



STMKG



BMKG

MONOGRAF

Kajian Awal Sistem Peringatan Dini Longsor Berbasis Penguatan Sistem Prediksi Curah Hujan dan Gempabumi (Studi Area : Garut dan Banjarnegara)

Oleh :

Agus Safril, Aries Kristianto, Deni Septiadi,
Suwandi, Indra Gustari, Suaidi Ahadi, Sugeng Pribadi,
Supriyanto Rohadi, Munawar, Hendri Subakti, Adi Mulsandi, Hapsoro A..
Nugroho, Haryanto, Suharni, Nani Nuraini, Eko Wardoyo

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG)

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

Jl. Perhubungan I No. 5 Komplek Meteo DEPHUB, Bintaro, Pondok Betung,
Tangerang Selatan - 15221, Telp: 021-73691623 Fax: 021-73692676

E-mail: penerbit.stmkg@gmail.com

Monograf

Kajian Awal Sistem Peringatan Dini Longsor Berbasis Penguatan Sistem Prediksi Curah Hujan dan Gempabumi

(Studi Area : Garut dan Banjarnegara)

Oleh :

Agus Safril, Aries Kristianto, Deni Septiadi,
Suwandi, Indra Gustari, Suaidi Ahadi, Sugeng Pribadi,
Supriyanto Rohadi, Munawar, Hendri Subakti, Adi Mulsandi,
Hapsoro A. Nugroho, Haryanto, Suharni, Nani Nuraini, Eko Wardoyo

ISBN : 978-602-60274-8-1

Editor :

Agus Safril, Deni Septiadi, Suharni
Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Suaidi Ahadi
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Diterbitkan oleh :

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG)
Jl. Perhubungan I No. 5 Komplek Meteo DEPHUB, Bintaro, Pondok Betung,
Tangerang Selatan – 15221, Telp: 021-73691623 Fax: 021-73692676
E-mail: penerbit.stmkg@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan Rahmat,-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan laporan kajian penelitian System *Early Warning System* (EWS) Longsor sesuai dengan kegiatan yang telah dilakukan. Laporan ini berisi tentang kajian literatur, survey lapangan dan analisis data mengenai longsor untuk berbagai daerah antara lain Garut dan Banjarnegara.

Analisis kajian longsor difokuskan dengan mempertimbangkan kajian dari segi bidang meteorologi, klimatologi dan geofisika. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan disampaikan juga desain rancangan prototipe pendeteksi dini longsor yang selanjutnya dapat diimplementasikan. Semoga laporan ini dapat dipergunakan sebagai salah satu acuan, petunjuk maupun pedoman bagi kajian selanjutnya dan dapat memberikan pengetahuan yang berkaitan dengan kejadian longsor bagi para semua pihak.

Adapun laporan yang disajikan ini masih terdapat kekurangan dikarenakan waktu kajian dan pengolahan data yang terbatas, sehingga kami harapkan kepada para pembaca untuk memberikan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk perbaikan laporan ini selanjutnya. Terima kasih.

Tangerang Selatan, November 2017

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi.....	iii
Daftar Tabel.....	iv
Daftar Gambar.....	v
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud, Tujuan, Sasaran dan Luaran	2
1.3.1 Maksud.....	2
1.3.2 Tujuan	2
1.3.3 Sasaran dan Luaran	3
1.4 Kajian Pustaka.....	3
2. RUANG LINGKUP PEKERJAAN DAN BATASAN MASALAH	5
2.1 Ruang Lingkup Pekerjaan	5
2.2 Batasan Masalah.....	5
3. METODOLOGI	6
3.1 Pengamatan Lapangan.....	6
3.2 Tahapan Kegiatan.....	11
3.3 Model Peralatan Sistem Peringatan Dini Longsor	13
3.4 Sistem Prediksi Curah Hujan Jangka Pendek	17
3.5 Penentuan Kondisi Klimatologis dan Ambang Batas Curah Hujan Terhadap Kejadian Longsor.....	20
4. KONDISI GEOFISIKA WILAYAH PENELITIAN	25
5. ANALISA METEOROLOGIS LONGSOR Banjarnegara.....	30
5.1 Dinamika Atmosfer secara Umum pada Saat Kejadian Longsor.....	30
5.2 Simulasi Prediksi Kejadian Hujan Lebat Pemicu Longsor	44
5.3 Analisis Citra Radar	49
5.4 Pemanfaatan Data Radar untuk memperbaiki syarat awal model cuaca numerik	50
6. ANALISA KLIMATOLOGIS DAN KONDISI EKSTRIM Banjarnegara	54
6.1 Karakteristik Umum Curah Hujan Menjelang Longsor (Banjarnegara)	54
6.1.1 Deret waktu	55
6.1.2 Pola Hujan	55

6.1.3 Tipe iklim Berdsarkan Oldeman	56
6.1.4 Curah Hujan dan Suhu Udara.....	58
6.1.5 Neraca Air Lahan Bulanan.....	61
6.2 Tipe Hujan Banjarnegara dan Prediksi Hujan Bulanan.....	74
6.3 Karakteristik Iklim Ekstrem Banjarnegara.....	76
6.3.1 Analisis Curah Hujan Kumulatif.....	76
6.3.2 Karakteristik Curah Hujan Diurnal	77
7. MODEL SISTEM PERINGATAN DINI LONGSOR HARIAN DAN BULANAN.....	80
7.1 Sistem Peralatan Peringatan Dini Longsor.....	80
7.2 Model Sistem Peringatan Dini Longsor Harian dan Bulanan	81
7.2.1 Zona Longsor.....	83
7.2.2 .Indeks Penyusun Longsor.....	84
7.2.3 Indeks kekuatan Longsor (IKL)	87
7.3 Peringatan Dini Bahya Longsor Bulanan.....	87
8. KESIMPULAN DAN SARAN.....	89
DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kajian pustaka tentang bencana longsor	4
Tabel 3.1 Skema parameterisasi.....	10
Tabel 3.2 Neraca air lahan bulanan.....	23
Tabel 5.1 Perbandingan hasil pengujian sensitivitas skema mikrofisika dan konveksi pada satu kasus hujan sangat lebat di Banjarnegara	54
Tabel 6.1 Rata-rata curah hujan bulanan Kecamatan Banjarnegara	56
Tabel 6.2 Akumulasi 3 hari berturut curah hujan yang turun saat terjadi Longsor di Kecamatan Banjarnegara	57
Tabel 6.3 Curah hujan yang turun saat terjadi Longsor di Kecamatan Banjarnegara parameterisasi	57
Tabel 6.4 Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Periode 2012-2016 Kabupaten Banjarnegara (milimeter).....	59
Tabel 6.5 Rata-Rata Suhu Udara Bulanan Pendekatan Rumus Braak Kabupaten Banjarnegara (celcius)	61
Tabel 6.6 Hasil analisis neraca air lahan pada setiap pos hujan/kecamatan Kabupaten Banjarnegara	62
Tabel 6.7 Surplus dan defisit neraca air lahan pada setiap pos hujan/kecamatan Kabupaten Banjarnegara	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi survey (kotak) di daerah Pasirlangu dan Darajat Pass.....	5
Gambar 3.1 Alur kajian bencana longsor.....	12
Gambar 3.2 Unit <i>outdoor</i>	14
Gambar 3.3 <i>Indoor</i> unit.....	14
Gambar 3.4 Sistem Ekstensiometer	15
Gambar 3.5 Tiltmeter	16
Gambar 3.6 Diagram blok sistem monitoring banjir UGM	17
Gambar 4.1 Lokasi longsor Pasirlangu	25
Gambar 4.2 Pengukuran Resistivity Pasirlangu	26
Gambar 3.2 Unit <i>outdoor</i>	14
Gambar 3.3 <i>Indoor</i> unit.....	14
Gambar 3.4 Sistem Ekstensiometer	15
Gambar 3.5 Tiltmeter	16
Gambar 3.6 Diagram blok sistem monitoring banjir UGM	17
Gambar 5.1 : Kodisi Simpangan OLR akhir tahun 2014 (Juli – Desember 2014)	31
Gambar 5.2 : Kodisi Simpangan angin zonal/baratan akhir tahun 2014 (Juli – Desember 2014).....	32
Gambar 5.3 : Kodisi Simpangan OLR awal tahun 2016 (Januari – Juni 2016).....	33
Gambar 5.4 : Kodisi Simpangan angin zonal/baratan awal tahun 2016 (Juli – Desember 2016).....	34
Gambar 5.5 : Kodisi Simpangan OLR akhir tahun 2016 (Juli – Desember 2016)	35
Gambar 5.6 : Kodisi Simpangan angin zonal/baratan akhir tahun 2016 (Juli – Desember 2016).....	36
Gambar 5.7a : Kodisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jan – Des 2017) tanpa kawasan P. Jawa.....	38
Gambar 5.7b : Kodisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jun – Des 2017) masuk P. Jawa.....	39
Gambar 5.8a : Kodisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jan – Des 2017) tanpa kawasan P. Jawa.....	40
Gambar 5.8b : Kodisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jun – Des 2017)masuk P. Jawa .	41

Gambar 5.9 : Kondisi Simpangan angin zonal/baratan akhir tahun 2016 (Juli – Desember 2016).....	42
Gambar 5.10 Curah hujan per jam pada tanggal 24 September 2016	44
Gambar 5.11 Kondisi sinoptik pada kasus kejadian hujan lebat tanggal 24 September 2016, Gradasi warna menunjukkan temperatur awan konvektif dibawah -35°C	44
Gambar 5.12 Citra satelit awan konvektif yang menghasilkan hujan lebat	45
Gambar 5.13 Irisan zonal (atas) dan meridional (bawah) dari penampang sistim awan di lokasi kejadian	46
Gambar 5.14 Perbandingan sebaran awan konveksi (panel 1), curah hujan GSMAP (panel 2), hujan WRF terbaik 1 (panel 3), hujan WRF terbaik 1 (panel 4), hujan WRF terbaik 1 (panel 5), dari hasil simulasi kejadian hujan lebat pada tanggal 24 September 2016.....	48
Gambar 5.15 Data radar Jogjakarta.....	49
Gambar 5.16 Kondisi awan hasil pantauan radar cuaca site Semarang, tanggal 22 Desember 2013, pukul 12.00 UTC	50
Gambar 5.17 Perubahan distribusi spasial uap air (QVapor) i lapisan dekat permukaan	51
Gambar 5.18 Perubahan distribusi spasial uap air (QVapor) di lapisan menengah.....	51
Gambar 5.19 Perubahan distribusi spasial uap air (QVapor) di lapisan atas	52
Gambar 5.20 Prediksi curah hujan harian tanggal 23 Desember 2017, untuk daerah Banjarnegara dan sekitarnya.....	52
Gambar 5.21 Perbandingan Prediksi curah hujan harian tanggal 23 Desember 2017, untuk daerah Banjarnegara dan sekitarnya. Sebelum dan setelah asimilasi data radar .	53
Gambar 6.1 Deret waktu curah hujan Stasiun Geofisika Banjarnegara.....	55
Gambar 6.2 Pola Hujan Monsunal Stasiun Geofisika Banjarnegara	55
Gambar 6.3. Jumlah kejadian longsor Bulanan.....	58
Gambar 6.4 Rata-rata hujan bulanan setiap kecamatan Kabupaten Banjarnegara.....	59
Gambar 6.5. Lokasi pos hujan Kabupaten Banjarnegara	60
Gambar 6.6 Peta rata-rata curah hujan setahun Kabupaten Banjarnegara	60
Gambar 6.7 Grafik kandungan air tanah (KAT) Kecamatan Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang, Kabupaten Banjarnegara	68
Gambar 6.8 Grafik kandungan air tanah (KAT) Kecamatan Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan, Kabupaten Banjarnegara	68
Gambar 6.9 Grafik kandungan air tanah (KAT) Kecamatan Kalibening, Karangobar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur, Kabupaten Banjarnegara.....	69
Gambar 6.10 Grafik surplus dan defisit NAL Kecamatan Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang, Kabupaten Banjarnegara	71

Gambar 6.11 Grafik surplus dan defisit NAL Kecamatan Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan, Kabupaten Banjarnegara	71
Gambar 6.12 Grafik surplus dan defisit NAL Kecamatan Kalibening, Karangobar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur, Kabupaten Banjarnegara	72
Gambar 6.13 Jumlah bulan surplus NAL Kabupaten Banjarnegara	72
Gambar 6.14 Prediksi curah hujan bulanan kecamatan Banjar Mangu 2012-2015 (hasil analisis prediksi dan observasi).....	74
Gambar 6.15 Prediksi curah hujan bulanan dengan tidak menggunakan pola.....	75
Gambar 6.16 Analisis curah hujan harian sejak sepuluh hari sebelum kejadian longsor 2011-2017 di Kecamatan Banjarnegara	76
Gambar 6.17 Jumlah curah hujan setiap jam pada periode (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, dan (d) SON. Grafik garis merah adalah kejadian ekstrim curah hujan berdasarkan persentil 95	77
Gambar 6.18 Presentase curah hujan lebat lebih dari 20 mm/jam di Banjarnegar	78
Gambar 7.1 Diagram blok sistem	80
Gambar 7.2 Indeks Longsor Kabupaten Banjarnegara	82
Gambar 7.3. Peta Zona Longsor berdasarkan Peta Potensi Longsor Badan Geologi	83
Gambar 7.4 Zona Longsor Hasil Kajian Tim Longsor	84
Gambar 7.5. Peta Sebaran Gempa bumi kabupaten Banjarnegara tahun 2005 -2015	85
Gambar 7.6 Peta Curah hujan Bulan Desember 2014.....	87
Gambar 7.7 Indeks Longsor Bulanan dengan Parameter Model	88

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kepulauan Indonesia secara geografis terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik, yakni lempeng Benua Asia, Benua Australia, lempeng Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Pada bagian selatan dan timur Indonesia terdapat sabuk vulkanik (*volcanic arc*) yang memanjang dari Pulau Sumatera – Jawa – Nusa Tenggara dan Sulawesi. Kedua kondisi ini menjadikan wilayah Indonesia sering dilanda gempa bumi baik yang dipicu oleh aktifitas vulkanik maupun tektonik. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia rentan terhadap terjadinya pergerakan tanah yang masif atau yang disebut dengan longsor. Kerentanan ini menjadi meningkat dengan besarnya curah hujan yang diterima oleh wilayah Indonesia setiap tahunnya. Curah hujan tinggi yang menyebabkan tanah menjadi jenuh dan pergeseran tanah akibat gaya pendorong yang lebih besar dibandingkan dengan gaya penahannya pada lereng. Hal ini merupakan faktor utama penyebab dari bencana alam tanah longsor.

Pada prinsipnya kejadian tanah longsor dapat terjadi karena dipicu oleh gaya pendorong pada lereng yang memiliki massa lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya pendorong ini dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, kandungan air, beban dan berat jenis tanah batuan. Sedangkan gaya penahan dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Air yang merupakan salah satu gaya pendorong pada kejadian longsor dapat dipicu oleh peningkatan intensitas curah hujan. Dalam beberapa model longsor faktor gaya pendorong air yang dihasilkan dari curah hujan memiliki nilai bobot yang tinggi. Hal ini mengindikasikan betapa krusialnya peran curah hujan dalam kejadian longsor.

Bencana alam tanah longsor menimbulkan dampak yang sangat merugikan seperti korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan mengganggu stabilitas perekonomian masyarakat. Bencana alam tanah longsor tidak hanya merusak dari segi material tetapi juga menimbulkan dampak psikologis seperti trauma bagi para korban bencana. Kerugian ini dapat diminimalisir apabila potensi tanah longsor dapat diketahui sedini mungkin, sehingga masyarakat mendapatkan informasi adanya bahaya longsor pada daerah rawan dan mempunyai waktu yang cukup untuk evakuasi ke tempat yang lebih aman.

Sebagai perwujudan Tridharma Perguruan Tinggi maka Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) Tangerang Selatan sebagai unit pelaksana teknis BMKG

mendapat tugas untuk menyelenggarakan kegiatan penelitian. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) merupakan lembaga yang ikut berperan serta dalam menganalisa tanah longsor yang berkaitan dengan faktor-faktor meteorologis maupun geofisis. Salah satu peran yang diberikan oleh BMKG adalah dengan memberikan informasi yang berkaitan dengan kondisi cuaca yang dapat menyebabkan potensi longsor seperti, intensitas curah hujan. Melalui pemanfaatan data tersebut dapat dikembangkan sebagai sistem peringatan dini tanah longsor yang didukung oleh pengukuran parameter lainnya. Melihat kondisi bahaya bencana alam tanah longsor sangat merugikan maka diperlukan penelitian mengenai *early warning system* (EWS) untuk memonitoring atau mendeteksi perubahan kondisi struktur tanah yang dapat berubah setiap saat sebagai tindakan preventif dalam menghadapi bencana alam tanah longsor.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam kajian ini adalah

- a. Apa saja variabel statis dan dinamis yang diperlukan untuk membangun model longsor?
- b. Bagaimana skema model prediksi numerik curah hujan jangka pendek dan pemanfaatan data radar?
- c. Bagaimana karakteristik iklim ekstrem penyebab longsor dan model prediksi hujan bulanan?
- d. Bagaimana membangun model peringatan dini longsor?
- e. Bagaimana desain peralatan (prototipe) sistem peringatan dini longsor?

1.3. Maksud, Tujuan, Sasaran dan Luaran

1.3.1. Maksud

Adapun maksud dari kajian ini adalah sebagai kajian awal untuk mendapatkan model sistem peringatan dini longsor dengan focus utama kepada mendapatkan parameter potensial statistik dan dinamis dan desain prototype model longsor.

1.3.2. Tujuan

1. Memperoleh unsur-unsur yang diperlukan sebagai variabel statis dan dinamis untuk membangun model longsor.

2. Mendapatkan model prediksi harian menggunakan skema parameterisasi model prediksi dan konfigurasi curah hujan harian yang paling baik.
3. Mendapatkan karakteristik iklim ekstrem penyebab longsor dan potensi model prediksi hujan bulanan yang terbaik.
4. Mendapatkan model persamaan peringatan dini longor.
5. Memperoleh desain prototipe peralatan system peringatan dini longsor *real time*.

1.3.3. Sasaran dan Luaran

Adapun sasaran dan luaran penelitian ini adalah dihasilkan peta dinamis sistem peringatan dini Longsor berbasis Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika dan desain prototipe peralatan peringatan dini yang memberikan informasi tingkat longsor harian dan bulanan yang digunakan untuk peringatan dini untuk mitigasi kejadian bencana longsor di daerah rawan longsor. Keluaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Peta dinamis dan statis untuk masukan longsor dan kategori bahaya longsor
2. Desain prototype peralatan peringatan dini longsor

1.4. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan mencari beberapa kajian mengenai sistem peringatan dini longsor. Hasil kajian pustaka diringkas dan digunakan sebagai acuan maupun sebagai pembanding dengan penelitian yang akan dilakukan. Hasil kajian pustaka seperti pada Tabel 1. Dari kedua penelitian pada tabel tersebut tersebut maka perlu dikembagnkan peringatan dini longsor dalam sekala waktu bukan hanya *real time* tetapi untuk satu hari atau satu bulan ke depan sehingga memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk bersiap diri. Penelitian dilakukan dengan menggunakan parameter dinamis curah hujan prediksi dan gempa sebagai input dinamis.

Tabel 1.1. Kajian pustaka tentang bencana longsor

No	Pustaka	Metode	Hasil	Peneliti
1	Pengembangan model persamaan empiris dalam memprediksi terjadinya longsor di daerah Aliran sungai (das) citarum (jawa barat) Berbasis data satelit	Persamaan empiris dengan input curah hujan menghasilkan indeks kerentanan longsor	Pemodelan empiris yang diperoleh dapat digunakan untuk peringatan dini longsor	Sipayung, dkk (2014)
2	Analisis penentuan zonasi risiko bencana tanah longsor berbasis sistem informasi geografis (studi kasus : kabupaten Banjarnegara)	Penentuan peta indeks kerentanan cara skoring dan pembobotan, serta tumpang susun (<i>overlay</i>) antar parameter penyusunnya berbasis sistem informasi Geografis	Banjarnegara merupakan wilayah beresiko tinggi terhadap longsor dengan metode 1. SNI (<i>Indonesian National Standard</i>) sebaran: risiko tinggi sebesar 69,961%, sedang 25,868%, dan rendah 4,171%. Hasil metode 2. AHP (<i>Analytical Hierarchy Process</i>) menunjukkan daerah risiko tinggi sebesar 73,244%, sedang 23,592%, dan rendah 3,165%	Bayuaji dkk, (2016)

2. RUANG LINGKUP PENELITIAN DAN BATASAN MASALAH

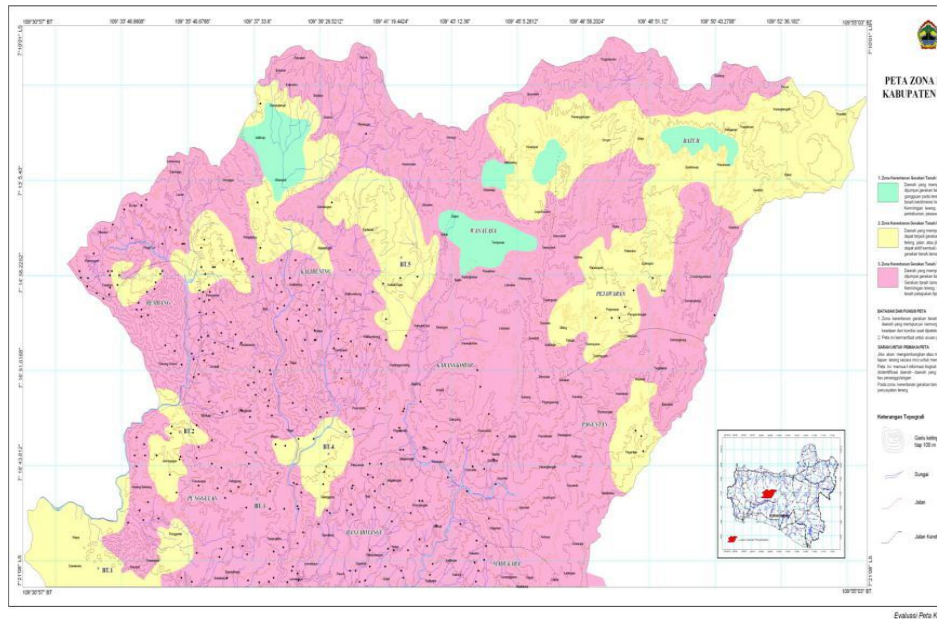
2.1. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian meliputi tahapan penelitian dan wilayah penelitian. Penelitian ini dilakukan tahapan sebagai berikut : kajian pustaka mengenai data historis longsor di berbagai tempat di Indonesia, pengumpulan data sekunder (peta dan lain-lain), pengolahan dan analisis data . Wilayah penelitian terdiri Garut dan Banjarnegara. Keduanya memiliki tingkat kerawanan longsor yang tinggi sehingga memerlukan adanya EWS untuk meningkatkan ketahanan akan bencana. Di samping itu, dua wilayah ini memiliki stasiun pengamatan curah hujan serta terjangkau oleh area radar sehingga dapat menunjang penelitian pembangunan model EWS. Penelitian terbagi di dua lokasi utama (Gambar 2.1) sebagai berikut: Jalan Desa Pasirlangu, Kecamatan Pakenjeng dan Darajat Pass, Desa Padawas, Kecamatan Pasir Wangi.



Gambar 2. 1 Lokasi survey (kotak) di daerah Pasirlangu dan Darajat Pass (sumber : Google Earth).

Dari data yang peta rawan longsor yang diperoleh yang hampir meliputi seluruh wilayah Banjarnegara (warna merah) seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Peta rawan longsor Banjarnegara

2.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam kajian ini adalah

- Parameter utama yang diteliti adalah parameter dinamis pemicu longsor (curah hujan dan gempa)
- Data parameter tidak bergerak (kemiringan, kelengasan, jenis tanah) menggunakan data hasil penelitian terdahulu di wilayah kajian
- Model prediksi dibangun dalam skala titik dengan asumsi satu titik dapat mewakili wilayah satu kecamatan

3. METODOLOGI

Metode penelitian adalah berupa studi peta, pengukuran lapangan dan analisis hasil. Studi peta bermaksud untuk mempelajari data sekunder dari peta geologi, foto udara, peta tata guna lahan, data curah hujan, dan laporan terdahulu.

3.1 Pengamatan Lapangan

Pengukuran lapangan berupa pengamatan morfologi, pengamatan lokasi dan potensi gerakan tanah, dan pengamatan kondisi lereng. Analisis antar data pengamatan diperlukan untuk

mengukur potensi bencana selanjutnya. Peralatan yang digunakan (Gambar 2.1) meliputi sensor meteorologi dan geofisika, adalah:

a. Peralatan Meteorologi

- *Sling Psycrometer* untuk mengukur suhu udara basah dan kering.
- *Hand Anemometer* untuk mengukur arah dan kecepatan angin.
- *Barometer* untuk mengukur tekanan udara.

b. Peralatan Geofisika

- *Global Positioning System(GPS)* untuk penentuan posisi lintasan pengukuran.
- Kompas geologi dan meteran untuk pengukuran *slope* atau kemiringan lereng.
- Laptop untuk akuisisi data.
- Peta geologi lembar Garut dan Pamangpeuk untuk mengetahui umur batuan lapuk
- *Resistivitymeter* untuk menentukan variasi harga tahanan jenis lapisan di bawah permukaan tanah. Makin besar nilai tahanan jenis mengindikasikan volume air tanah sangat tinggi sehingga cukup berpotensi rawan longsor.

Metode Resistivity menggunakan konfigurasi *Wenner* yang terdiri dari 16 *channel* elektroda setiap jarak interval 2 - 5 m. Metode ini dapat menggambarkan secara rinci persebaran material secara lateral di bawah titik pengukuran dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui elektroda arus sehingga menimbulkan beda potensial. Hasil pengukuran pada setiap jarak elektroda yang berbeda dapat digunakan untuk menentukan variasi harga tahanan jenis lapisan di bawah titik pengukuran. Pengukuran dimulai dengan menentukan lintasan sepanjang 32 m dengan arah bentangan searah (horisontal) dan tegak lurus (vertikal) dengan kemiringan lereng. Penentuan posisi lintasan diukur menggunakan GPS. Langkah selanjutnya adalah pengukuran kemiringan (*slope*) dari topografi lintasan pengukuran dengan menggunakan kompas geologi.

Dalam penelitian ini dilakukan uji sensitifitas skema parameterisasi model WRF untuk mendapatkan konfigurasi model yang terbaik. Hasil ini selanjutnya akan dijadikan dasar penggunaan skema parameterisasi model yang digunakan untuk prediksi curah hujan harian. Model PCN yang digunakan dalam penelitian ini adalah model skala meso WRF dengan syarat awal dan syarat batas menggunakan model global FNL dan GFS. Data FNL digunakan untuk simulasi dalam rangka pengujian skema konvektif dan mikrofisika, sedangkan data GFS digunakan untuk prediksi. Data FNL dan GFS tersebut, setelah di-nesting, ditingkatkan

resolusinya melalui downscaling dan ditambahkan data satelit dengan sensor AMSU A dan MHS melalui asimilasi data untuk data inisial model WRF.

Sebagai pembandingan terhadap hasil simulasi dan prediksi, digunakan data curah hujan pengamatan dan juga data curah hujan GSMAP. Perbandingan hasil simulasi dan prediksi model WRF dengan data pengamatan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif, perbandingan dilakukan dengan membandingkan pola hasil model dengan pola hasil pengamatan. Secara kuantitatif, perbandingan dilakukan dengan menghitung parameter statistiknya, seperti korelasi, kesalahan akar rata-rata kuadrat (*root mean square error*, RMSE), simpangan rata-rata, probabilitas deteksi suatu kejadian (*probability of detection*, PoD), threat score, dan akurasi model WRF sebelum dan setelah asimilasi data satelit. Verifikasi terhadap prediksi cuaca operasional BMKG juga dilakukan sebagai perbandingan tingkat keandalan.

Data yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

a. Data curah hujan observasi permukaan

Data curah hujan per jam diperoleh dari pengukuran yang dilakukan secara konvensional berupa data curah hujan observasi. Data ini diperoleh dari Stasiun Geofisika Banjarnegara.

b. Data curah hujan GSMAP

GSMAP adalah data curah hujan global beresolusi tinggi dan memiliki presisi tinggi yang diestimasi dari data satelit dengan menggunakan kombinasi sensor microwave (MW) dan infrared (IR), dengan menggabungkan beberapa algoritma yaitu Global Precipitation Measurement GPM-Core GMI, Tropical Rainfall Measuring Mission TRM TMI, Global Change Observation Mission GCOM-W AMSR2, DMSP Series SSMIS, NOAA Series AMSU, MetOP Series AMSU, dan data geostasioner IR. GSMAP diproduksi oleh JAXA Precipitation Measuring Mission (PMM). Data ini dapat diperoleh dari alamat <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/>.

c. Data satelit Himawari

Satelit Himawari-8 adalah satelit geostasioner yang dioperasikan oleh Badan meteorologi Jepang (JMA). Wilayah yang dapat diamati oleh satelit Himawari-8 mencakup seluruh wilayah Indonesia sehingga dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi dan memantau berbagai fenomena cuaca yang terjadi di wilayah Indonesia. Himawari-8 menangkap gambar bumi dengan menggunakan 16 kanal panjang gelombang yang memiliki perbedaan range panjang gelombang, resolusi spasial dan karakteristik masing-masing. Dalam penelitian ini akan

digunakan kanal IR1 (band B13) untuk menganalisis sistem awan pada saat kejadian longsor. Data satelit diambil dari server penerima data satelit STMKG.

d. Data reanalisis FNL

Data yang digunakan untuk menguji skema parameterisasi adalah data model FNL, untuk mendapatkan konfigurasi model terbaik sebelum digunakan untuk memprediksi cuaca di waktu yang akan datang. Data NCEP FNL (final) Operational Global Analysis Data yang memiliki resolusi 1x1 derajat yang diperbaharui setiap enam jam. Data ini diproduksi GDAS (Global Data Assimilation System) yang secara kontinu mengumpulkan data melalui GTS (Global Telecommunication System) dan sumber data lain untuk dianalisis. Analisis tersedia untuk permukaan, 26 level dari 1000-10 milibar pada lapisan batas atmosfer, dan beberapa lapisan sigma, tropopause, dan lapisan lainnya. Parameter yang digunakan untuk simulasi menggunakan model meliputi tekanan permukaan, ketinggian geopotensial, temperatur, kelembaban udara, dan komponen angin u-v. Data FNL dapat diperoleh dari situs NCEP GDAS Satellite Data yaitu <http://rda.ucar.edu/>.

