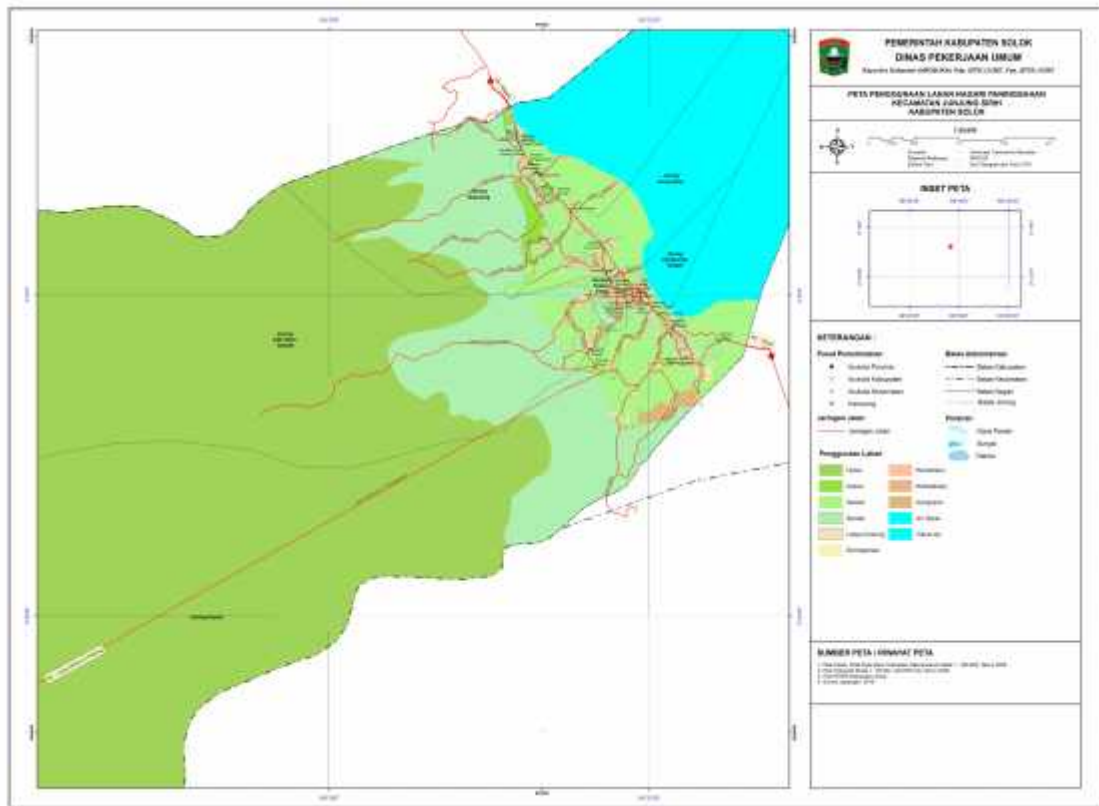


Gambar 3. DAS Kawasan Danau Singkarak

DAS Paninggahan berada pada Nagari Paninggahan. Nagari Paninggahan merupakan salah satu nagari yang berada di selingkar Danau Singkarak. Di sebelah utara Nagari Paninggahan berbatasan dengan Kabupaten Tanah Datar, sebelah selatan berbatasan dengan Nagari Muaro Pingai, sebelah timur berbatasan dengan Danau Singkarak serta sebelah Barat berbatasan dengan Kota Padang. Luas wilayah Nagari Paninggahan mencapai 1213,9 Ha. Nagari Paninggahan terdiri dari enam jorong, yaitu Jorong Gando, Jorong Koto Baru Tambak, Jorong Kampuang Tengah, Jorong Gantiang Padang Palak, Jorong Parumahan, dan Jorong Subarang.

Nagari paninggahan memiliki suhu rata-rata 24,3°C hingga 25,4°C dengan kelembaban udara berkisar antara 81,6% hingga 90,6%. Curah Hujan di Nagari Paninggahan berkisar antara 74 mm hingga 161 mm dengan curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Agustus dan terendah pada bulan Februari. Nagari Paninggahan memiliki sumber air permukaan dan air tanah. Sumber daya air di nagari ini berasal dari mata air Kepalo Aia, mata air Songgoh, Malawi, Talago, Bungo, Siganjo, termasuk Sungai Paninggahan.

Sungai Paninggahan merupakan bagian dari Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Singkarak. Sungai Paninggahan berhulu di Rimbo Paninggahan yang merupakan bagian dari Pegunungan Bukit Barisan dan bermuara di Danau Singkarak. Sungai Paninggahan merupakan hasil pertemuan beberapa anak sungai, dengan sumber air utama adalah Mata Air Badarun. Sungai sepanjang lebih kurang 12 km ini merupakan salah satu sumber air bagi Danau Singkarak.



Gambar 4. Peta Tata Guna Lahan di Paninggahan

Penggunaan lahan di Nagari Paninggahan dapat dianalisa berdasarkan peta dasar, Peta Rupa Bumi Indonesia Bakosurtanal skala 1:250.000 Tahun 2008, peta topografi skala 1:50.000, JANTOP-AD Tahun 2008, Peta RTRW Kabupaten Solok dan survey lapangan tahun 2016.

Tabel 3. Tata Guna Lahan per Jorong di Nagari Paninggahan

Tata Guna Lahan di setiap Jorong	Luas (Ha)	Persentase (%)
Gantiang Padang Palak		
Permukiman	10,39	29,72
Sawah	13,18	37,73
Semak	11,37	32,55
Sub total	34,94	100
Jorong Gando		
Campuran	17,27	0,44
Hutan	3.063,28	77,29
Pendidikan	0,51	0,01
Permukiman	30,46	0,77
Sawah	185,20	4,67

Semak	310,87	7,84
Tubuh Air	355,74	8,98
Sub total	3.963,33	100
Jorong Kampuang Tengah		
Pendidikan	0,01	0,01
Peribadatan	0,05	0,04
Permukiman	14,67	11,03
Sawah	36,09	27,15
Semak	8,82	6,64
Tubuh Air	73,28	55,13
Sub total	132,92	100
Jorong Koto Baru Tambak		
Hutan	2.905,32	88,13
Fasilitas Pendidikan	0,16	0,00
Permukiman	12,01	0,36
Sawah	50,56	1,53
Semak	328,62	9,97
Tubuh Air	0,11	0,00
Sub total	3.296,77	100
Jorong Parumahan		
Permukiman	17,51	3,07
Sawah	114,43	20,07
Semak	14,90	2,61
Tubuh Air	423,39	74,25
Sub total	570,23	100
Jorong Subarang		
Hutan	229,65	17,09
Kebun	23,90	1,78
Lahan Kosong	0,77	0,06
Pendidikan	0,77	0,06
Peribadatan	0,18	0,01
Permukiman	19,66	1,46
Sawah	99,76	7,42
Semak	379,75	28,26
Tubuh Air	589,45	43,86
Sub total	1.343,89	100
Total	9.342,09	

Secara umum tata guna lahan di Nagari Paninggahan terdiri dari hutan, pemukiman, sawah, semak dan tubuh air. Luas lahan hutan terbesar terdapat di Jorong

Gando dan Jorong Koto Baru Tambak dengan luas 3.063,28 Ha dan 2.905,32 Ha berturut-turut. Luas keseluruhan hutan di Nagari Paninggahan mencapai lebih dari 66% dari keseluruhan total luas lahan Nagari tersebut. Sedangkan jumlah lahan yang digunakan untuk sawah hanya mencapai 499,22 Ha atau 5,34% dari total tata guna lahan. Tata guna lahan di setiap jorong cukup bervariasi dalam hal luas masing-masing tata guna lahan tersebut. Tubuh air mencapai 15,34% dari total atau keseluruhan penggunaan lahan.

4.2 Karakteristik Biofisik DAS Paninggahan

Daerah aliran sungai (DAS) Paninggahan merupakan salah satu DAS yang berada di daerah tangkapan air (DTA) Danau Singkarak. DAS Paninggahan termasuk dalam kriteria DAS kecil (*small watershed*) yang berada di sisi bagian barat Danau Singkarak. Wilayah terluas di DAS Paninggahan adalah pegunungan dan plato, termasuk bagian dari deretan Bukit Barisan. Secara fisiotopografi, wilayah ini termasuk dalam kategori berombak dan berbukit. Bermuara di Danau Singkarak di ujung timur, dengan topografi yang relative datar, menuju kearah barat wilayah ini topografi berombak dan kemudian berbukit-bukit.

4.2.1 Karakteristik Iklim

4.2.1.1 Berdasarkan Data Observasi

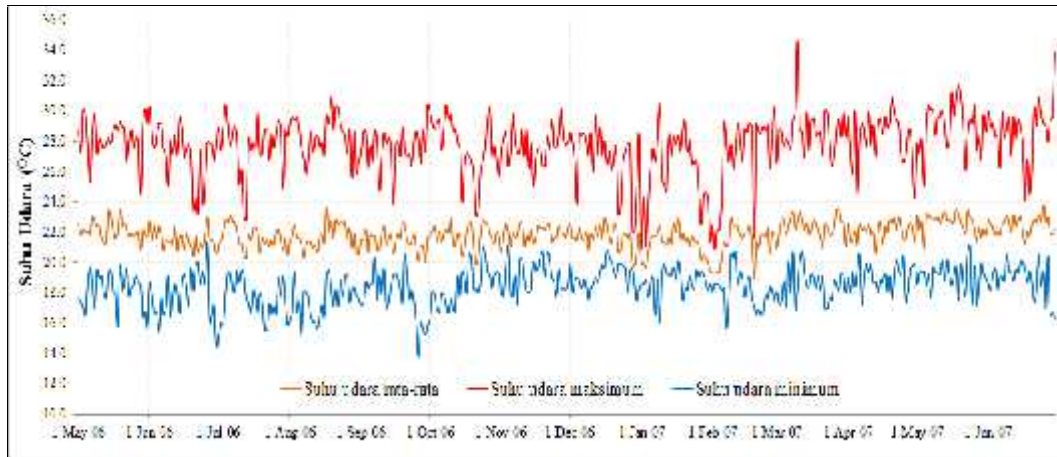
Data iklim di DAS Paninggahan diperoleh berdasarkan pencatatan stasiun cuaca otomatis (*automatic weather ststion/AWS*) yang berada di Kampung Aro pada koordinat $0^{\circ} 41'0''$ LS dan $100^{\circ} 19,45''$ BT pada ketinggian 840 mdpl, termasuk bagian tengah dari DAS Paninggahan. Lokasi AWS di DAS Paninggahan seperti terlihat pada Gambar 5.



5

Gambar 5. Lokasi pos cuaca otomatis (*automatic weather station/AWS*) dan pos pencatat tinggi muka air otomatis (*automatic water level recorder/AWLR*) di DAS Paninggahan. AWS berlokasi di Kampung Aro dan AWLR berada dibendungan Batang Sabarang. Inset foto merupakan kondisi logger AWLR yang telah rusak (hasil survei, 19-April-2017)

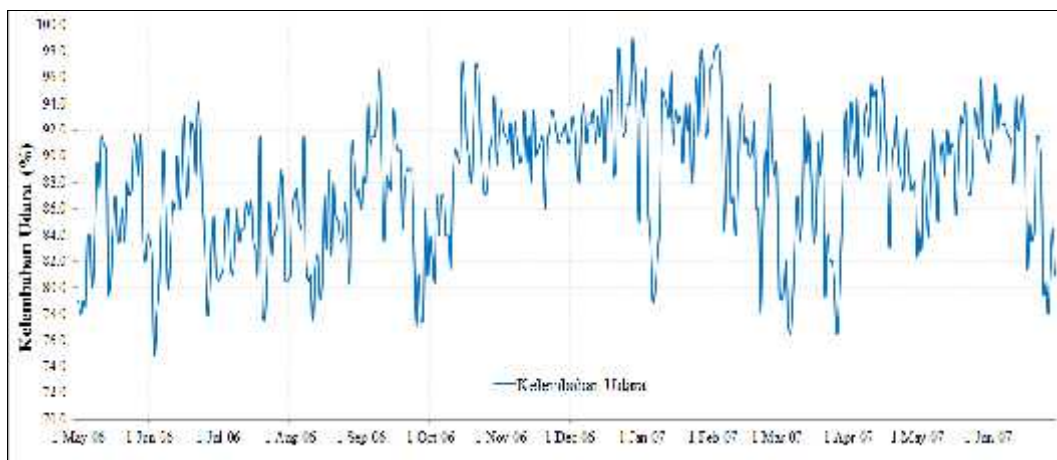
Alat AWS dengan merek CIMEL ENERCO 402 dilengkapi dengan sensor curah hujan, suhu udara, kelembaban, radiasi matahari, arah dan kecepatan angin (Pujilestari, 2009). Sayangnya alat tersebut tidak beroperasi dalam jangka waktu yang lama, berdasarkan hasil record data yang diperoleh, alat tersebut hanya menghasilkan data dengan lengkap pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007. Berdasarkan analisis data terhadap data curah hujan dari alat tersebut, disimpulkan data curah yang terecord pada alat tersebut tidak dapat dipergunakan untuk analisis lebih lanjut karena data yang tidak realistis (*suspect data*). Data yang akan ditampilkan merupakan data hasil pencatatan pada alat AWLR di Batang Sabarang.



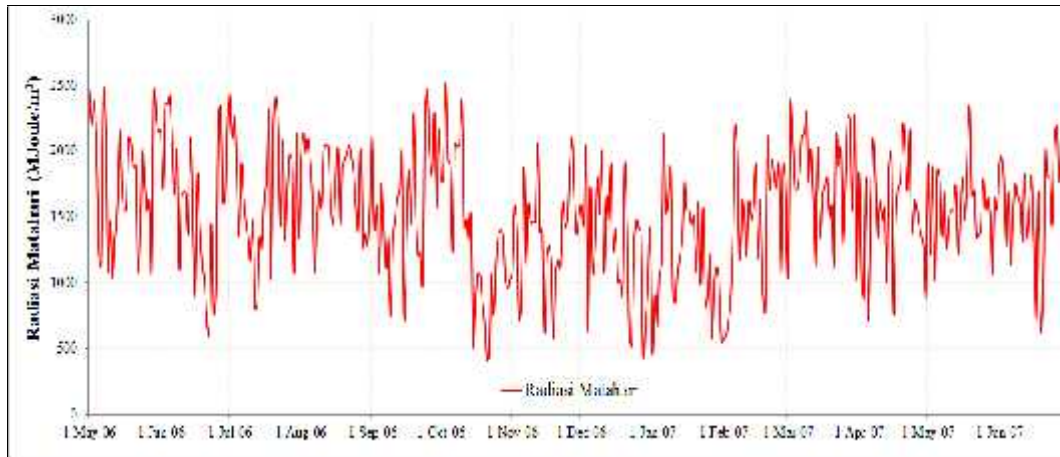
Gambar 6. Grafik suhu udara harian ($^{\circ}\text{C}$) hasil pencatatan AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007. Grafik dengan garis merah merupakan suhu udara maksimum, garis coklat muda merupakan suhu udara rata-rata dan garis biru merupakan suhu udara minimum.

Karakteristik iklim di DAS Paninggahan berdasarkan data dari alat tersebut dapat dirangkumkan sebagai berikut : suhu udara rata-rata berkisar antara 19°C - 24°C , suhu udara maksimum berkisar antara 21°C - 35°C , sedangkan suhu udara minimum berkisar antara 14°C - 21°C (Gambar 6). Kelembaban udara rata-rata berkisar antara 75%-99%, dengan fluktuasi terbesar terjadi pada musim kemarau (Gambar 7).