Model PCN yang digunakan dalam simulasi dan prediksi cuaca dalam penelitian ini adalah model WRF. WRF adalah program komputer yang dibangun dari persamaan matematis untuk menggambarkan pergerakan fluida. Untuk menggambarkan gerak fluida, WRF mengaplikasikan hukum kekekalan momentum, kekekalan masa, dan kekekalan energi. Dalam model WRF, proses fisis dan dinamis di atmosfer yang mempengaruhi proses pembentukan cuaca, di kuantifikasi untuk selanjutnya diekstrapolasi ke waktu yang akan datang. Dalam simulasi dan prediksi dengan model WRF, domain model diturunkan dari domain global menjadi domain yang lebih kecil atau domain regional, proses ini disebut juga downscaling (Pielke, 2002). Dalam penelitian ini, model global FNL di-*downscale* secara dinamik untuk menghasilkan pola cuaca detail yang sesuai dengan kondisi lokal seperti topografi, garis pantai dan lain-lain.

Model global diturunkan ke dalam tiga domain resolusi tinggi dengan jumlah level vertikal 28 level dan ukuran grid horizontal yang berbeda. Grid horizontal 27 km digunakan untuk domain 1 (D1), 9 km untuk domain 2 (D2), dan 3 km untuk domain 3 (D3), dengan titik pusat di 7,26° LS, 109,4° BT. Masing-masing domain memiliki jumlah grid horizontal 100 × 100. Data topografi menggunakan Digital Elevation Model dari the United State Geological Survey

(USGS) dengan resolusi 0,033° (2 menit busur) dan sistem proyeksi peta Mercator. Proyeksi peta menggunakan sistem Mercator, yang baik untuk lintang rendah (Wang dkk., 2010).

Pengujian skema parameterisasi dalam simulasi digunakan kasus hujan lebat yang memicu terjadinya longsor di Banjarnegara yaitu kasus tanggal 24 September 2016 dengan menggunakan data inisial model yang diambil dari data FNL. Dalam penelitian ini, pengujian skema mikrofisika dan parameterisasi konveksi dilakukan terhadap semua skema yang digunakan pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya (Gustari, 2014) untuk simulasi data *real time* dengan resolusi tinggi (Tabel 1.1). Dalam model WRF sendiri banyak tersedia pilihan skema parameterisasi untuk simulasi atau prediksi resolusi tinggi (Wang dkk., 2010), antara lain untuk skema mikrofisika, parameterisasi konveksi, radiasi, lapisan batas planeter, dan difusi.

Tabel 3.1. Skema parameterisasi

Eksperimen	Mikrofisik	Konveksi	Eksperimen	Mikrofisik	Konveksi
1	Kessler	KF (0)	16	WSM3	BMJ
2	Kessler	KF	17	WSM3	Grell 3d (0)
3	Kessler	BMJ (0)	18	WSM3	Grell 3d
4	Kessler	BMJ	19	Eta	KF (0)
5	Kessler	Grell 3d (0)	20	Eta	KF
6	Kessler	Grell 3d	21	Eta	BMJ (0)
7	Lin	KF (0)	22	Eta	BMJ
8	Lin	KF	23	Eta	Grell 3d (0)
9	Lin	BMJ (0)	24	Eta	Grell 3d
10	Lin	BMJ	25	WSM6	KF (0)
11	Lin	Grell 3d (0)	26	WSM6	KF
12	Lin	Grell 3d	27	WSM6	BMJ (0)
13	WSM3	KF (0)	28	WSM6	BMJ
14	WSM3	KF	29	WSM6	Grell 3d (0)
15	WSM3	BMJ (0)	30	WSM6	Grell 3d

Pilihan skema mikrofisika dan parameterisasi konveksi tersedia dalam model WRF bervariasi mulai dari yang sederhana dan efisien, sampai yang kompleks dan memerlukan sumber daya komputasi yang besar, serta yang baru dikembangkan dan yang sudah teruji dalam operasional (Wang dkk., 2010) pada Tabel 3.1.

Dalam memprediksi cuaca baik menggunakan model numerik maupun secara konvensional sangat dibutuhkan pengujian terhadap hasil dari prediksi cuaca dengan membandingkan terhadap

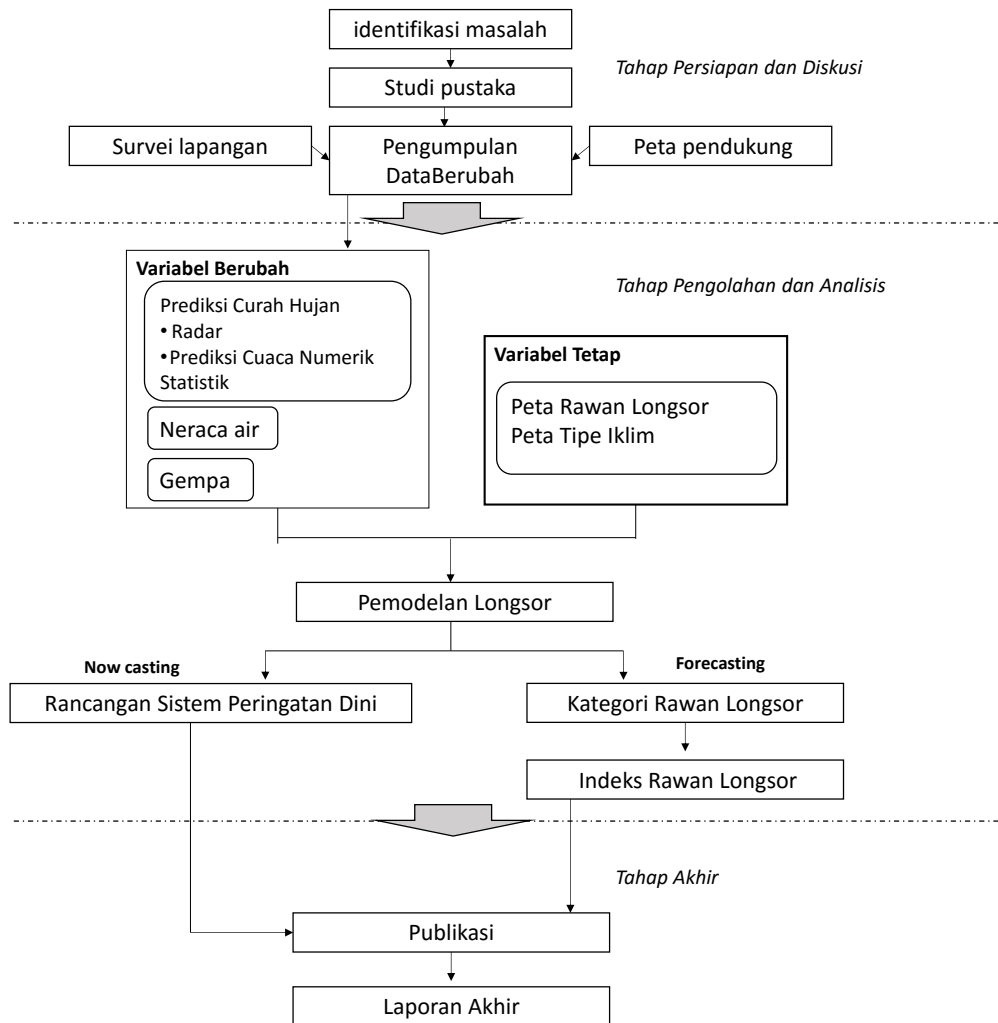
data pada observasi. Untuk verifikasi hasil prediksi curah hujan model WRF, akan dihitung nilai korelasinya dengan data curah hujan pengamatan permukaan. Keandalan prediksi model juga akan dibandingkan secara spasial dengan curah hujan hasil estimasi oleh satelit yaitu curah hujan GSMAP.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam kegiatan rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Longsor adalah seperti yang tertuang di dalam Gambar 3.1. Berdasarkan Gambar 3.1, kajian penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan dan tahap akhir. Tahapan persiapan meliputi identifikasi masalah bencana longsor yang pernah terjadi. Tahapan ini didukung dengan studi literatur, data sekunder serta data primer dari hasil survey ke lapangan. Persiapan penelitian mencakup penyusunan tim dan pembagian tugasnya. Dalam hal ini tim peneliti dibagi menjadi 5 kajian yaitu:

- a) Analisis karakteristik curah hujan saat longsor dan prediksi hujan bulanan,
- b) Prediksi curah hujan dengan metode radar dan satelit
- c) Analisis gempa
- d) Pengembangan desain prototype longsor
- e) Tim administrasi yang bertugas mengurus seluruh administrasi penelitian.

Inventarisir keperluan data yang dibutuhkan dan hal-hal yang diperlukan dengan survey lokus penelitian. Survey lokus penelitian di lokasi Banjarnegara dan Garut, Studi literatur, dicari beberapa literatur pendukung mengenai sistem peringatan dini longsor. Studi literatur berasal dari jurnal, buku, prosiding atau hasil penelitian lain yang berupa skripsi, tesis maupun disertasi. Hasil studi literatur diringkas dan digunakan sebagai acuan maupun sebagai pembandingan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam hal dilakukan terhadap alur kerja maupun metode yang digunakan untuk penelitian.



Gambar 3.1 Alur kajian bencana longsor

Tahapan selanjutnya adalah pelaksanaan analisis yang dilakukan pada 4 bidang kegiatan (Bidang Meteorologi, Klimatologi, Geofiska dan Instrumentasi) meliputi :

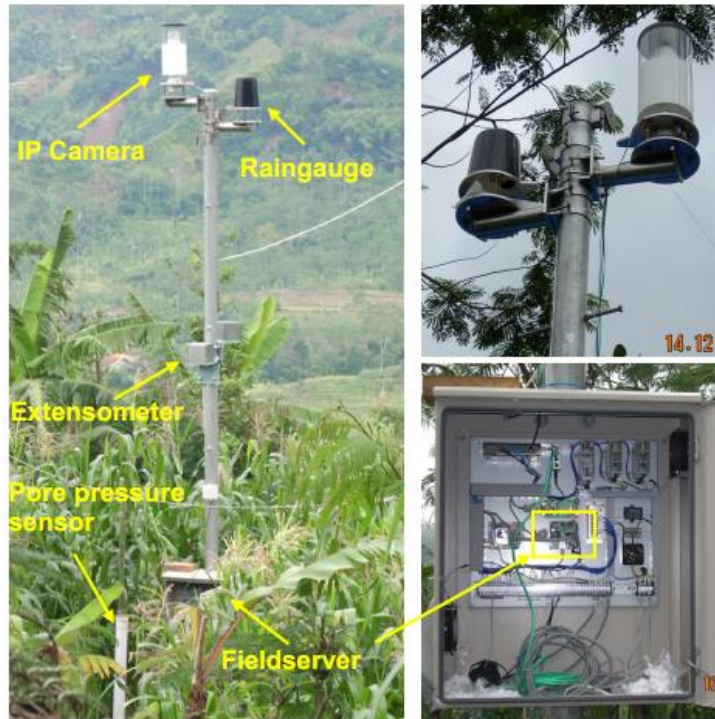
1. Pengembangan desain prototipe EWS longsor *real time*
2. Pengembangan metode prediksi curah hujan real time dengan model numerik dan radar (now casting) untuk prediksi curah hujan harian
3. Analisis karakteristik iklim ekstrem, prediksi curah hujan jangka bulanan dan penentuan threshold curah hujan yang berpotensi longsor
4. Analisis gerakan longsor menggunakan masukan data gempa

Selanjutnya dilakukan pembahasan dan presentasi hasil, pembahasan hasil, analisis faktor-faktor yang mempengaruhi hasil tersebut serta membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Pembahasan kesimpulan. Kemudian presentasi hasil penelitian.

3.3. Model Peralatan Sistem Peringatan Dini Longsor

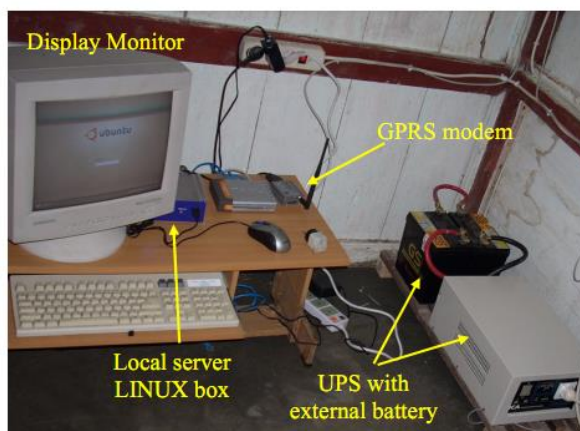
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Indonesia telah mengembangkan peralatan sederhana dan murah untuk pemantauan tanah longsor dan peringatan dini sejak tahun 2007 oleh Fathani dkk. Sistem pemantauan ini menyajikan hasil pengukuran *real-time* dengan menggunakan extensometer, rain gauge, dan *water pressure sensor* dengan pemantauan oleh kamera *online*. Peralatan pemantauan *real-time* terdiri dari unit *outdoor* dan *indoor*. Unit *outdoor* dipasang pada tiang tengah dan terdiri dari gardu induk, dua ekstensometer, rain gauge, kamera IP dan *water pressure sensor* (Gambar 3.2). *Fieldserver* adalah alat penginderaan dengan sistem tampilan data *online real-time* yang mengumpulkan data dari beberapa sensor dan menunjukkannya di server web.

Sistem ini terdiri dari kamera jaringan, dua ekstensometer yang ditempatkan di atas dan di bawah titik pengumpulan data untuk memeriksa pergeseran tanah dan alat pengukur hujan untuk memeriksa curah hujan saat ini yang mempengaruhi pergerakan lahan. Selain itu, sebuah *water pressure sensor* ditempatkan pada kedalaman 2,5 m untuk mengukur fluktuasi tingkat air bawah tanah. Data dari sensor dan gambar dari kamera dikumpulkan dan disimpan dalam database di *embedded linux system*.



Gambar 3.2 Unit *outdoor* (Fathani dkk, 2009)

Ekstensometer ditempatkan pada dua posisi yang dihubungkan oleh katrol dan *super invar wire* yang dapat mengukur kedua kondisi pemanjangan (+) dan kompresi (-). Unit indoor memiliki dua komponen penting yaitu unit pengolahan dan modem GPRS (Gambar 3.3). Sistem ini menerapkan algoritma berdasarkan pengamatan lokal oleh ahli tanah longsor untuk memberikan pesan peringatan di beberapa tingkatan. Tingkat peringatan ditentukan tergantung pada data yang dikumpulkan dari dua ekstensometer dan alat ukur hujan. Antarmuka grafis juga disediakan di situs komunitas setempat untuk mengamati pergerakan dan tingkat peringatan.

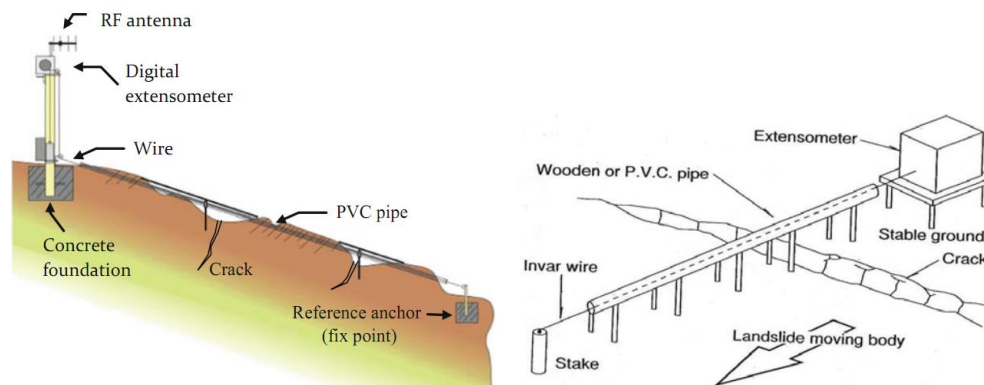


Gambar 3.3 *Indoor* unit (Fathani dkk, 2009)

Sistem peralatan peringatan dini longsor terdiri dari beberapa peralatan (Fathani dkk, 2014) yaitu :

1. Baterai kering (accu) sebagai sumber tenaga listrik dan Panel surya untuk mengisi ulang baterai kering.
2. inclinometer,
3. ultrasonic water level sensor and an IP Camera,
4. digital extensometer,

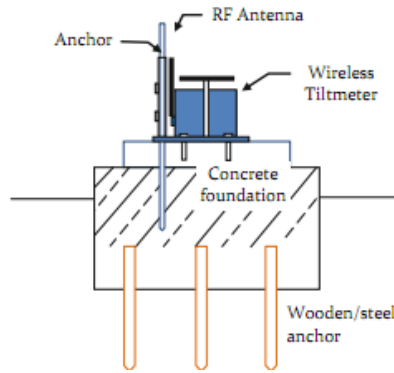
Extensometer digunakan sebagai alat pendeteksi adanya pergerakan atau pergeseran permukaan tanah. Selain itu, ekstensometer digunakan untuk mengukur perubahan jarak antara dua titik tetap di sisi celah (retakan tanah (*crack*)) dan dilekatkan pada lereng tanah untuk dipantau. Sistem ini menggunakan metode *auto-monitoring* dan *event trigger*. Ekstensometer dirancang untuk dapat ditarik secara otomatis melintasi celah sebagai respons terhadap bertambahnya lebar retakan yang diinduksi oleh gerakan kemiringan. Bertambahnya lebar retakan adalah indikator gerakan kemiringan awal sesaat sebelum terjadi longsor. Bila terjadi variasi perpindahan, sinyal perpindahan 1 mm memicu pemancar dan pada saat bersamaan data digital ditransmisikan ke server (Fathani dkk, 2014). Hal ini dapat sebagai indikasi untuk alarm akan berbunyi dan menjadi peringatan dini bagi masyarakat sehingga harus mulai bergerak menjauh dari lereng masing-masing.



a. instalasi extensiometer (Fathani dkk, 2014) b. instalasi ekstensiometer (Karnawati, 2011)

Gambar 3.4 Sistem Ekstensiometer

5. Wireless tiltmeter,



Gambar 3.5 Tiltmeter (Fathani dkk, 2014)

Tiltmeter yang digunakan mempunyai rentang pengukuran 0° - 80° pada sumbu X dan Y dari horisontal (Gambar 3.5). Tiltmeter digunakan untuk memantau perubahan kemiringan lereng yang tidak stabil. Data tiltmeter dapat memberikan sejarah kemiringan yang akurat dan memberikan peringatan dini potensi bahaya longsor. Sistem ini menggunakan metode pemantauan otomatis dan *event trigger method*. Bila terjadi variasi kemiringan sinyal inklinasi $0,1^{\circ}$ akan digunakan untuk men *trigger* pemancar dan pada saat bersamaan data digital dikirim ke server.

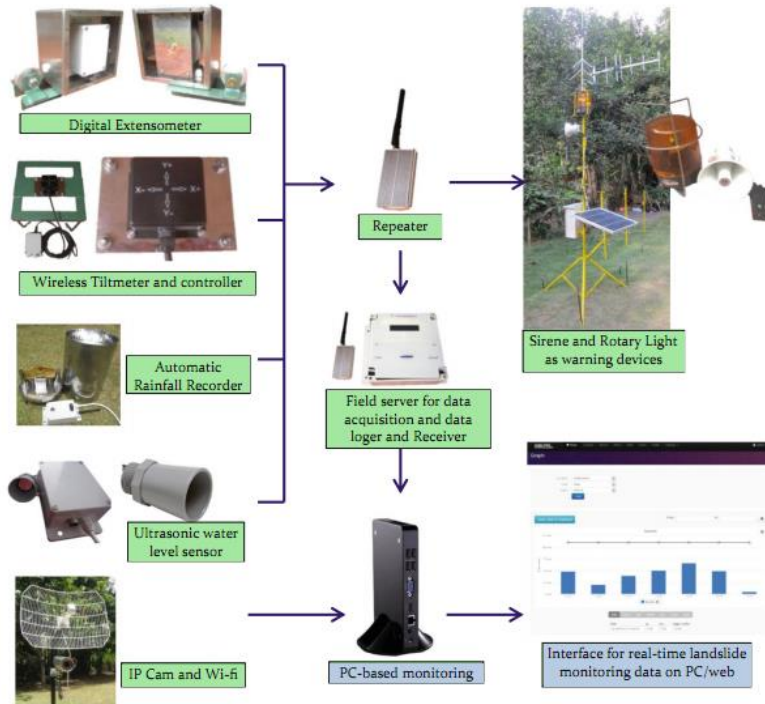
6. Rain Gauge

Alat pengukur hujan dipasang di tempat terbuka untuk mencatat curah hujan yang bisa menyebabkan tanah longsor. *Rain gage* yang digunakan memiliki akurasi 1 mm. Peringatan alarm dikeluarkan jika infiltrasi hujan akumulatif melebihi 100 mm. Ambang infiltrasi hujan ini didefinisikan berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya. Alarm peringatan pengukur curah hujan dirancang untuk meningkatkan kesadaran masyarakat agar siap bergerak kapan pun saat peringatan diberikan (Karnawati, 2011).

7. selain itu juga ditambahkan *pore water pressure*

Data yang dikumpulkan dari ekstensometer, tiltmeter, ARR dan AWLR yang diproses oleh mikrokontroler dikirim *point to point* pada *wireless network*. Data diterima oleh server lapangan, yang berfungsi untuk menerima, menyimpan, menganalisis dan mengirim ulang data ke server pusat dan memutuskan kapan akan mengumumkan peringatan dini kepada penduduk setempat. Data yang diterima kemudian disimpan dalam media penyimpanan digital (*memory card*). Server pusat terdiri dari peralatan penerima dan *personal computer* (PC) khusus untuk memantau data secara visual. PC yang terhubung ke internet akan mengunggah semua data ke server web. Oleh karena itu, data bisa dipantau dari tempat

manapun dengan akses internet. Gambar 2.7 menunjukkan diagram jaringan sistem telemetri untuk pemantauan longsor *real-time* dan peringatan dini.



Gambar 3.6 Diagram Blok Sistem Monitoring Banjir UGM

3.4 Sistem Prediksi Curah Hujan Jangka Pendek

Warner (2011) mendefinisikan prakiraan cuaca numerik atau *Numerical Weather Prediction* (NWP) sebagai teknik memprakirakan cuaca dengan menyelesaikan persamaan-persamaan aljabar dari persamaan model atmosfer yang memuat bentuk-bentuk persamaan differensial parsial sebagai fungsi perubahan terhadap ruang dan waktu. Selanjutnya persamaan model atmosfer akan ditransformasikan ke dalam bentuk aljabar agar dapat diselesaikan komputer mengingat komputer hanya mampu melakukan operasi perhitungan sederhana. Solusi numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan model atmosfer ada beberapa macam, yaitu teknik beda hingga (*finite difference*), beda volume (*finite volume*), dan *spectral*.

Dalam sebuah model numerik, persamaan-persamaan atmosfer secara spasial diselesaikan dalam serangkaian titik-titik grid tiga dimensi (*grid box model*) atau serangkaian gelombang (*spectral model*). Sistem titik-titik grid (*grid box*) adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk mewakili sebuah luasan di permukaan bumi ke dalam satu nilai. Jarak antar titik grid dalam

sebuah model sering disebut sebagai resolusi model. Pemilihan resolusi model bergantung pada skala fenomena yang akan disimulasikan.

Modal utama dalam menyelesaikan prakiraan cuaca numerik adalah data yang valid sebagai kondisi awal dan batas, metode numerik, persamaan dasar pembangunan model, domain, dan parameterisasi. Tujuan dari simulasi prakiraan cuaca numerik ini adalah untuk menghitung keadaan atmosfer berdasarkan waktu yang artinya simulasi tersebut bertujuan untuk menghitung dan memprediksi parameter atmosfer seperti kecepatan, kerapatan, tekanan, suhu, dan kelembaban dari setiap titik di udara, sehingga dapat diketahui kondisi atmosfer dari waktu ke waktu dan selanjutnya dapat diprediksikan maupun mensimulasikan kejadian yang sudah berlangsung.

WRF-ARW merupakan model numerik dengan sistem penyelesaian dinamis yang dibangun dengan kode program yang fleksibel dan sistem simulasi atmosfer yang dapat dilakukan serta efisien untuk dijalankan dari mulai super komputer hingga laptop (Scamarock, dkk 2008). WRF-ARW memiliki fitur dengan resolusi yang tinggi dan bisa digunakan untuk meningkatkan akurasi dalam mendeteksi jejak badai, intensitasnya, dan juga prakiraan hujan. Model WRF-ARW merupakan jenis model regional yang bisa diatur resolusi hingga ratusan meter.

Model WRF dibuat atas kerjasama dari beberapa lembaga di Amerika Serikat dan universitas seperti *National Center for Atmospheric Research's (NACR) Mesoscale and Microscale Meteorology (MMM) Division, National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* dan *Earth System Research Laboratory (ESRL)* serta melibatkan *Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS)* Universitas Oklahoma (Skamarock dkk, 2008).

WRF-ARW memiliki empat komponen utama, yaitu sebagai berikut :

1. WPS (*WRF Pre Processing System*)

WPS adalah komponen yang digunakan untuk mendefinisikan domain simulasi, menginterpolasi data terrestrial (seperti *terrain, land use*, dan tipe tanah) ke dalam simulasi, dan melakukan *grib* ulang data meteorologi ke dalam domain yang telah dipilih, sehingga didapatkan data input untuk program simulasi (*Real*). WPS mempunyai tiga program, yaitu *geogrid* (interpolasi data geografis yang bersifat statis pada grid), *ungrid* (ekstrak data meteorologi dalam format *grid*), dan *metgrid* (interpolasi secara horizontal data meteorologi yang telah diekstrak oleh *ungrid*).

2. WRF-VAR (WRF *Variational*)

WRF-VAR merupakan komponen pilihan sistem variasi data asimilasi yang dapat memasukkan data observasi (melalui WRFDA) ke dalam data input yang telah dibuat WPS untuk mengoptimalkan kondisi inisial model dan juga WRF-Chem model untuk memodelkan kimiawi udara.

3. ARW *Solver*

Komponen ini adalah yang terpenting dalam model WRF-ARW di mana bagian ini menyusun program untuk *starting model* (inisialisasi), sehingga perlu menyusun perhitungan yang ideal dan simulasi data real untuk digunakan dalam program integrasi numerik.

4. ARW*post*

ARWpost merupakan tahapan akhir untuk untuk mengubah format *output* keluaran model ke dalam format data universal yang mudah dibaca oleh *software display* (seperti *the Grids Analysis and Display System* (GrADS)) yaitu dalam format *network Common Data Form* (netCDF).

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, parameterisasi sangat penting dalam menyelesaikan fenomena skala kecil / kompleks pada model NWP. Pada model WRF terdapat beberapa jenis skema parameterisasi, yaitu sebagai berikut :

1. Lapisan permukaan (*surface layer*) tanah
2. Mikrofisis
3. Kumulus / konveksi
4. Model permukaan daratan
5. Lapisan batas atmosfer atau *planetary boundary layer* (PBL)
6. Radiasi atmosfer

Setiap skema parameterisasi proses fisis akan saling berinteraksi satu sama lain untuk dapat menyelesaikan proses fisis di dalam sebuah grid simulasi (model). Skema lapisan permukaan akan menghasilkan fluks panas untuk diberikan kepada skema PBL agar dapat menghitung efek turbulensi. Efek turbulensi dan *mixing* serta fluks vertikal di PBL (seperti fluks kelembaban) akan memicu skema parameterisasi kumulus untuk mendistribusikan labilitas dan kelembaban ke dalam sebuah awan konvektif. Kemudian, skema parameterisasi mikrofisis akan memperhitungkan partikel-partikel hidrometeor di dalam awan tersebut. Pada akhirnya interaksi

ini akan menghasilkan fenomena-fenomena seperti hujan yang akan menentukan akurasi model (Warner, 2011).

Parameterisasi konveksi / kumulus adalah yang paling berpengaruh terhadap curah hujan (Jankov dkk., 2005) karena skema ini penting dalam mengatur keseimbangan kelembaban dan suhu di atmosfer pada suatu kolom grid. Skema parameterisasi konvektif digunakan untuk menjelaskan pembentukan awan konvektif dan hujan yang terjadi dari awan tersebut. Ketika sebuah model tidak menggunakan skema parameterisasi konvektif maka model tidak dapat mendeteksi hujan walaupun keadaan atmosfer hasil simulasi sangat mendukung terbentuknya awan dan hujan (Gililand dan Rowe, 2007).

3.5 Penentuan Kondisi Klimatologis dan Ambang Batas Curah Hujan Terhadap Kejadian Longsor

Kondisi klimatologis yang akan dianalisa adalah profil hujan, tipe iklim, serta neraca air di wilayah penelitian. Setelah itu akan dibahas mengenai ambang batas curah hujan ketika longsor terjadi.

Ketersediaan air yang sebagian besar berasal dari curah hujan merupakan factor pembatas yang penting bagi peningkatan produksi suatu tanaman. Neraca air merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk melihat ketersediaan air tanah bagi tanaman pada waktu tertentu, sehingga kekurangan air bagi tanaman dapat diatasi atau dicegah misalnya dengan pemberian air irigasi pada jumlah dan waktu yang tepat.

Perimbangan antara masukan dan keluaran air di suatu tempat dikenal sebagai neraca air (water balance), dan nilainya berubah dari waktu ke waktu. Neraca air dapat dihitung pada luasan dan periode waktu tertentu menurut keperluannya. Secara umum persamaan neraca air adalah:

$$\text{Curah hujan} = \text{Run off} + \text{Evapotranspirasi} \pm \text{Perubahan KAT}$$

Prosedur perhitungan neraca air dibuat berdasarkan sistem tata buku Thorntwaite dan Mather (1957) dengan satuan tinggi air (mm atau cm) untuk semua unsur dan satuan waktu harian, mingguan, dasarian atau bulanan sesuai dengan keperluannya.

Komponen Neraca Air Lahan

- Presipitasi: Presipitasi atau curahan, adalah cara pengembalian air dalam segala bentuk dari langit ke permukaan bumi. Pada daerah tropis, termasuk Indonesia, presipitasi umumnya berbentuk curah hujan. Menurut Chang (1968), dalam perhitungan neraca air lahan, curah hujan merupakan variabel yang selalu berubah. Apabila perhitungan dilakukan untuk keperluan jangka panjang, maka tahap awal yang penting adalah menghitung peluang terjadinya curah hujan.
- Evapotranspirasi: Kehilangan air dari tanah terjadi melalui dua proses yang berbeda, yaitu melalui evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi dari permukaan daun. Dalam prakteknya, penentuan kehilangan air secara terpisah melalui kedua proses tersebut sulit dilakukan atau ditentukan, sehingga pengukuran jumlah air yang hilang dihitung sebagai total air yang hilang melalui evaporasi dan transpirasi, yang disebut dengan evapotranspirasi (Black, 1957).
- Nilai ETP standar (vegetasi rumput) dengan urutan prioritas sbb: ETP lisimeter, evaporasi kelas A dikali tetapan, ETP hasil perhitungan/estimasi menurut rumus Penman, Thorntwaite, Blaney Criddle dan seterusnya.

Berikut adalah rumus ETP dengan menggunakan metode Thorntwaite:

$$ETp = 1.6 \{ 10t / I \}^a$$

$$i = (t/5)^{1.514} \quad I = \sum i$$

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0,49239$$

t : suhu rata-rata bulanan

I : indeks panas

ETp : dalam satuan cm dan panjang hari 12 jam

Rumus ETp koreksi untuk jumlah hari dan panjang hari

$$ETp_{\text{koreksi}} = (X/30) \times (Y/12) \times ETp$$

X = jumlah hari dalam sebulan tertentu

Y = panjang hari pada bulan tertentu sesuai dengan lintang tempat

- Kandungan air tanah (KAT): Kandungan (kadar) air dalam tanah merupakan suatu sistem penyangga bagi tanaman untuk mengatur keseimbangan air dalam tanaman itu sendiri. Sumber air yang tersedia bagi tanaman adalah yang berada atau ditahan oleh zona perakaran.

Air yang tersedia, adalah berupa air yang tertahan di dalam tanah antara kapasitas lapang dan titik layu permanen (Chang, 1968).

- Kapasitas Lapang (*water holding capacity*): mekanismenya terjadi apabila infiltrasi saat berlangsungnya hujan dimana air akan mengalir ke dalam tanah akibat gaya gravitasi melalui pori-pori tanah dan menempati lapisan paling bawah. Jika tanah menjadi jenuh akan air dan tidak lagi dipengaruhi oleh gaya gravitasi, maka tanah dikatakan dalam keadaan kapasitas lapang (KL). Dengan demikian, kapasitas lapang merupakan jumlah air yang tertahan dalam tanah sesudah kelebihan air gravitasi mengalami drainase dan laju gerak turun dari air tersebut menurun. Kapasitas lapang dari suatu jenis tanah tergantung pada tekstur dan struktur tanah (Strahler, 1973).
- Titik Layu Permanen (*permanent wilting point*) atau koefisien layu (*wilting coefficient*) merupakan batas bawah ketersediaan air dalam tanah untuk tanaman, dimana tanaman tidak dapat lagi menyerap air untuk pertumbuhannya. Pada saat titik layu permanen (TLP), kandungan (kadar) air tanah beragam yaitu mulai 30-40% untuk tanah pasir halus, dan 30% untuk tanah dengan tekstur liat halus (Chang, 1968).
- Perubahan Air Tanah, Surplus dan Defisit: Perubahan kadar air tanah sangat beragam, mulai dari 0 (nol) untuk tanah kering mutlak sampai nilai tertentu pada saat kapasitas lapang. Kapasitas simpan air pada suatu tanah merupakan kesetimbangan antara air yang hilang dan air yang masuk. Nilai kapasitas simpan tergantung pada jenis tanah dan zona perakaran. Apabila di sekitar zona perakaran relatif seragam, maka kapasitas simpan tersebut adalah jumlah kapasitas simpan dari setiap lapisan pembentuk tanah (Doorenbos dan Pruitt, 1975).
- Kelebihan air atau surplus digunakan untuk meningkatkan KAT. Setelah mencapai kapasitas lapang, selanjutnya akan hilang sebagai limpasan permukaan (Chang, 1968). Limpasan permukaan dapat terjadi sebelum tercapainya kapasitas lapang pada seluruh lapisan tanah bila intensitas hujan melebihi laju infiltrasi.

Prosedur Analisis Neraca Air terlebih dahulu disusun kolom isian untuk analisis (Tabel 3.2). Selanjutnya mengisi tabel tersebut dengan hasil perhitungan.

Langkah pengisian tabel neraca air :

1. Kolom Curah hujan (CH)

Data CH rata-rata bulanan atau CH dengan peluang tertentu.

2. Kolom Evapotranspirasi potensial (ETP). Nilai ETP standar (vegetasi rumput) dengan urutan prioritas sbb: ETP lisimeter, evaporasi kelas A dikali tetapan, ETP hasil perhitungan/estimasi menurut rumus Penman, Thorntwaite, Blaney Criddle dan seterusnya.

Tabel 3.2 Neraca air lahan bulanan

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Variabel												
CH												
ETp												
CH-ETp												
APWL												
KAT												
DKAT												
Eta												
Defisit												
Surplus												

(Keterangan ; KL=Kapasitas lapang ; TLP=Titik Layu Permanen ; APWL=Accumulation Potential of Water Loss ; KAT=Kandungan Air Tanah ; dKAT=Perubahan Kandungan Air Tanah).

3. Kolom CH - ETP

Selisih nilai curah hujan dan evapotranspirasi potensial.

4. Kolom Akumulasi potensial untuk penguapan (APWL)

Hasil-hasil negatif pada langkah 3 diakumulasikan bulan demi bulan sebagai nilai Accumulation Potential of Water Loss (APWL) dan diisikan pada kolom yang bersangkutan.

5. Kolom kandungan air tanah (KAT)

Pertama tentukan kapasitas lapang (KL). Pengisian kolom KAT dimulai bulan pertama terjadi APWL berdasarkan tabel *soil moisture retention* atau hitungan rumus sbb:

$$KAT = KL \times k^{|APWL|}$$

$$k = p_0 + p_1/KL \quad p_0 = 1.000412351 \quad ; \quad p_1 = -1.073807306$$

Kolom KAT bulan pertama dimana CH-ETP bernilai positif diisi dengan : (KAT = KAT_{terakhir} + CH - ETP). Begitu seterusnya hingga nilai KAT = KL tercapai. Sejak bulan tersebut selama hujan masih berlebihan nilai KAT tetap konstan yaitu sama dengan KL.

6. Kolom Perubahan KAT (dKAT)

Nilai KAT dari suatu bulan tersebut dikurangi KAT bulan sebelumnya.

7. Kolom Evapotranspirasi Aktual (ETA)

Jika $CH > ETP$ maka $ETA = ETP$. Pada bulan-bulan terjadi APWL ($CH < ETP$) maka $ETA = CH + |dKAT|$.

8. Kolom Defisit (D)

$D = ETP - ETA$.

9. Kolom Surplus (S)

Surplus terjadi saat tidak ada D, maka $S = CH - ETP - dKAT$.

Penentuan nilai ambang batas curah hujan terhadap kejadian longsor di Kecamatan Banjarnegara menggunakan data curah hujan harian dari Stasiun Pengamatan BMKG di Banjarnegara. Analisis didasarkan pada nilai intensitas hujan kumulatif sejak sepuluh hari sebelum kejadian (n-10) sampai pada sehari sebelum kejadian (n-1) atau sehari sebelum terjadinya longsor dari kejadian dengan mengecualikan kejadian longsor yang terjadi karena hujan ekstrim pada hari yang sama saat terjadinya longsor.

Untuk mengetahui pola hujan diurnal di Banjarnegara, pada tulisan ini dilakukan analisis deret waktu data curah hujan yaitu dengan rata-rata curah hujan per jam dari penakar hujan Hillman setiap 3 bulan (DJF, MAM, JJA, dan SON) selama tahun 2013-2015. Persentase kejadian curah hujan lebat per jam dianalisa selama 3 tahun. Kriteria curah hujan lebat yang digunakan sesuai Peraturan Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Nomor: KEP. 009 Tahun 2010 yaitu curah hujan dengan intensitas paling rendah 20 mm/jam. *Software Microsoft excel* dan *sigmaplot* digunakan untuk mengolah data dan membuat grafik curah hujan diurnal.

Pada penelitian ini untuk menganalisa curah hujan ekstrim menggunakan nilai persentil 95. Curah hujan ekstrim per jam dicari dengan rumus persentil 95% dari total keseluruhan data. Persentil merupakan ukuran letak data dalam statistik. Persentil merupakan nilai yang membagi data menjadi seratus bagian sama besar. Persentil sering dilambangkan dengan P. Jenis persentil ada 99, yaitu $P_1, P_2, P_3 \dots P_{99}$ (Wilks, 2011).

$$\text{Letak } P_i = \frac{1(b + 1)}{100}$$

Keterangan : P_i = pesentil ke-i

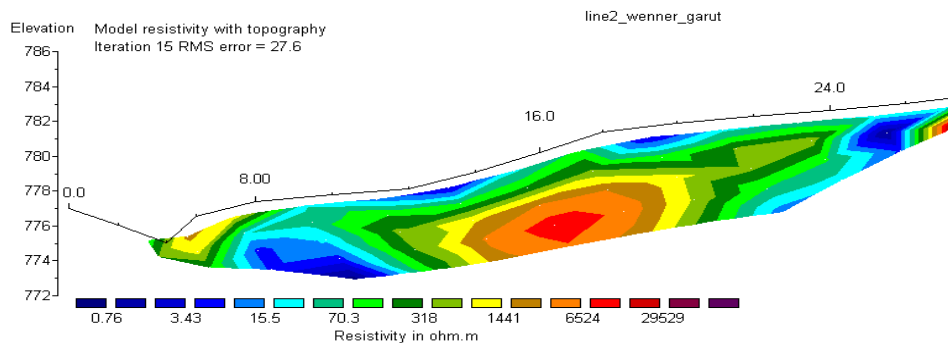
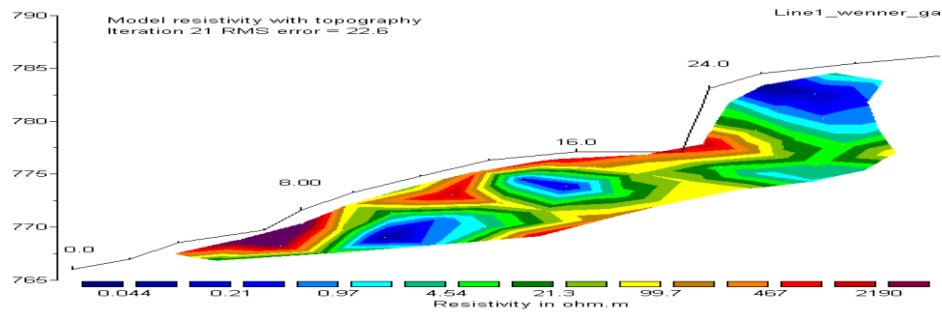
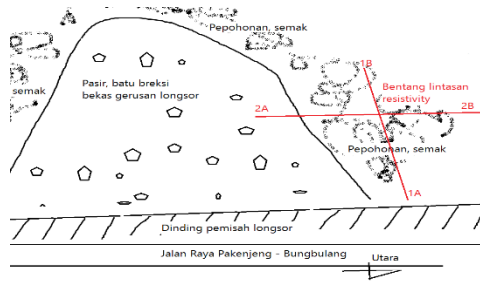
n = banyaknya data

4. KONDISI GEOFISIKA WILAYAH PENELITIAN

Pengukuran resistivity menggunakan dua lintasan dimana lintasan 1 membentang vertikal dari 1A ke 1B dengan arah agak Timur- Barat dengan panjang 32 m searah dengan kemiringan lereng (Gambar 4.1). Pada titik 1 A di bagian tengah lereng ketinggian 772 - 778 m dpl, nilai resistivitas batuan sangat tinggi lebih dari 467 ohmm (warna merah), yang diinterpretasikan sebagai batupasir tufan. Kondisi ini cocok dengan informasi peta geologi bahwa daerah ini termasuk kedalam Formasi Bentang (Tmptb) yang terdiri dari batupasir tufan, tuf batuapung, batulempung, konglomerat dan lignit (Alzwar, 1992). Bukti fisik dapat ditemukan dengan mudah di pinggir jalan bekas longsor (Gambar 4.1). Batuan pegunungan Garut diketahui mengalami pelapukan yang tinggi sehingga mempunyai pelapisan tanah cukup tebal dan mudah lapuk.



Gambar 4.1. Lokasi longsor Pasirlangu, berurutan dari kiri atas ke kanan bawah (1) Topografi tebing longsor jalan amblas Pasirlangu. (2) Desa longsor Pasirlangu (sumber : Google Earth). (3) Tampak samping dengan kemiringan lereng hampir 45 derajat. (4) Satuan batuan terdiri dari breksi dan tufa pasir lapuk cukup rentan pergerakan tanah.



Gambar 4.2 Pengukuran Resistivity Pasirlangu, berurutan dari kiri atas ke kanan bawah (1) Sketsa lintasan. (2) Tampak nyata. (3) Lintasan 1 vertikal. (4) Lintasan 2 horisontal.

Lintasan 2 membentang horisontal dari 2A ke 2B dengan arah Selatan-Utara dengan panjang 32 m tegak lurus memotong lintasan 1 pada jarak 14 m (Gambar 4.2). Pada kedalaman 0 sampai dengan 3 m didominasi oleh batuan dengan resistivitas rendah antara 0.76 hingga 15.5 ohm.m yang diindikasikan sebagai lempung. Pada jarak 12 hingga 20 m dari selatan pada kedalaman lebih dari 2 m tampak batuan dengan nilai 1441 ohm.m, diindikasikan sebagai batuan keras atau batu pasir.

Pada bagian jalan raya ke arah bawah lereng, tanah pasiran sudah mengalami pemadatan karena pengaspalan. Pada lintasan 0-16 m terlihat pada kedalaman 3 - 8 m serta di bagian atas lereng terdapat material batuan dengan nilai resistivitas sangat rendah berkisar antara 0.2 - 4.5 ohm.m (warna biru) dengan sebaran di bagian atas lereng dan sela-sela batu breksi. Material

dengan nilai resistivitas rendah ini umumnya berkaitan dengan keberadaan lapisan lempung, cairan atau air tanah. Lapisan ini sangat potensial menjadi bidang gelincir longsor bagi batuan lapuk di atasnya terutama saat terjadi hujan dengan intensitas lebat terjadi. Pada saat jenuh air karena akumulasi curah hujan, minim daya tembus air terhadap lapisan lempung licin dan kedap air, kemiringan lereng sangat curam ($slope > 30^\circ$), maka beban lereng akan semakin berat sehingga menyebabkan ketidakstabilan lereng dan sangat berpotensi longsor.

Lokasi Darajat Pass tepatnya di daerah Hotel Darajat Pass, Desa Padawas, Kecamatan Pasirwangi, Kabupaten Garut pada koordinat $7^\circ 13' 8.00''$ LS dan $107^\circ 44' 40.29''$ BT dengan ketinggian 1662 mdpl. Petugas BPBD Garut menunjuk lokasi tersebut dikarenakan maraknya pembangunan fasilitas wisata seperti : hotel, penginapan, kolam renang dan water boom. Selain itu warga beramai-ramai mengalihfungsikan hutan lindung menjadi ladang perkebunan dan pemukiman padat penduduk. Secara umum kawasan ini menjadi perbukitan gundul yang minim serapan air. Pada tahun 2016, air bah pernah melanda daerah ini. Pihak BPBD Garut sudah memasang rambu-rambu dan jalur evakuasi sebagai bentuk peringatan bencana longsor, namun tetap tidak dihiraukan oleh masyarakat. Resiko gempa bumi di Kecamatan Pasirwangi tergolong tinggi dengan indeks 0,81271. Masyarakat sering merasakan guncangan gempa. Bukti pergerakan tanah aktif dapat ditemukan di pinggir jalan Pasirwangi berupa jalan aspal terbelah dan rumah roboh (Gambar 4.3).

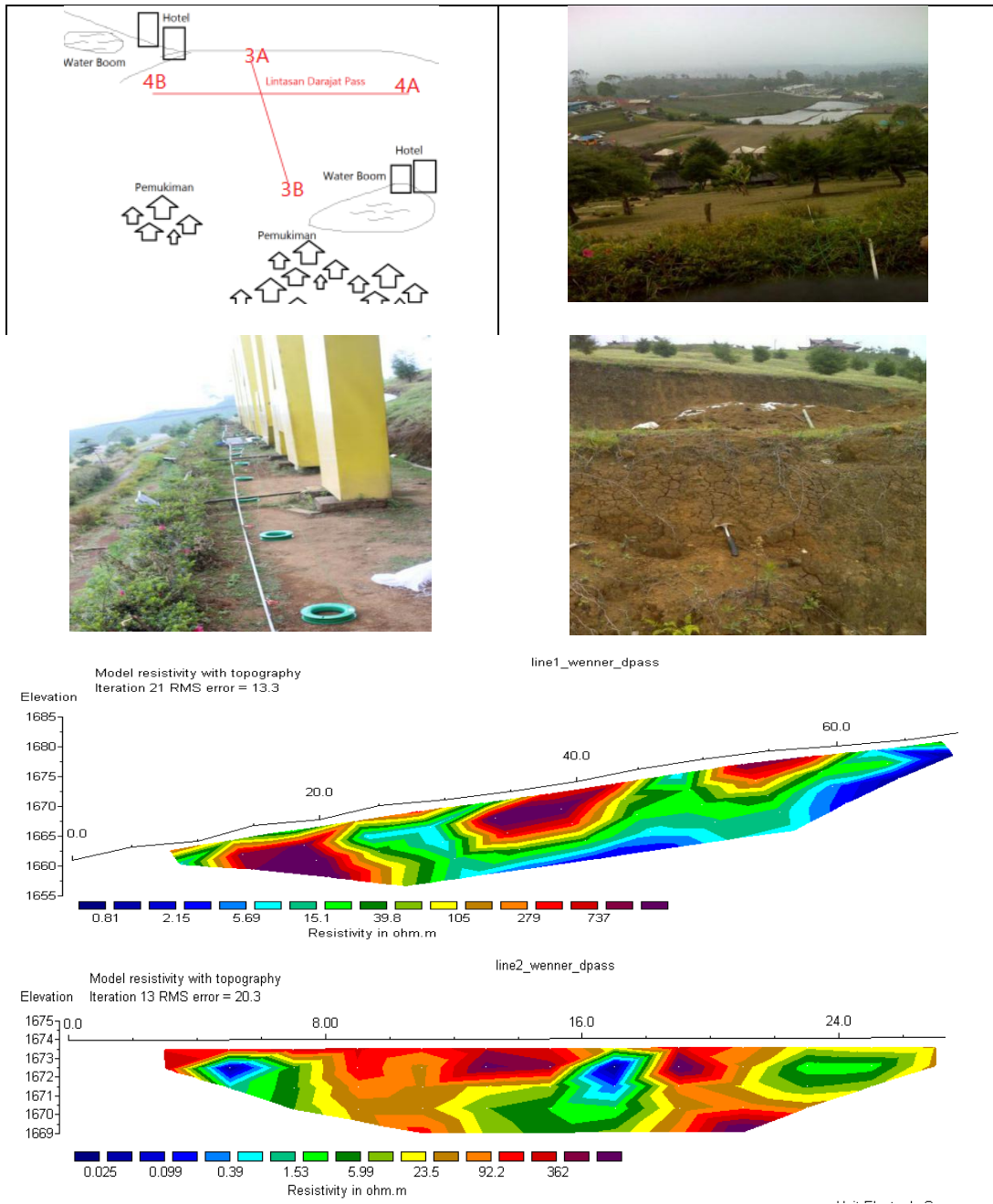
Pengukuran geolistrik di Darajat Pass (Gambar 4.3) menggunakan dua lintasan yaitu : lintasan 3 dan 4. Pada lintasan 3 dengan titik 3A ke 3B dengan panjang lintasan 80 m dengan arah Barat - Timur. Lintasan 4 memotong tegak lurus di tengah lintasan 3 pada jarak 40 m dengan panjang lintasan 32 m dengan arah Utara – Selatan. Hasil terlihat persebaran material batuan dengan nilai tahanan jenis tinggi yang ditunjukkan warna merah berada di bagian bawah lereng tengah dan atas lereng dari permukaan hingga kedalaman 6-7 m yang diinterpretasikan sebagai batu pasir tufan. Sementara material batuan dengan tahanan jenis rendah ditunjukkan dengan warna biru dan diinterpretasikan sebagai material lempung hingga lanau. Batuan di Darajat Pass tergolong Gunungapi Tua (QTV) sebagai hasil aktifitas gunungapi tua dengan komponen penyusun tak teruraikan (Alzwar, 1992) dan secara umum didominasi oleh batu tufaan yang lapuk.



Gambar 4.3 . Lokasi longsor Darajat Pass, berurutan dari kiri atas ke kanan bawah : (1) Alih fungsi hutan lindung menjadi kawasan wisata, perkebunan dan pemukiman. (2) Pemukiman, sarana sekolah dan jalanan ramai di bawah lereng tebing yang rawan longsor. (3) Rambu rawan longsor milik BPBD Garut pada area bekas jalan terbelah akibat longsor. (4) Rumah roboh akibat pergerakan tanah aktif.

Kemiringan lereng Darajat Pass cukup terjal $> 30^{\circ}$, tetapi dibuat sengkedan sehingga sedikit mengurangi potensi longsor dengan material yang besar rendah. Namun, kemungkinan terjadi rayapan atau pergerakan tanah dalam waktu kedepan masih cukup tinggi. Terlebih lagi masyarakat sering merasakan efek guncangan dari perambatan gempabumi dari wilayah jauh. Umumnya gerakan tanah ini di tandai dengan adanya tanaman atau vegetasi yang miring atau pondasi bangunan yang bergeser (Gambar 4.3). Sedangkan pada lintasan 4, dengan panjang 32 m membentang dari arah Utara – Selatan sebagaimana dapat dilihat pada gambar 8 nampak material dengan nilai tahanan jenis cukup tinggi berada di permukaan sedalam 1-3 m yang ditunjukkan dengan warna jingga hingga merah dan berada di kedalaman 5 m. Material ini memiliki nilai tahanan jenis 92.2 hingga 362 ohmm dan diinterpretasikan sebagai batuan pasir tuf. Di lapisan bawahnya umumnya terdapat material batuan dengan nilai tahanan jenis rendah,

yang ditunjukkan dengan warna biru hingga hijau di interpretasikan sebagai material lempung hingga lanau.



Gambar 4.4 Lokasi Darajat Pass, berurutan dari kiri atas ke kanan bawah : (1) Sketsa lintasan. (2) Tampak dari atas ke bawah ereng. (3) Lintasan 4 horisontal. (4) Satuan batu tufa pasiran.

Keadaan cuaca di Darajat Pass adalah cerah berawan pada jam 11.00 WIB dimana arah angin bertiup dari arah 125 derajat dengan kecepatan 4 Knot. Pengukuran suhu lebih rendah

dibandingkan daerah Pasirlangu dimana temperatur bola kering 20°C, bola basah 18,5°C dan tekanan udara 812 mb. Sedangkan pada jam 15.00 WIB cuaca cukup mendung dengan arah dan kecepatan angin 120 derajat dan 45 Knot, temperatur kering dan basah yaitu 19,5°C dan 17,5°C, dan tekanan udara 810 mb.

Daerah Darajat Pass sekalipun mempunyai struktur batuan cukup homogen batu pasir tufaan tetapi tetap dipandang rawan longsor dikarenakan alih fungsi hutan lindung yang sangat masif dilakukan oleh masyarakat dan industri pariwisata. Maraknya pembangunan perhotelan dan penginapan mendorong pengeboran air tanah baru dan pemanfaatan mata air panas berskala besar. Hutan sekitar sudah tidak lagi berfungsi sebagai sebagai reservoir air tanah dan pengikat struktur batuan. Usaha perladangan warga dilakukan semusim dan berpindah-pindah lokasi menyebabkan kerusakan ekosistem meluas. Banjir bandang pernah terjadi melanda penduduk dibawah aliran sungai dibawah perbukitan Darajat Pass pada tahun 2016. Ke depan diperlukan usaha mitigasi bencana yang serius dan sistematis kepada warga dan pihak-pihak terkait terhadap ancaman longsor dan banjir. Pendidikan dan kajian intensif perlu digalakkan sebagai tahapan persiapan penyelamatan bencana.

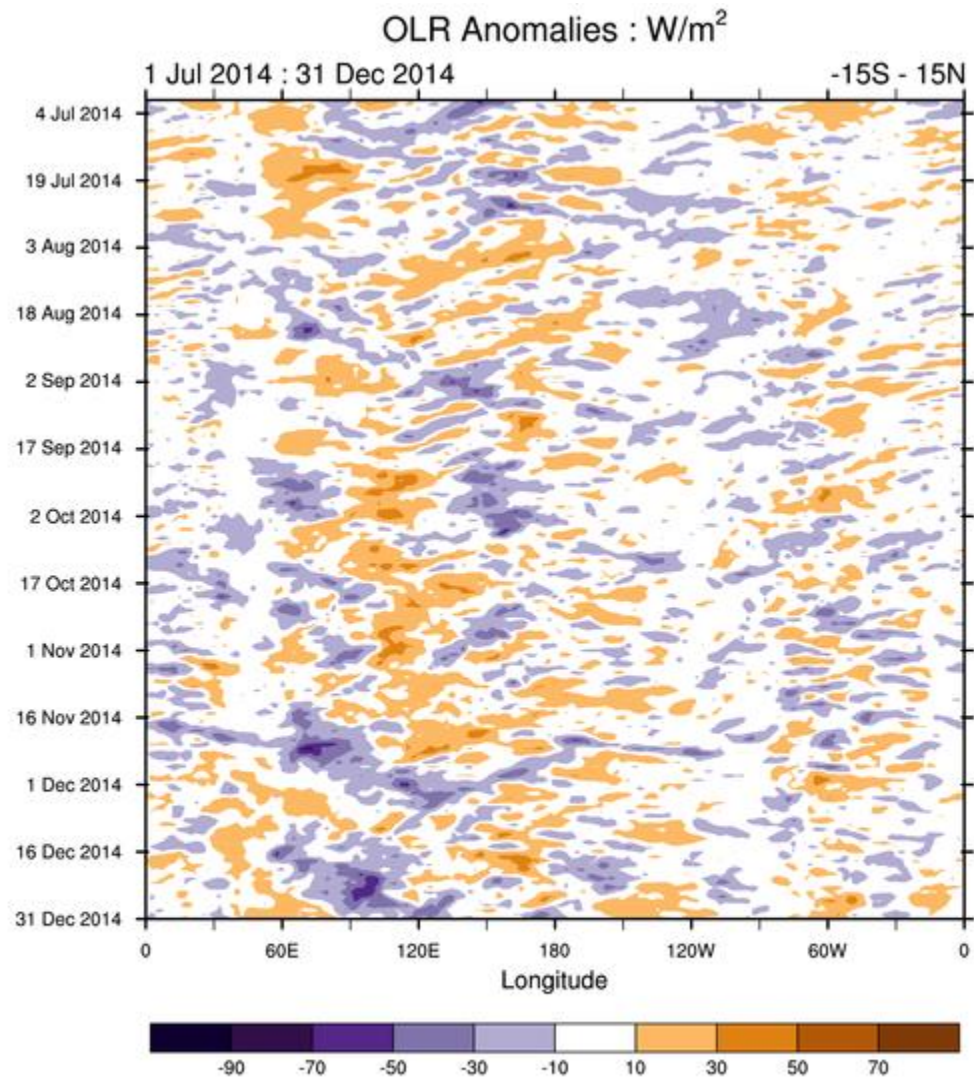
5. ANALISA METEOROLOGIS LONGSOR Banjarnegara

5.1 Dinamika Atmosfer secara Umum pada Saat Kejadian Longsor

Sebagaimana dalam penjelasan sebelumnya dengan pusat perhatian kajian dan penelitian dengan kehadiran bencana lingkungan berupa banjir, banjir bandang dan tanah longsor yang terjadi di P. Jawa khususnya kawasan Banjarnegara dan Garut telah memilih waktu sekitar akhir 2014, mulai tengah hingga akhir 2016 dan sepanjang tahun 2017. Dari pembagian terdapat 3 periode waktu yaitu akhir 2014, sepanjang tahun 2016 dan sepanjang tahun 2017. Bahasan akan menggunakan pendekatan tentang kegiatan liputan awan konveksi dimana pemilihan nilai simpangan OLR berharga negatif rendah mencerminkan adanya awan konveksi yang cukup tebal dan meluas dan ditandai dengan kawasan pertemuan angin baratan dan angin timuran lapisan bawah. Nilai simpangan OLR dan rentang waktu simpangan angin zonal lapisan bawah untuk mendapatkan daerah pertemuan angin baratan dan angin timuran. Ke dua grafik rentang waktu simpangan OLR dan simpangan angin zonal/baratan akan menjadi bagian penelitian kondisi dinamika udara kawasan BMI yang akan terbagi dalam 3 bagian antara lain :