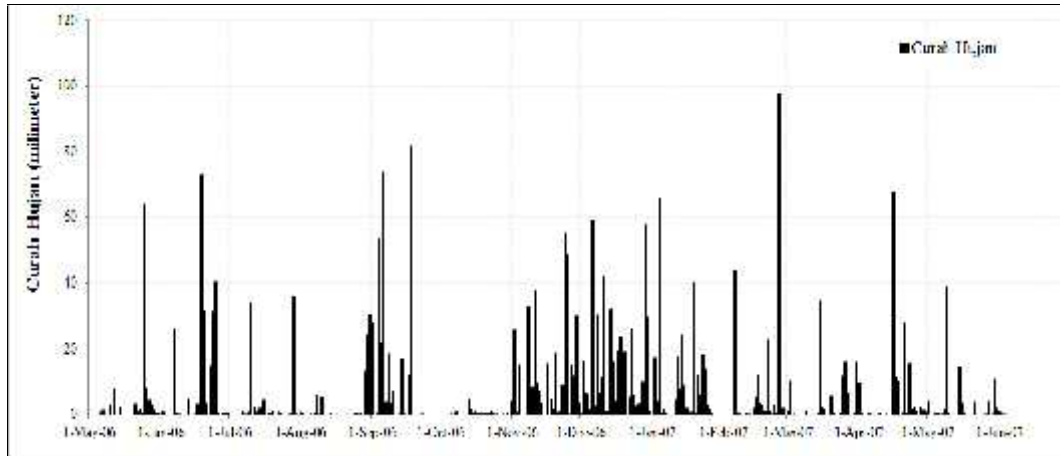
Berdasarkan data radiasi matahari yang tercatat pada periode tersebut berkisar antara 408 - 2523 MJ/m^2 dengan rata-rata sekitar 1542 MJ/m^2 , grafik deret waktu data radiasi matahari seperti pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik kelembaban udara (%) harian hasil pencatatan AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.

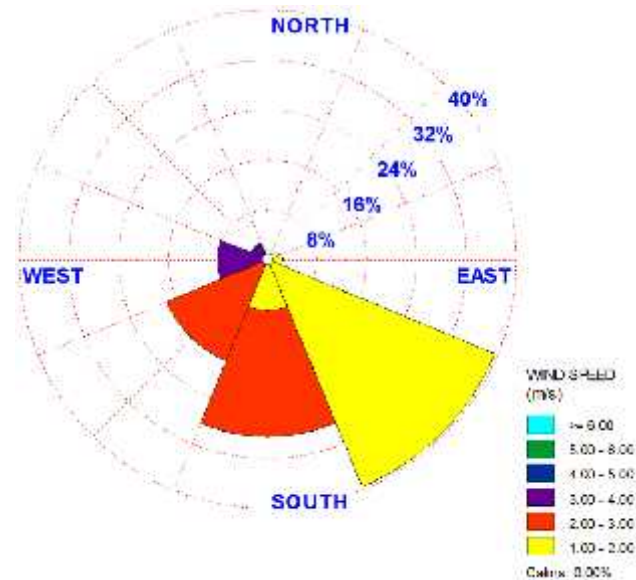


Gambar 8. Grafik radiasi matahari (MJoule/m^2) harian hasil pencatatan AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.



Gambar 9. Grafik curah hujan (milimeter) harian hasil pencatatan AWLR di bendungan Batang Sabarang periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007.

Sementara windrose pada Gambar 10, selama periode data diketahui bahwa arah angin dominan berasal dari arah tenggara (SE) sekitar 39%, dengan kecepatan angin antara 1-2 m/det, kemudian dari arah selatan (S) sekitar 28%, dengan kecepatan angin antara 1-3 m/detik. Arah angin dominan berikutnya adalah dari arah barat daya (SW) sekitar 18% dengan kecepatan angin antara 2-3 m/det. Arah angin maksimum yang tercatat sebesar 3-5 m/det berasal dari arah barat (W) dan barat daya (NW) dengan frekuensi kejadian sekitar 11%.



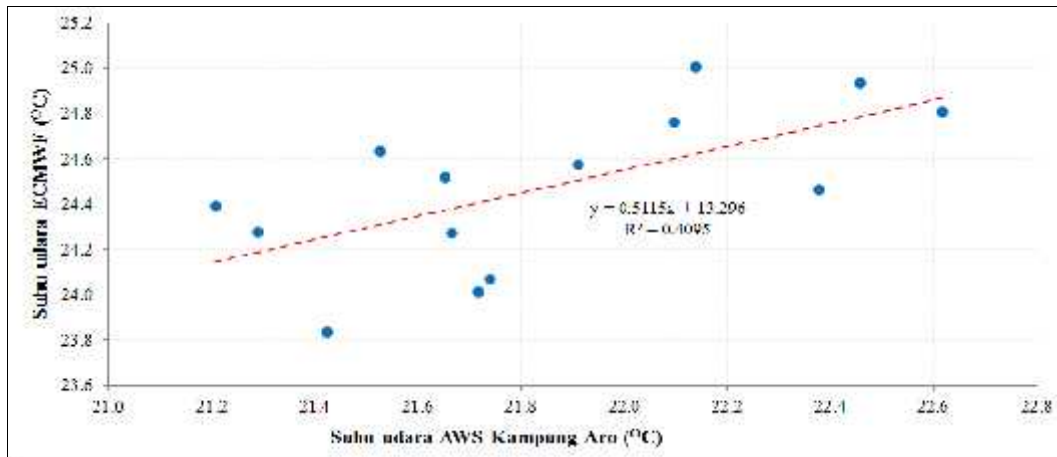
Gambar 10. Windrose hasil pencatatan data arah dan kecepatan angin AWS di Kampung Aro periode 1 Mei 2006 hingga 30 Juni 2007

5.1.1.1 Berdasarkan Data Model

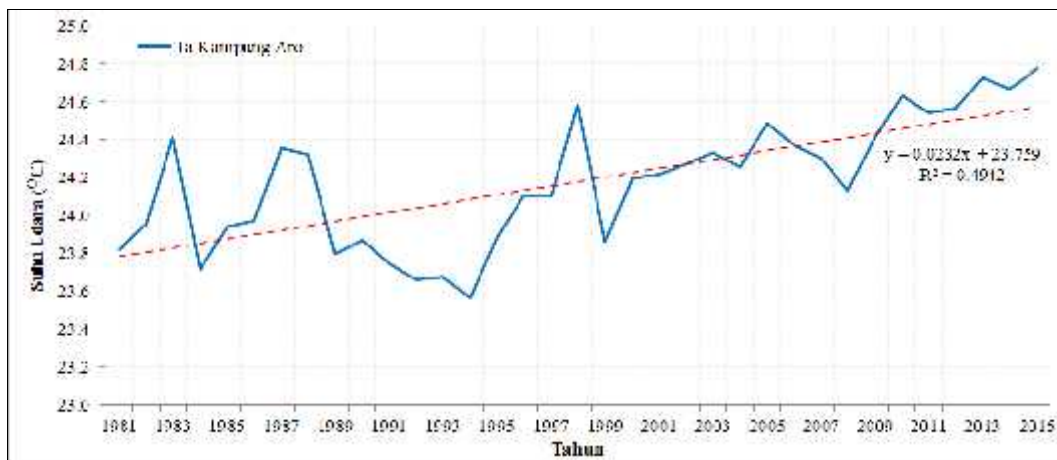
Karakteristik iklim lebih jauh dapat diketahui dari variabilitas iklim yang terjadi. Untuk mengetahui variabilitas iklim diperlukan series data yang panjang. Karena keterbatasan data observasi di lokasi, variabilitas untuk menggambarkan karakteristik iklim di DAS Paninggahan akan digunakan data model suhu udara dan curah hujan pada rentang waktu 1981-2015. Data suhu udara bersumber dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) dengan resolusi spasial $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (atau sekitar 27.75 km x 27.75 km) sedangkan curah hujan dilakukan menggunakan data *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) dengan resolusi spasial $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ (atau sekitar 5.55 km x 5.55 km). Untuk dapat dibandingkan dengan data observasi, data model hanya akan diekstrak pada titik lokasi AWS di Kampung Aro dan AWLR di Batang Sabarang.

Pada Gambar 11 terlihat perbandingan suhu udara rata-rata bulanan hasil model ECMWF dengan data suhu udara rata-rata bulanan hasil pembacaan alat AWS di Kampung Aro pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007. Pada gambar terlihat tren hubungan korelasi dari kedua dataset sebesar 0.64, yang mempunyai arti kedua dataset mempunyai hubungan yang kuat meskipun secara rata-rata keduanya mempunyai selisih

sekitar 2.5°C dimana data suhu udara AWS Kampung Aro lebih kecil dari data model ECMWF.



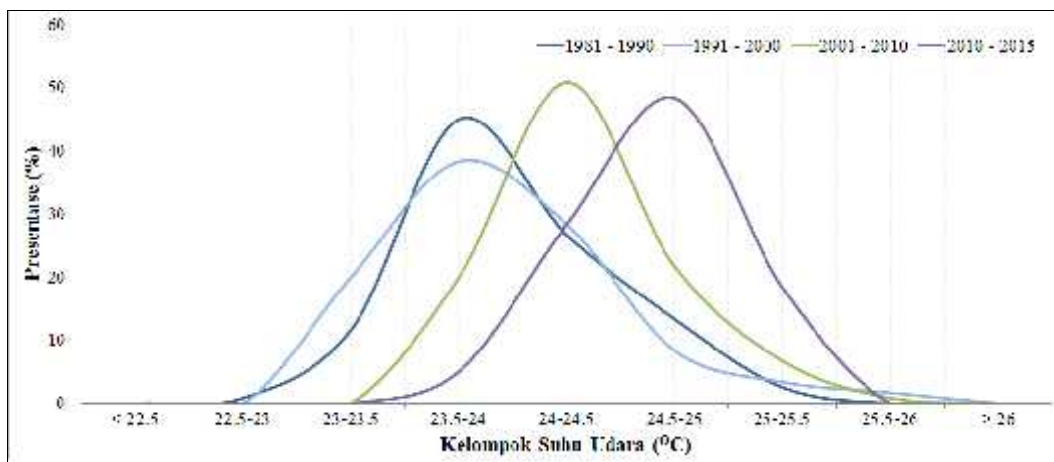
Gambar 11. Perbandingan suhu udara rata-rata bulanan hasil model ECMWF dengan data suhu udara rata-rata hasil pembacaan AWS di Kampung Aro pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007.



Gambar 12. Tren tahunan suhu udara rata-rata hasil model ECMWF di Kampung Aro pada periode tahun 1981-2015.

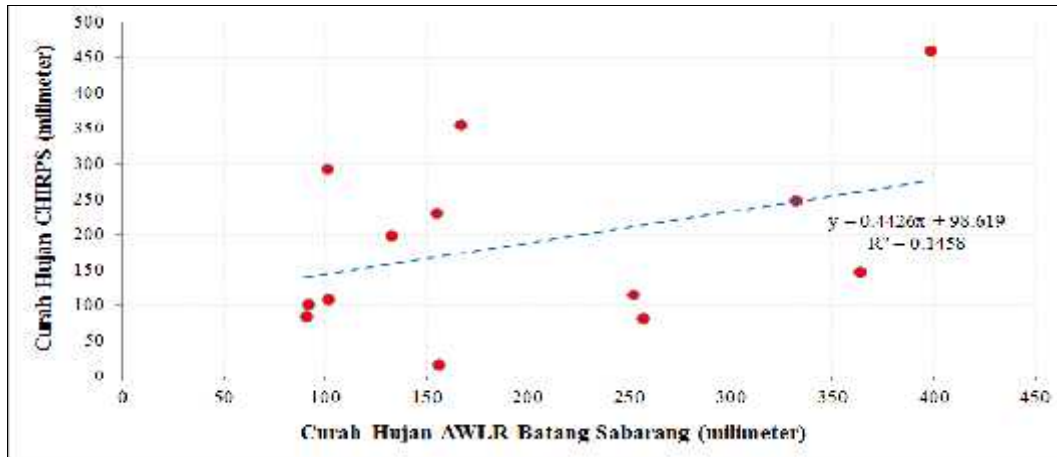
Berdasarkan hasil pengolahan data suhu udara tahunan menunjukkan terjadinya kenaikan suhu udara rata-rata sebesar $0.0232^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$, suhu udara maksimum meningkat sebesar $0.0255^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$ sedangkan suhu udara mengalami peningkatan dengan tren sebesar $0.0184^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$. Tren tahunan suhu udara rata-rata di Kampung Aro seperti terlihat pada Gambar 12. Dari uji signifikansi, trend kenaikan suhu udara tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan 95%.

Pergeseran pola suhu udara rata-rata per dekade secara umum menunjukkan bahwa di lokasi penelitian suhu udara rata-rata semakin meningkat. Pada dekade 1981-1990 dan 1991-2000, suhu udara rata-rata terbanyak berkisar antara 23.5-24.0°C dengan persentase masing-masing sebesar 45% dan 38%. Pada dua dekade berikutnya terlihat jelas adanya pergeseran pola suhu udara rata-rata, yaitu dekade 2001-2010, suhu udara rata-rata terbanyak terjadi antara 24.0-24.5°C dengan persentase hampir mencapai 51% pada dekade tersebut. Sedangkan pada dekade 2011-2015, suhu udara pola suhu udara bergeser menjadi lebih hangat yaitu pada suhu 24.5-25.0°C dengan persentase sebesar 48%.



Gambar 13. Pola pergeseran suhu udara rata-rata per dekade di Kampung Aro periode tahun 1981-2015.

Pada Gambar 14 terlihat perbandingan curah hujan rata-rata bulanan hasil model CHIRPS dengan data curah hujan rata-rata bulanan hasil pembacaan alat AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007. Pada gambar terlihat tren hubungan korelasi dari kedua dataset sebesar 0.38, jauh lebih kecil jika dibandingkan indek korelasi hubungan data suhu udara model dan AWS di Kampung Aro. Salah satu penyebabnya adalah data curah hujan mempunyai nilai variasi yang jauh lebih besar dibandingkan nilai variasi data suhu udara. Dari grafik hubungan tersebut terlihat bahwa data model CHIRPS pada periode tersebut secara rata-rata bulanan lebih besar dari pada data observasi pada alat AWLR di batang Sabarang.



Gambar 14. Perbandingan curah hujan bulanan hasil model CHIRPS dengan data curah hujan hasil pembacaan AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Juni 2007.

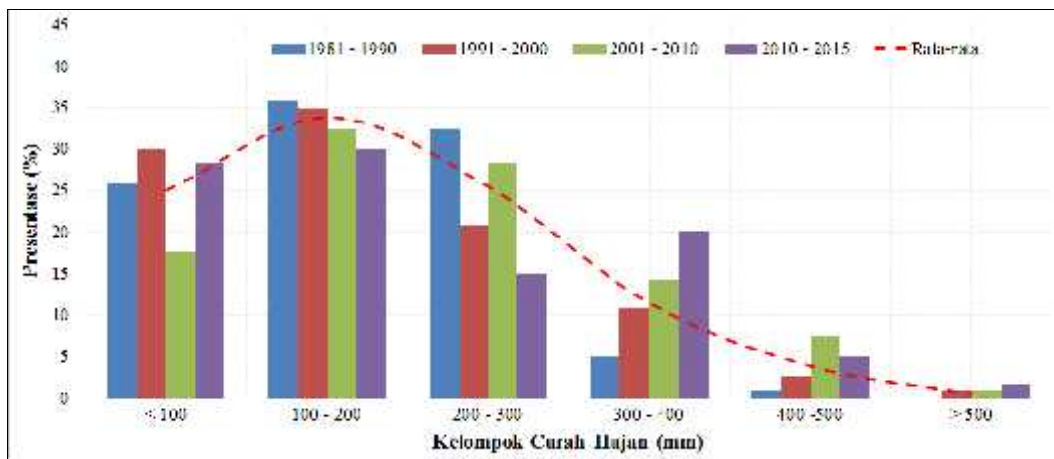
Perbandingan curah hujan rata-rata data bulanan di Kampung Aro yang terletak di bagian tengah DAS dan di bendungan Batang Sabarang yang mewakili bagian hilir DAS seperti terlihat pada Gambar 15. Pada gambar tersebut terlihat tipe hujan di DAS Paninggahan merupakan tipe ekuatorial terlihat dari dua puncak hujan yang ada pada grafik tersebut, yaitu pada bulan April dan bulan November. Jumlah curah hujan tertinggi terjadi pada bulan November, masing-masing sebesar 299 mm di Kampung Aro dan 304 mm di Batang Sabarang. Jumlah curah hujan terkecil di Kampung Aro terjadi pada bulan Agustus sebesar 72 mm, sedangkan di Batang Sabarang curah hujan terkecil sebesar 128 mm yang terjadi pada bulan Juli.