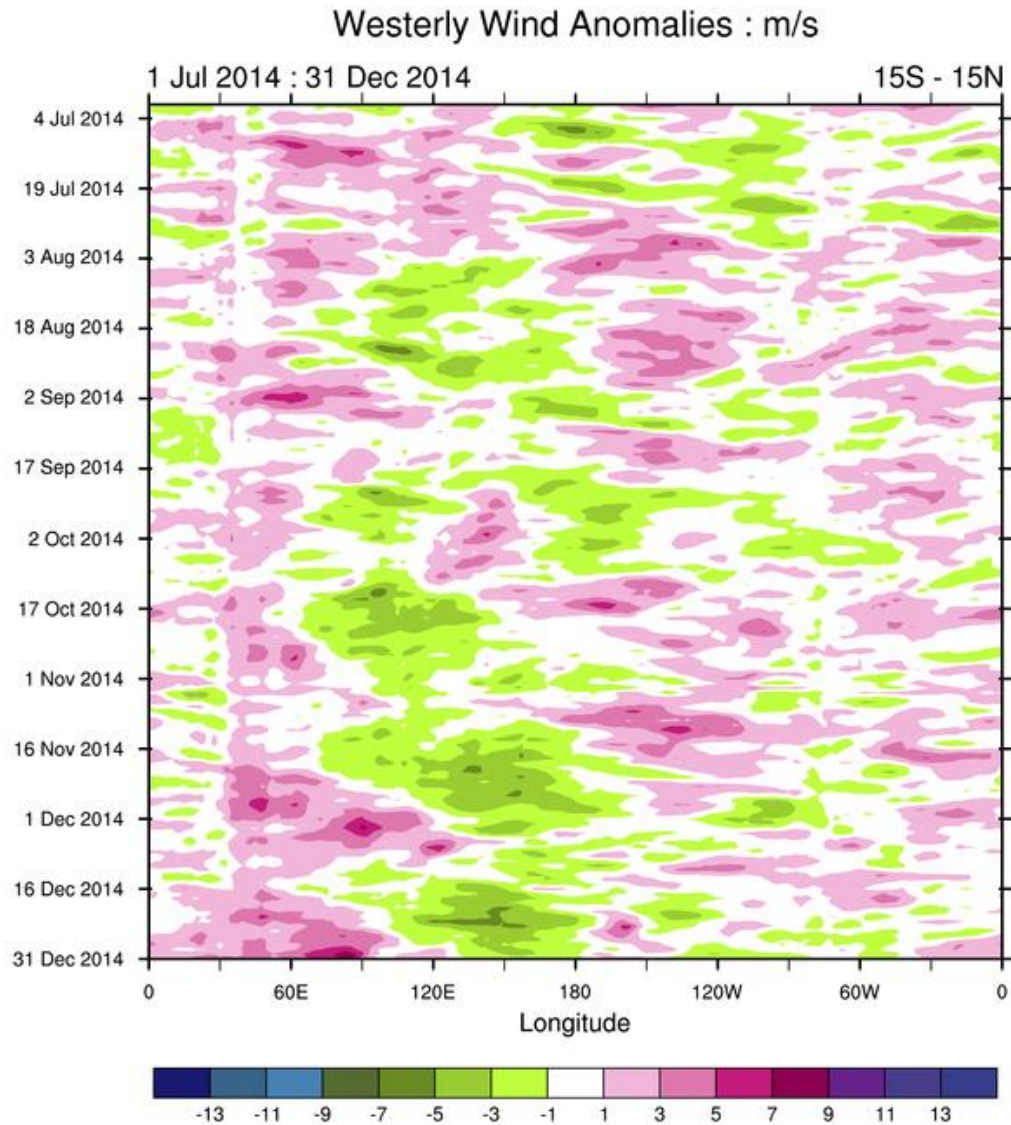
- a. Kondisi akhir 2014

Dalam setiap kajian akan tersaji 2 grafik rentang waktu dari kondisi simpangan OLR dan simpangan angin zonal akhir 2014 yang tersaji dalam gambar 2 dan 3 berikut ini,



(C) Copyright Commonwealth of Australia 2015. Bureau of Meteorology

Gambar 5.1 : Kondisi Simpangan OLR akhir tahun 2014 (Juli – Desember 2014) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>



(C) Copyright Commonwealth of Australia 2015. Bureau of Meteorology

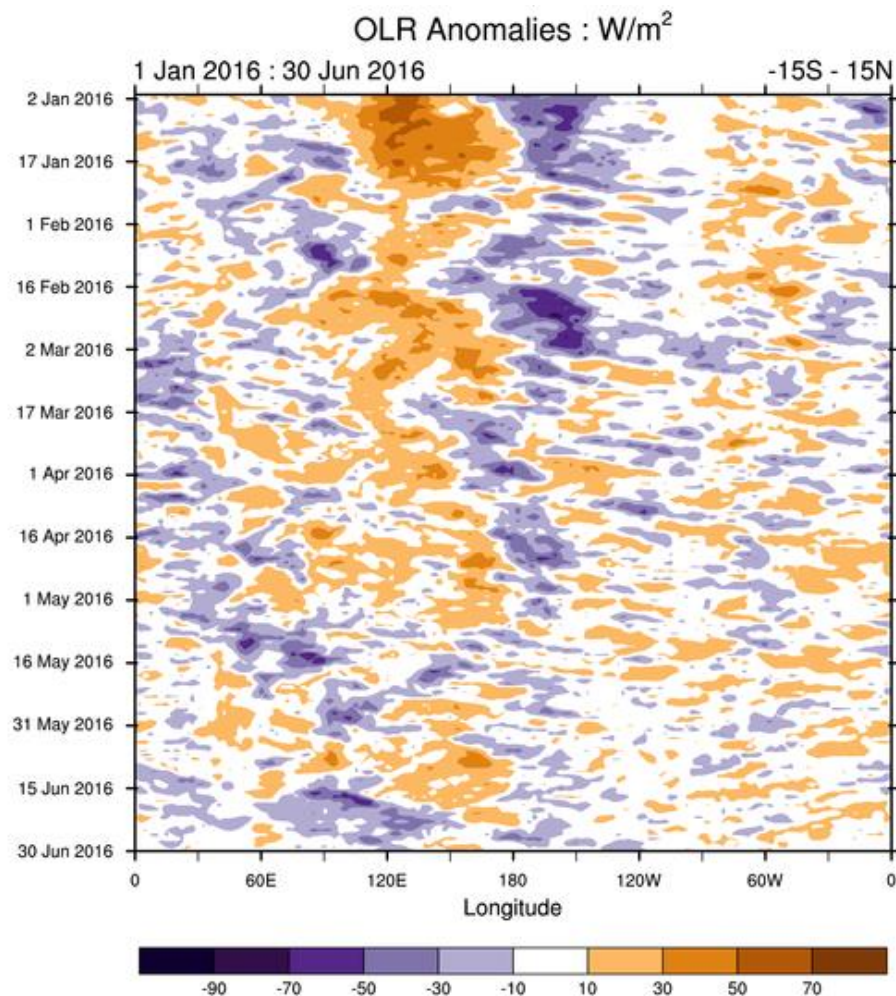
Gambar 5.2 : Kondisi Simpangan angin zonal/baratan akhir tahun 2014 (Juli – Desember 2014) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>

Dari dua grafik pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 menunjukkan bahwa kondisi pertemuan angin barat dan angin timur yang berwarna putih yang giat semenjak bulan Agustus 2014 dan nampak jelas kegiatannya mulai bulan Oktober dan giat di bulan November hingga Desember 2014. Dari data simpangan OLR yang menunjukkan nilai simpangan negatif pada bulan November hingga Desember 2014 yang dapat diartikan situasi dan perkembangan kondisi dinamika udara dengan kegiatan MJO dan didukung dengan adanya konvergensi dan liputan awan konveksi sekitar pertengahan

November hingga akhir Desember 2014. Kejadian longsor yang terjadi tanggal 11 Desember 2014 di kawasan Banjarnegara seiring kondisi dinamika udara yang naik akibat giatnya pertemuan angin zonal dan didukung perkembangan awan konveksi yang giat pada kurun waktu tersebut.

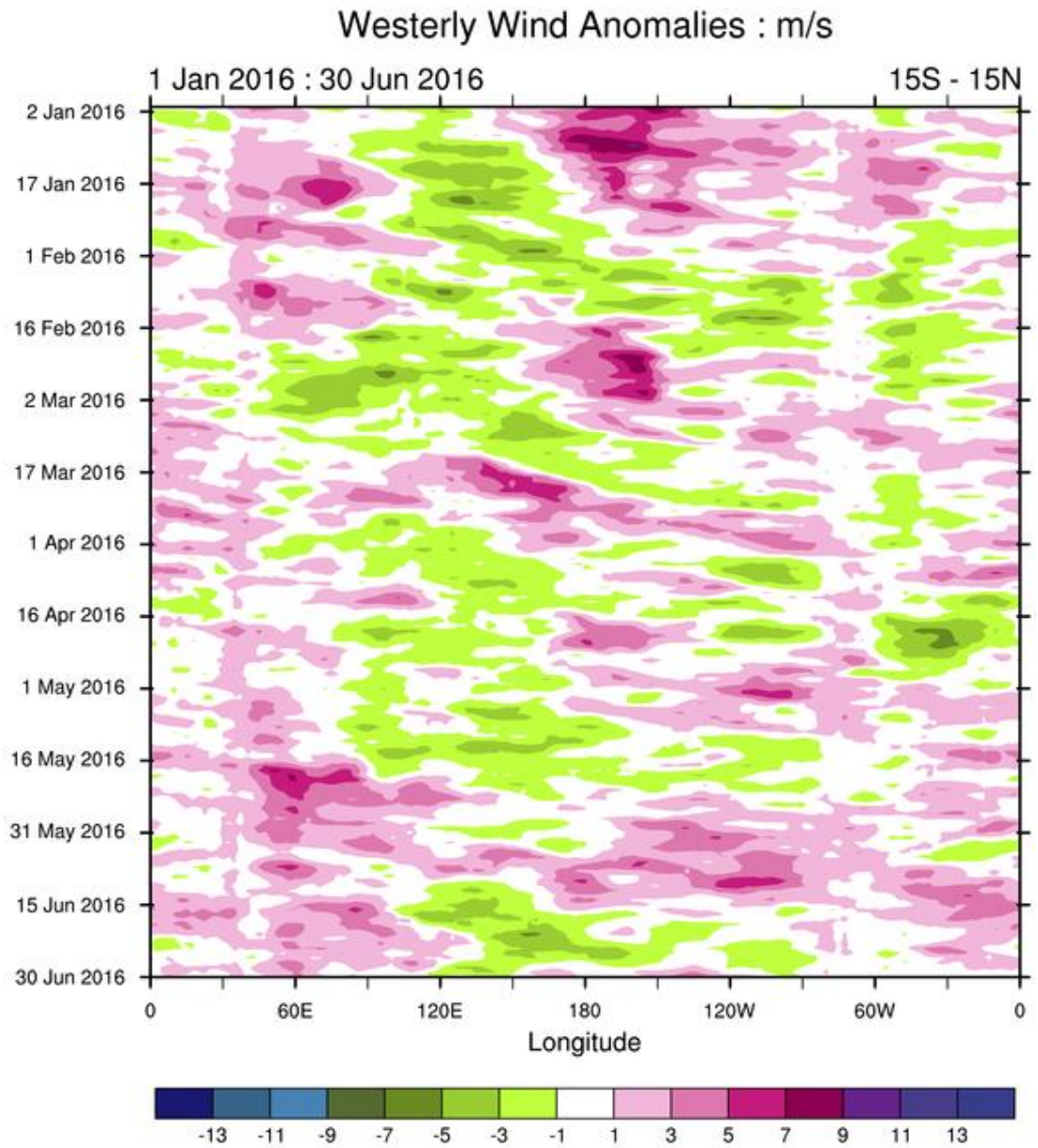
b. Kondisi tahun 2016

Untuk meninjau kondisi tahun 2016 akan disajikan 4 grafik kondisi OLR dan simpangan angin zonal/barataan yang disajikan setiap 6 bulan atau ½ tahun sebanyak 4 grafik dalam gambar 4, 5, 6 dan 7 terlampir.



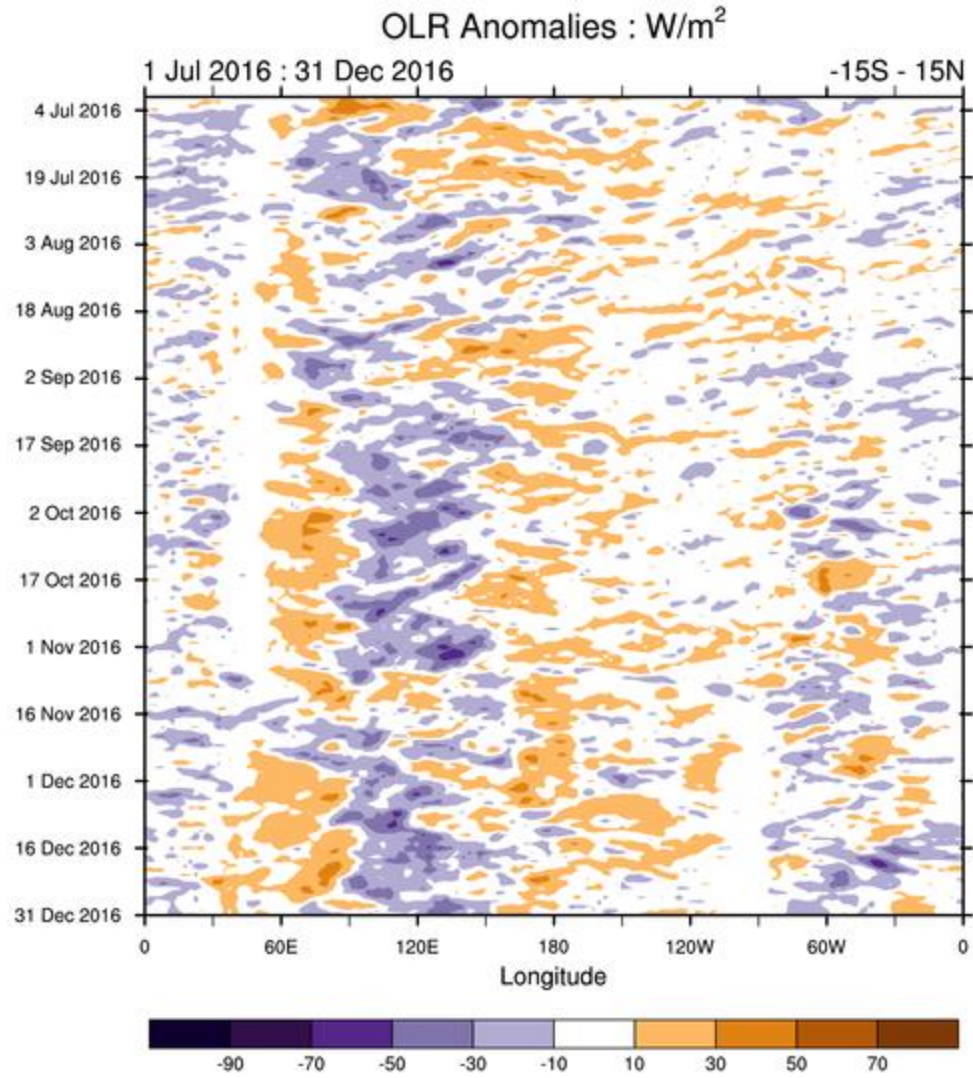
(C) Copyright Commonwealth of Australia 2016. Bureau of Meteorology

Gambar 5.3 : Kondisi Simpangan OLR awal tahun 2016 (Januari – Juni 201) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>



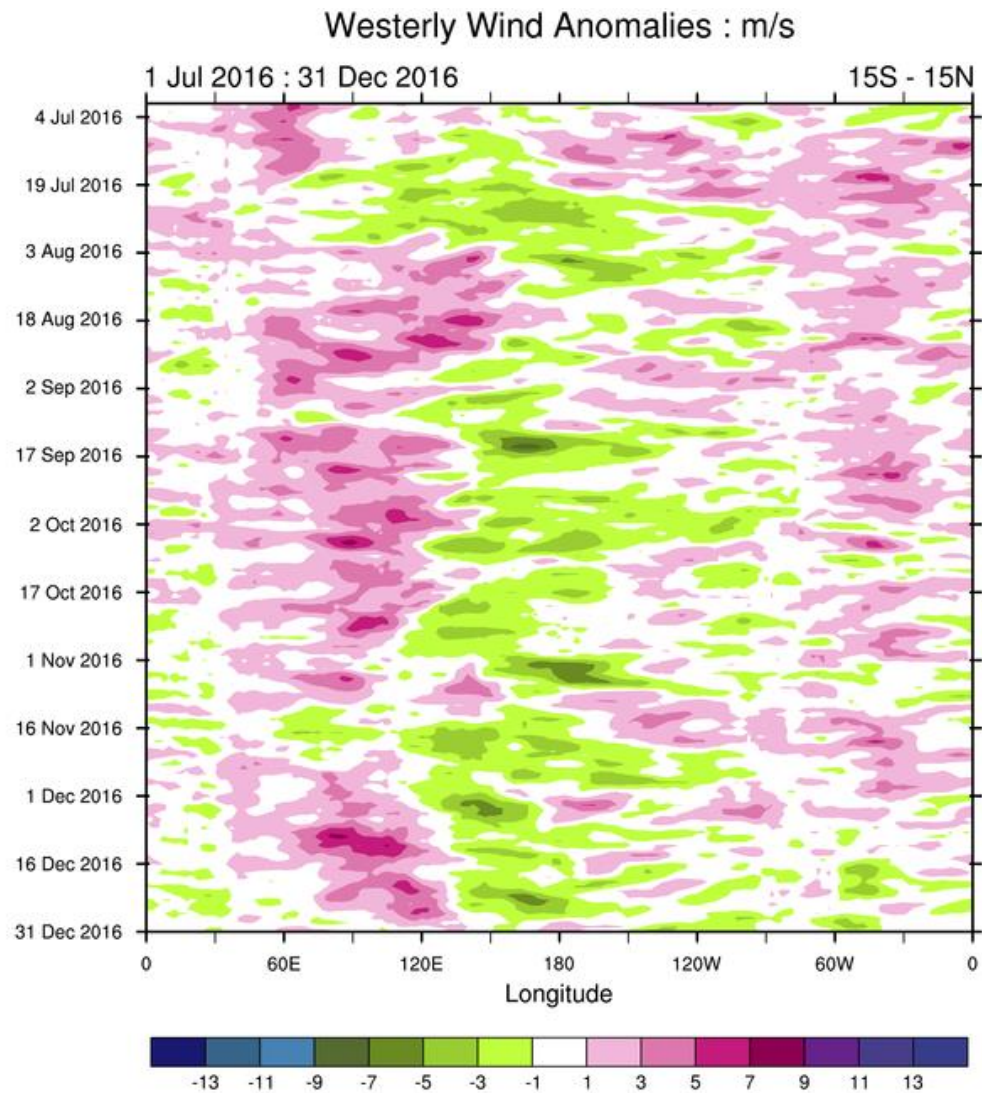
(C) Copyright Commonwealth of Australia 2016. Bureau of Meteorology

Gambar 5.4 : Kodisi Simpangan angin zonal/baratan awal tahun 2016 (Juli – Desember 2016) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>



(C) Copyright Commonwealth of Australia 2017. Bureau of Meteorology

Gambar 5.5 : Kodisi Simpangan OLR akhir tahun 2016 (Juli – Desember 2016) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>



(C) Copyright Commonwealth of Australia 2017. Bureau of Meteorology

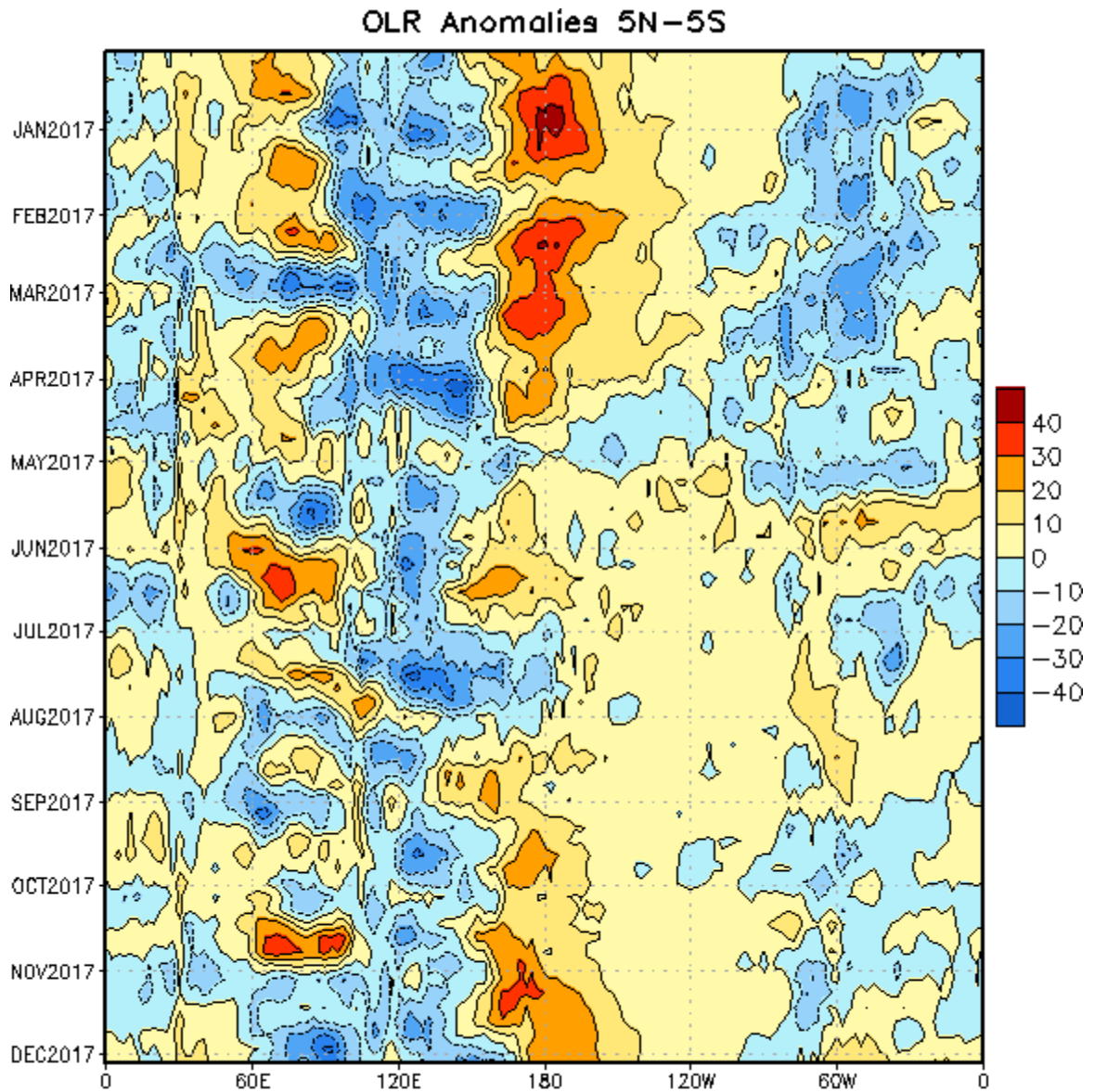
Gambar 5.6 : Kondisi Simpangan angin zonal/baratan akhir tahun 2016 (Juli – Desember 2016) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>

Selama tahun 2016 ternyata kondisi liputan awan yang didukung dengan kondisi pertemuan angin lapisan bawah yang merupakan indikasi adanya kegiatan MJO di wilayah BMI yang diawali akhir bulan Mei, tengah – akhir bulan Juni yang kemudian giat mulai akhir bulan September hingga awal bulan November dan yang terakhir di selama bulan Desember 2016. Dalam konteks tahun 2016 yang cukup giat kondisi liputan awan terkait dengan giatnya Osilasi Madden Julian, maka dari catatan kegiatan longsor di Banjarnegara yang tercatat pada tanggal 17 Juni dan 23 September 2016. Sehingga

giatnya kondisi liputan awan yang dipicu kehadiran kondisi dinamika udara terkait dengan MJO pada periode yang tersebut di atas bersesuaian dengan dampak dari kondisi yang terjadi dan berlangsung selama tahun 2016.

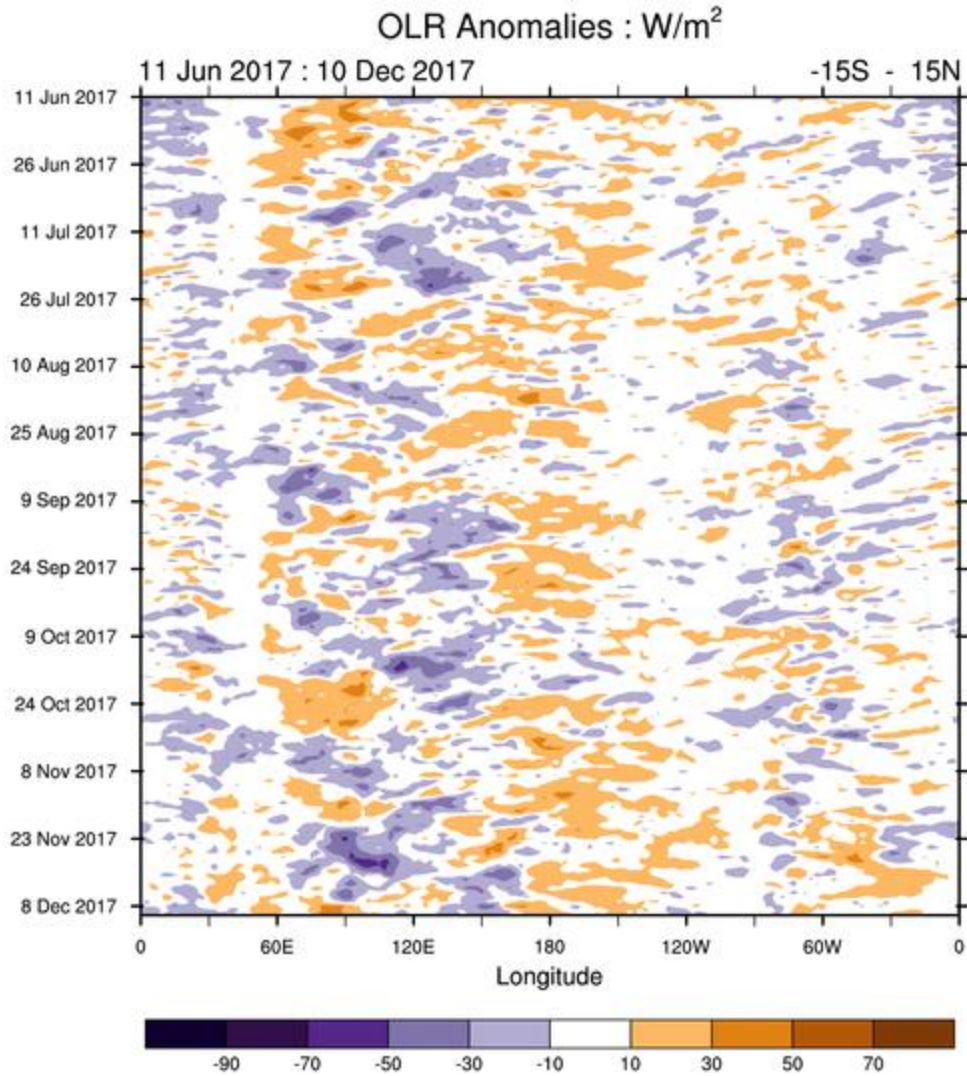
c. Kondisi selama 2017

Karena dalam tahun 2017 belum setahun, maka dalam kajian untuk meninjau dan mengkaji kondisi dinamika udara khususnya yang terkait dengan kondisi liputan awan akan diketengahkan utuh mulai awal hingga jelang akhir tahun yang diperlihatkan dalam gambar 8a (pendukung saja) dan 8b (data memasukan kawasan P. Jawa), sedangkan data simpangan angin zonal/baratan untuk mengkaji kawasan pertemuan angin barat dan angin timur akan diperlihatkan data mulai bulan Juni s/d awal Desember 2016 pada gambar 9 berikut in,



Data updated through 04 DEC 2017

Gambar 5.7a : Kondisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jan – Des 2017) tanpa kawasan P. Jawa sumber dari www.cpc.ncep.noaa.gov