Jumlah curah hujan tahunan di bagian tengah sebesar 2245 mm/tahun lebih kecil jika dibandingkan dibagian hilir yang berjumlah 2520 mm/tahun. Tren curah hujan tahunan mengalami peningkatan sebesar 10.5 mm/tahun di Kampung Aro dan 9.2 mm/tahun di Batang Sabarang, meskipun setelah dilakukan uji signifikansi, tren-tren tersebut tidak signifikan. Berdasarkan kriteria BMKG, musim kemarau di Kampung Aro terjadi pada bulan Mei hingga September. Sedangkan di Batang Sabarang lama musim kemarau terjadi pada bulan Juni hingga Agustus.

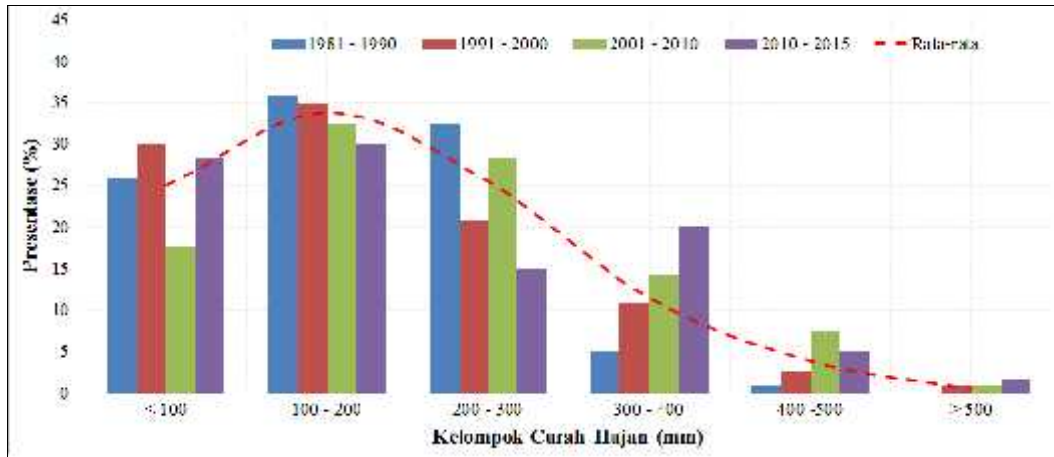


Gambar 15. Perbandingan curah hujan bulanan rata-rata di Kampung Aro dan Batang Sabarang pada periode tahun 1981-2015. Garis hitam putus-putus merupakan batasan awal musim kemarau (jika jumlah hujan < 150 mm/bulan) dan awal musim penghujan (jika jumlah hujan > 150 mm/bulan).

Berdasarkan pengelompokan data curah hujan bulanan per dekade, terlihat adanya pergeseran pola hujan bulanan per dekade jika dibandingkan dengan rata-ratanya (1981-2015), baik di Kampung Aro (Gambar 16) dan batang Sabarang (Gambar 17) yang memiliki kemiripan dalam pola pergeseran tersebut.



Gambar 16. Pola pergeseran curah hujan rata-rata per dekade di Kampung Aro periode tahun 1981-2015



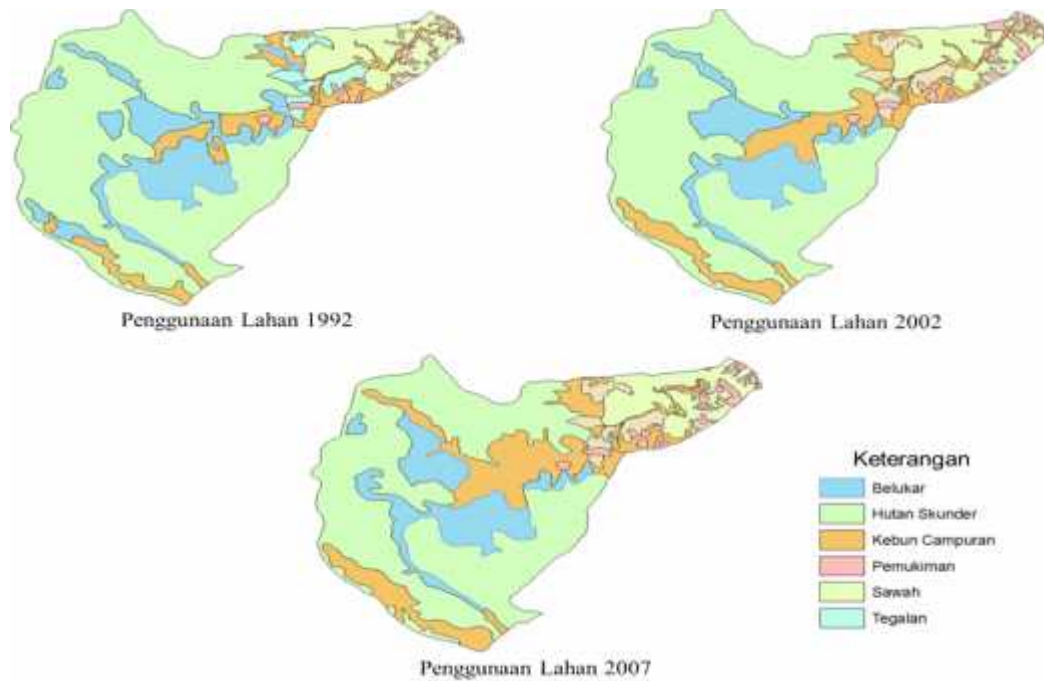
Gambar 17. Pola pergeseran curah hujan rata-rata per dekade di Batang Sabarang periode tahun 1981-2015

Pola pergeseran jelas terlihat pada kelompok data curah hujan 100-200 mm dan 300-400 mm. Pada kelompok data curah hujan 100-200 mm setiap dekade mengalami penurunan antara 1-3%, walaupun nilainya masih berada pada sekitar rata-ratanya, yaitu sekiranya 35%. Pada kelompok hujan 300-400 mm terjadi peningkatan sekitar 6% setiap dekade, pada dua decade terakhir jumlah persentase hujan pada kelompok ini menjadi sekira 40-80% jika dibandingkan rata-ratanya. Pola pergeseran ini menandakan bahwa baik di Kampung Aro maupun di Batang Sabarang, jumlah curah hujan yang terjadi setiap bulan menjadi semakin banyak jumlahnya.

5.1.2 Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan di wilayah DAS Paninggahan dari waktu ke waktu dapat terlihat pada deretan Gambar 7. Pada gambar tersebut merupakan penggunaan lahan di DAS Paninggahan pada tahun 1992, 2002 dan 2007. Untuk lebih mempermudah analisis, berdasarkan Gambar 18, dibuat tabulasi penggunaan lahan berdasarkan jenis penggunaan lahan yang paling dominan terdapat pada wilayah DAS tersebut. Hasil tabulasi seperti terlihat pada Table 4.

Hasil analisis penggunaan lahan menunjukkan dari tahun 1992, 2002 dan 2007 terdapat perubahan penggunaan lahan ditandai dengan berkurangnya penggunaan lahan jenis tertentu sedangkan penggunaan lahan jenis lainnya mengalami peningkatan. Berdasarkan Tabel 4, penggunaan lahan yang paling besar persentase terjadinya pengurangan luas lahan adalah hutan sekunder, sementara yang mengalami penambahan persentase luas secara signifikan adalah kebun campuran.



Gambar 18. Perubahan penggunaan lahan pada tahun 1992, 2002 dan 2007 di DAS Paninggahan berdasarkan citra Lansat (digambar ulang dari Pujilestari, 2009).

Tabel 4. Tabulasi Luas dan Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 1992, 2002 dan 2007 di DAS Paninggahan.

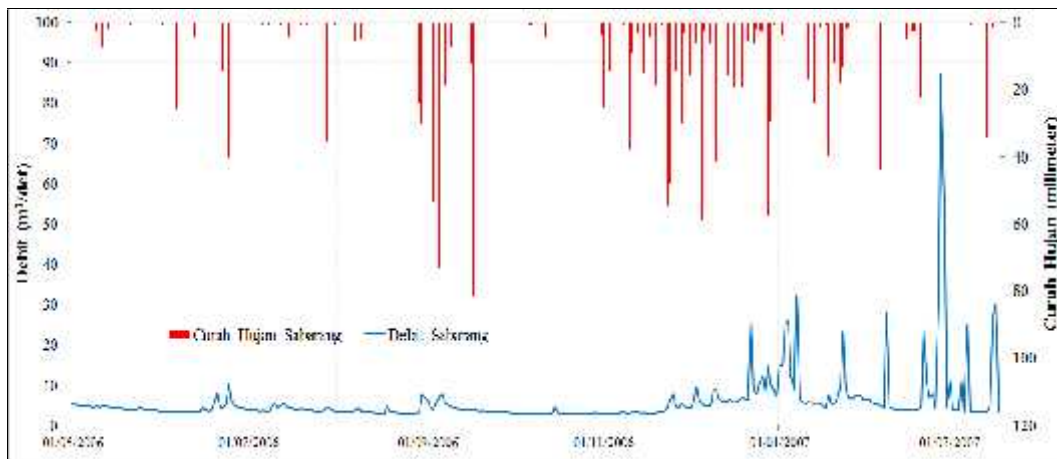
No.	Jenis Penggunaan Lahan	Luas Tahun 1992		Luas Tahun 2002		Luas Tahun 2007		Perubahan Penggunaan Lahan 1992-2007 (%)
		hektar	(%)	hektar	(%)	hektar	(%)	
1.	Belukar	998.31	16.96	823.99	14.00	831.18	14.12	-2.84
2.	Hutan Sekunder	3544.27	60.21	3481.65	59.15	3151.82	53.55	-6.67
3.	Kebun Campuran	556.76	9.46	782.13	13.29	1088.48	18.49	9.03
4.	Pemukiman	94.93	1.61	142.31	2.42	146.90	2.50	0.88
5.	Sawah	511.78	8.69	473.36	8.04	487.43	8.28	-0.41
6.	Tegalan	180.16	3.06	182.78	3.11	180.41	3.06	0.00
Jumlah Luas DAS		5886.22	100	5886.22	100	5886.22	100	0.0

Jika menggunakan data tutupan lahan tahun 2007 dikurangkan dengan data tutupan lahan tahun 1992 maka akan diperoleh, hutan sekunder di DAS Paninggahan akan berkurang sekitar 392.45 Ha (6.67%), belukar akan berkurang sebesar 167.13 Ha (2.84%) dan lahan sawah akan mengalami pengurangan sekitar 24.35 Ha (0.41%). Sedangkan penambahan luas lahan terjadi pada jenis penggunaan lahan kebun campuran yang bertambah luas sekitar 531.72 Ha (9.03%) dan pemukiman yang bertambah luas sekitar 51.97 Ha (0.88%). Menurut Pujilestari (2009), kecenderungan perubahan

penggunaan lahan dari hutan sekunder menjadi kebun campuran terjadi pada lahan tersebut mempunyai kelerengan yang relative landau. Wilayah datar di pinggir danau berubah menjadi sawah dan seiring dengan bertambahnya penduduk sawah-sawah tersebut berubah menjadi pemukiman.

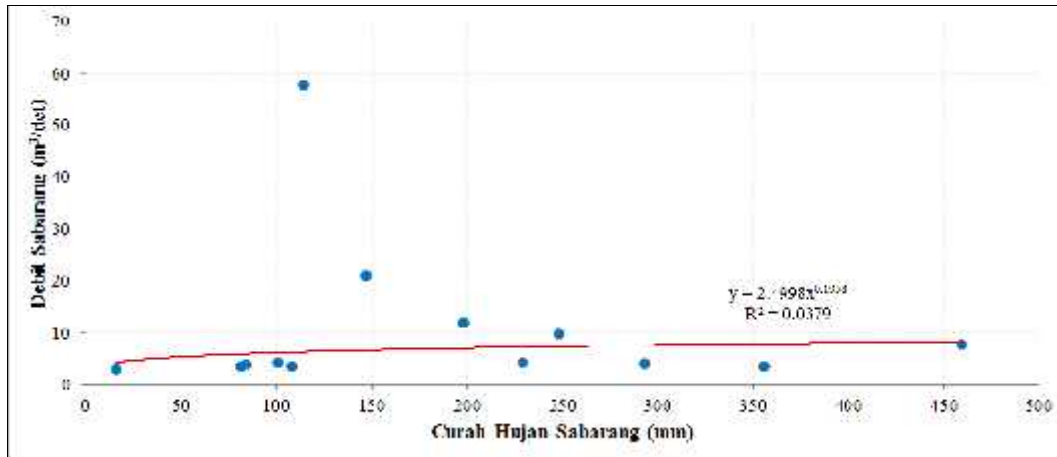
5.1.3 Karakteristik Debit

Karakteristik debit Batang Sabarang dilihat berdasarkan data debit dan curah hujan hasil pembacaan AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Maret 2007 seperti yang terlihat pada Gambar 19, didapatkan besaran debit rata-rata sebesar $5.76 \text{ m}^3/\text{detik}$. Debit minimum $2.79 \text{ m}^3/\text{detik}$ terjadi pada tanggal 10 Oktober 2006 dan debit maksimum sebesar $87.08 \text{ m}^3/\text{detik}$ terjadi pada tanggal 26 Februari 2007. Curah hujan maksimum yang sepanjang periode tersebut sebesar 97.6 mm yang terjadi pada tanggal 24 Februari 2007 atau dua hari sebelum terjadinya debit maksimum.



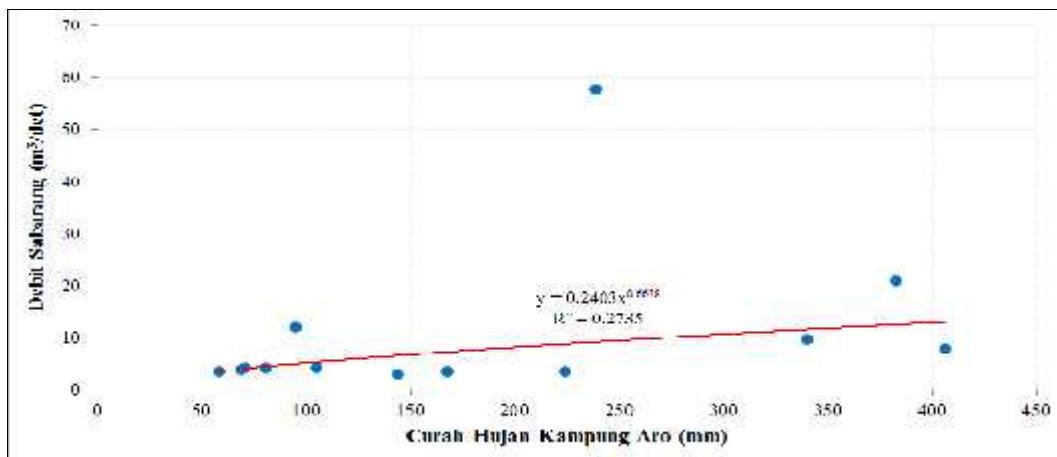
Gambar 19. Grafik data debit dan curah hujan hasil pembacaan AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Maret 2007.

Curah hujan dan debit merupakan bagian dari proses hidrologi yang saling berhubungan. Metode sederhana untuk mengetahui hubungan dan keeratan keduanya adalah dengan metode statistik regresi linear. Pada Gambar 20 merupakan hubungan antara debit dan curah hujan yang ada di bendungan Batang Sabarang dengan persamaan $y = 2.4998x^{0.1958}$ dengan $R^2 = 0.00379$ (0.379%), artinya curah hujan yang terjadi di lokasi hanya mempunyai pengaruh sekitar 0.379% terhadap debit yang terukur di Batang Sabarang.