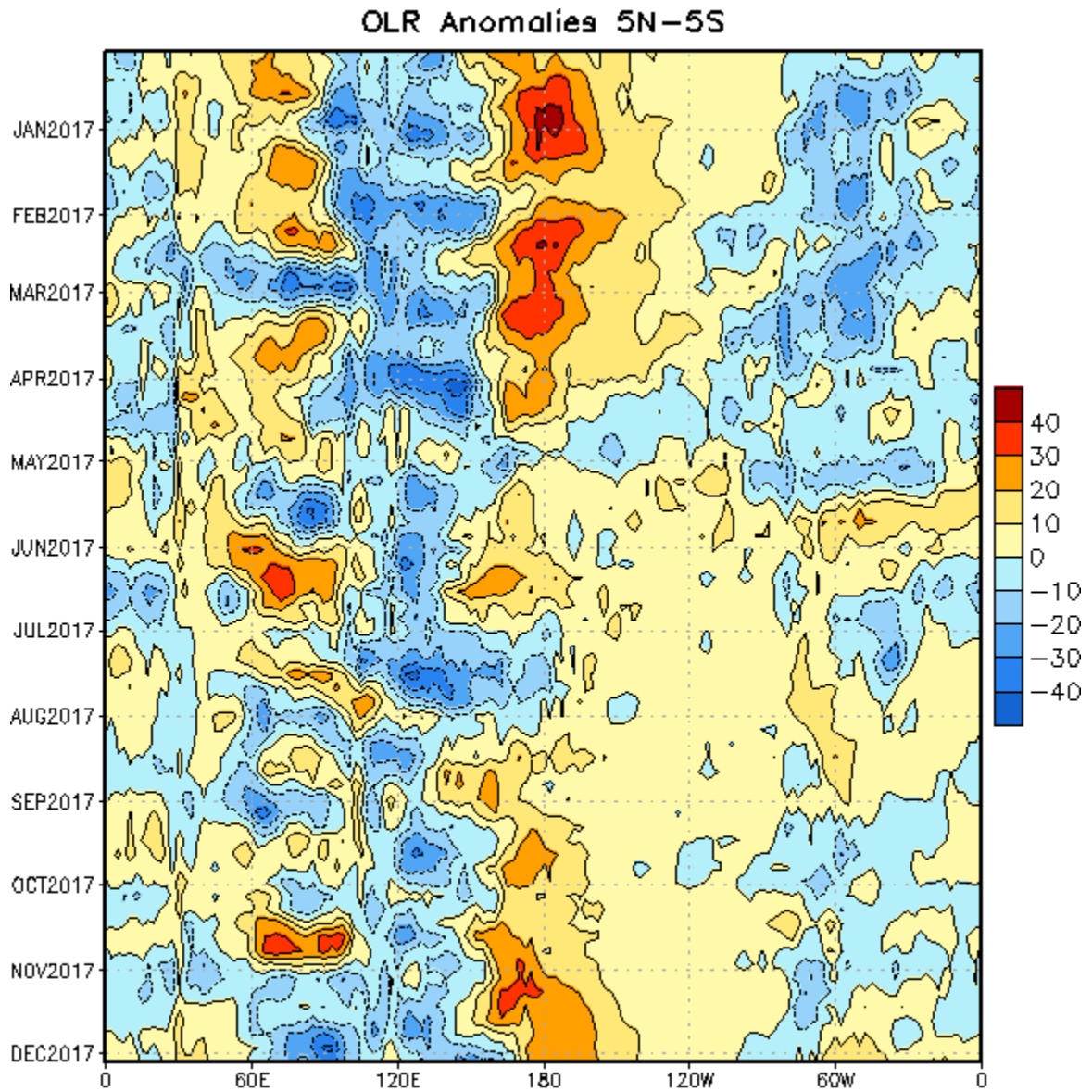


(C) Copyright Commonwealth of Australia 2017. Bureau of Meteorology

Gambar 5.7b : Kondisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jun – Des 2017)masuk P. Jawa sumber dari www.bom.gov.au

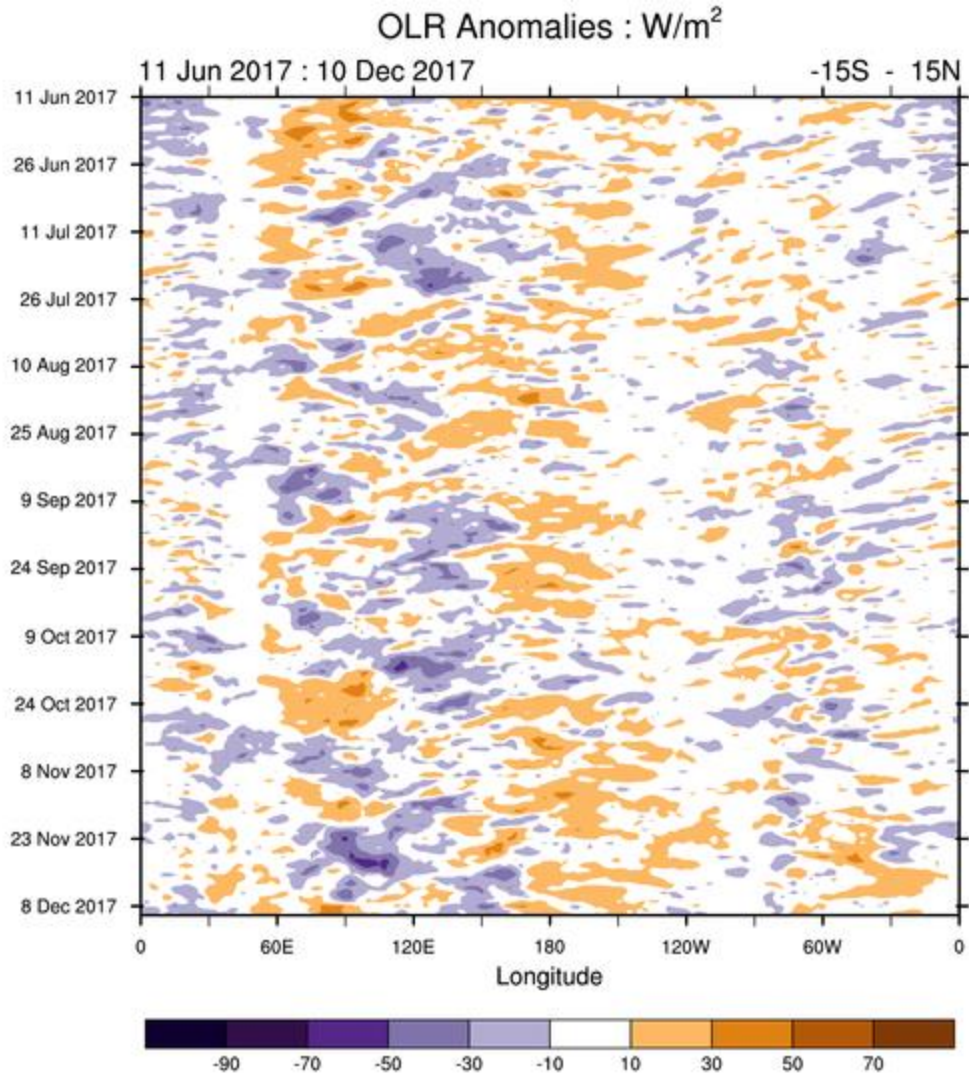
d. Kondisi selama 2017

Karena dalam tahun 2017 belum setahun, maka dalam kajian untuk meninjau dan mengkaji kondisi dinamika udara khususnya yang terkait dengan kondisi liputan awan akan diketengahkan utuh mulai awal hingga jelang akhir tahun yang diperlihatkan dalam gambar 8a (pendukung saja) dan 8b (data memasukan kawasan P. Jawa), sedangkan data simpangan angin zonal/baratan untuk mengkaji kawasan pertemuan angin barat dan angin timur akan diperlihatkan data mulai bulanj Juni s/d awal Desember 2016 pada gambar 9 berikut in,



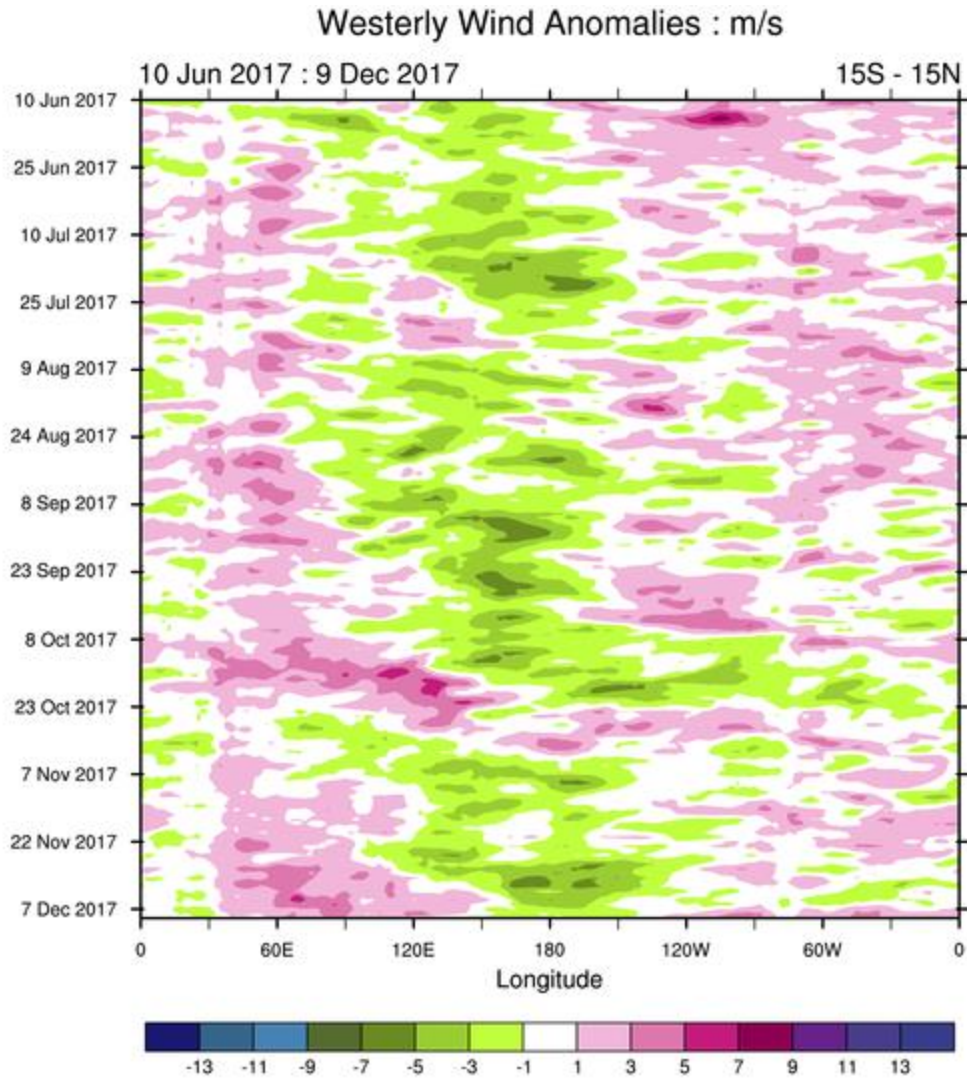
Data updated through 04 DEC 2017

Gambar 5.8a : Kondisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jan – Des 2017) tanpa kawasan P. Jawa sumber dari www.cpc.ncep.noaa.gov



(C) Copyright Commonwealth of Australia 2017. Bureau of Meteorology

Gambar 5.8b : Kondisi Simpangan OLR selama tahun 2017 (Jun – Des 2017) masuk P. Jawa sumber dari www.bom.gov.au



(C) Copyright Commonwealth of Australia 2017. Bureau of Meteorology

Gambar 5.9 : Kondisi Simpangan angin zonal/baratan akhir tahun 2016 (Juli – Desember 2016) sumber dari <http://www.bom.gov.au/>

Sehubungan dengan tidak tersedianya data OLR di awal tahun 2017, maka data pengganti untuk kondisi ini diambil dari Pusat Informasi Iklim Amerika Serikat dan diperlihatkan dalam gambar 8a yang memperlihatkan adanya indikasi peningkatan liputan awan. Meski tidak memasuki lintang tempat P. Jawa lebih dari 5 derajat lintang Selatan, gambar 8a memperlihatkan adanya peningkatan liputan awan di akhir bulan Februari 2017. Demikian juga untuk bulan September, Oktober dan November 2017 memperlihatkan adanya kondisi OLR negatif dan terutama di akhir bulan November 2017 dengan nilai terkecil menunjukkan adanya peningkatan liputan awan. Dan dari perkembangan sekitar

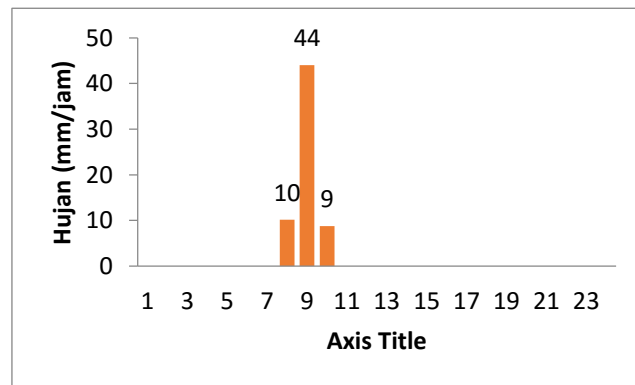
medio November 2017 terjadi longsor dan bencana angin kencang dan badai di kawasan Banjarnegara sekitar menjelang akhir bulan November yang diikuti giatnya 2 badai tropis yaitu badai Tropis Cempaka yang giat sekitar selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur yang berlanjut dengan giatnya badai tropis Dahlia yang giat di barat daya yang bergerak ke selatan Jawa Barat yang bergerak menjauhi kawasan tropis. Selama giatnya ke dua badai hujan lebat/badai, angin kencang/badai dan badi guntur giat yang kondisi ini akibat gerak penalaran MJO yang balik ke arah barat di akhir bulan November 2017.

Dari kajian yang telah mencakup saat marak dan meluasnya bencana banjir, banjir bandang dan tanah longsor yang terjadi khususnya P. Jawa yang terbentang pada bujur 105 – 115 derajat Bujur Timur selama akhir tahun 2014, selama tahun 2016 hingga tahun 2017. Dimana saat bencana banjir, banjir bandang dan tanah longsor yang terjadi di P. Jawa khususnya kawasan Banjarnegara, Purworedjo Jawa Tengah dan kawasan Garut yang terjadi di tahun 2016 dikaji terjadi peningkatan awan konveksi yang cukup giat. Kegiatan awan konveksi berupa hujan lebat/badai angin kencang/badai dan badai guntur giat selama tahun 2016 dan berlanjut di akhir 2017 dimana MJO sangat giat yang didukung gejala alam global La Nina yang giat selama tahun 2016 dan di akhir tahun 2017.

Dari tinjauan dan penelitian pada kegiatan MJO dengan dinamika liputan awan dan peredaran udara lapisan bawah khususnya kawasan pertemuan angin baratan dan timuran (konvergensi angin zonal) telah dapat digunakan untuk mengkaji khususnya dikaitkan dengan catatan kejadian bencana banjir, banjir bandang dan tanah longsor yang terjadi mulai akhir 2014, kemudian tahun 2016 dan 2017 khususnya terjadi di Pulau Jawa. Dimana selama tahun 2016 dan 2017 telah terjadi keseringan giatnya MJO yang diperlihatkan dengan keseringan liputan awan yang giat selama 2 tahun ini. Kegiatan MJO ini tidak lepas dari kondisi gejala alam global La Nina yang mendominasi kondisi dinamika udara global yang berlanjut dengan giatnya MJO. Kegiatan MJO ini diperlihatkan dengan keseringan terjadi konvergensi angin zonal lapisan bawah yang mendukung udara naik dan proses konveksi yang giat. Kegiatan proses konveksi ini menggiatkan liputan awan konveksi yang berlanjut dengan giatnya hujan yang kualitas dan kuantitasnya berdampak pada lingkungan. Dampak lingkungan termaksud seperti dengan adanya banjir, banjir bandang dan tanah longsor khususnya di pertengahan tahun 2016 saat kawasan Purworedjo, Banjarnegara dan Garut terjadi bencana lingkungan termaksud

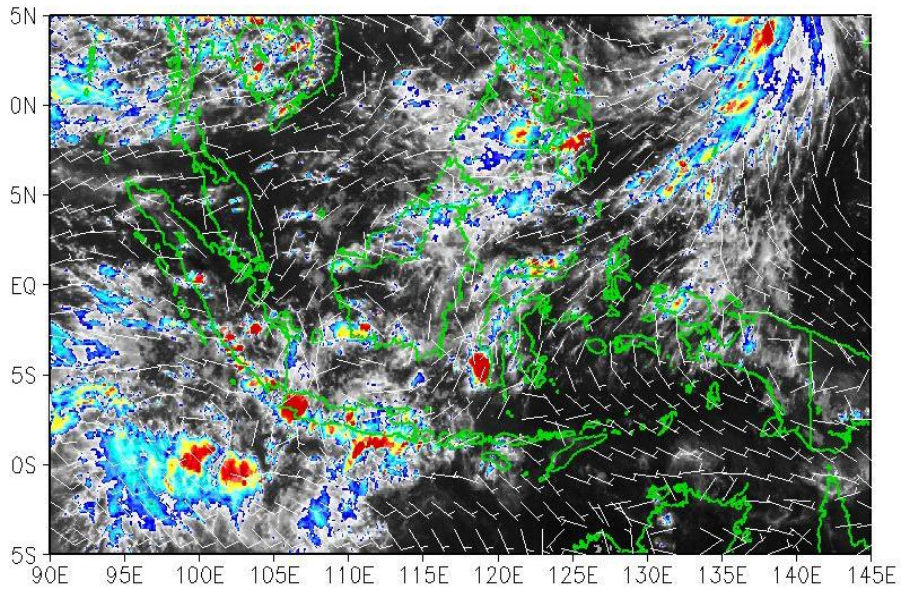
5.2 Simulasi Prediksi Kejadian Hujan Lebat Pemicu Longsor

Analisis data curah hujan untuk menentukan intensitas kejadian hujan sangat lebat berdasarkan kriteria operasional yang digunakan oleh BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). Dalam kriteria tersebut disebutkan bahwa nilai intensitas untuk kejadian hujan lebat adalah 20 mm/jam atau 100 mm/hari. Untuk menguji kehandalan model WRF dalam mensimulasikan kejadian hujan lebat pada saat terjadi longsor digunakan studi kasus tanggal 24 September 2016. Menurut laporan BPPD longsor di desa Sidengok Banjarnegara terjadi pada tanggal 25 September 2016 pukul 07.00 WIB. Longsor menimbun beberapa rumah dan dilaporkan menimbulkan satu korban jiwa. Kejadian longsor sendiri dipicu oleh hujan lebat dari mulai pukul 12.00 WIB satu hari sebelumnya hingga malam hari. Namun demikian menurut pengamatan stasiun geofisika Banjarnegara, yang berjarak 27 km dari lokasi longsor, hujan tercatat dimulai pukul 15.00 hingga 17.00 dengan puncak hujan terjadi pada pukul 16.00 WIB yaitu sebesar 44 mm/jam (Gambar 5.10).



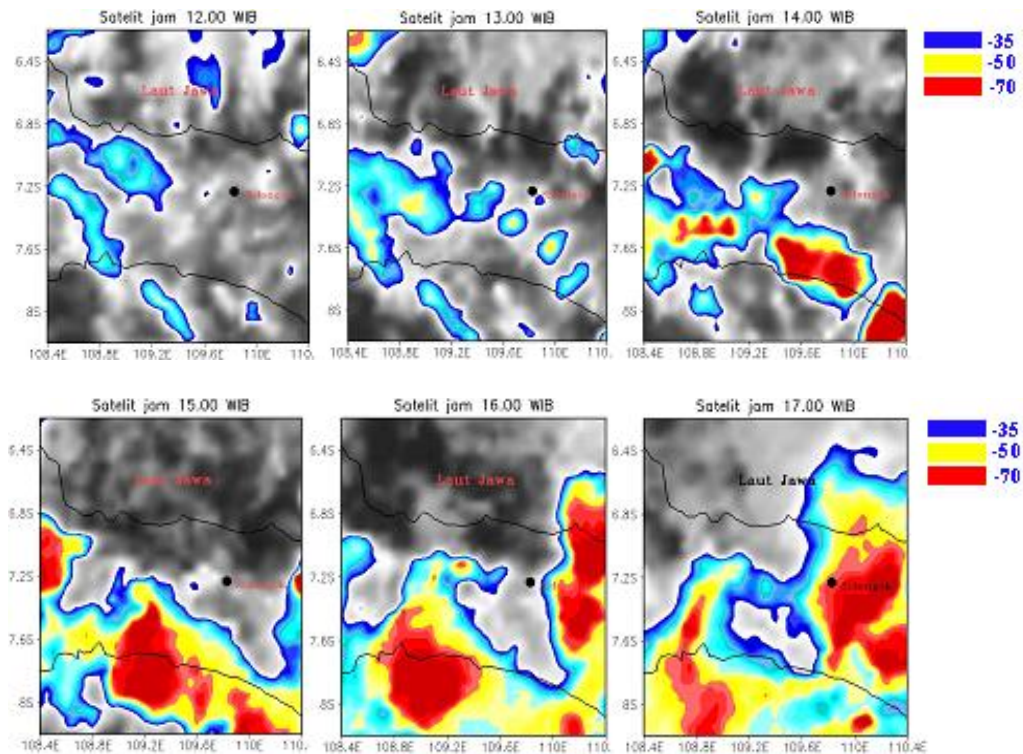
Gambar 5.10 Curah hujan per jam pada tanggal 24 September 2016

Kejadian hujan lebat yang memicu longsor di desa Sidengok berlangsung dalam periode transisi dari musim kemarau ke musim hujan. Dalam periode ini pengamatan citra satelit (Gambar 5.11) memperlihatkan adanya pergerakan awan konvektif dari arah barat ke timur di sekitar wilayah selatan Jawa. Meskipun pada saat kejadian terdapat pergerakan masa udara dari arah tenggara menuju wilayah Jawa namun arus masa udara ini berbelok disekitar wilayah Jawa tengah, sementara itu dari arah timur laut juga terdapat pergerakan masa udara ke wilayah Jawa. Kedua masa udara ini bertemu dan membentuk seperti pusaran di atas wilayah Jawa tengah bagian selatan. Kondisi ini yang memicu tumbuhnya awan konvektif yang sangat intensif di wilayah kajian.



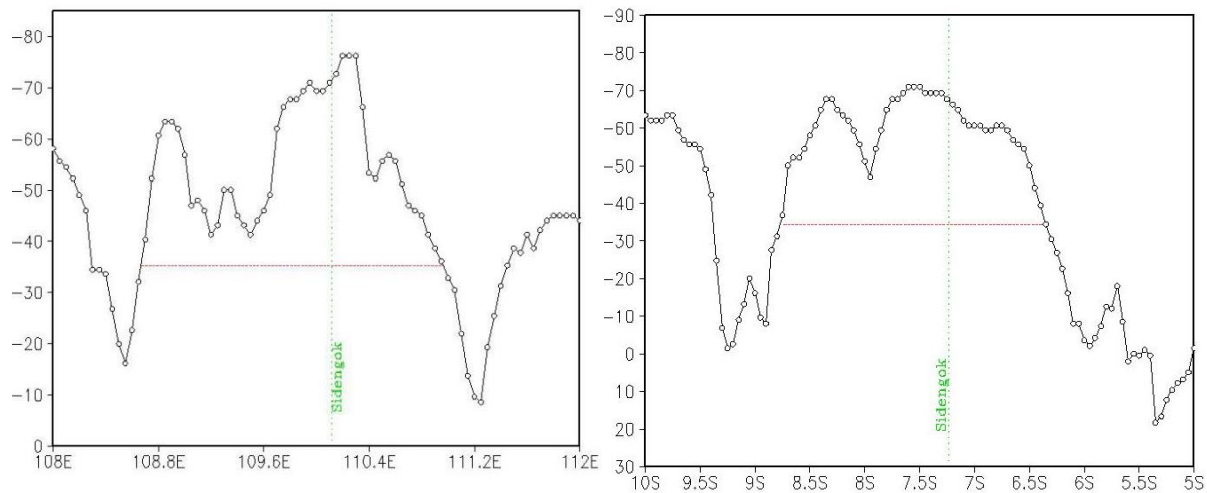
Gambar 5.11. Kondisi sinoptik pada kasus kejadian hujan lebat tanggal 24 September 2016. Gradasi warna menunjukkan temperatur awan konvektif dibawah -35°C .

Di lokasi kejadian awan konvektif terlihat mulai tumbuh secara intensif dimulai pada pukul 12.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB. Sistem awan konvektif ini ditengarai yang menyebabkan terjadinya hujan lebat di lokasi kejadian longsor (Gambar 5.12).



Gambar 5.12 Citra satelit awan konvektif yang menghasilkan hujan lebat

Jika dianalisis luasan sistem awan pada saat kejadian mencapai 90.000 km². Secara luasan sistem ini memenuhi kriteria sebagai meso scale convective complex (MCC). Namun demikian perlu dianalisis lebih lanjut dengan kriteria MCC lainnya (Gambar 5.13).



Gambar 5.13 Irisan zonal (atas) dan meridional (bawah) dari penampang sistim awan di lokasi kejadian

Model WRF merupakan model prediksi cuaca numerik skala meso yang dapat digunakan di wilayah tropis. Model ini memiliki banyak opsi parameterisasi, beberapa diantaranya dirancang khusus untuk data real dan resolusi tinggi. Diperlukan tahapan pemilihan konfigurasi skema untuk mengetahui kombinasi parameterisasi yang paling baik dalam memprediksi cuaca di Jakarta sehingga dibutuhkan pengujian yang cukup sebelum digunakan untuk prediksi.

Pengujian skema mikrofisika dan parameterisasi konveksi pada model WRF tersebut dilakukan terhadap satu kejadian hujan sangat lebat di Banjarnegara yang terjadi tahun lalu, yaitu 24 September 2016. Tanggal ini dipilih dengan pertimbangan berdasarkan ketersediaan data. Hasil yang ditampilkan pada Tabel 5.1 merupakan nilai korelasi antara curah hujan pengamatan Stasiun Geofisika Banjarnegara dan curah hujan pada satu titik terdekat hasil keluaran WRF di tempat yang sama.

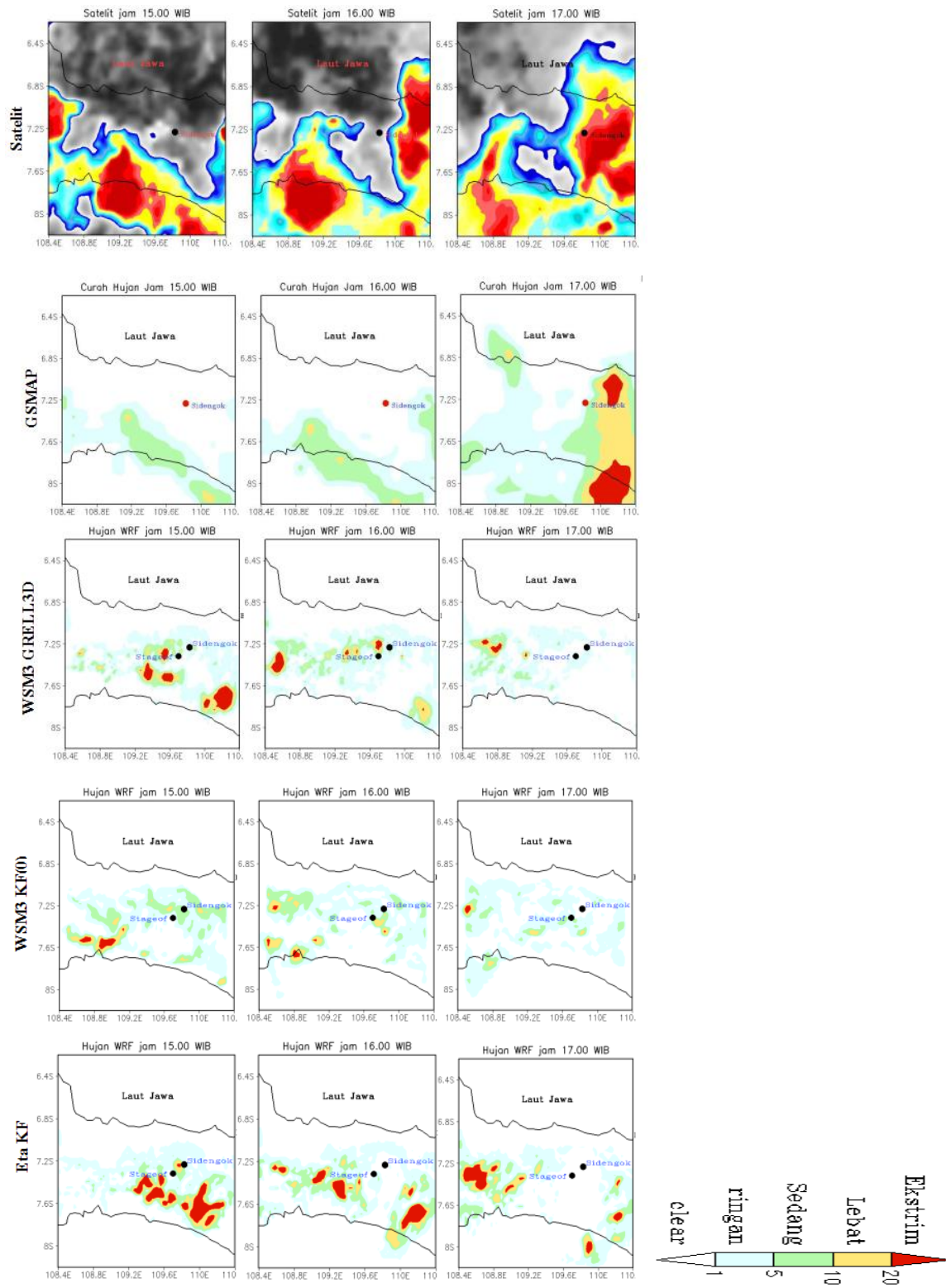
Berdasarkan nilai keandalan di atas ditemukan tiga kombinasi skema konveksi dan mikrofisika yang memberikan hasil yang lebih baik, yaitu:

1. KF (D1, D2,D3) dengan WSM3.
2. KF (D1, D2, D3) dengan Grell 3d
3. KF (D1, D2,D3) dengan ETA

Tabel 5.1. Perbandingan hasil pengujian sensitivitas skema mikrofisika dan konveksi pada satu kasus hujan sangat lebat di Banjarnegara

Skema	Mikrofisik	Konveksi	Korelasi
1	Kessler	KF (0)	0
2	Kessler	KF	0
3	Kessler	BMJ (0)	0
4	Kessler	BMJ	0
5	Kessler	Grell 3d (0)	0.15
6	Kessler	Grell 3d	0.16
7	Lin	KF (0)	0.14
8	Lin	KF	0.10
9	Lin	BMJ (0)	0.43
10	Lin	BMJ	0.05
11	Lin	Grell 3d (0)	-0.05
12	Lin	Grell 3d	-0.12
13	WSM3	KF (0)	-0.06
14	WSM3	KF	0.90
15	WSM3	BMJ (0)	0.09
16	WSM3	BMJ	0.36
17	WSM3	Grell 3d (0)	-0.10
18	WSM3	Grell 3d	0.74
19	Eta	KF (0)	0.15
20	Eta	KF	0.77
21	Eta	BMJ (0)	0.01
22	Eta	BMJ	0.13
23	Eta	Grell 3d (0)	0.26
24	Eta	Grell 3d	0.21
25	WSM6	KF (0)	-0.09
26	WSM6	KF	-0.03
27	WSM6	BMJ (0)	-0.13
28	WSM6	BMJ	0.63
29	WSM6	Grell 3d (0)	0.10
30	WSM6	Grell 3d	0.02

Pada Gambar 5.14 diperlihatkan perbandingan secara spasial distribusi hujan hasil prediksi WRF dari 3 skema terbaik berdasarkan nilai korelasi yang tertinggi.



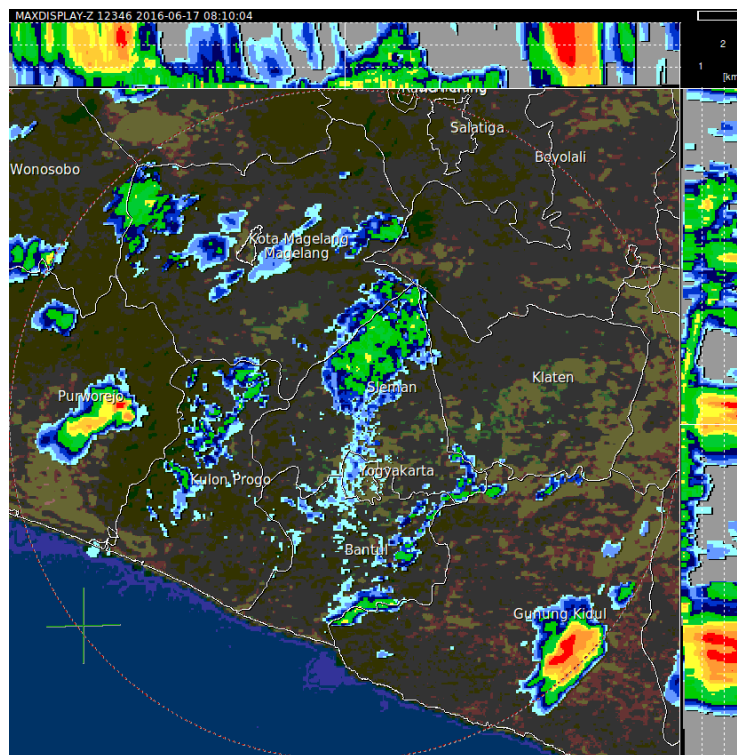
Gambar 5.14 Perbandingan sebaran awan konveksi (panel 1), curah hujan GSMAP (panel 2), hujan WRF terbaik 1 (panel 3), hujan WRF terbaik 1 (panel 4), hujan WRF terbaik 1 (panel 5), dari hasil simulasi kejadian hujan lebat pada tanggal 24 September 2016

Secara spasial (Gambar 5.14) dapat dilihat bahwa model prediksi WRF dapat menangkap sebaran hujan lebat di bagian selatan wilayah Jawa Tengah. Hasil ini sesuai dengan pola sebaran awan konvektif dan pola sebaran hujan hasil estimasi satelit GSMAP.

Namun demikian, jika dibandingkan hujan dalam satu titik di salah satu wilayah di Banjarnegara yang terdapat titik stasiun pengamatan maka hasil prediksi curah hujan masih underestimate. Meskipun hasil prediksi masih underestimate namun waktu kejadian hujan tertinggi dapat ditangkap dengan baik. Jika dihitung nilai korelasinya menunjukkan nilai korelasi yang sangat tinggi yakni 0.9.

5.3 Analisis Citra Radar

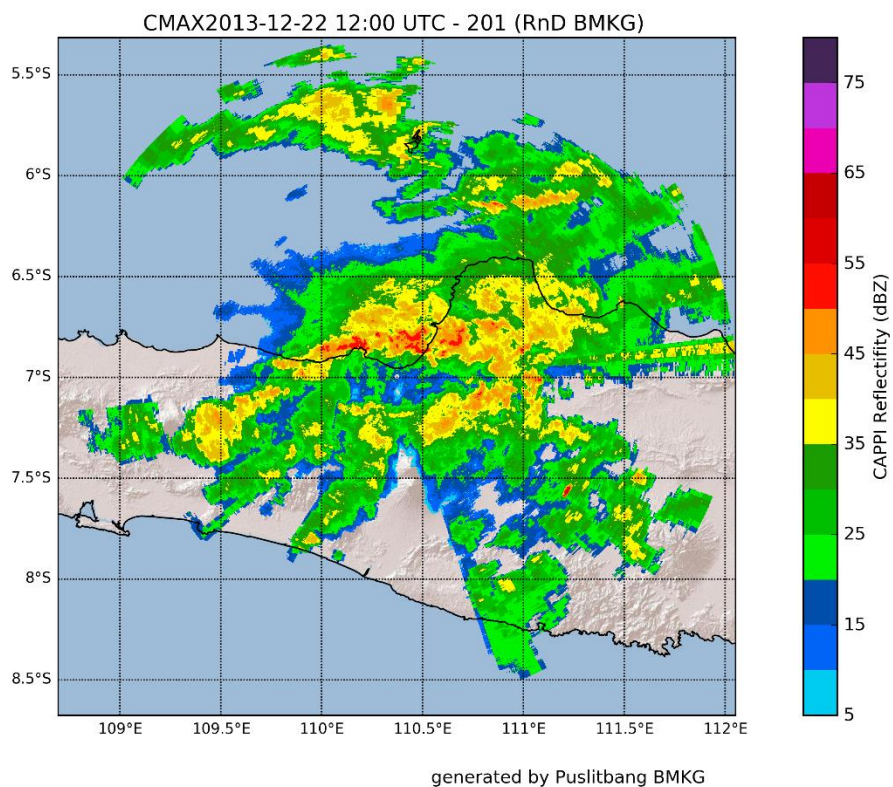
Untuk wilayah Banjarnegara diperoleh Data radar dari Stasiun Klimatologi Yogyakarta dapat dilihat seperti pada Gambar 5.15



Gambar 5.15 Data radar Jogjakarta

Selain dari site radar Yogyakarta, kondisi awan di wilayah Banjarnegara juga dapat diliput oleh Radar Semarang. Kelemahannya adalah jarak site radar dengan lokasi rawan longsor yang cukup jauh di atas 100 km, sehingga hanya awan pada level atas (tinggi) saja yang dapat diamati.

Gambar 5.16 memperlihatkan hasil pengamatan awan menggunakan radar Semarang, tanggal 22 Desember 2013 pukul 12.00 UTC. Walaupun mampu memperlihatkan liputan awan yang tebal dan merata, namun karena hanya dihasilkan dari sudut elevasi radar yang tinggi, maka kurang efektif dalam memberikan estimasi curah hujan dan asimilasi ke model numerik. Karena, sebagian besar hujan dihasilkan dari jenis awan rendah yang tidak terpantau oleh radar tersebut. Namun demikian, untuk kepentingan asimilasi data dalam usaha memperbaiki syarat awal dan syarat batas model numerik tetap akan memberikan pengaruh positif, khususnya merepresentasikan atmosfer lapisan atas dengan lebih baik.



Gambar 5.16 Kondisi awan hasil pantauan radar cuaca site Semarang, tanggal 22 Desember 2013, pukul 12.00 UTC

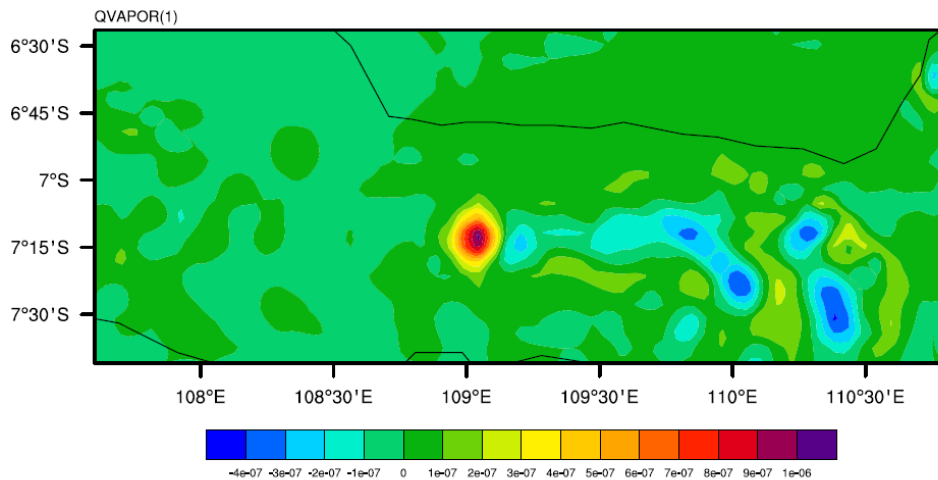
5.4 Pemanfaatan Data Radar untuk memperbaiki syarat awal model cuaca numerik

Pemanfaatan data radar cuaca C-band Semarang untuk memperbaiki syarat awal model cuaca numerik pada saat kasus longsor di Banjarnegara tanggal 22 Desember 2013. Asimilasi

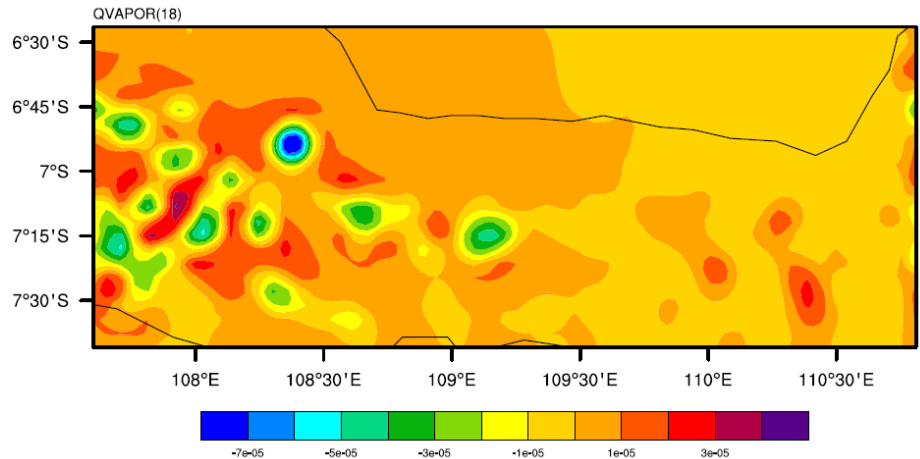
data radar memberikan perubahan pada distribusi spasial parameter cuaca. Gambar 4.8 memperlihatkan pengaruhnya terhadap parameter uap air pada berbagai ketinggian, yaitu lapisan dekat permukaan, lapisan menengah, dan lapisan atas.

Pada lapisan permukaan terdapat perubahan distribusi uap air berupa peningkatan konsentrasi di sekitar 109 BT, 7.14 LS (warna merah) dan penurunan konsentrasi uap air di bagian timur sekitar 110.00 BT dan 110.30 BT. Perubahan terbesar berdasarkan magnitud dan variasinya terjadi di lapisan menengah khususnya di bagian barat domain, berupa peningkatan dan perubahan konsentrasi uap air. Hal ini menunjukkan pengaruh dari penggunaan data radar Semarang yang jaraknya cukup jauh dari daerah Banjarnegara. Sebaliknya di lapisan atas, pengaruh asimilasi data radar kembali berkurang karena pengaruh jarak yang jauh dan distribusi awan yang rendah di lapisan tersebut.

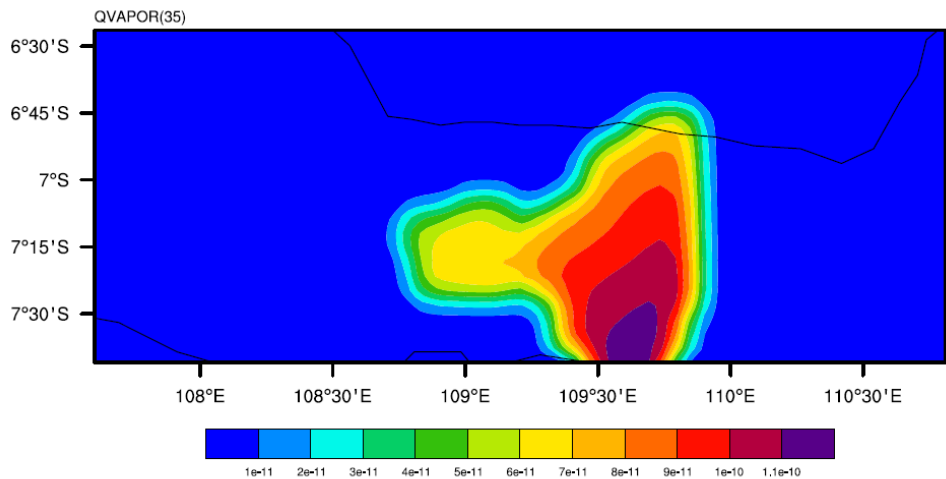
Percobaan pada saat kasus longsor di Banjarnegara tanggal 22 Desember 2013, dilakukan dengan asimilasi data radar akan memperbaiki syarat awal model yang sebelumnya hanya menggunakan keluaran model global. Simulasi dilakukan selama 36 jam mulai pukul 12.00Z tanggal 22 Desember 2017 sampai dengan 00.00Z tanggal 24 Desember 2017.



Gambar 5.17 Perubahan distribusi spasial uap air (QVapor) di lapisan dekat permukaan

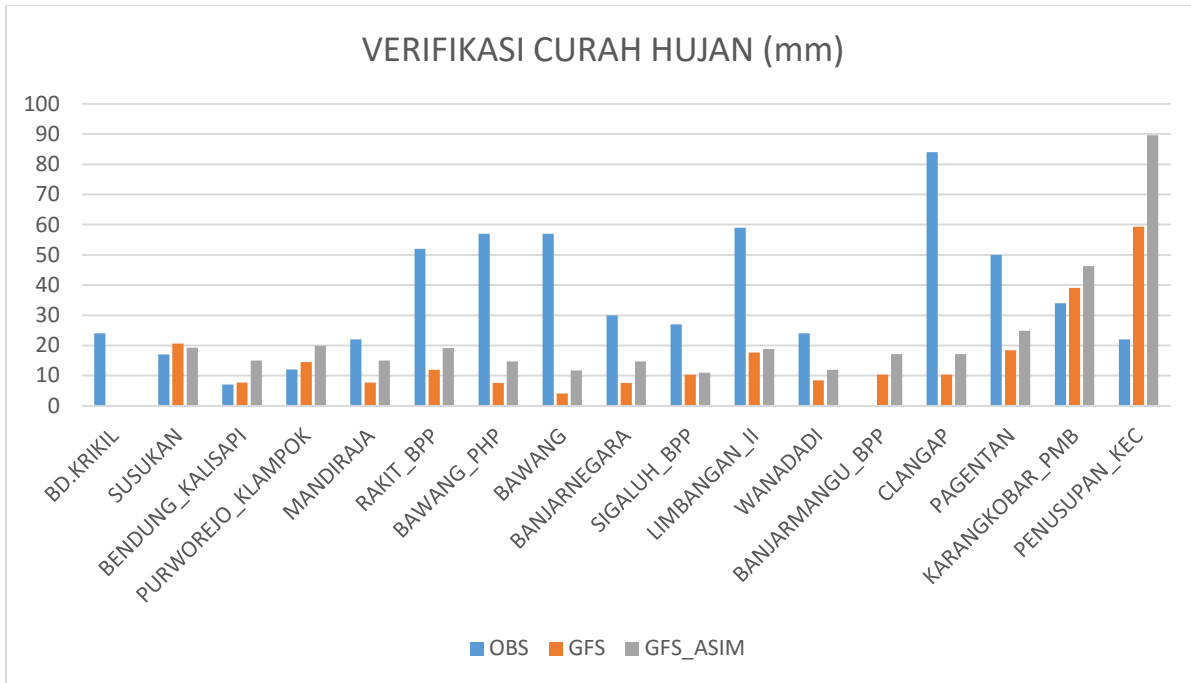


Gambar 5.18 Perubahan distribusi spasial uap air (QVapor) di lapisan menengah



Gambar 5.19 Perubahan distribusi spasial uap air (QVapor) di lapisan atas

Pada percobaan ini dilakukan simulasi dengan memanfaatkan keluaran model global forecasting system (GFS) yang diasimilasi dengan data radar cuaca dan data hasil pengamatan permukaan dari stasiun-stasiun yang berlokasi di domain kajian. Selain data radar Semarang, asimilasi ini juga menggunakan data dari sebelas stasiun yang berada di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Yogyakarta. Hasil prediksi dikeluarkan setiap 30 menit, dan memiliki resolusi horizontal sekitar $6 \text{ km} \times 6 \text{ km}$. Berikut ini adalah nilai hujan hasil simulasi selama 24 jam, yaitu simulasi untuk tanggal 24 Desember 2017 mulai pukul 00.00Z – 24.00Z.



Gambar 5.21 Perbandingan Prediksi curah hujan harian tanggal 23 Desember 2017, untuk daerah Banjarnegara dan sekitarnya. Sebelum dan setelah asimilasi data radar.

Pemanfaatan data observasi yang tersedia di daerah Banjarnegara dan sekitarnya mampu memberikan perbaikan terhadap akurasi prediksi di beberapa titik pengamatan dibandingkan sebelum asimilasi, seperti di titik Mandiraja, Rakit, Bawang, Banjarnegara, Sigaluh, Limbangan, Wanadadi, Clangap, dan Pagentan. Sedangkan daerah lainnya belum mengalami perbaikan (Gambar 5.21).

Potensi pengembangan selanjutnya terbuka luas, diantaranya dengan pemanfaatan data radar dari site terdekat lainnya, seperti Yogyakarta dan Cilacap. Selain itu, pemanfaatan data observasi lainnya yang tersedia di daerah terdekat.

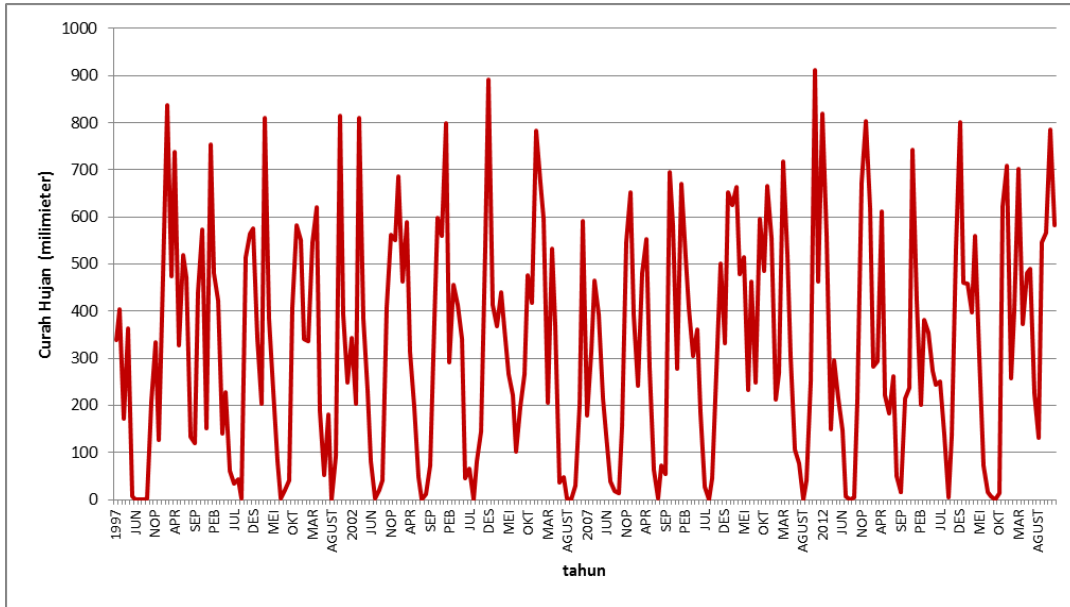
6. ANALISA KLIMATOLOGIS DAN KONDISI EKSTRIM Banjarnegara

6.1 Karakteristik Umum Curah Hujan Menjelang Longsor (Banjarmangu)

Data hasil pengamatan klimatologi dalam bentuk data harian dan bulanan (terlampir). Data dalam bentuk sajian dalam bentuk grafik wilayah Banjarnegara sebagai berikut.

6.1.1 Deret waktu

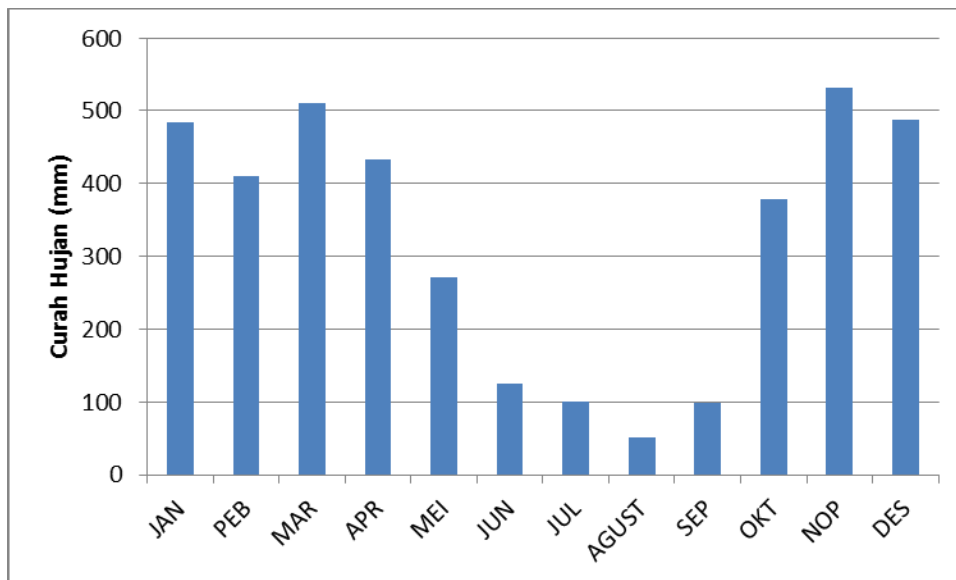
Curah hujan tahunan dalam bentuk deret waktu dari tahun 1997 sampai dengan tahun 2017 sebagaimana dalam Gambar 6.1 berikut:



Gambar 6.1 Deret waktu curah hujan Stasiun Geofisika Banjarnegara

6.1.2 Pola Hujan

Pola hujan dalam bentuk pola hujan muson. Rata-rata curah hujan dalam 25 tahun sebagaimana dalam Gambar 6.2 berikut ini.



Gambar 6.2. Pola Hujan Monsunal Stasiun Geofisika Banjarnegara

6.1.3 Tipe iklim Berdasarkan Oldeman

Tipe hujan berdasarkan bulan :

- a) Bulan Basah (BB), adalah bulan dengan rata-rata curah hujan lebih dari 200 mm
- b) Bulan Lembab (BL), adalah bulan dengan rata-rata curah hujan 100 hingga 200 mm
- c) Bulan Kering (BK), adalah bulan dengan rata-rata curah hujan kurang dari 100 mm

Pengklasifikasian iklim oleh Oldeman ini dibagi menjadi 5 kategori. Tipe iklim dengan kategori :

1. Tipe A, bulan-bulan basah secara berturut-turut lebih dari 9 bulan
2. Tipe B, bulan-bulan basah secara berturut-turut antara 7 sampai 9 bulan
3. Tipe C, bulan-bulan basah secara berturut-turut antara 5 sampai 6 bulan
4. Tipe D, bulan-bulan basah secara berturut-turut antara 3 sampai 4 bulan
5. Tipe E, bulan-bulan basah secara berturut-turut kurang dari 3 bulan

Dari data hujan stasiun geofisika Banjarnegara tersebut tipe yang diperoleh dari klasifikasi oldeman adalah tipe hujan B. Data curah hujan sebagaimana dalam Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Rata-rata curah hujan bulanan Kecamatan Banjarnegara

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGUST	SEP	OKT	NOP	DES
1997	338	403	171	364	7	0	0	0	2	208	335	126
1998	474	837	474	738	327	519	471	133	120	440	573	151
1999	753	480	423	139	229	62	33	42	3	515	564	576
2000	343	203	811	383	231	81	2	21	41	408	583	551
2001	342	337	547	621	188	52	180	0	93	814	393	249
2002	343	203	811	383	231	81	2	21	41	408	563	551
2003	687	462	588	314	196	48	0	12	72	379	599	559
2004	799	291	457	414	342	45	66	0	81	145	534	892
2005	414	367	441	365	267	222	101	197	267	477	418	784
2006	673	595	205	534	369	36	49	4	0	29	203	591
2007	178	313	465	393	214	137	38	17	13	156	547	653
2008	392	242	481	553	279	63	2,0	72	55	695	582	277
2009	670	514	407	305	362	185	28	0	46	271	501	331
2010	653	625	664	478	515	232	463	248	597	485	665	556
2011	213	269	718	518	304	106	77	0	41	250	912	462
	485	409	511	433	271	125	101	51	98	379	531	487

Untuk mendapatkan karakteristik curah hujan pada saat beberapa hari sebelum longsor digunakan tabel kejadian longsor yang pada hari itu terjadi longsor (Tabel 6.2). Tabel Curah hujan yang turun pada waktu kejadian longsor di Banjarnegara Banjarnegara seperti pada (Tabel 6.3). Jumlah curah hujan tiga hari sebelum longsor: >100 mm sebanyak 7 kali kejadian (29%), >75 mm 15 kali kejadian (60%) dan >50 mm 15 kali kejadian (60%)

Tabel 6.2 Akumulasi 3 hari berturut curah hujan yang turun saat terjadi Longsor di Kecamatan Banjarmangu

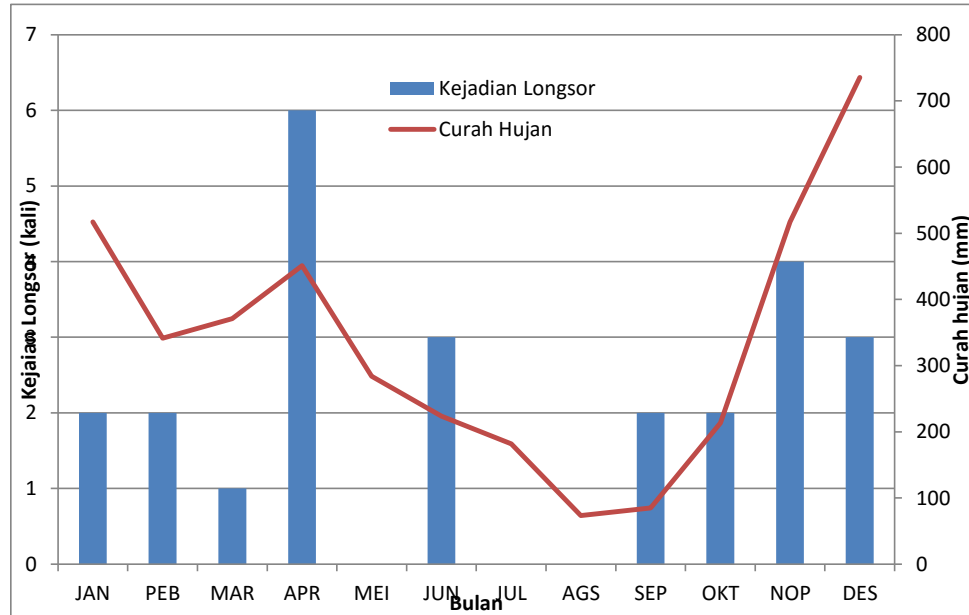
Tahun	TGL	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2012	6		98,6										
2012	8		129										
2012					29								
2012	18											105	
2012	20				82								
2013	1	89,3											
2013	11											32,5	
2013	15				16								
2013	20												78,2
2014	13						27,5						
2014	19												41
2015	3											1	
2015	4				63,2								
2015	6	78											
2015	12												58
2016	1				9,8								
2016	5				43,1								
2016	6									8			
2016	7						26,6						
2016	9											29,2	
2016	10			165							111		
2016	13										149	152	
2016	19						84,3						
2016	27									112			

Sementara itu pada curah hujan yang turun pada saat kejadian longsor umumnya lebih kecil dibandingkan dengan akumulasi curah hujan pada 3 hari sebelum kejadian longsor (Tabel 6.3).

Tabel 6.3 Curah hujan yang turun saat terjadi Longsor di Kecamatan Banjarmangu

Tahun	TGL	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	KET
2012	6		44,1											
2012	8		0											
2012	13				56									
2012	18											57,5		
2012	20				1,5									
2013	1	12,8												
2013	11											19,5		
2013	15				18,2									
2014	13						2,5							
2014	19												20,8	
2015	3											0		
2015	4				6,4									
2015	6	0												
2015	12												0,0	
2016	1				6,2									
2016	5				3,5									
2016	6									30				
2016	7						50,2							
2016	8													
2016	9											72,0		
2016	10			5,0							87,6			
2016	13										1,8	62,0		
2016	19						90,0							
2016	27									25,2				

Adapun jumlah kejadian longsor bulanan terbanyak terjadi pada bulan April diikuti pada bulan Nopember dan Desember (Gambar 6.3). Pola banyak kejadian longsor ini mengikuti pola curah hujan bulanan yang turun.