Gambar 20. Hubungan antara besarnya debit bulanan dengan curah hujan bulanan di Batang Sabarang, berdasarkan data yang tercatat pada alat AWLR di Batang Sabarang pada periode Mei 2006 hingga Mei 2007.

Pada Gambar 21 merupakan hubungan antara debit yang terukur pada AWLR di bendungan batang Sabarang dan curah hujan yang berada di lokasi AWS Kampung Aro, dengan persamaan $y = 0.2403x^{0.6638}$ dengan $R^2 = 0.2735$ (27.35%), artinya curah hujan yang terjadi di Kampung Aro yang berlokasi di bagian tengah DAS Paninggahan mempunyai pengaruh sekitar 27.35% terhadap debit yang terukur di Batang Sabarang. Pengaruh ini lebih besar jika dibandingkan dengan curah hujan yang berada sama dengan lokasi pengukuran debitnya, artinya curah hujan yang terjadi di bagian tengah dan hulu DAS sangat berpengaruh terhadap terjadinya debit sungai di bagian hilir DAS.



Gambar 21. Hubungan antara besarnya debit bulanan Batang Sabarang berdasarkan data yang tercatat pada alat AWLR dengan curah hujan bulanan hasil model CHIRPS di Kampung Aro, pada periode Mei 2006 hingga Mei 2007.

4.3 Analisis Regresi Data Rainfall-Runoff DAS Peninggahan

Prakiraan data limpasan (*runoff*) bulanan sangat penting untuk pengelolaan sumberdaya air yang efektif. Data *runoff* diperlukan dalam pembuatan prakiraan aliran sungai untuk tujuan penyediaan air bersih, pengendalian banjir, irigasi, drainase, kualitas air, pembangkit tenaga listrik, rekreasi, dan lain-lain. Mulai timbulnya kesadaran akan arti pentingnya data *runoff*, belum diikuti tindakan untuk melakukan pengamatan data tersebut, sehingga masih banyak daerah aliran sungai (DAS) yang tidak mempunyai alat ukur (*ungauge basin*), baik alat ukur hidrologi maupun hidrometeorologi. Selain itu untuk mengumpulkan data-data tersebut memerlukan waktu yang lama, proses yang rumit dan biaya yang mahal. Namun ada kebutuhan yang mendesak untuk mengetahui nilai *runoff* dalam rangka pengelolaan sumberdaya air pada suatu DAS menjadi efektif dan lebih baik.

Proses transformasi dari curah hujan menjadi *runoff* merupakan salah satu fenomena hidrologi yang paling kompleks, karena banyaknya faktor hidrometeorologi yang mempengaruhinya, baik keragaman secara spasial maupun temporalnya, karakteristik DAS-nya maupun parameter geomorfologi yang terlibat dalam proses transformasi tersebut. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mensimulasikan proses transformasi curah hujan menjadi *runoff* pada suatu DAS (Rama, 2014).

Transformasi curah hujan menjadi *runoff* sangat kompleks dan dinamis sehingga sangat sulit untuk dimodelkan. Model transformasi curah hujan menjadi *runoff* berbasis fisis tidak sepenuhnya dapat merespon faktor hidrologi pada suatu DAS. Model *rainfall to runoff* (*rainfall-runoff model/RRM*), merupakan salah satu rekayasa dalam ilmu hidrologi dan lingkungan untuk mengetahui transformasi curah hujan menjadi *runoff* dan respon *runoff* terhadap variabilitas iklim dan atau penggunaan lahan dalam skala ruang dan waktu (Patel., dkk, 2016). RRM dengan metode data yang dibangkitkan (*data driven model*), dikembangkan dan divalidasi sepenuhnya hanya berdasarkan pada panjangnya series data yang digunakan dalam model tersebut, misalnya jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network/ANN*) dan model regresi (Wu dan Chau, 2010; Sharma dan Mohandatta, 2017). Model statistik berbasis regresi adalah salah satu alat statistik yang efektif dan sederhana untuk membuat prakiraan *runoff* berdasarkan pada hubungan *rainfall-runoff* dengan menggunakan data hujan curah hujan dan *runoff* pada periode

waktu yang sama dengan cara memasangkan (*fitting*) data pengamatan secara langsung tanpa mempertimbangkan faktor fisis dalam prosesnya, sering juga disebut sebagai metode stokastik (Pilgrim, dkk., 1988).

Aplikasi RRM dengan metode regresi telah digunakan untuk memprakirakan besarnya nilai *runoff* yang memengaruhi hasil air sungai bulanan dan tahunan di DAS Delaware, Arkansas (Sharp, dkk., 1960). Vogel, dkk (1999), McIntry, dkk (2007) menggunakan analisis regresi rainfall-runoff untuk mengetahui volume air dan puncak debit sungai-sungai pada daerah semi-arid di Oman. Patel, dkk (2016) menggunakan model regresi linear berganda untuk mengetahui di sungai Waigangga, Madya Pradesh-India.

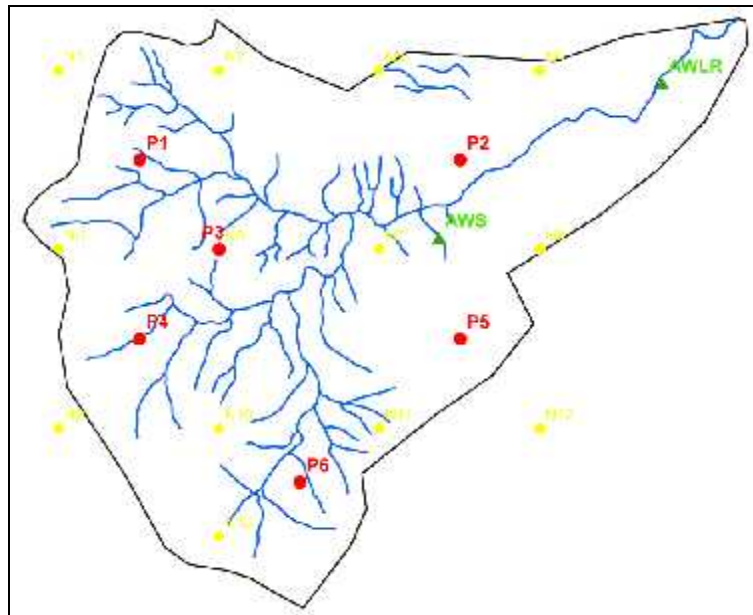
DAS Paninggahan merupakan salah satu DAS yang berada di sisi bagian barat daerah tangkapan air Danau Singkarak, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. DAS Paninggahan termasuk dalam kriteria DAS kecil dan *ungauge basin*, walaupun pada DAS tersebut pernah terpasang alat ukur iklim dan runoff selama kurang lebih selama satu tahun. Kondisi yang strategis dari keberadaan DAS Paninggahan dan ketiadaan data runoff di DAS tersebut sebagai latar belakang dari tujuan penelitian ini, yaitu untuk membangun model RRM berdasarkan metode empiris sederhana yang dapat memberikan informasi dasar tetapi penting di DAS Paninggahan dengan menggunakan data yang sangat terbatas.

Pada periode tahun 2006-2007 tercatat pernah terpasang alat pencatat iklim dan tinggi muka air sungai tersebut. Alat pencatat iklim berupa *automatic weather station* (AWS) terpasang di Kampung Aro, terletak pada bagian tengah DAS. Alat pencatat tinggi muka air sungai berupa *automatic water level recorder* (AWLR) terpasang di bendung batang Sabarang, pada bagian hilir dari DAS (Subagyono dan Kartiwa, 2009; Pujilestari, 2011).

Untuk keperluan pembuatan model RRM, selain diperlukan data runoff juga diperlukan data hujan. Dalam penelitian ini, menggunakan data model curah hujan CHIRPS (*climate hazard group infrared precipitation and stations*) yang dapat diakses di website : <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/index.html>. CHIRPS merupakan data curah hujan berdasarkan pada satelit hujan yang digabungkan dengan data curah hujan hasil pengamatan di stasiun-stasiun hujan. Produk CHIRPS tersedia dalam format gridding,

mulai tahun 1981 dengan resolusi temporal harian dan spasial $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$. Hasil validasi data curah hujan CHIRPS terhadap data hujan observasi pada stasiun-stasiun hujan, menunjukkan bahwa CHIRPS mempunyai performa yang baik dibandingkan produk data curah hujan yang sejenis (Dinku, 2014; Gebremicael, dkk., 2017). Karena data CHIRPS berformat grid dengan resolusi $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$, maka wilayah DAS Paninggahan akan dibagi menjadi beberapa titik untuk menyesuaikan dengan titik-titik grid model CHIRPS. Sehingga wilayah DAS terbagi menjadi enam titik untuk mewakili bagian hulu hingga hilir wilayah DAS, seperti yang terlihat pada Gambar 22.

Gambar 22 merupakan ilustrasi spasial dari titik-titik grid data curah hujan model CHIRPS di wilayah DAS Paninggahan (titik warna kuning), kemudian dipilih titik-titik sampel (titik warna merah) untuk mewakili data curah hujan model CHIRPS tersebut. Pemilihan titik sampel berdasarkan keragaman dari data model CHIRPS dan sebaran titik sampel di wilayah DAS. Sebagai contoh, titik sampel P_1 merupakan rata-rata nilai dari nilai di titik $N_1+N_2+N_3+N_4$. Dengan mempertimbangkan keragaman data dan sebarannya, sehingga diperoleh enam buah titik sampel (P_1 - P_6) untuk mengekstraksi data grid curah hujan model CHIRPS di DAS Paninggahan. Selain itu pada gambar juga terlihat posisi dari alat AWS dan AWLR (segitiga warna hijau). Posisi AWS berada di Kampung Aro dan AWLR di bendung Batang Sabarang. Titik dimana terpasang AWLR yang berada di bagian hilir dari DAS dapat dijadikan sebagai *oulet* aliran sungai.



Gambar 22. Titik-titik sampel data grid curah hujan model CHIRPS.

- Pengolahan data

Analisis Regresi

Analisis regresi bertujuan untuk mendapatkan suatu nilai prakiraan berdasarkan hubungan keterikatan antara dua series data yang membentuk suatu persamaan. Berdasarkan jumlah faktor peubahnya, terdapat dua model regresi, yaitu regresi linier sederhana (*simple linear regression/SLR*) merupakan persamaan yang terbentuk oleh hubungan antara variabel terikat (*dependent/response variable*) dan variabel bebas (*independent/explanatory variable*) dan regresi linier berganda (*multiple linear regression/MLR*) merupakan bentuk dari regresi linier sederhana dengan jumlah variabel bebasnya dua atau lebih. Berdasarkan series data runoff (Q) hasil pengukuran pada tahun 2006-2007 dan data curah hujan model CHIRPS pada titik P₁-P₆ pada periode yang sama, maka dibuat persamaan regresi linear berganda, dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Q = \alpha + \beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \dots + \beta_n P_n \dots \dots \dots (1)$$

Dimana Q merupakan data runoff hasil pengukuran sebagai variabel terikat, α merupakan konstanta, β_1 merupakan koefisien slope untuk variabel bebas curah hujan di titik P₁, P₁ merupakan variabel bebas pertama yang menjelaskan variabel Q, β_2 merupakan koefisien slope untuk variabel bebas curah hujan di titik P₂, P₂ merupakan variabel bebas kedua yang menjelaskan variabel Q, β_n merupakan koefisien slope untuk variabel bebas curah hujan di titik P_n, P_n merupakan variabel bebas ke-n yang menjelaskan variabel Q (Patel, dkk., 2016).

Metode validasi

a) PBIAS

Persen bias (PBIAS) dapat diartikan sebagai arah rata-rata simpangan dari nilai data yang diamati, namun bias tidak mencerminkan besarnya kesalahan (*magnitude of the error*) dari nilai data tersebut. Bias positif menunjukkan bahwa nilai data prakiraan/model lebih tinggi dibandingkan nilai observasinya, sementara bias negatif menunjukkan nilai data prakiraan/model yang lebih rendah dari nilai observasi. Bias dapat dinyatakan sebagai penjumlahan nilai prakiraan/model dikurangi nilai observasinya dibagi dengan jumlah data, seperti yang tercantum pada persamaan 1 (Stanski, dkk., 1989).

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (Q'_i - Q_i)}{N} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

b) *Root Mean Square Error* (RMSE)

RMSE merupakan penilaian besarnya rata-rata kesalahan tertimbang menurut kuadrat kesalahan (persamaan 2). RMSE tidak menunjukkan arah simpangan anmun lebih pada pemberian besarnya kesalahan (*magnitude of the error*) dari nilai data tersebut (Stanski, dkk., 1989).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q'_i - Q_i)^2}{N}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana Q'_i merupakan series data hasil prakiraan (forecast) dan Q_i merupakan series data hasil pengamatan (observasi)

- Hasil Validasi Data Curah Hujan Model CHIRPS

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa dari hasil validasi yang telah dilakukan oleh Dinku (2014) dan Gebremicael, dkk. (2017) CHIRPS mempunyai performa yang baik jika diuji dengan data hujan observasi pada stasiun-stasiun hujan. Performa tersebut tergantung dari faktor lokal dalam merespon curah hujan hasil model tersebut.

Tabel 5. Hasil validasai curah hujan model CHIRPS pada titik-titik sampel curah hujan di wilayah DAS Paninggahan (P₁-P₆) terhadap curah hujan pengamatan (observasi) di titik terdekat dari wilayah DAS.

Titik Sampel Curah Hujan	Koef. Determinan (R ²)	Rata-Rata BIAS (milimeter)	RMSE (milimeter)
P.1	0.70	-0.73	55.17
P.2	0.70	-0.04	53.03
P.3	0.73	1.68	60.49
P.4	0.69	-0.44	64.73
P.5	0.26	1.52	59.55
P.6	0.65	1.52	61.97

Hasil validasi curah hujan model CHIRPS pada titik-titik sampel curah hujan di wilayah DAS Paninggahan (P_1 - P_6) terhadap curah hujan di pos hujan Saning Bakar yang merupakan pos hujan terdekat (berjarak 10-15 km) dari wilayah DAS Paninggahan seperti terlihat pada Tabel 5. Pada table tersebut terlihat curah hujan pada titik P_1 - P_6 mempunyai respon yang beragam terhadap curah hujan model CHIRPS, namun secara umum mempunyai hubungan keterikatan dan variasi simpangan data yang cukup baik, terlihat dari koefisien determinan dengan nilai lebih dari 65% kecuali di titik P_5 dengan nilai determinan 26%. Sementara rata-rata nilai BIAS terkecil terjadi di titik P_2 sebesar -0.04 mm (-4%) dan terbesar di titik P_3 sebesar 1.68 mm (168%). Besarnya nilai kesalahan curah hujan model CHIRPS terhadap curah hujan observasi ditunjukkan dengan nilai RMSE pada titik-titik sample tersebut dengan nilia yang berkisar antara 53-65 mm.

- Persamaan Regresi Prakiraan Runoff

Hasil *fitting series* data runoff (Q) dan curah hujan (P_1 - P_6) menghasilkan beberapa varian persamaan regresi linier berganda untuk DAS Paninggahan. Ada tujuh varian model persamaan yang didapatkan, dimana masing-masing model mempunyai koefisien determinasi (R^2) dan *standard error* (PBIAS dan RMSE) dan prakiraan nilai runoff rata-rata yang berbeda-beda, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Model-model persamaan yang dihasilkan mempunyai koefisien determinasi 0.627 hingga 0.767. Koefisien determinasi menentukan seberapa besar variabel-variabel bebas memberikan pengaruh secara bersama-sama terhadap variabel terikan dalam persamaan tersebut. Sebagai contoh persamaan pada model 1 mempunyai koefisien determinasi sebesar 0.767, berarti variabel-variabel bebas (P_1 - P_6) pada persamaan tersebut mempunyai pengaruh sebesar 76.7% terhadap variabel bebas (Q). Sedangkan sisanya sebesar 23.3% dipengaruhi oleh variabel lain.

Untuk mengetahui tingkat kesalahan sekaligus sebagai validasi dari persamaan yang terbentuk digunakan dua *standard error*, yaitu persen BIAS dan RMSE. Seperti telah disebutkan sebelumnya, BIAS hanya dapat mengetahui simpangan antara data prakiraan dan data pengamatan tetapi tidak dapat mengetahui besarnya kesalahan. Sementara RMSE dapat digunakan untuk mengetahui besarnya kesalahan dari hasil prakiraan tetapi tidak dapat mengetahui berapa besarnya penyimpangan datanya. Dari data *standard error* model-model yang telah terbentuk, didapatkan nilai %BIAS terendah

sebesar -0.01% dan tertinggi sebesar 26.58%. Nilai besarnya kesalahan terendah 1.42 m³/det dan tertinggi sebesar 3.92 m³/det. Nilai rata-rata runoff bulanan hasil simulasi dari model berkisar antara 5.7 m³/det hingga 8.8 m³/det.

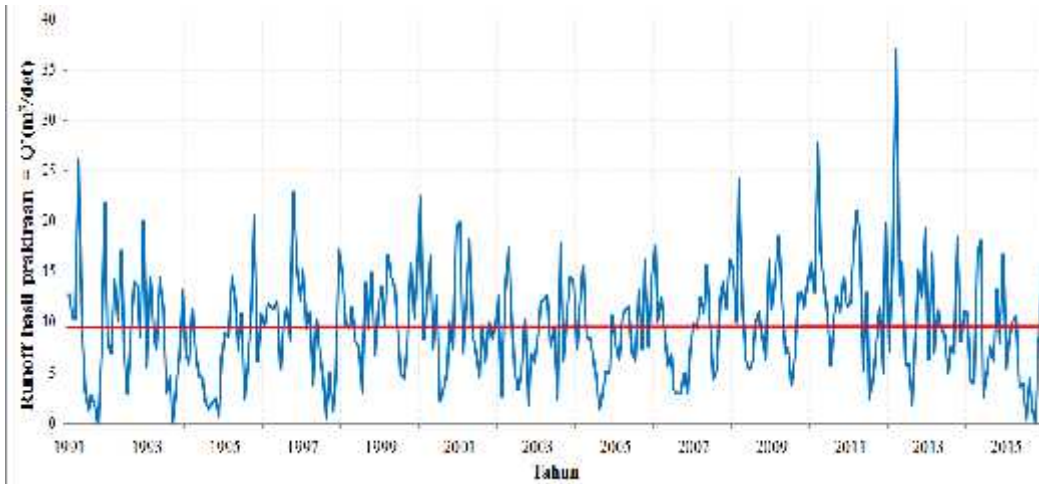
Tabel 6. Persamaan regresi linier berganda prakiraan runoff (Q) dengan lima dan enam variabel peubah (P).

No. Model	Persamaan Regresi	Koef. Determinan (R ²)	Standard Error		Rata-Rata Runoff (Q')
			%BIAS	RMSE	
M.1	$Q = -0.26 - 0.018P_1 + 0.095P_2 - 0.184P_3 - 0.245P_4 + 0.281P_5 + 0.135P_6$	0.767	-0.01	1.42	5.9
M.2	$Q = -0.13 + 0.013P_1 + 0.023P_2 - 0.258P_3 - 0.157P_4 + 0.431P_5$	0.654	-1.73	1.74	5.7
M.3	$Q = 0.59 - 0.203P_1 + 0.279P_2 - 0.119P_3 - 0.083P_4 + 0.172P_6$	0.709	-0.05	1.59	5.9
M.4	$Q = 0.78 - 0.233P_1 + 0.263P_2 - 0.197P_3 + 0.097P_5 + 0.110P_6$	0.710	26.58	3.92	8.8
M.5	$Q = 1.32 - 0.003P_1 + 0.108P_2 - 0.288P_4 + 0.039P_5 + 0.202P_6$	0.627	-0.42	1.79	5.9
M.6	$Q = -0.27 + 0.0750P_1 - 0.186P_3 - 0.315P_4 + 0.369P_5 + 0.126P_6$	0.758	-0.95	1.45	5.8
M.7	$Q = -0.32 + 0.0789P_2 - 0.184P_3 - 0.260P_4 + 0.296P_5 + 0.134P_6$	0.767	-0.96	1.43	5.8

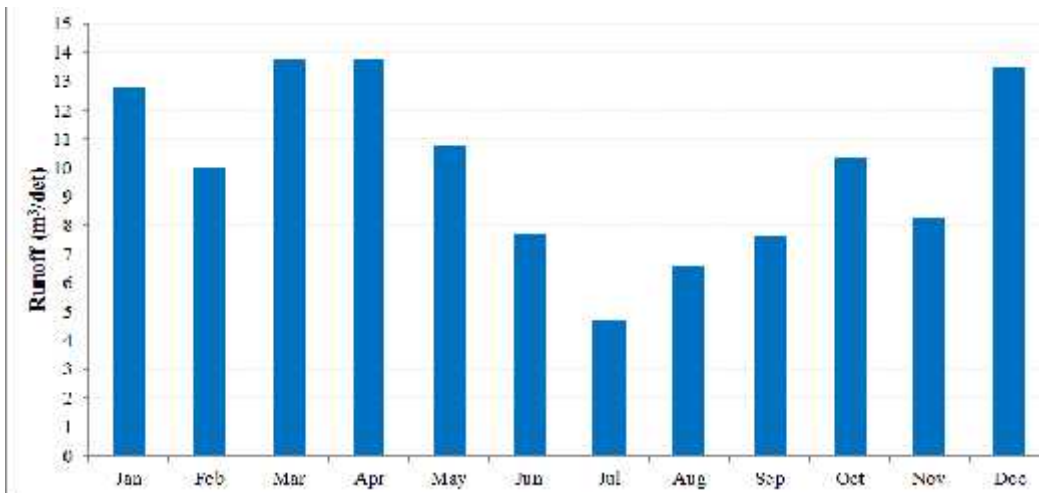
Pada Table 6 terlihat bahwa dari beberapa parameter (R², %BIAS dan RMSE) untuk penilaian model persamaan regresi linier berganda yang telah terbentuk menunjukkan bahwa persamaan dengan nomor model M.1 lebih baik dibandingkan model-model lainnya, sehingga untuk keperluan analisis data dalam penelitian ini dibatasi hanya menggunakan data yang dibangkitkan dari persamaan regresi $Q = -0.26 - 0.018P_1 + 0.095P_2 - 0.184P_3 - 0.245P_4 + 0.281P_5 + 0.135P_6$. Dengan menggunakan persamaan tersebut akan direkonstruksi data runoff bulanan di DAS Paninggahan pada periode tahun 1991 hingga 2015, yaitu dengan cara memasukkan data curah hujan bulanan model CHIRPS (P₁-P₆) yang berfungsi sebagai variabel bebas kedalam persamaan tersebut pada periode bulan Januari 1991 hingga Desember 2015. Deret data hasil rekonstruksi seperti terlihat pada Gambar 2, sedangkan data rata-rata bulanan terlihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 23 terlihat variabilitas bulanan nilai runoff di *outlet* DAS Paninggahan. Nilai runoff tertinggi terjadi pada bulan Maret 2012 sebesar 37.0 m³/det, diikuti dengan kejadian pada bulan Maret 2010 sebesar 27.8 m³/det. Nilai runoff kurang

dari 1.0 m³/det terjadi pada bulan Oktober 1991, September 1993, November 1994, Agustus 1997, Juli dan Oktober 2015. Sementara nilai runoff rata-rata bulanan selama periode tersebut sebesar 9.7 m³/det.



Gambar 23. Grafik runoff bulanan hasil prakiraan di DAS Paninggahan periode tahun 1991-2015 dengan menggunakan persamaan regresi linier berganda $Q = -0.26 - 0.018P_1 + 0.095P_2 - 0.184P_3 - 0.245P_4 + 0.281P_5 + 0.135P_6$. Garis merah merupakan nilai runoff rata-rata bulanan hasil prakiraan selama tahun 1991-2015, sebesar 9.7 m³/det.



Gambar 24. Grafik pola rata-rata runoff bulanan periode 1991-2015 di DAS Paninggahan.

Pada Gambar 24 terlihat pola rata-rata runoff bulanan periode 1991-2015 di DAS Paninggahan. Nilai runoff tertinggi terjadi pada bulan Maret dan April sebesar 13.8 m³/det, diikuti pada bulan Desember dan Januari dengan nilai masing-masing sebesar

lebih besar $13.5 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $12.8 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan nilai runoff terendah sebesar $4.4 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $6.6 \text{ m}^3/\text{det}$ masing-masing terjadi pada bulan Juli dan Juni.

Metode RRM untuk memprakirakan besarnya nilai runoff sangat bermanfaat dan aplikatif untuk wilayah DAS yang tidak mempunyai alat ukur (*ungauge basin*). Hasil prakiraan runoff bulanan di DAS Paninggahan sangat bermanfaat untuk memprakirakan kebutuhan air untuk pola tanam, khususnya padi di wilayah tersebut.

Prakiraan runoff di DAS Paninggahan yang didasarkan persamaan regresi dengan parameter peubah berupa curah hujan hasil model (CHIRPS) sangat tergantung dari akurasi model tersebut. Prakiraan runoff menggunakan metode stokastik dengan model statistik regresi linier berganda antara curah hujan dan runoff dapat diterapkan secara baik pada skala lokal. Metode stokastik yang hanya berdasarkan pada fitting data hujan dan runoff sehingga persamaan yang terbentuk sangat tergantung dari ketersediaan dan kualitas data tersebut (Patel, dkk., 2016).

Sebaran titik-titik yang dijadikan variabel bebas juga sangat menentukan bagus tidaknya hasil model, dalam hal ini kelebihan dari CHIRPS mempunyai resolusi spasial yang sangat tinggi sehingga mempunyai keberagaman nilai. Hasil uji hubungan curah hujan CHIRPS dengan data observasi di wilayah DAS Paninggahan menunjukkan performa yang baik. Untuk mendapatkan nilai curah hujan model yang mendekati nilai curah hujan yang sebenarnya perlu dilakukan uji dengan menggunakan series data yang lebih panjang dengan melibatkan titik-titik pengamatan hujan yang lebih banyak yang ada di sekitar wilayah DAS Paninggahan. Uji signifikansi terhadap data-data yang terlibat dalam pembuatan persamaan akan meningkatkan keakuratan hasil model yang dibuat (Sharp, dkk., 1960).

Penelitian lanjutan tentang prakiraan runoff dengan menggunakan pendekatan *rainfall-runoff model* (RRM) yang harus dilakukan adalah dengan melibatkan factor karakteristik fisik dari DAS dan data iklim lainnya (tidak hanya curah hujan). Metode RRM yang dibangun dengan metode stokastik akan lebih dapat diterima hasilnya jika metode tersebut juga mempertimbangkan kondisi fisiografi tempat dimana proses runoff terjadi, misalnya mempertimbangkan bentuk lereng dan tutupan lahan di wilayah DAS (Khosravi, dkk., 2013).

4.4 Kondisi Sosial Ekonomi

Seperti wilayah lainnya di Indonesia yang beriklim tropis, Paninggahan berada pada ketinggian 400-600 meter di atas permukaan laut. Suhu udara menunjukkan sedang dengan temperatur $19^{\circ} - 28^{\circ} \text{ C}$. Suhu rata-rata mencapai 22° C , dengan kelembaban rata-rata 83%. Angin di daerah Paninggahan berhembus cukup kencang. Masyarakat lokal menyebutnya dengan angin *hulu* dan ada juga yang menyebutnya dengan angin *dulu*. Barangkali sebutan itu diilhami dari arah tiupan angin yang berhembus dari Barat ke Timur dimana terhampar danau sepanjang Timur Daerah Paninggahan. Hembusan angin ini pada puncaknya sering mengakibatkan malapetaka dan bencana bagi lingkungan masyarakat karena pohon dan dahan kayu yang roboh. Musim hujan di Paninggahan terjadi pada sekitar Maret – Juli, dan kemarau Februari. Sedangkan musim peralihan atau pancaroba Agustus – Oktober. Terlihat intensitas hujan lebih lama dari musim kemarau. Curah hujan relatif tinggi 1.484 mm/tahun, dengan rata-rata 231 mm/tahun.

Di Paninggahan terdapat beberapa aliran anak sungai dan sumber mata air. Namun satu-satunya sungai yang aktif mengalirkan air hingga ke danau Singkarak baik musim kemarau apalagi musim hujan adalah Batang Paninggahan. Batang Paninggahan melintasi sekaligus menjadi batas simbol alam antara dua Jorong Subarang dan Parumahan. Sumber mata air yang cukup besar dan aliran bahkan membentuk sebuah sungai kecil terletak di Jorong Kotobaru di Nagari Paninggahan Kecamatan Junjung Sirih Kabupaten Solok Sumatera Barat. Mata air yang melekat dengan sebutan lokal *mato aia* (mata air) atau *kapalo aia* (hulu Air) ini terletak di pinggir desa, digaris pinggang bukit Junjung Sirih.

Kedua sumber daya air ini dapat dipastikan erat kaitannya dengan hutan bukit Junjung Sirih dan jajaran bukit lain dengan hutannya. Memang batang Paninggahan dan mata air (*kapalo aia*) berada dekat dan berhulu dari hutan jajaran bukit Junjung Sirih. Termasuk sungai yang mengalirkan air ke Muaro Pingai dan Saningbakar bergantung pada keadaan resapan air hutan di bukit tersebut. Meskipun sungai-sungai dan mata air mengalir ke tempat dan daerah yang berbeda, namun hulu Air menunjukkan dari arah jajaran bukit dan hutan yang sama.

Kedua sumber air utama di Paninggahan itu dimanfaatkan untuk berbagai keperluan masyarakat. Pemanfaatan aliran sungai Batang Paninggahan dan *mato/kapalo aia* (mata air) terlihat sebagai sumber utama irigasi teknis dan pengairan tradisional lahan pertanian padi sawah sebagai usaha pertanian pokok penduduk. Untuk irigasi teknis dalam skala besar saja, batang Paninggahan terdapat dua unit yang hulunya terletak di dusun Kotobasi. Pengairan teknis ini mengalirkan air ke lahan-lahan sawah yang terdapat di jorong Parumahan. Sedangkan irigasi yang satunya terletak hulunya di dusun Cacang-Batua mengalirkan air bagi sebagian besar areal persawahan di jorong Subarang. Itu belum terhitung pengairan tradisional yang jumlahnya puluhan dan memanfaatkan aliran sungai batang Paninggahan

Sementara itu *mato/kapalo aia* (mata air) yang membentuk aliran sungai kecil mengalirkan air ke lahan-lahan pertanian sawah bagi jorong Kotobaru-Tambak, Gando, Kampung Tengah dan Ganting Padang Palak. Letak *mato/kapalo aia* (mata air) di jorong Kotobaru diketinggian dan debit airnya hampir tidak pernah berubah pada musim kemarau sekalipun menjadikan aliran dan distribusi airnya cukup luas ke beberapa tempat di Paninggahan. Bahkan mata air ini disalurkan dengan pipa dan pada jarak tertentu dipinggir-pinggir jalan dibuat bak penampungan bagi keperluan air bersih penduduk. Belakangan juga dialirkan ke rumah-rumah penduduk dan dikelola oleh pemerintahan nagari setempat. Pemanfaatan lainnya adalah untuk kebutuhan sumber air minum, memasak, mandi dan mencuci, perikanan.