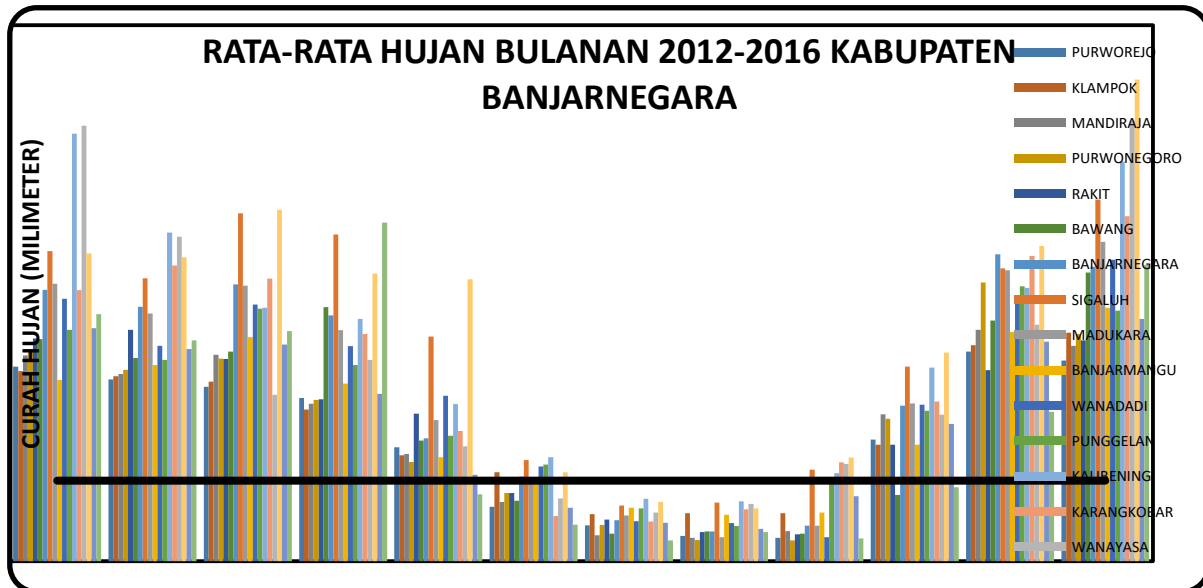
Gambar 6.3. Jumlah kejadian longsor Bulanan

6.1.4 Curah Hujan dan Suhu Udara

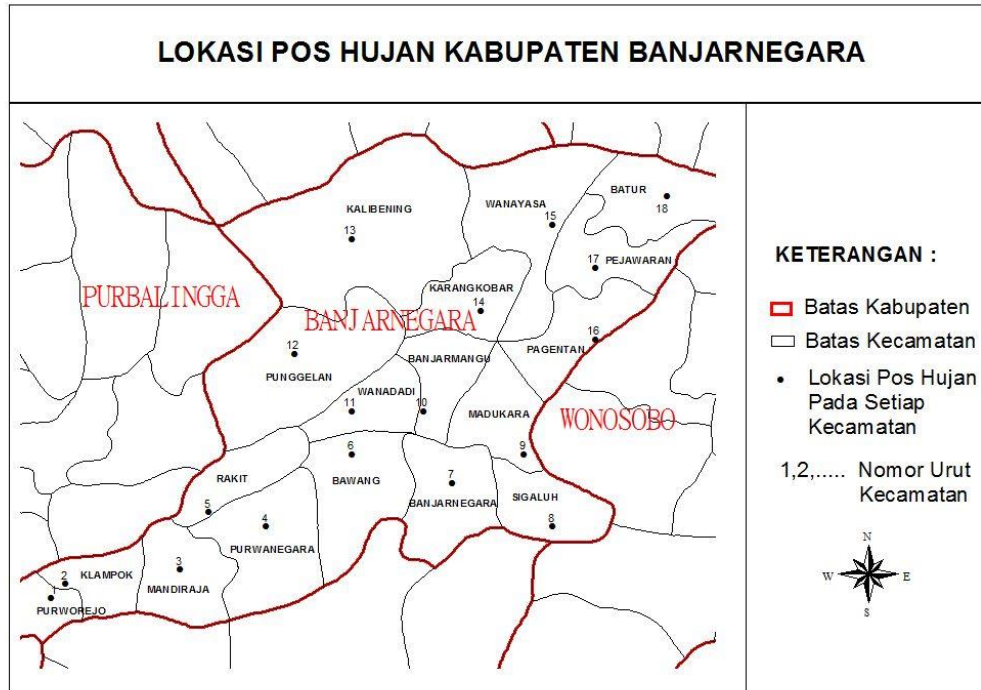
Data curah hujan yang digunakan dalam analisis sebanyak 18 pos hujan yang masing-masing setiap pos hujan mewakili satu kecamatan. Periode data yang digunakan adalah 2012 sampai 2016 atau selama 5 tahun terakhir. Rata-rata curah hujan bulanan periode tersebut pada setiap pos hujan/kecamatan seperti pada Tabel 6.4 dan grafiknya seperti pada Gambar 6.4. Sebaran lokasi pos hujan yang digunakan seperti pada gambar 6.5, sedangkan rata-rata curah hujan setahun secara spasial seperti pada gambar 6.6.

Tabel 6.4 Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Periode 2012-2016
Kabupaten Banjarnegara (milimeter)

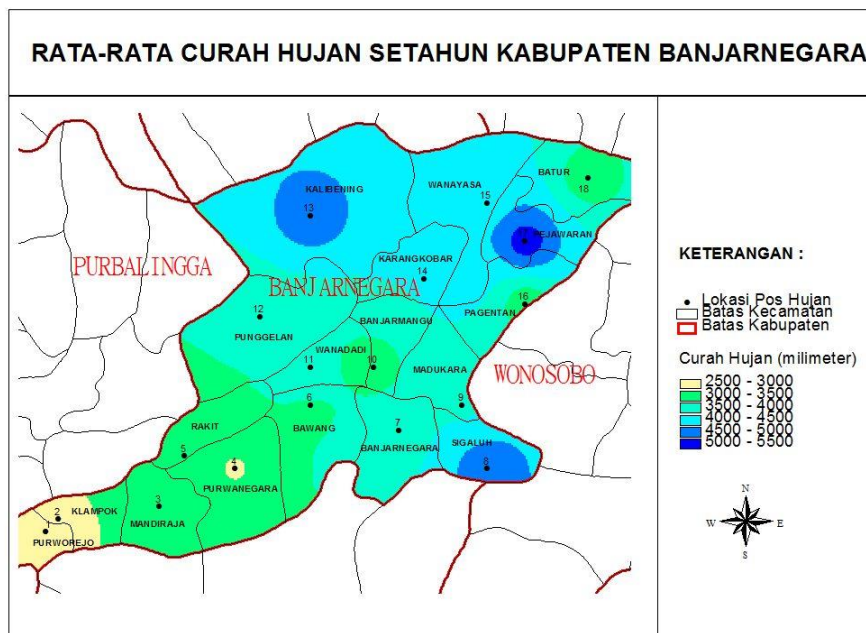
No	No Pos	Nama Pos	Kecamatan	Lintang	Bujur	Tinggi	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Sep	Okt	Nop	Des	Setahun
1	57	PURWOREJO	PURWOREJO	-7.48	109.42	44	363	339	325	304	212	102	67	43	226	391	374	2793
2	56	KLAMPOK	KLAMPOK	-7.47	109.43	35	354	345	335	282	197	166	88	89	217	403	426	2992
3	58	MANDIRAJA	MANDIRAJA	-7.43	109.57	150	383	349	385	293	200	110	48	56	274	432	402	2975
4	57B	PURWONEGORO	PURWONEGORO	-7.43	109.57	149	391	357	378	300	185	127	67	39	265	520	424	3091
5	58A	KARANGSARI	RAKIT	-7.42	109.53	180	415	431	377	302	275	127	78	50	217	356	412	3095
6	60B	MASARAN BPP	BAWANG	-7.38	109.63	250	414	379	391	474	225	113	51	51	123	449	538	3263
7	62	BANJARNEGARA	BANJARNEGARA	-7.40	109.70	289	506	474	516	458	229	157	76	66	290	572	549	3949
8	62A	PRINGOMBO	SIGALUH	-7.43	109.77	600	578	527	649	609	419	189	104	170	363	546	674	4936
9	62D	LIMBANGAN	MADUKARA	-7.38	109.75	320	518	462	514	431	263	155	85	66	294	543	596	3970
10	62C	BANJARMANGU	BANJARMANGU	-7.35	109.68	581	338	365	418	331	194	155	100	91	217	427	473	3193
11	60	WONODADI	WANADADI	-7.37	109.63	239	490	402	479	401	308	176	74	44	292	488	562	3787
12	60C	PUNGGELAN	PUNGGELAN	-7.31	109.59	250	431	375	471	366	234	180	98	155	280	512	467	3635
13	59	KALIBENING	KALIBENING	-7.23	109.63	1049	798	613	473	451	293	194	116	164	361	509	745	4828
14	64A	KARANGKOBAR	KARANGKOBAR	-7.28	109.75	1015	505	551	527	424	243	84	74	184	298	569	644	4198
15	63A	SIBEBEK	WANAYASA	-7.22	109.77	1350	812	605	310	375	214	117	90	181	273	441	822	4347
16	67	PAGENTAN	PAGENTAN	-7.25	109.80	956	574	567	655	537	525	166	110	193	389	588	898	5300
17	66	PENUSUPAN	PEJAWARAN	-7.30	109.80	1130	434	395	404	312	161	99	72	121	256	409	452	3175
18	65	BATUR	BATUR	-7.20	109.85	1633	460	411	429	631	125	68	39	42	138	279	552	3228



Gambar 6.4 Rata-rata hujan bulanan setiap kecamatan Kabupaten Banjarnegara



Gambar 6.5. Lokasi pos hujan Kabupaten Banjarnegara



Gambar 6.6. Peta rata-rata curah hujan setahun Kabupaten Banjarnegara

Suhu udara rata-rata bulanan pada setiap pos hujan dihitung menggunakan pendekatan rumus Braak dengan data referensi dari Stasiun Meteorologi Maritim Cilacap yang memiliki

ketinggian tempat 6 meter dpl. Rata-rata suhu udara bulanan berdasarkan hasil perhitungan tersebut pada setiap pos hujan seperti pada tabel 6.5.

Tabel 6.5 Rata-Rata Suhu Udara Bulanan Pendekatan Rumus Braak Kabupaten Banjarnegara (celcius)

No	No Pos	Nama Pos	Kecamatan	Lintang	Bujur	Tinggi	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Sep	Okt	Nop	Des	Setahun
1	57	PURWOREJO	PURWOREJO	-7.48	109.42	44	27.3	27.2	27.3	27.5	27.5	26.5	25.7	26.0	26.7	27.2	27.1	26.8
2	56	KLAMPOK	KLAMPOK	-7.47	109.43	35	27.4	27.3	27.3	27.6	27.5	26.6	25.7	26.1	26.8	27.2	27.2	26.8
3	58	MANDIRAJA	MANDIRAJA	-7.43	109.57	150	26.7	26.6	26.6	26.9	26.9	25.9	25.0	25.4	26.1	26.6	26.5	26.1
4	57B	PURWONEGORO	PURWONEGORO	-7.43	109.57	149	26.7	26.6	26.7	26.9	26.9	25.9	25.0	25.4	26.1	26.6	26.5	26.1
5	58A	KARANGSARI	RAKIT	-7.42	109.53	180	26.5	26.4	26.5	26.7	26.7	25.7	24.8	25.2	25.9	26.4	26.3	26.0
6	60B	MASARAN BPP	BAWANG	-7.38	109.63	250	26.1	26.0	26.0	26.3	26.3	25.3	24.4	24.8	25.5	26.0	25.9	25.5
7	62	BANJARNEGARA	BANJARNEGARA	-7.40	109.70	289	25.8	25.7	25.8	26.0	26.0	25.1	24.2	24.5	25.3	25.7	25.7	25.3
8	62A	PRINGOMBO	SIGALUH	-7.43	109.77	600	24.0	23.9	23.9	24.2	24.2	23.2	22.3	22.7	23.4	23.9	23.8	23.4
9	62D	LIMBANGAN	MADUKARA	-7.38	109.75	320	25.6	25.5	25.6	25.9	25.8	24.9	24.0	24.3	25.1	25.5	25.5	25.1
10	62C	BANJARMANGU	BANJARMANGU	-7.35	109.68	581	21.5	21.4	21.5	21.7	21.7	20.8	19.9	20.2	21.0	21.4	21.4	21.0
11	60	WONODADI	WANADADI	-7.37	109.63	239	26.1	26.0	26.1	26.3	26.3	25.4	24.5	24.8	25.6	26.0	26.0	25.6
12	60C	PUNGGELAN	PUNGGELAN	-7.31	109.59	250	26.1	26.0	26.0	26.3	26.3	25.3	24.4	24.8	25.5	26.0	25.9	25.5
13	59	KALIBENING	KALIBENING	-7.23	109.63	1049	21.3	21.2	21.3	21.5	21.5	20.5	19.6	20.0	20.7	21.2	21.1	20.7
14	64A	KARANGKOBAR	KARANGKOBAR	-7.28	109.75	1015	21.5	21.4	21.5	21.7	21.7	20.7	19.8	20.2	20.9	21.4	21.3	21.0
15	63A	SIBEBEK	WANAYASA	-7.22	109.77	1350	20.8	20.7	20.7	21.0	20.9	20.0	19.1	19.5	20.2	20.6	20.6	20.2
16	67	PAGENTAN	PAGENTAN	-7.25	109.80	956	21.8	21.7	21.8	22.0	22.0	21.1	20.2	20.5	21.3	21.7	21.7	21.3
17	66	PENUSUPAN	PEJAWARAN	-7.30	109.80	1130	20.8	20.7	20.8	21.0	21.0	20.0	19.1	19.5	20.2	20.7	20.6	20.3
18	65	BATUR	BATUR	-7.20	109.85	1633	17.8	17.7	17.7	18.0	18.0	17.0	16.1	16.5	17.2	17.7	17.6	17.2

6.1.5 Neraca Air Lahan Bulanan

Hasil perhitungan analisis neraca air lahan menggunakan metode Thornwaite berdasarkan data curah hujan dan suhu udara rata-rata bulanan pada setiap pos hujan yang mewakili kecamatan seperti pada tabel 6.6. Sementara itu, grafik kandungan air tanah (KAT) bulanan seperti pada gambar 6.7.

Tabel 6.6 Hasil analisis neraca air lahan pada setiap pos hujan/kecamatan Kabupaten Banjarnegara

1. Purworejo (57)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	363	158.6	204.2	0.0	350.0	0.0	158.6	0.0	204.2
Feb	339	140.1	198.6	0.0	350.0	0.0	140.1	0.0	198.6
Mar	325	154.4	170.6	0.0	350.0	0.0	154.4	0.0	170.6
Apr	304	151.7	152.6	0.0	350.0	0.0	151.7	0.0	152.6
Mei	212	155.0	57.0	0.0	350.0	0.0	155.0	0.0	57.0
Jun	102	129.9	-28.3	-28.3	324.6	-25.4	126.9	2.9	0.0
Jul	67	118.0	-51.4	-79.8	283.1	-41.5	108.0	9.9	0.0
Agt	47	114.3	-67.1	-146.9	236.8	-46.3	93.5	20.8	0.0
Sep	43	123.4	-80.2	-227.1	191.3	-45.5	88.6	34.7	0.0
Okt	226	143.9	82.6	0.0	273.9	82.6	143.9	0.0	0.0
Nov	391	151.2	239.7	0.0	350.0	76.1	151.2	0.0	163.6
Des	374	156.1	218.2	0.0	350.0	0.0	156.1	0.0	218.2

2. Klampok (56)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	354	159.8	194.4	0.0	350.0	0.0	159.8	0.0	194.4
Feb	345	141.2	203.7	0.0	350.0	0.0	141.2	0.0	203.7
Mar	335	155.5	179.1	0.0	350.0	0.0	155.5	0.0	179.1
Apr	282	152.8	129.6	0.0	350.0	0.0	152.8	0.0	129.6
Mei	197	156.2	41.1	0.0	350.0	0.0	156.2	0.0	41.1
Jun	166	130.9	34.7	0.0	350.0	0.0	130.9	0.0	34.7
Jul	88	118.9	-31.3	-31.3	322.0	-28.0	115.6	3.3	0.0
Agt	90	115.2	-25.6	-56.9	300.8	-21.2	110.8	4.4	0.0
Sep	89	124.3	-35.0	-91.9	274.1	-26.7	116.1	8.3	0.0
Okt	217	145.0	72.3	0.0	346.4	72.3	145.0	0.0	0.0
Nov	403	152.4	250.5	0.0	350.0	3.6	152.4	0.0	246.9
Des	426	157.3	269.0	0.0	350.0	0.0	157.3	0.0	269.0

3. Mandiraja (58)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	383	145.0	238.5	0.0	350.0	0.0	145.0	0.0	238.5
Feb	349	128.0	221.2	0.0	350.0	0.0	128.0	0.0	221.2
Mar	385	141.1	243.7	0.0	350.0	0.0	141.1	0.0	243.7
Apr	293	138.7	154.7	0.0	350.0	0.0	138.7	0.0	154.7
Mei	200	141.8	57.7	0.0	350.0	0.0	141.8	0.0	57.7
Jun	110	118.4	-8.3	-8.3	342.4	-7.6	117.7	0.7	0.0
Jul	48	107.2	-58.9	-67.2	292.7	-49.7	97.9	9.3	0.0
Agt	43	103.7	-60.3	-127.5	249.4	-43.4	86.8	16.9	0.0
Sep	56	112.2	-56.3	-183.7	214.7	-34.7	90.6	21.6	0.0
Okt	274	131.3	142.7	0.0	350.0	135.3	131.3	0.0	7.5
Nov	432	138.1	293.5	0.0	350.0	0.0	138.1	0.0	293.5
Des	402	142.6	259.0	0.0	350.0	0.0	142.6	0.0	259.0

4. Purwonegoro (57B)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	391	145.10	245.5	0.0	350.0	0.0	145.1	0.0	245.5
Feb	357	128.15	228.4	0.0	350.0	0.0	128.1	0.0	228.4
Mar	378	141.18	236.5	0.0	350.0	0.0	141.2	0.0	236.5
Apr	300	138.85	161.5	0.0	350.0	0.0	138.9	0.0	161.5
Mei	185	141.87	42.8	0.0	350.0	0.0	141.9	0.0	42.8
Jun	127	118.47	8.4	0.0	350.0	0.0	118.5	0.0	8.4
Jul	67	107.28	-40.0	-40.0	314.7	-35.3	102.6	4.7	0.0
Agt	39	103.81	-64.5	-104.5	265.1	-49.6	88.9	14.9	0.0
Sep	39	112.34	-73.6	-178.1	218.0	-47.1	85.9	26.5	0.0
Okt	265	131.37	133.8	0.0	350.0	132.0	131.4	0.0	1.8
Nov	520	138.26	381.7	0.0	350.0	0.0	138.3	0.0	381.7
Des	424	142.68	281.2	0.0	350.0	0.0	142.7	0.0	281.2

5. Rakit (58A)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	415	141.27	273.9	0.0	350.0	0.0	141.3	0.0	273.9
Feb	431	124.76	306.5	0.0	350.0	0.0	124.8	0.0	306.5
Mar	377	137.46	239.8	0.0	350.0	0.0	137.5	0.0	239.8
Apr	302	135.22	166.8	0.0	350.0	0.0	135.2	0.0	166.8
Mei	275	138.16	136.8	0.0	350.0	0.0	138.2	0.0	136.8
Jun	127	115.25	11.9	0.0	350.0	0.0	115.3	0.0	11.9
Jul	78	104.27	-26.6	-26.6	326.1	-23.9	101.6	2.7	0.0
Agt	54	100.86	-46.9	-73.6	287.8	-38.3	92.2	8.7	0.0
Sep	50	109.23	-59.3	-132.9	245.8	-42.0	91.9	17.3	0.0
Okt	217	127.83	89.2	0.0	335.1	89.2	127.8	0.0	0.0
Nov	356	134.60	221.8	0.0	350.0	14.9	134.6	0.0	206.8
Des	412	138.89	273.0	0.0	350.0	0.0	138.9	0.0	273.0

6. Bawang (60B)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	414	132.9	281.2	0.0	350.0	0.0	132.9	0.0	281.2
Feb	379	117.3	261.4	0.0	350.0	0.0	117.3	0.0	261.4
Mar	391	129.3	261.6	0.0	350.0	0.0	129.3	0.0	261.6
Apr	474	127.3	346.6	0.0	350.0	0.0	127.3	0.0	346.6
Mei	225	130.0	95.1	0.0	350.0	0.0	130.0	0.0	95.1
Jun	113	108.2	4.7	0.0	350.0	0.0	108.2	0.0	4.7
Jul	51	97.7	-46.7	-46.7	309.1	-40.9	91.9	5.8	0.0
Agt	55	94.4	-39.4	-86.1	278.4	-30.8	85.8	8.7	0.0
Sep	51	102.4	-51.4	-137.5	242.8	-35.6	86.6	15.8	0.0
Okt	123	120.1	3.3	0.0	246.1	3.3	120.1	0.0	0.0
Nov	449	126.6	321.9	0.0	350.0	103.9	126.6	0.0	218.0
Des	538	130.6	407.5	0.0	350.0	0.0	130.6	0.0	407.5

7. Banjarnegara (62)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	506	128.4	377.4	0.0	350.0	0.0	128.4	0.0	377.4
Feb	474	113.4	360.7	0.0	350.0	0.0	113.4	0.0	360.7
Mar	516	124.9	391.2	0.0	350.0	0.0	124.9	0.0	391.2
Apr	458	123.0	335.3	0.0	350.0	0.0	123.0	0.0	335.3
Mei	229	125.7	103.3	0.0	350.0	0.0	125.7	0.0	103.3
Jun	157	104.5	52.6	0.0	350.0	0.0	104.5	0.0	52.6
Jul	76	94.2	-18.0	-18.0	333.7	-16.3	92.5	1.6	0.0
Agt	55	91.0	-35.8	-53.8	303.4	-30.3	85.5	5.5	0.0
Sep	66	98.8	-32.8	-86.6	278.0	-25.4	91.3	7.5	0.0
Okt	290	115.9	174.0	0.0	350.0	72.0	115.9	0.0	102.0
Nov	572	122.3	450.1	0.0	350.0	0.0	122.3	0.0	450.1
Des	549	126.2	422.5	0.0	350.0	0.0	126.2	0.0	422.5

8. Sigaluh (62A)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	578	96.4	481.8	0.0	350.0	0.0	96.4	0.0	481.8
Feb	527	85.0	442.2	0.0	350.0	0.0	85.0	0.0	442.2
Mar	649	93.8	554.9	0.0	350.0	0.0	93.8	0.0	554.9
Apr	609	92.6	516.5	0.0	350.0	0.0	92.6	0.0	516.5
Mei	419	94.6	324.0	0.0	350.0	0.0	94.6	0.0	324.0
Jun	189	77.7	110.9	0.0	350.0	0.0	77.7	0.0	110.9
Jul	104	69.3	34.4	0.0	350.0	0.0	69.3	0.0	34.4
Agt	109	66.6	42.2	0.0	350.0	0.0	66.6	0.0	42.2
Sep	170	73.0	97.4	0.0	350.0	0.0	73.0	0.0	97.4
Okt	363	86.5	276.1	0.0	350.0	0.0	86.5	0.0	276.1
Nov	546	91.7	454.3	0.0	350.0	0.0	91.7	0.0	454.3
Des	674	94.6	579.6	0.0	350.0	0.0	94.6	0.0	579.6

9. Madukara (62D)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	518	124.91	392.6	0.0	350.0	0.0	124.9	0.0	392.6
Feb	462	110.26	351.7	0.0	350.0	0.0	110.3	0.0	351.7
Mar	514	121.53	392.1	0.0	350.0	0.0	121.5	0.0	392.1
Apr	431	119.68	310.9	0.0	350.0	0.0	119.7	0.0	310.9
Mei	263	122.27	140.5	0.0	350.0	0.0	122.3	0.0	140.5
Jun	155	101.53	53.6	0.0	350.0	0.0	101.5	0.0	53.6
Jul	85	91.43	-6.6	-6.6	343.9	-6.1	90.9	0.5	0.0
Agt	45	88.28	-43.6	-50.1	306.3	-37.6	82.3	5.9	0.0
Sep	66	95.96	-29.6	-79.8	283.1	-23.2	89.5	6.4	0.0
Okt	294	112.71	181.3	0.0	350.0	66.9	112.7	0.0	114.4
Nov	543	118.96	423.6	0.0	350.0	0.0	119.0	0.0	423.6
Des	596	122.71	473.1	0.0	350.0	0.0	122.7	0.0	473.1

10. Banjarmasinu (62C)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	490	128.29	361.7	0.0	350.0	0.0	128.3	0.0	361.7
Feb	429	113.25	315.7	0.0	350.0	0.0	113.3	0.0	315.7
Mar	510	124.82	385.0	0.0	350.0	0.0	124.8	0.0	385.0
Apr	481	122.89	357.7	0.0	350.0	0.0	122.9	0.0	357.7
Mei	268	125.55	142.0	0.0	350.0	0.0	125.6	0.0	142.0
Jun	146	104.36	41.8	0.0	350.0	0.0	104.4	0.0	41.8
Jul	102	94.08	8.0	0.0	350.0	0.0	94.1	0.0	8.0
Agt	73	90.87	-17.8	-17.8	333.8	-16.2	89.3	1.6	0.0
Sep	93	98.70	-5.6	-23.4	328.9	-4.9	98.0	0.7	0.0
Okt	334	115.84	218.6	0.0	350.0	21.1	115.8	0.0	197.5
Nov	524	122.19	401.7	0.0	350.0	0.0	122.2	0.0	401.7
Des	567	126.05	440.7	0.0	350.0	0.0	126.1	0.0	440.7

11. Wanadadi (60)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	490	134.2	355.3	0.0	350.0	0.0	134.2	0.0	355.3
Feb	402	118.5	283.3	0.0	350.0	0.0	118.5	0.0	283.3
Mar	479	130.6	347.9	0.0	350.0	0.0	130.6	0.0	347.9
Apr	401	128.5	272.3	0.0	350.0	0.0	128.5	0.0	272.3
Mei	308	131.3	177.1	0.0	350.0	0.0	131.3	0.0	177.1
Jun	176	109.3	66.9	0.0	350.0	0.0	109.3	0.0	66.9
Jul	74	98.7	-24.3	-24.3	328.1	-21.9	96.3	2.4	0.0
Agt	71	95.4	-24.9	-49.2	307.1	-21.0	91.5	3.9	0.0
Sep	44	103.5	-59.0	-108.2	262.5	-44.6	89.1	14.4	0.0
Okt	292	121.3	170.2	0.0	350.0	87.5	121.3	0.0	82.7
Nov	488	127.8	360.5	0.0	350.0	0.0	127.8	0.0	360.5
Des	562	131.9	430.3	0.0	350.0	0.0	131.9	0.0	430.3

12. Punggelan (60C)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	431	132.9	298.3	0.0	350.0	0.0	132.9	0.0	298.3
Feb	375	117.3	257.7	0.0	350.0	0.0	117.3	0.0	257.7
Mar	471	129.3	341.7	0.0	350.0	0.0	129.3	0.0	341.7
Apr	366	127.3	238.2	0.0	350.0	0.0	127.3	0.0	238.2
Mei	234	130.0	103.6	0.0	350.0	0.0	130.0	0.0	103.6
Jun	180	108.2	71.8	0.0	350.0	0.0	108.2	0.0	71.8
Jul	98	97.7	0.6	0.0	350.0	0.0	97.7	0.0	0.6
Agt	66	94.4	-28.9	-28.9	324.1	-25.9	91.4	3.0	0.0
Sep	155	102.4	52.1	0.0	350.0	25.9	102.4	0.0	26.2
Okt	280	120.1	160.2	0.0	350.0	0.0	120.1	0.0	160.2
Nov	512	126.6	385.8	0.0	350.0	0.0	126.6	0.0	385.8
Des	467	130.6	336.4	0.0	350.0	0.0	130.6	0.0	336.4

13. Kalibening (59)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	798	61.2	736.5	0.0	350.0	0.0	61.2	0.0	736.5
Feb	613	53.8	559.1	0.0	350.0	0.0	53.8	0.0	559.1
Mar	473	59.5	413.3	0.0	350.0	0.0	59.5	0.0	413.3
Apr	451	59.0	392.4	0.0	350.0	0.0	59.0	0.0	392.4
Mei	293	60.2	232.6	0.0	350.0	0.0	60.2	0.0	232.6
Jun	194	48.5	145.1	0.0	350.0	0.0	48.5	0.0	145.1
Jul	116	42.4	74.0	0.0	350.0	0.0	42.4	0.0	74.0
Agt	111	40.5	70.7	0.0	350.0	0.0	40.5	0.0	70.7
Sep	164	45.1	118.8	0.0	350.0	0.0	45.1	0.0	118.8
Okt	361	54.2	306.7	0.0	350.0	0.0	54.2	0.0	306.7
Nov	509	58.1	451.3	0.0	350.0	0.0	58.1	0.0	451.3
Des	745	59.8	685.6	0.0	350.0	0.0	59.8	0.0	685.6

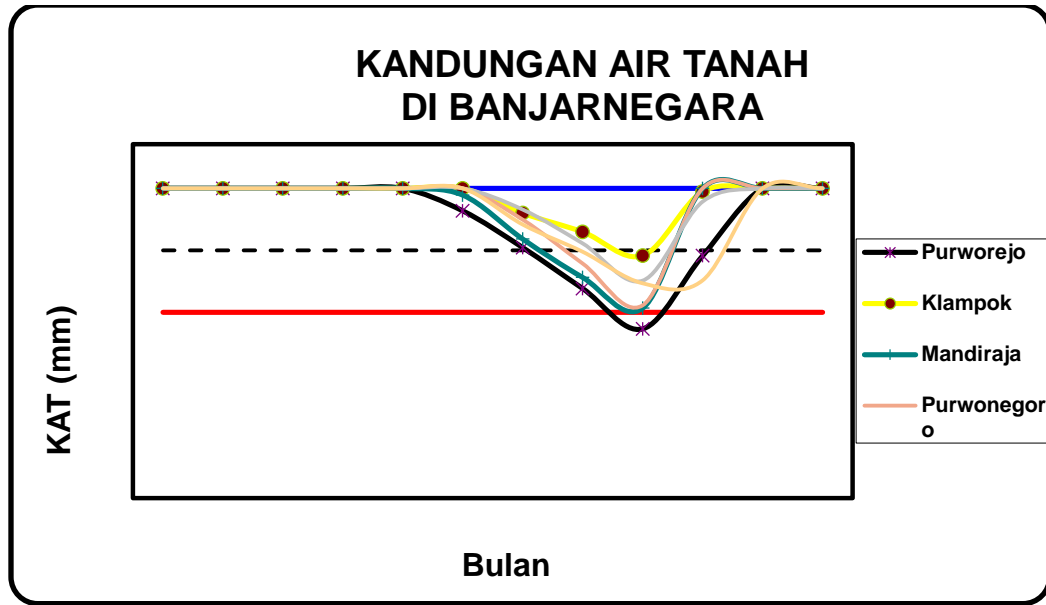
14. Karangobar (64A)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	505	63.43	441.8	0.0	350.0	0.0	63.4	0.0	441.8
Feb	551	55.83	495.4	0.0	350.0	0.0	55.8	0.0	495.4
Mar	527	61.68	465.3	0.0	350.0	0.0	61.7	0.0	465.3
Apr	424	61.14	362.5	0.0	350.0	0.0	61.1	0.0	362.5
Mei	243	62.43	180.2	0.0	350.0	0.0	62.4	0.0	180.2
Jun	84	50.38	33.3	0.0	350.0	0.0	50.4	0.0	33.3
Jul	74	44.11	29.7	0.0	350.0	0.0	44.1	0.0	29.7
Agt	96	42.12	54.2	0.0	350.0	0.0	42.1	0.0	54.2
Sep	184	46.83	137.4	0.0	350.0	0.0	46.8	0.0	137.4
Okt	298	56.27	241.2	0.0	350.0	0.0	56.3	0.0	241.2
Nov	569	60.22	508.8	0.0	350.0	0.0	60.2	0.0	508.8
Des	644	62.00	581.5	0.0	350.0	0.0	62.0	0.0	581.5