Pemanfaatan khusus dan unik aliran sungai Batang Paninggahan adalah sebagai *alahan*. Banyak diantara kita tidak tahu apa itu *alahan*? *Alahan* bagi masyarakat Paninggahan bukan hal asing lagi. Meskipun *alahanbilih* dari danau Singkarak. Bagaimana proses dan metodenya? Silahkan ikuti tulisan ke terkait dengan judul *Alahan Ikan Bilih dan Mangutang* di Muara Batang Paninggahan. hanya diusahakan sebagian masyarakat dengan garis kerabatnya. Namun keberadaannya sejak lama dan erat kaitannya dengan metoda mengambil ikan langka.

Kondisi social ekonomi masyarakat Paninggahan sangat bergantung pada sumber daya alam yang dimiliki Nagari Paninggahan. Mata pencaharian masyarakat Paninggahan mayoritas sebagai petani padi dan parak (cengkeh, mahoni, surian, durian, kopi, pinang, coklat) dan sebagian kecil mata pencaharian masyarakat Paninggahan adalah sebagai

nelayan ikan bilih. Ikan bilih merupakan komoditi utama danau Singkarak. Masyarakat memanfaatkan sumber daya danau untuk memenuhi kebutuhan ekonomi rumah tangganya. Saat ini sumber pendapatan yang berasal dari danau tidak begitu banyak dilakukan masyarakat Paninggahan. Hal ini disebabkan oleh jumlah ikan bilih yang menurun sejak 10 tahun terakhir. Selain itu, alternative pekerjaan masyarakat di Nagari Paninggahan adalah sebagai tukang bangunan dan pedagang musiman. Masyarakat paninggahan juga melakukan usaha tani bawang, namun karena penyakit tanaman dan harga yang anjlok dan sering mengalami gagal panen sehingga penerimaan petani bawang menjadi rendah.

Sector pertanian sawah begitu dominan diusahakan di nagari paninggahan. *Bareh Solok* yang terkenal karena kualitas dan keunggulan-keunggulannya sebagian diproduksi di Nagari Paninggahan. Di Nagari Paninggahan terdapat beberapa aliran anak sungai dan sumber mata air. Namun satu-satunya sungai yang aktif mengalirkan air hingga ke danau Singkarak baik musim kemarau dan musim hujan adalah Batang Paninggahan. Sumber air utama di Paninggahan tersebut dimanfaatkan sebagai sumber irigasi teknis dan pengairan tradisional lahan pertanian padi sawah (Yuerlita dkk, 2016).

4.4 Irigasi di Sungai Paninggahan

Masyarakat yang hidup di sekitar wilayah sungai biasanya memenuhi kebutuhan MCK melalui air yang berasal dari sungai, begitu pun yang terjadi pada masyarakat di sekitar Sungai Paninggahan. Sebagian dari mereka mengambil air secara langsung dari sungai, namun sebagian yang lain mengambil air melalui saluran-saluran irigasi. Apabila saluran irigasi cukup dekat dari tempat tinggal, mereka secara langsung memanfaatkan saluran irigasi untuk aktivitas MCK. Namun, jika letak saluran irigasi cukup jauh dari tempat tinggal, mereka biasanya menggunakan mesin air sebagai alat penyedot air .

Sumber daya air di Sungai Paninggahan juga digunakan untuk mengairi persawahan yang terdapat di dua Jorong, yaitu Jorong Subarang dan Parumahan. Terdapat hampir 400 Ha lahan pertanian yang diairi oleh Batang Paninggahan. Pengairan ini dilakukan dengan pembangunan sistem irigasi baik irigasi teknis, semi teknis maupun konvensional (*peliritan*).



Gambar 25. Bentuk Pemanfaatan Air Sungai Paninggahan

1. Deskripsi Umum Sistem Irigasi

Sepanjang Sungai Paninggahan terdapat 7 sistem irigasi (masyarakat lokal menyebutnya dengan istilah *bandar*). Sistem irigasi ini terletak di Jorong Subarang dan Jorong Parumahan. Bandar Rotan, Bandar Batu Basih, Bandar Lubuk Panjang dan Bandar Bunian merupakan irigasi yang terletak di Jorong Subarang. Sedangkan Bandar Pauh, Bandar Batu Puruih dan Bandar X (Belum teridentifikasi) merupakan irigasi yang terletak di Jorong Parumahan.

Tabel 7. Daftar sistem irigasi sepanjang Sungai Paninggahan

NO.	Nama Sistem Irigasi	Jenis Irigasi*	Status Pengelolaan	Kr/Kn**	Letak	Areal Sawah (ha)
1	Bandar Rotan	ST	Petani	Kr	Sabarang	20
2	Bandar Pauh	T	P3A	Kn	Parumahan	275
3	Bandar Batu Basih	ST	Petani	Kr	Sabarang	No data
4	Bandar Lubuk Panjang	K	Petani	Kr	Sabarang	No data
5	Bandar Batu Puruih	ST	No data	Kn	Parumahan	No data
6	Bandar Bunian	T	GP3A	Kr	Sabarang	97
7	Belum teridentifikasi	STs	No data	Kn	Parumahan	No data

*K=Konvensional; ST=Semi Teknis; T=Teknis

**Kr/Kn = Kiri/ Kanan dari Sungai

a. Bandar Rotan

Bandar rotan merupakan irigasi yang letaknya paling jauh dari pemukiman. Untuk mencapai kepala bandarnya dibutuhkan jarak tempuh lebih kurang 4 km dengan jalanan terjal dan mendaki. Bandar rotan yang sebelumnya konvensional dibetonisasi oleh PU Pengairan Kabupaten Solok pada tahun 2014. Namun pada tahun 2015 Kepala Bandar rotan rusak akibat terjangan air. Menurut para petani yang sawahnya dialiri oleh saluran irigasi ini, pembangunan yang dilakukan PU Pengairan tidak melibatkan masyarakat dalam perencanaannya, sehingga konstruksinya tidak sesuai dengan arah aliran air. Selain itu terdapat indikasi penyimpangan anggaran dalam proses pembangunannya.

Rusaknya Bandar Rotan membuat lebih kurang 20 hektar sawah mengalami kesulitan dalam memperoleh air. Hingga saat ini, belum ada perbaikan yang dilakukan, kecuali perbaikan yang dilakukan secara swadaya oleh petani. Petani melakukan iuran dan gotong royong pada setiap musim tanam untuk memperbaiki bandar ini. Para Petani mengeluhkan hasil panen yang berkurang akibat air yang kurang, sehingga sawah-sawah yang dialiri oleh Bandar Rotan terancam dikonversi menjadi ladang/ parak di masa yang akan datang.

b. Bandar Pauh

Irigasi Bandar Pauh terletak di Jorong Parumahan. Kepala irigasi ini terletak dibawah Kepala Irigasi Bandar Rotan di sisi yang berlainan dari Sungai Batang paninggahan. Irigasi Bandar Pauh mengairi hampir 275 Ha. Irigasi Bandar Pauh telah tergolong irigasi teknis. Irigasi Bandar Pauh kerap kali mendapat bantuan pembangunan dan perbaikan dari pemerintah. Saat ini Bandar Pauh sedang membangun pintu air untuk mengontrol jumlah air yang masuk ke saluran irigasi.

c. Bandar Batu Basih

Bandar ini merupakan bandar semi teknis. Bandar ini dibuat untuk mensuplai air ke sawah-sawah yang sebelumnya dialiri oleh Bandar Rotan. Pada Tahun 2015, bandar ini memperoleh dana BANSOS dari Dinas Pertanian Kabupaten Solok untuk melakukan betonisasi. Sebagian tali bandar dipermanenkan, namun kepala bandar tidak. Bagian beton yang terlihat di kepala bandar adalah hasil swadaya masyarakat. Bandar Batu Basih, masih berfungsi dengan kapasitas yang sangat terbatas.



Gambar 26. Bandar batu Basih

d. Bandar Lubuk Panjang

Bandar Konvensional (*peliritan*) dibawah Bandar Bunian ini merupakan bentuk dari usaha petani dalam mencari alternatif pengairan untuk sawah mereka pasca rusaknya Bandar Rotan. Bandar ini dibuat secara bersama oleh petani.



Gambar 27. Bandar Lubuk Panjang

e. Bandar Bunian

Bandar Bunian merupakan irigasi teknis yang dibangun pada tahun 1984 dengan dana dari pemerintah. Bandar ini mengairi sawah seluas lebih kurang 100 ha. Saluran utamanya membentang dari Batang Panningahan hingga perbatasan dengan Nagari

Malalo, sedangkan aliran airnya mengalir dari bawah Dusun Cacang hingga ke tepian Danau Singkarak.

Bandar ini memiliki sejarah yang panjang. Dahulu, sebelum dibangun permanen oleh pemerintah, Bandar Bunian merupakan bandar konvensional hasil swadaya masyarakat. Setiap hari Jumat, masyarakat bergotong royong membersihkan dan membenahi bandar tersebut. Tanam serentak pun kerap dilakukan, mengingat terbatasnya jumlah air yang dapat ditampung dan disalurkan oleh oleh irigasi konvensional ini.

Pada tahun 1984, pemerintah menjadikan Bandar Bunian sebagai irigasi teknis. Bersama dengan pembangunan ini, dibentuk pula Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A) Usaha Bahagia, dengan ketua Pak Haji Ali. Sebelumnya, Pak Haji Ali merupakan orang yang dipercaya untuk mengurus irigasi konvensional Bandar Bunian. Pak Haji Ali mengurus P3A selama lebih kurang 20 tahun, dari tahun 1980 hingga tahun 2000. Pada tahun 1993 P3A Bandar Bunian menerima penghargaan sebagai juara harapan 1 tingkat Provinsi Sumatera Barat. Saat ini P3A Usaha Bahagia telah meningkat statusnya menjadi GP3A yang menghimpun dua P3A di dalamnya. GP3A Usaha Bahagia berjalan dengan baik bahkan mampu mendapatkan berbagai sumber dana terkait pembangunan dan perawatan irigasi, termasuk Dana dari Bank Dunia.



Gambar 28. Bandar Bunian

4.5 Isu Sosial-ekonomi dan Kelembagaan dalam Pengelolaan Sumber Daya Air

a. Kondisi Sosial-ekonomi Pengguna Air

Masyarakat di sekitar Sub DAS Paninggahan utamanya bermata pencaharian sebagai petani, beberapa dari mereka memiliki pekerjaan sampingan sebagai pedagang. Pada umumnya masyarakat dan petani di Sekitar Batang Paninggahan kecukupan sumber daya air. Sungai Paninggahan tidak pernah kering meskipun musim kemarau, hanya debit airnya saja yang berkurang. Bahkan dengan sistem irigasi yang ada saat ini para petani mampu memanen padi 3 kali dalam setahun, dengan masa tanam yang bervariasi. Terdapat 3 varietas padi yang umum ditanam di Daerah Paningagahan, yaitu: Padi Sokan, Padi Anak Daro dan Padi Batang Piyaman. Pada Musim tanam yang lalu, petani di Paninggahan mengalami penurunan jumlah produksi akibat hama wereng dan tikus. Saat ini petani memilih menanam varietas Batang Piyaman, karena terkenal akan daya tahannya terhadap hama dan penyakit.

Rata-rata dalam satu kali panen, petani dapat memproduksi beras 3600 Kg/Ha, dengan biaya produksi mencapai Rp. 14.500.000/Ha/masa tanam. Dengan harga jual beras saat ini Rp 8.000 - 9.000 untuk padi varietas Batang Piyaman, Rp 10.000-11.000 untuk padi varietas Sokan dan Rp 12.000 - Rp 13.500 untuk varietas anak dara, petani dapat meraup untung Rp14.000.000- Rp 20.000.000/Ha/masa panen, bergantung pada varietas yang ditanam. Umumnya petani di sekitar DAS Paninggahan menggunakan pupuk dan pestisida kimia dalam proses produksi padi. Penggunaan pupuk dan pestisida kimia ini biasanya dicampur antar berbagai merk, sesuai dengan usia padi dan ketersediaan produk di pasaran. Pupuk utama yang digunakan adalah urea dan NPK.

Selain padi, komoditas lain yang ditanam oleh petani di sekitar Sub DAS Paninggahan adalah Bawang Merah, Jagung, Cabai dan beberapa tanaman hortikultura lainnya. Pada umumnya, para petani juga memiliki kebun campuran (*parak*) di wilayah bagian atas Sub DAS Paninggahan. Komoditas yang ditanam di kebun campuran ini antara lain, Cengkeh, Kemiri, Pinang, dan tanaman buah.

b. Kelembagaan dalam Pengelolaan Sumber Daya Air

Pengelolaan air di DAS Paninggahan terdiri dari dua bentuk, baik itu melalui Gabungan Perkumpulan Petani Pemakai Air/ Perkumpulan Petani Pemakai Air (GP3A/ P3A) dan melalui petani. Pengelolaan melalui GP3A/ P3A dapat ditemui pada Bandar Pauh, Bandar Batu Puruih dan Bandar Bunian. Bandar Pauh dikelola oleh... Sedangkan Bandar Bunian dikelola oleh GP3A Usaha Bahagia yang menaungi 2 P3A. Sedangkan pengelolaan yang dilakukan oleh petani dapat dilihat pada Bandar Rotan, Bandar Batu Basih, Bandar Lubuk Panjang dan Bandar X (masih dugaan).

Kelembagaan dalam pengelolaan sumber daya air terbukti sangat berpengaruh pada ketersediaan air. Bandar yang memiliki kelembagaan dalam hal ini GP3A/ P3A lebih mudah mendapat akses dan bantuan untuk pembangunan dan perawatan dari instansi terkait, meskipun terdapat beberapa kelemahan yang akan kami sampaikan pada pembahasan selanjutnya. Sebagai contoh, petani-petani yang sawahnya di aliri oleh Bandar Rotan, mengaku sulit mendapatkan bantuan dari pemerintah untuk memperbaiki kerusakan Bandar Rotan akibat terjangannya Banjir Bandang.

Adat memiliki pengaruh dan peranan yang besar dalam kehidupan masyarakat di Sumatera Barat. Pengaruh ini juga terlihat pada masyarakat di sekitar Sub DAS Paninggahan. Sebagai contoh, kepemilikan lahan, baik itu lahan basah (sawah) maupun lahan kebun campuran (*parak*) diatur oleh aturan adat dalam bentuk *tanah ulayat*, meskipun pada beberapa kasus, petani dapat menyewa lahan atau bahkan memiliki lahan dengan sertifikat hak milik. Pengaruh dan peranan adat juga terlihat dalam aspek pengaturan irigasi lahan pertanian, yang mana pada umumnya, penghulu adat sering merangkap jabatan sebagai ketua di GP3A/ P3A. Pengaruh yang kuat serta kepemilikan modal sosial menjadi salah satu alasan mengapa penghulu adat sering menempati posisi dan peran strategis di daerah ini.

c. Permasalahan Air dan Penyelesaiannya

Hasil penelitian Pujilestari (2009), memperlihatkan bahwa secara umum, ketersediaan sumber daya air di Sungai Paninggahan cukup untuk lahan pertanian di daerah ini. Namun potensi defisit air ditimbulkan oleh masa tanam yang tidak teratur, terutama saat musim kemarau. Selain itu, saat ini sawah-sawah yang letaknya di sekitar Bandar Rotan, Bandar Batu Basih dan Bandar Lubuk Panjang menghadapi kesulitan air

akibat kondisi sistem irigasi yang tidak memadai. Kondisi ini dapat mengancam eksistensi sawah yang ada di daerah tersebut. Terbukti, beberapa sawah yang berada di daerah tersebut telah ditinggalkan petani dan dikonversi menjadi kebun campuran (*parak*).

Aspek sosial dan ekonomi pun tidak luput dari permasalahan terkait irigasi ini. Permasalahan terkait distribusi air pernah terjadi sebelum adanya irigasi teknis. Terutama di daerah yang saat ini dialiri oleh Bandar Pauh. Ketika itu, kerap kali terjadi konflik antar petani di sekitar Jorong Parumahan. Petani berebut sumber daya air, hingga sampai beberapa kali terjadi tindak pidana pembunuhan. Pada tahun 1999, adanya pengaruh besar tokoh adat pada lembaga P3A serta bantuan dana dari pemerintah, membuat Bandar Pauh perlahan-lahan dibangun dan diperbaiki. Sehingga, saat ini para petani dapat memanen padi 3 kali dalam setahun, bahkan dengan masa tanam yang variatif. Kecukupan sumber daya air dan adil dalam pendistribusian membawa manfaat bagi petani hingga konflik antar petani pun perlahan hilang.

Disisi lain, masyarakat yang telah dimanjakan oleh irigasi teknis perlahan-lahan mulai meninggalkan budaya gotong royong yang dahulu rutin dilaksanakan. Sehingga, rasa memiliki terhadap fasilitas irigasi ini mulai terkikis. Ini tampak dari belum terlihatnya kemandirian masyarakat dalam memelihara jaringan irigasi. Mereka lebih sering meminta bantuan pemerintah dan minim inisiatif dalam pemeliharaan jaringan irigasi. Indikasi ini terlihat dari belum adanya iuran untuk pemeliharaan irigasi.

Permasalahan ini, berbanding terbalik dengan petani-petani yang sawahnya berada di jaringan irigasi Bandar Rotan, Bandar Batu Basih dan Bandar Lubuk Panjang. Di satu sisi mereka mengalami kesulitan air akibat jaringan irigasi yang belum baik. Tapi, di sisi lain nuansa gotong-royong dan kebersamaan masih terlihat. Pada setiap masa panen atau masa tanam, mereka berkontribusi uang dan tenaga untuk perbaikan dan pemeliharaan jaringan irigasi. Besarannya pun bervariasi antara Rp 10.000-15.000 per masa panen.

4.6 Partisipasi Petani dalam Pengelolaan Jaringan Irigasi

Keterlibatan petani dalam hal pengelolaan dapat mengupayakan terbangunnya sistem irigasi yang lebih baik dan merata dalam pengelolaannya dan pendistribusian air

irigasi tersebut. pada bagian ini akan membahas terlibatan petani dalam setiap rangkaian pengelolaan irigasi yang ada di Nagari Paninggahan.

1. Partisipasi petani dalam proses perencanaan

Pengelolaan air irigasi dari hulu (*upstream*) sampai dengan hilir (*downstream*) memerlukan sarana dan prasarana irigasi yang memadai. Diawali dengan pemberian informasi kepada masyarakat dan perumusan perencanaan bangunan irigasi yang perlu melibatkan masyarakat sebagai bagian dari proses pembangunan yang partisipatif. Pada bagian ini akan diuraikan keterlibatan petani dan tingkat partisipasi petani dalam proses perencanaan pembangunan irigasi.

a. Keterlibatan petani dalam merumuskan rencana pembangunan

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini, Nagari Paninggahan memiliki 5 irigasi teknis yang terletak dibeberapa jorong. Irigasi dibangun untuk mengaliri air secara merata ke petak sawah yang ada di Paninggahan. Menurut sejarahnya irigasi telah dibangun pada tahun 1980an. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa Pembangunan irigasi dilakukan oleh masyarakat dalam hal ini tokoh masyarakat, tokoh adat, dan kelompok tani atas dana dari pemerintah kabupaten solok dan pemerintah provinsi, hal ini dapat dilihat dari pengetahuan petani terhadap informasi rencana pembangunan dan pihak-pihak yang terlibat seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 8. Pengetahuan petani tentang rencana pembangunan irigasi

No.	Pengetahuan petani	Tau	Tidak tau
1	Informasi tentang pihak-pihak yang terlibat dalam perencanaan pembangunan	32,7	67,3
2	Informasi rencana pembangunan	28,8	71,2

Berdasarkan tabel diatas, terdapat 32,7% petani mengaku mengetahui pihak-pihak yang terlibat dalam perencanaan pembangunan irigasi dan 67,3% petani mengaku tidak mengetahui pihak-pihak yang terlibat dalam perencanaan. Sementara itu, hanya 28,8 % petani yang memperoleh informasi secara langsung dari pemerintah lokal tentang rencana pembangunan irigasi dan 71,2 % tidak mengetahui secara langsung informasi tersebut.

Minimnya petani yang mengetahui informasi rencana pembangunan mengindikasikan bahwa komunikasi antara pemerintah dengan masyarakat belum

berjalan dengan baik. Pola komunikasi yang dibangun selama ini masih menggunakan pendekatan legal struktur melalui pemberitahuan kepada ketua jorong setempat. Dari sinilah kemudian pangkal kemacetan jalur komunikasi sering terjadi yaitu tidak selalu berlanjutnya informasi rencana pembangunan kepada masyarakat di wilayah tersebut, sehingga ada beberapa petani yang menyatakan tidak mengetahui informasi rencana pembangunan.

Dalam proses perencanaan pembangunan, masyarakat diundang untuk ikut serta dalam merumuskan rencana pembangunan irigasi tersebut. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, undangan partisipasi petani dalam merumuskan rencana pembangunan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 9. Keterlibatan petani dalam merumuskan rencana pembangunan irigasi

No.	Keterlibatan petani	Jumlah (%)
1	Terlibat	26,9
2	Tidak terlibat	73,1

Berdasarkan tabel diatas, keterlibatan petani dalam merumuskan rencana pembangunan dapat dilihat dari jumlah persentase petani yang menerima undangan untuk ikut dalam tahap perencanaan. Sebanyak 26,9% petani menerima undangan terlibat dalam proses perumusan rencana pembangunan irigasi di Nagari Paninggahan. Selanjutnya sebesar 73,1% petani responden mengaku tidak menerima undangan untuk terlibat dalam proses perumusan rencana pembangunan irigasi. Hal ini menunjukkan bahwa keterlibatan petani yang ditandai dengan undangan yang diperoleh petani untuk terlibat dalam proses perumusan rencana pembangunan irigasi tergolong rendah. Keterlibatan masyarakat dalam perumusan rencana hanya melalui kelompok tani sebagai perwakilan dari masyarakat pengguna air.

b. Keterlibatan petani dalam kegiatan pembangunan bangunan irigasi

Bangunan irigasi yang dibeton dan bersifat permanen merupakan ciri dari irigasi teknis. Pada irigasi teknis yang ada di Paninggahan, pembangunan irigasi selain melibatkan dinas pekerjaan umum, juga melibatkan masyarakat. Keterlibatan petani

dalam kegiatan pembangunan jaringan irigasi dapat dilihat pada tabel dibawah sebagai berikut:

Tabel 10. Keterlibatan petani dalam kegiatan pembangunan bangunan irigasi

No.	Keterlibatan petani	Jumlah (%)
1	Terlibat	43,3
2	Tidak Terlibat	56,7

Berdasarkan tabel diatas, keterlibatan petani dalam mengusulkan kegiatan pembangunan irigasi dapat dilihat dari jumlah persentase keterlibatan yaitu sebesar 43,3% petani responden terlibat dalam kegiatan pembangunan, sementara itu 56,6% lainnya tidak terlibat dalam mengusulkan kegiatan pembangunan jaringan irigasi yang ada di Paninggahan. Hal ini menunjukkan bahwa respon masyarakat terhadap adanya pembangunan irigasi dapat dikatakan cukup baik. Dengan terlibatnya hampir sebagian petani dalam kegiatan pembangunan, hal ini mengindikasikan bahwa dalam proses pembangunan masyarakat sebagai pengguna air mendapatkan ruang untuk memberikan gagasan, pikiran dan tenaganya agar dapat menciptakan pembangunan irigasi yang adil dan merata. Partisipasi masyarakat ini diwujudkan dalam bentuk gotong royong. gotong royong ini merupakan inisiatif petani yang akan memanfaatkan air irigasi untuk pengairan sawah mereka.

c. Keterlibatan petani dalam pembentukan P3A

Dari lima irigasi teknis yang ada di Nagari Paninggahan terdapat P3A sebagai organisasi yang mengatur dan mengelola irigasi. P3A dibentuk bersamaan dengan dibangunnya irigasi di Paninggahan, untuk melihat pengetahuan petani tentang P3A dan keterlibatan petani dalam pembentukan P3A dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 11. Keterlibatan petani dalam pembentukan P3A

No.	Keterlibatan petani	Ada	Tidak ada
1	Informasi tentang pembentukan P3A	24	76
2	Keterlibatan petani dalam pembentukan P3A	13,5	86,5

Dari tabel diatas diperoleh bahwa 24 % petani mengetahui informasi tentang pembentukan P3A , tapi hanya 13,5 % petani yang terlibat dalam pembentukannya.

Sementara itu, 76% petani tidak mengetahui informasi tentang pembentukan P3A dan 86,5 % petani mengaku tidak terlibat dalam pembentukan P3A, artinya dari 86,5 % tersebut terdapat petani yang mengetahui informasi tentang pembentukan P3A namun pada akhirnya tidak semua petani yang mengetahui informasi tersebut terlibat dalam pembentukan P3A. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari masyarakat setempat, pembentukan P3A hanya melibatkan para tokoh masyarakat yang ada di Nagari Paninggahan. tokoh masyarakat pada mulanya merupakan tuo bandar yang memang bertugas untuk mengelola sumber air sebelum dibangunnya irigasi secara permanen, sehingga pemilihan dan pembentukan P3A tidak banyak melibatkan masyarakat luas.

2. Partisipasi petani dalam operasi dan pemeliharaan

Kinerja pengelolaan irigasi telah mengalami penurunan yang disebabkan oleh beberapa hal seperti : kegiatan perawatan; perbaikan atau pemeliharaan jaringan irigasi yang tertunda (*divert maintenance*); kerusakan karena ulah manusia dan bencana alam. Hal-hal tersebut menyebabkan kerusakan pada jaringan irigasi. Kontribusi masyarakat sebagai pengguna dan pengurus jaringan irigasi akan mempengaruhi pengelolaan yang baik dan merata bagi masyarakat pengguna air. Pada bagian ini akan diuraikan keterlibatan petani operasi dan memelihara jaringan irigasi.

a. Keikutsertaan petani dalam P3A

Peran masyarakat petani pengguna air dalam hal pengelolaan dan pemeliharaan jaringan irigasi bersama P3A akan berdampak pada ketersediaan air yang masuk ke petak sawah yang tersebar di Nagari Paninggahan. Keikutsertaan petani dalam lembaga P3A di Nagari Paninggahan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 12. Keikutsertaan petani sebagai anggota P3A

No.	Indikator	Jumlah (%)
1	Anggota P3A	24,0
2	Bukan Anggota P3A	76,0

Dari tabel diatas diperoleh bahwa sebanyak 24,0% petani responden merupakan anggota P3A, sedangkan 76,0% lainnya merupakan bukan anggota P3A. Berdasarkan angka persentase yang telah diperoleh menunjukan bahwa partisipasi masyarakat dalam

hal keikutsertaannya pada lembaga lokal yang mengelola jaringan irigasi sangat sedikit. Partisipasi masyarakat petani dalam P3A pada pengembangan dan pengelolaan sistem irigasi dimaksudkan untuk meningkatkan rasa memiliki, rasa tanggung jawab dan kemampuan perkumpulan petani pemakai air dalam rangka meningkatkan efisiensi, efektivitas dan keberlanjutan sistem irigasi partisipatif dimaksudkan untuk mewujudkan sistem penyelenggaraan yang memenuhi prinsip transparansi dan akuntabilitas. Hal ini belum terlaksana dengan baik pada setiap P3A yang ada di Nagari Paninggahan.

b. Peran dan tanggung jawab petani dalam memelihara jaringan irigasi

Adanya peran aktif petani dan P3A dalam kegiatan operasional dan pemeliharaan dapat menjamin keberlangsungan dan terjaganya kondisi dan fungsi jaringan irigasi yang telah dibangun. Berdasarkan hal diatas, peran dan tanggung jawab petani pengguna air irigasi dapat dilihat dari beberapa aspek yaitu sebagai berikut:

Tabel 13. Peran dan tanggung jawab petani dalam memelihara jaringan irigasi

No.	Aspek	Ya (%)	Tidak (%)
1	Kegiatan rutin pemeliharaan	78,8	21,2
2	Iuran pemeliharaan irigasi	18,3	81,7
3	Pelatihan dan penyuluhan	4,8	95,2

Dari tabel diatas dapat dilihat terdapat 3 aspek yang mewakili kontribusi masyarakat. Petani pengguna air dalam pemeliharaan jaringan irigasi, sebanyak 78,8 % petani pengguna air terlibat dalam kegiatan rutin pemeliharaan jaringan irigasi, 21,2% lainnya tidak terlibat dalam kegiatan rutin pemeliharaan irigasi. Kegiatan rutin pemeliharaan irigasi dilakukan dengan membersihkan saluran irigasi dari sampah atau rerumputan yang tumbuh di sekitar jaringan. Rumput dan sampah harus dibersihkan agar air irigasi dapat mengalir dengan lancar dan tidak tersumbat.

Berdasarkan tanggung jawab petani pengguna air, terdapat iuran yang di salurkan untuk melakukan pemeliharaan terhadap jaringan irigasi. Dari tabel diatas dapat dilihat persentase jumlah petani yang membayar iuran adalah sebesar 18,3% dan 81,7% lainnya tidak menerapkan iuran dalam pengelolaan jaringan irigasinya. Rendahnya persentase petani yang membayar iuran salah satunya dikarenakan belum meratanya penyebaran informasi keberadaan sistem iuran dari P3A kepada petani seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 14. Sosialisasi kepada petani terhadap keberadaan sistem iuran

No.	Sosialisasi keberadaan sistem iuran	Jumlah (%)
1	Tau	25
2	Tidak Tau	75

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa 25% petani mengetahui tentang adanya sistem iuran dalam pemeliharaan irigasi dan 75 % petani tidak mengetahui hal tersebut. Iuran digunakan untuk keperluan operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi secara rutin. Namun berdasarkan data yang diperoleh iuran hanya diterapkan pada irigasi bandar rotan yang rusak akibat bencana banjir bandang, ke empat P3A lainnya tidak melakukan pemungutan iuran langsung kepada petani pengguna air. Iuran yang diserahkan adalah dalam bentuk padi hasil panen yang nantinya dapat diuangkan untuk keperluan pemeliharaan irigasi. Iuran berlangsung hingga saat ini karena bangunan irigasi bandar rotan yang rusak belum tersentuh bantuan oleh pemerintah. Sehingga saat ini swadaya masyarakat dan pendanaan yang sedikit saja untuk memperbaiki bandar irigasi yang rusak. Sementara itu petani yang mendapatkan pelatihan dan penyuluhan tentang pengelolaan irigasi adalah sebanyak 4,8 % dan yang tidak sebanyak 95, 2 %. Menurut hasil wawancara petani yang mendapatkan pelatihan dan penyuluhan adalah petani yang termasuk dalam anggota P3A.

c. Keterlibatan petani dalam pendistribusian dan alokasi air irigasi

Irigasi merupakan bangunan yang difungsikan untuk menyalurkan air ke sawah-sawah yang berada di Nagari Paninggahan. Penyaluran air harus dilakukan secara merata agar dapat menghindari konflik yang akan terjadi. Apabila penyaluran air tidak merata, jumlah produksi padi akan menurun akibat kebutuhan air yang tidak berdasarkan perhitungan tumbuh kembang tanaman padi di sawah yang teraliri. Pengaturan penyaluran air menjadi bagian penting dalam pengelolaan air irigasi. Untuk dapat mengetahui informasi aturan formal dan informal yang mengatur pendistribusian air dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 15. Informasi aturan formal dan informal terhadap distribusi dan alokasi air

No.	Aspek	Ada (%)	Tidak (%)
1	Peraturan distribusi air	5,7	94,3
2	Peraturan alokasi air	28,8	71,2

Dari tabel diatas, peraturan distribusi air yang terdapat pada P3A irigasi di Nagari Paninggahan adalah sebanyak 5,7 % petani responden mengetahui aturan yang diberlakukan P3A dalam menyalurkan air ke petah sawah yang dialiri. Sedangkan sebanyak 94,3% lainnya mengatakan tidak ada aturan yang mengatur pendistribusian air irigasi ke petak sawah. Pada sistem alokasi air, sebanyak 28,8 % petani responden menyatakan terdapat aturan dalam mengalokasikan air ke sawah sawah yang dialiri, sedangkan 71,2 % lainnya mengatakan tidak terdapat aturan dalam pengalokasian air irigasi ke sawah yang ada di areal irigasi.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya pada Irigasi Usaha Bahagia dan bandar pauh saja distribusi air dikelola agar dapat mengalir air hingga ke sawah sawah yang berada di areal irigasi tersebut, irigasi lainnya tidak terdapat aturan dalam distribusi air. Pada Irigasi Usaha Bahagia, pendistribusian air diatur oleh ketua P3A yang merupakan penghulu atau pimpinan adat yang bertugas mengontrol laju air untuk didistribusikan ke sawah sawah yang dialiri. Pada Irigasi Usaha Bahagia, membukaan pintu air untuk mengalir air dilakukan oleh tokoh adat yang dalam hal ini merangkap sebagai ketua P3A. Sedangkan pada Irigasi Bandar Pauh pendistribusian air dilakukan oleh tuo bandardan juga P3A. Tuo bandar bertugas untuk mengatur pembukaan pintu air dan ketua P3A bertugas untuk memberikan arahan dan mengawasi penyaluran air sehingga air yang dialiri dapat mengalir ke sawah sawah hingga ke hilir aliran air. Seperti diketahui ketua P3A bandar pauh juga merupakan penghulu atau tokoh adat yang sekaligus merupakan pemimpin dalam hidup bermasyarakat.

Dalam hal alokasi air, pada umumnya pengalokasian air cukup dilakukan oleh petani pengguna air saja, musyawarah akan dilakukan petani hulu dan hilir bergantung pada kebutuhan air masing masingnya. Sehingga sesama petani pengguna air saling memahami kondisi sawah masing masing. Sejauh meninjauan dilapangan untuk mengalokasikan air irigasi ke sawah masing masing petani, pada bagian tepi bandar dan

pinggir pematang sawah dibuat saluran untuk dapat mengalir air adari bandar ke sawah sawah. Pada saat petani yang satu membutuhkan air lebih banyak daripada petani lainnya, maka kesepakatan membagi air dilakukan oleh kedua belah pihak.

d. Keterlibatan petani dalam penyelesaian konflik dalam pengelolaan irigasi

Distribusi dan alokasi air tidak dipungkiri akan menimbulkan konflik perebutan air antar petani pengguna air. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa pernah terjadi konflik perebutan air yang terjadi di irigasi bandar rotan. Perebutan air terjadi sebelum adanya P3A sebagai lembaga yang mengelola pendistribusian dan alokasi air. Menurut informasi masyarakat, konflik yang terjadi ketika itu adalah disebabkan penyaluran air yang tidak merata ke sawah – sawah yang dialiri air irigasi bandar rotan. Tabel berikut dapat menunjukkan keikutsertaan masyarakat petani pengguna air dalam menyelesaikan konflik yang terjadi.

Tabel 16. Jumlah petani yang terlibat dalam penyelesaian konflik

No.	Keterlibatan	Jumlah (%)
1	Terlibat	5,8
2	Tidak Terlibat	94,2

Berdasarkan tabel diatas, sebanyak 5,8% petani responden terlibat dalam penyelesaian konflik yang terjadi pada masyarakat pengguna air. Sedangkan 94,5% petani responden lainnya tidak terlibat dalam penyelesaian konflik yang terjadi. Berdasarkan pengelompokan data yang diperoleh dari hasil wawancara, petani pengguna air yang terlibat dalam penyelesaian konflik yang terjadi adalah umumnya merupakan petani pengguna air Irigasi Bandar Pauh. Hal ini dikarenakan permasalahan irigasi yang pernah terjadi adalah pada Irigasi Bandar Pauh.

Penyelesaian konflik perebutan air sejauh ini dilakukan oleh tokoh adat dan beberapa masyarakat petani pengguna air. Penyelesaian konflik tersebut dilakukan secara musyawarah agar memberikan solusi yang baik satu sama lain. pada kasus perebutan air di Irigasi Bandar Pauh yang dulu pernah terjadi penyelesaian konflik tidak hanya dilakukan oleh tokoh adat dan tokoh masyarakat saja, melainkan juga melibatkan aparat kepolisian. terlibatnya aparat kepolisian dalam menangani masalah perebutan air tersebut

karena telah menyebabkan korban jiwa yang merugikan salah satu pihak. untuk kasus perebutan air yang kecil hanya dilakukan dan diatasi oleh sesama petani saja. biasanya pertikaian terjadi hanya melalui perang mulut yang hanya mengakibatkan terganggunya kenyamanan bermasyarakat.

Secara keseluruhan konflik yang terjadi akibat perebutan air saat ini sangat jarang terjadi. hadirnya P3A telah mampu mengatasi permasalahan perebutan air dengan baik. mengingat saat ini ketua P3A pada umumnya merupakan penghulu atau tokoh adat yang merupakan panutan dalam kehidupan bermasyarakat. Selain itu, kesadaran masyarakat untuk membagi air nya ke sawah sawah yang lain menjadi dampak dari kejadian pertikaian yang pernah terjadi dimasa lampau.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Tutupan lahan di daerah tangkapan air semakin berkurang (hutan dan belukar berkurang), berganti dengan kebun campuran di kawasan hulu yang semakin bertambah. Lahan sawah juga semakin menurun, berkaitan dengan ketersediaan air dan perkembangan pemukiman. Masyarakat Paninggahan sangat bergantung dengan DAS Paninggahan terutama untuk irigasi sawah baik secara teknis maupun semi teknis. Selain keterbatasan ketersediaan air terutama saat musim kemarau, petani juga mengeluhkan semakin seringnya terjadi banjir.
2. Berdasarkan pengolahan dan analisis data curah hujan dan runoff yang ada di DAS Paninggahan maka dapat dibangun suatu model hubungan rainfall-runoff model (RRM) berdasarkan persamaan regresi liner berganda, dengan persamaan $Q = -0.26 - 0.018P_1 + 0.095P_2 - 0.184P_3 - 0.245P_4 + 0.281P_5 + 0.135P_6$. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk merekonstruksi besaran nilai runoff bulanan yang telah terjadi dan memprakirakan nilai runoff di *oulet* sungai berdasarkan data hujan pada titik P₁-P₆. Hasil validasi menunjukkan bahwa model persamaan tersebut mempunyai performa yang baik ditunjukkan dengan nilai determinasi (R^2) sebesar 0.767, PBIAS sebesar -0.01% dan RMSE sebesar 1.42 m³/det. Hasil rekonstruksi data runoff bulanan dengan menggunakan data curah hujan model CHIRPS periode 1991-2015, didapatkan nilai rata-rata runoff bulanan sebesar 9.7 m³/det, dengan rata-rata bulanan terendah terjadi pada bulan Juli sebesar 4.4 m³/det dan tertinggi terjadi pada Maret dan April sebesar 13.8 m³/det.
3. Penelitian lanjutan tentang prakiraan runoff dengan menggunakan pendekatan *rainfall-runoff model* (RRM) yang harus dilakukan adalah dengan melibatkan factor karakteristik fisik dari DAS dan data iklim lainnya (tidak hanya curah hujan). Metode RRM yang dibangun dengan metode stokastik akan lebih dapat diterima hasilnya jika metode tersebut juga mempertimbangkan kondisi fisiografi tempat dimana proses runoff terjadi, misalnya mempertimbangkan bentuk lereng dan tutupan lahan di wilayah DAS (Khosravi, dkk., 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Fahmuddin. 2004. *“Jasa Lingkungan Pertanian dan Praktek Petani yang Layak Menerima Imbalan”*.
- Bountox, Ncholas. 2009. Landscape beauty in Minangkabu Homeland: A Study of agroeco-tourism oppotunities around Lake Singkarak.
- Budhi, G.S dkk, 2008. *“Concept and Implication of PES Program in The Cidanau Watershed: A Lesson Learned for Future Environmental Policy”*. Analisis Kebijakan Pertanian. Volume 6 No. 1, 37-55.
- De Groot. 2006. *Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units*.
- Divakar Sharma and Sharma Ganesh Mohandatta. (2017). Classification of Watershed and Rainfall-Runoff Modelling Using SOM, Linear Regression Analysis and ANN. International Journal of Engineering Research and General Science Vol. 5, No.3, 2017, ISSN 2091-2730, pp. 142-149.
- Farida, Jeanes Kevin, Dian Kurniasari, Atiek Widayati, Andree ekadinata, Danan Prasetyo Hadi, Laxman Joshi, Desi Suyamto and Meine van Noordwijk. 2005. *“Rapid Hydrological Appraisal (RHA) of Singkarak Lake in the context of Rewarding Upland Poor for Environmental Services (RUPES)”*.
- Febriamansyah, Rudi, 2003. An integrated approach for irrigation water allocation in a small river basin: a case of tambo river basin in West Sumatra, Indonesia. PhD Dissertation. University of Melbourne, Australia
- Febriamansyah, Rudi., Ifdal, Helmi. 2004. Pengembangan kelembagaan pengelolaan sumberdaya air untuk Satuan Wilayah Sungai Ombilin- Singkarak, di Sumatera Barat, Indonesia: Suatu studi tentang pembagian peran dalam pengelolaan wilayah sungai. Prosiding Lokakarya “Dampak Hidrologis Hutan, Agroforestri, dan Pertanian Lahan Kering sebagai Dasar Pemberian Imbalan kepada Penghasil Jasa Lingkungan di Indonesia”. Padang, Sumatera Barat.
- Febriamansyah, Rudi., Refdinal., Yusmarni., Hanum, Latifa. 2012. Perubahan Iklim dan Kehilangan Sumber Ekonomi Utama Petani Sawah Tadah Hujan: Studi Kasus Nagari Simawang.
- Helmi. 2003. Aspek Pengelolaan Terpadu Sumberdaya Air (*Integrated Water Resources Management - IWRM*) dalam Pebaharuan Kebijakan Menuju Pengelolaan Sumberdaya Air yang Berkelanjutan di Indonesia. Pusat Studi Irigasi, Sumberdaya Air, Lahan, dan Pembangunan (PSI – SDALP).
- ICRAF. 2013. *” Petikan Pembelajaran Dari Skema Imbal Jasa Lingkungan di Indonesia- Alih Teknologi Peran Jasa Lingkungan Hutan sebagai Alternatif Sumber Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat”*.

- ICRAF. 2015. The Program for Developing Mechanisms for Rewarding the Upland Poor in Asia for Environmental Services They Provide (RUPES) is supported by the International Fund for Agricultural Development (IFAD).
- Khosravi, K., H. Mirzai and I. Saleh. (2013). Assessment of Empirical Methods of Runoff Estimation by Statistical test (Case study: BanadakSadat Watershed, Yazd Province). *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research* , Vol. 1, No.3, 2013, ISSN: 2322 – 4827, pp. 285-301
- Leimona B, Van Noordwijk Meine, dkk. 2015. “*Fairly efficient, efficiently fair: Lessons from designing and testing payment schemes for ecosystem services in Asia*”. *Ecosystem services* 12, 16-28.
- Leimona, B. 2011. Thesis: “*Fairly Efficient or Efficiently Fair: Success Factors and Constraints of Payment and Reward Schemes for Environmental Services In Asia*”. Wageningen University.
- Mahdi, et all.2009. *Livelihood Change and Livelihood Sustainability in the Uplands of Lembang Subwatershed, West Sumatra, Indonesia, in a Changing Natural Resource Management Context*. Springer.
- Mahdi., Shivakoti, Ganesh., Vogt, Schmidt. 2009. Livelihood Change and Livelihood Sustainability in the Uplands of Lembang Subwatershed, West Sumatra, Indonesia, in a Changing Natural Resource Management Context. *Environmental Management*, 43:84.
- Males, R.M., 1990. Water Resources planning and management, “optimizing the resources for water management:17th Annual Conference on WRPM, Texas, USA.
- Mc. Kinney, D.D., X. Cai, M.W. Rosegrant, C. Ringler and C.A. Scott. 1999. Modeling Water Resources Management at the Basin level: review and future directions. *IWMI* 6.
- Neil McIntyre, Aisha Al-Qurashi and Howard Wheeler. (2007). Regression analysis of rainfall–runoff data from an arid catchment in Oman. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 52, No.6, pp.1103-1118. doi: 10.1623/hysj.52.6.1103
- Pahl-Wostl, Claudia. 2007. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resour Manage*: 21. 49–62. Science Communication Unit. 2015, Science for Environmental Policy: “*Ecosystem Services and The Environment*”, In-depth Report 11.
- Pilgrim, D.H., T. G. Chapman and D. G. Doran. (1988). Problems of rainfallrunoff modelling in arid and semiarid regions, *Hydrological Sciences Journal*, Vol.33, No.4, ISSN 379-400, pp.379-400. doi: 10.1080/02626668809491261
- Pujilestari, N., S.D. Tarigan, dan K. Subagyono. (2011). Analisis Potensi Produksi Air pada Beberapa Skenario Penggunaan Lahan di Daerah Aliran Sungai

- Paninggahan-Singkarak. *Jurnal Tanah dan Iklim* No.33/2011, ISSN 1410 – 7244, pp. 13-22.
- Rama. G. Venkata. (2014). Regression Analysis of Rainfall and Runoff Process of a Typical Watershed. *International Journal Science and Applied Information Technology*. Vol.3, No. 1, 2014, pp. 16-25. Available Online at <http://warse.org/pdfs/2014/ijsait04312014.pdf>
- Richard M. Vogel, Ian Wilson, and Cris Daly. (1999). Regional Regression Models of Annual Streamflow for the United State. *Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 125, No. 3, 1999, ISSN 0733-9437. pp.148-157.
- Sharad Patel, M. K. Hardaha, Mukesh K. Seetpal, K. K. Madankar. (2016). Multiple Linear Regression Model for Stream Flow Estimation of Wainganga River. *American Journal of Water Science and Engineering*. Vol. 2, No. 1, 2016, pp. 1-5, doi: 10.11648/j.ajwse.20160201.11.
- Sharp, A.L., A. E. Gibbs, W. J. Owen, and B. Harris. (1960). Application of the Multiple Regression Approach in Evaluating Parameters Affecting Water Yields of River Basins. *Journal of Geophysical Research* Vol. 65, No. 4, 1960. Pp. 1273-1286.
- Stanski, H, R., L.J. Wilson and W.R Burrows. (1989). Survey of Common Verification Methods in Meteorology. Atmospheric Research Report No (MSRB) 89-5, Atmospheric Environment Canada.
- Subagyono, K. 2014. Hydro-Meteorological Characteristics For Sustainable Land Management In The Singkarak Basin, West Sumatra.
- Subagyono, K., and B. Kartiwa. (2009). Predicting Discharge from Agricultural Catchment to Support Land and Water Management in Singkarak Basin, West Sumatra. *Jurnal Tanah dan Iklim* No.29/2009, ISSN 1410 – 7244, pp. 23-34.
- Widiasyih, A S. 2015. *Analisis Kelayakan Ekonomi Pengelolaan Lahan Kritis Pada Proyek Vcm (Voluntary Carbon Market) (Studi Kasus Di Jorong Subarang Kenagarian Paninggahan Kecamatan Junjung Sirih Kabupaten Solok)*. Universitas Andalas.
- Wu, C.L., and K.W. Chau. (2010). Data-driven models for Monthly Streamflow Time Series Prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 23, No. 8, 2010, pp. 1350-1367.
- Yuerlita, Perret, S.R., Shivakoti, G.P. 2013. Fishing Farmers or Farming Fishers? Fishing Typology of Inland Small-Scale Fishing Households and Fisheries Management in Singkarak Lake, West Sumatra, Indonesia. *Environmental Management*: 2(1). 85 – 98.