15. Wanayasa (63A)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	812	43.59	768.7	0.0	350.0	0.0	43.6	0.0	768.7
Feb	605	38.29	567.0	0.0	350.0	0.0	38.3	0.0	567.0
Mar	310	42.37	267.6	0.0	350.0	0.0	42.4	0.0	267.6
Apr	375	42.17	333.1	0.0	350.0	0.0	42.2	0.0	333.1
Mei	214	43.04	171.0	0.0	350.0	0.0	43.0	0.0	171.0
Jun	117	34.11	82.4	0.0	350.0	0.0	34.1	0.0	82.4
Jul	90	29.32	61.1	0.0	350.0	0.0	29.3	0.0	61.1
Agt	106	27.80	78.5	0.0	350.0	0.0	27.8	0.0	78.5
Sep	181	31.37	149.6	0.0	350.0	0.0	31.4	0.0	149.6
Okt	273	38.25	234.8	0.0	350.0	0.0	38.2	0.0	234.8
Nov	441	41.30	399.7	0.0	350.0	0.0	41.3	0.0	399.7
Des	822	42.47	779.1	0.0	350.0	0.0	42.5	0.0	779.1

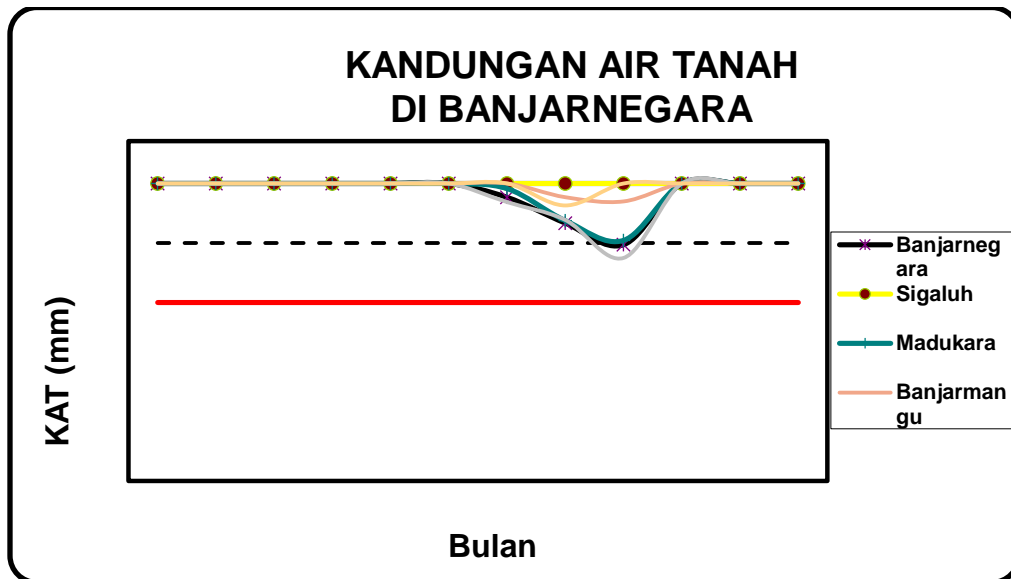
16. Pagentan (67)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	574	67.5	506.3	0.0	350.0	0.0	67.5	0.0	506.3
Feb	567	59.4	507.4	0.0	350.0	0.0	59.4	0.0	507.4
Mar	655	65.7	589.4	0.0	350.0	0.0	65.7	0.0	589.4
Apr	537	65.0	471.6	0.0	350.0	0.0	65.0	0.0	471.6
Mei	525	66.4	459.0	0.0	350.0	0.0	66.4	0.0	459.0
Jun	166	53.8	112.2	0.0	350.0	0.0	53.8	0.0	112.2
Jul	110	47.2	62.8	0.0	350.0	0.0	47.2	0.0	62.8
Agt	98	45.1	53.0	0.0	350.0	0.0	45.1	0.0	53.0
Sep	193	50.0	143.1	0.0	350.0	0.0	50.0	0.0	143.1
Okt	389	60.0	329.1	0.0	350.0	0.0	60.0	0.0	329.1
Nov	588	64.1	523.5	0.0	350.0	0.0	64.1	0.0	523.5
Des	898	66.0	831.9	0.0	350.0	0.0	66.0	0.0	831.9

17. Pejawaran (66)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	434	56.0	378.3	0.0	350.0	0.0	56.0	0.0	378.3
Feb	395	49.3	346.2	0.0	350.0	0.0	49.3	0.0	346.2
Mar	404	54.4	349.5	0.0	350.0	0.0	54.4	0.0	349.5
Apr	312	54.0	258.1	0.0	350.0	0.0	54.0	0.0	258.1
Mei	161	55.2	105.6	0.0	350.0	0.0	55.2	0.0	105.6
Jun	99	44.3	55.1	0.0	350.0	0.0	44.3	0.0	55.1
Jul	72	38.5	33.1	0.0	350.0	0.0	38.5	0.0	33.1
Agt	60	36.7	23.2	0.0	350.0	0.0	36.7	0.0	23.2
Sep	121	41.0	80.1	0.0	350.0	0.0	41.0	0.0	80.1
Okt	256	49.5	206.3	0.0	350.0	0.0	49.5	0.0	206.3
Nov	409	53.1	356.2	0.0	350.0	0.0	53.1	0.0	356.2
Des	452	54.7	397.1	0.0	350.0	0.0	54.7	0.0	397.1

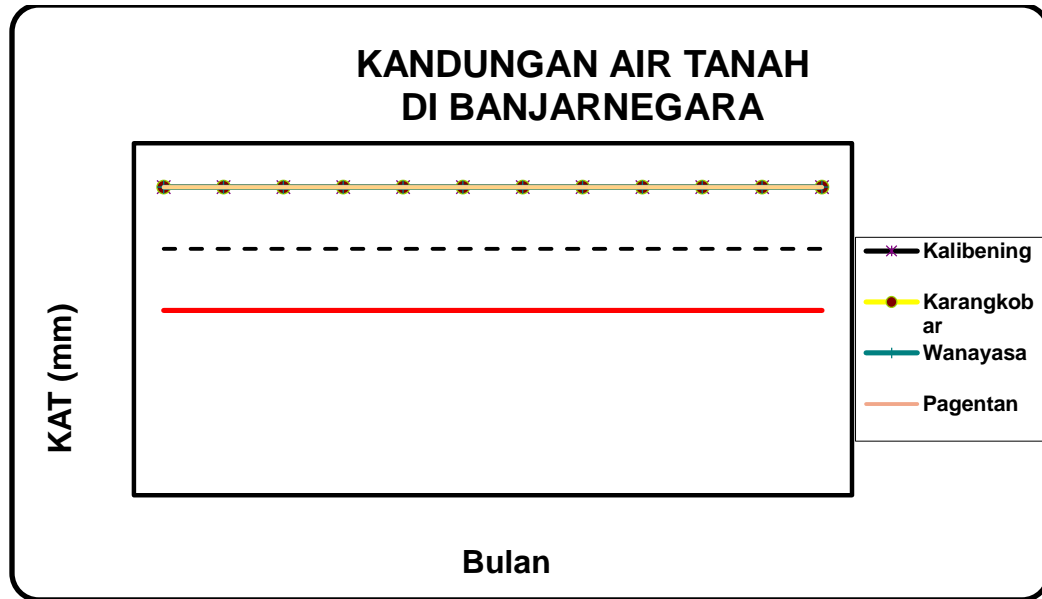
18. Batur (65)									
Bulan	CH	Etp	CH - Etp	APWL	KAT	Dkat	Eta	Defisit	Surplus
Jan	460	30.8	429.6	0.0	350.0	0.0	30.8	0.0	429.6
Feb	411	27.0	384.5	0.0	350.0	0.0	27.0	0.0	384.5
Mar	429	29.9	399.1	0.0	350.0	0.0	29.9	0.0	399.1
Apr	631	29.9	601.3	0.0	350.0	0.0	29.9	0.0	601.3
Mei	125	30.5	94.2	0.0	350.0	0.0	30.5	0.0	94.2
Jun	68	23.7	43.8	0.0	350.0	0.0	23.7	0.0	43.8
Jul	39	20.0	18.8	0.0	350.0	0.0	20.0	0.0	18.8
Agt	54	18.8	35.5	0.0	350.0	0.0	18.8	0.0	35.5
Sep	42	21.6	20.4	0.0	350.0	0.0	21.6	0.0	20.4
Okt	138	26.7	110.8	0.0	350.0	0.0	26.7	0.0	110.8
Nov	279	29.1	249.5	0.0	350.0	0.0	29.1	0.0	249.5
Des	552	29.9	522.5	0.0	350.0	0.0	29.9	0.0	522.5



Gambar 6.7 . Grafik kandungan air tanah (KAT) Kecamatan Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang, Kabupaten Banjarnegara



Gambar 6.8. Grafik kandungan air tanah (KAT) Kecamatan Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan, Kabupaten Banjarnegara



Gambar 6.9. Grafik kandungan air tanah (KAT) Kecamatan Kalibening, Karangobar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur, Kabupaten Banjarnegara

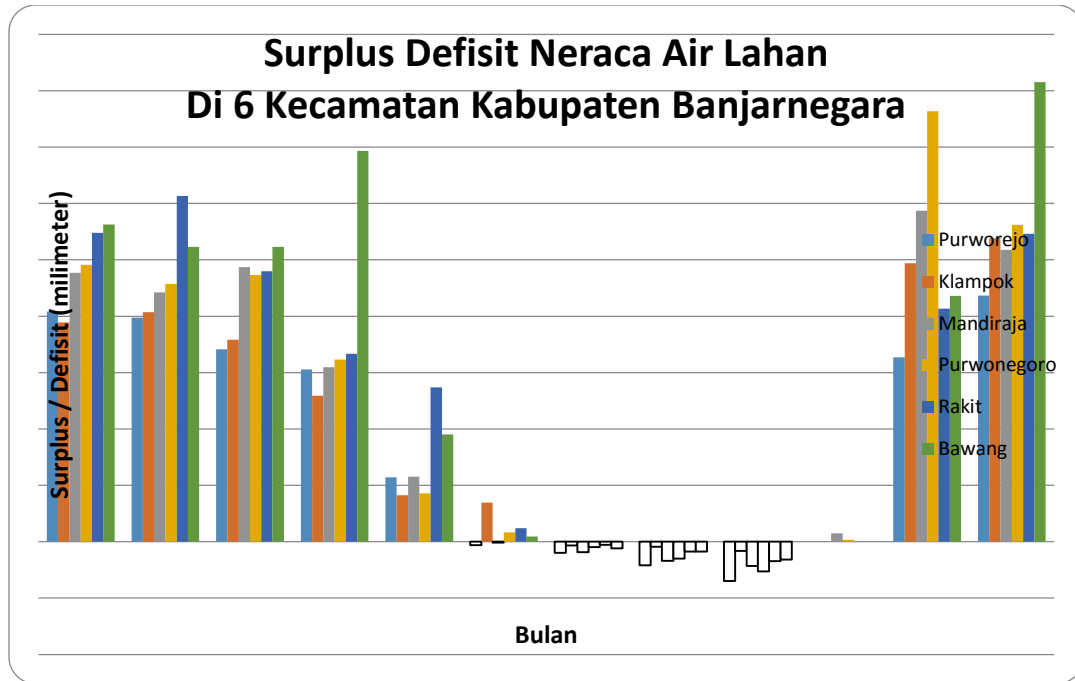
Hasil perhitungan surplus dan defisit berdasarkan analisis neraca air lahan menggunakan metode Thornwaite pada setiap pos hujan yang mewakili kecamatan seperti pada tabel 6.9. Sementara itu, grafik surplus dan defisit bulanan seperti pada gambar 6.10, 6.11, dan 6.12.

Tabel 6.7 Surplus dan defisit neraca air lahan pada setiap pos hujan/kecamatan Kabupaten Banjarnegara

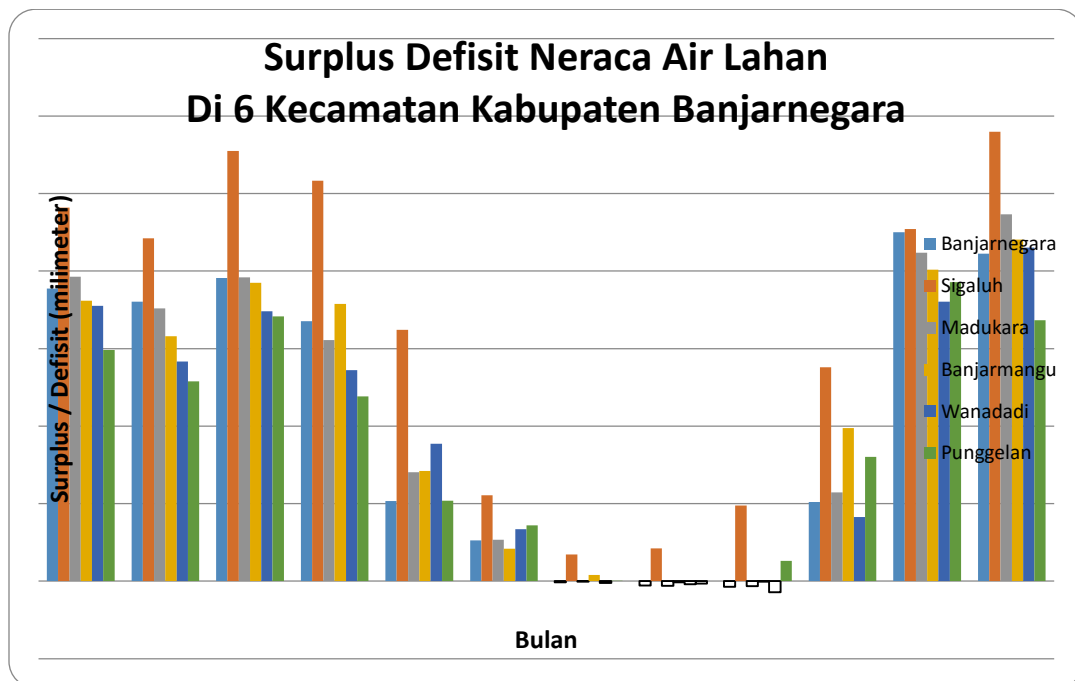
Bulan	Purworejo	Klampok	Mandiraja	Purwonegoro	Rakit	Bawang
Jan	204.2	194.4	238.5	245.5	273.9	281.2
Feb	198.6	203.7	221.2	228.4	306.5	261.4
Mar	170.6	179.1	243.7	236.5	239.8	261.6
Apr	152.6	129.6	154.7	161.5	166.8	346.6
Mei	57.0	41.1	57.7	42.8	136.8	95.1
Jun	-2.9	34.7	-0.7	8.4	11.9	4.7
Jul	-9.9	-3.3	-9.3	-4.7	-2.7	-5.8
Agt	-20.8	-4.4	-16.9	-14.9	-8.7	-8.7
Sep	-34.7	-8.3	-21.6	-26.5	-17.3	-15.8
Okt	0.0	0.0	7.5	1.8	0.0	0.0
Nov	163.6	246.9	293.5	381.7	206.8	218.0
Des	218.2	269.0	259.0	281.2	273.0	407.5

Bulan	Banjarnegara	Sigaluh	Madukara	Banjarmangu	Wanadadi	Punggelan
Jan	377.4	481.8	392.6	361.7	355.3	298.3
Feb	360.7	442.2	351.7	315.7	283.3	257.7
Mar	391.2	554.9	392.1	385.0	347.9	341.7
Apr	335.3	516.5	310.9	357.7	272.3	238.2
Mei	103.3	324.0	140.5	142.0	177.1	103.6
Jun	52.6	110.9	53.6	41.8	66.9	71.8
Jul	-1.6	34.4	-0.5	8.0	-2.4	0.6
Agt	-5.5	42.2	-5.9	-1.6	-3.9	-3.0
Sep	-7.5	97.4	-6.4	-0.7	-14.4	26.2
Okt	102.0	276.1	114.4	197.5	82.7	160.2
Nov	450.1	454.3	423.6	401.7	360.5	385.8
Des	422.5	579.6	473.1	440.7	430.3	336.4

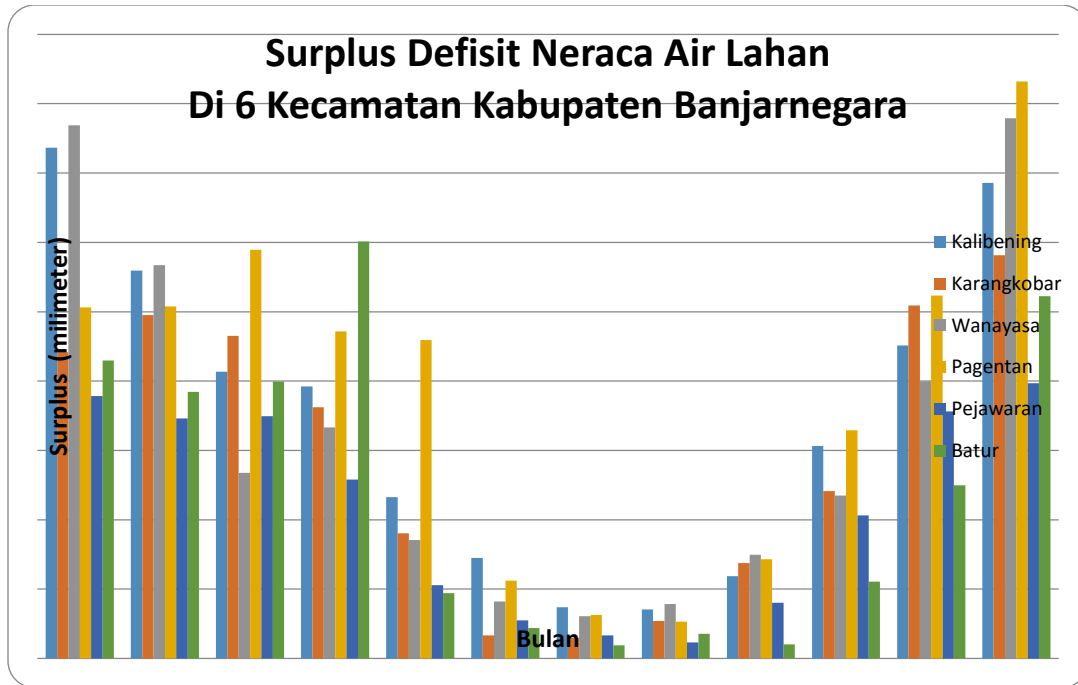
Bulan	Kalibening	Karangkoobar	Wanayasa	Pagentan	Pejawaran	Batur
Jan	736.5	441.8	768.7	506.3	378.3	429.6
Feb	559.1	495.4	567.0	507.4	346.2	384.5
Mar	413.3	465.3	267.6	589.4	349.5	399.1
Apr	392.4	362.5	333.1	471.6	258.1	601.3
Mei	232.6	180.2	171.0	459.0	105.6	94.2
Jun	145.1	33.3	82.4	112.2	55.1	43.8
Jul	74.0	29.7	61.1	62.8	33.1	18.8
Agt	70.7	54.2	78.5	53.0	23.2	35.5
Sep	118.8	137.4	149.6	143.1	80.1	20.4
Okt	306.7	241.2	234.8	329.1	206.3	110.8
Nov	451.3	508.8	399.7	523.5	356.2	249.5
Des	685.6	581.5	779.1	831.9	397.1	522.5



Gambar 6.10 Grafik surplus dan defisit NAL Kecamatan Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang, Kabupaten Banjarnegara

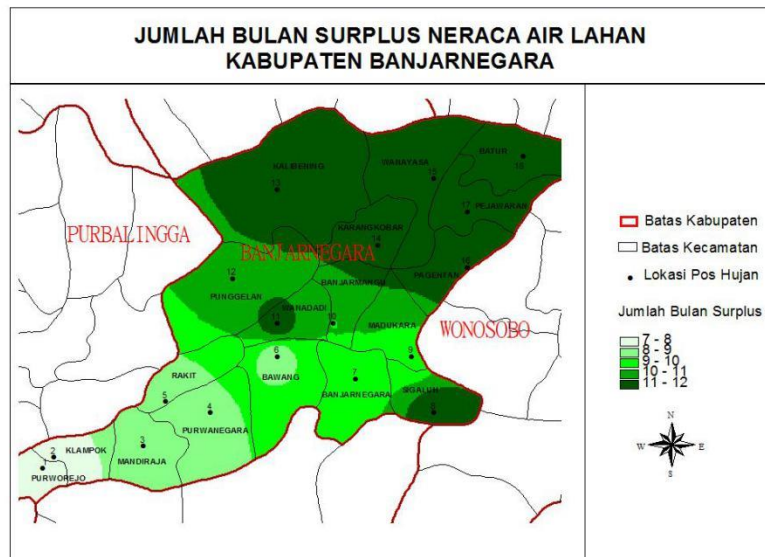


Gambar 6.11 Grafik surplus dan defisit NAL Kecamatan Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan, Kabupaten Banjarnegara



Gambar 6.12 Grafik surplus dan defisit NAL Kecamatan Kalibening, Karangkojar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur, Kabupaten Banjarnegara

Lamanya surplus bulanan hasil perhitungan neraca air lahan secara spasial untuk Kabupaten Banjarnegara seperti pada gambar 6.13.



Gambar 6.13 Jumlah bulan surplus NAL Kabupaten Banjarnegara

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa :

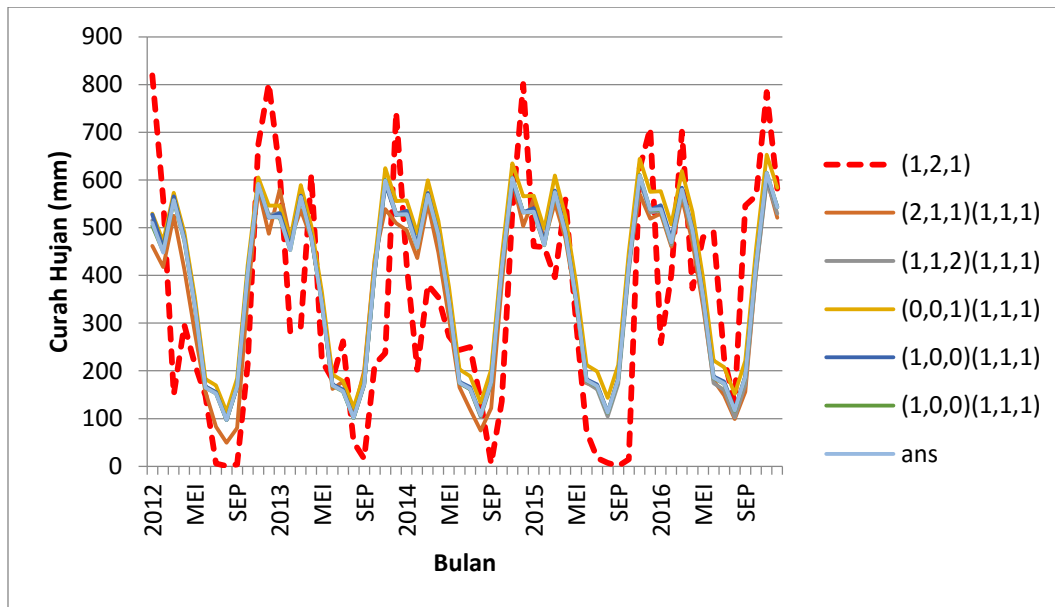
- a) Rata-rata hujan bulanan di Kabupaten Banjarnegara memiliki pola monsun (musiman), dimana rata-rata periode musim kemarau umumnya Juni-September dan musim hujan umumnya Oktober-Mei.
- b) Rata-rata jumlah hujan setahun di Kabupaten Banjarnegara sangat tinggi berkisar antara 2500-5500 milimeter. Sebaran konsentrasi terbanyak terjadi di Kecamatan Kalibening, Pejawaran dan Sigaluh berkisar antara 4500-5500 milimeter, sedangkan terendah di Kecamatan Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro dan Rakit berkisar antara 2500-3500 milimeter.
- c) Ketersediaan Air Tanah (KAT) di Kabupaten Banjarnegara mencapai kapasitas lapang (KL) umumnya selama 7 sampai 12 bulan. Kecamatan yang mengalami kapasitas lapang sepanjang tahun (12 bulan) adalah Kalibening, Karangobar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur. Kecamatan yang mengalami 9 sampai 10 bulan adalah Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan. Kecamatan yang mengalami 7 sampai 8 bulan adalah Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang.
- d) Surplus curah hujan bulanan hasil analisis neraca air di Kabupaten Banjarnegara umumnya terjadi selama 7 sampai 12 bulan. Kecamatan yang mengalami surplus sepanjang tahun (12 bulan) adalah Kalibening, Karangobar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur. Kecamatan yang mengalami surplus 9 sampai 10 bulan adalah Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan. Kecamatan yang mengalami surplus 7 sampai 8 bulan adalah Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang.
- e) Defisit curah hujan bulanan hasil analisis neraca air di Kabupaten Banjarnegara umumnya terjadi selama 3 sampai 4 bulan, yaitu antara Juni-September. Kecamatan yang mengalami defisit sekitar 4 bulan (Jun-Sep) adalah Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang. Kecamatan yang mengalami defisit sekitar 3 bulan (Jul-Sep) adalah Banjarnegara, Sigaluh, Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan.

6.2 Tipe Hujan Banjarnegara dan Prediksi Hujan Bulanan

Seperti wilayah Indonesia pada umumnya, cuaca dan iklim wilayah Banjarnegara paling dominan dipengaruhi oleh aktifitas musiman monsun Asia-Australia. Oleh sebab itu, Banjarnegara memiliki pola hujan musonal. Wilayah ini mengalami musim kering pada periode April-September dan musim basah pada periode Oktober-Maret. Puncak musim hujan di wilayah ini terjadi pada periode Desember-Januari-Februari (DJF).

Variasi iklim antartahunan dipengaruhi oleh dinamika iklim skala global. Dalam skala global iklim di wilayah Jawa terkait dengan fenomena ENSO dan IOD. ENSO merupakan fenomena interaksi lautan-atmosfer di wilayah Pasifik tropis sedangkan IOD merupakan fenomena interaksi laut di Samudera Hindia (Nuryanto, 2013). Pada saat kejadian El Nino maupun DM+, distribusi curah hujan di wilayah Jawa akan berkurang. Teknik prediksi bagaimana dapat menangkap pola tersebut.

Teknik predikis dengan curah hujan training dari tahun 1997-2011(15 tahun) dan untuk validasi 2012-1016 (5 tahun) menggunakan model ARIMA (*Autoregresive Moving Average*). Dalam prediksi ini menunjukkan pola musiman yang kuat (Gambar 6.14).

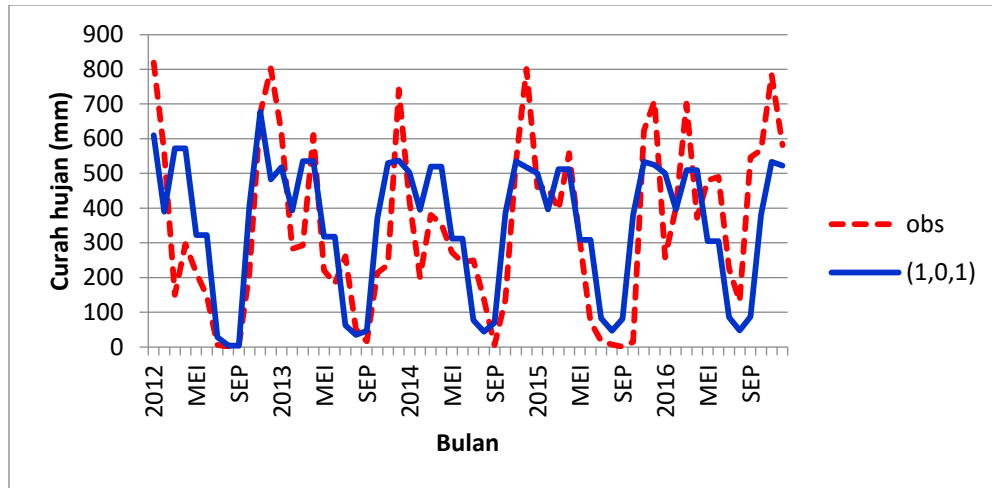


Gambar 6.14 Prediksi curah hujan bulanan kecamatan Banjar Mangu 2012-2015 (hasil analisis prediksi dan observasi)

Untuk mengurangi pola musiman dan menangkap pola ekstrem Prediksi dengan pertahun dilakukan prediksi per bulan (Januari, Februari dan seterusnya). Contoh untuk hasil prediksi

bulan Januari dari tahun 2012-2015 diperoleh dengan data latih dari curah hujan bulan Januari tahun 1997-2011, untuk predikis bulan Februari 2012-2015 diperoleh dengan data latih dari curah hujan bulan Februari tahun 1997-2011, untuk predikis bulan Maret 2012-2015 diperoleh dengan data latih dari curah hujan bulan Maret tahun 1997-2011, dan seterusnya. Korelasi antara prediksi dan observasi dengan data independen sebesar 0,7.

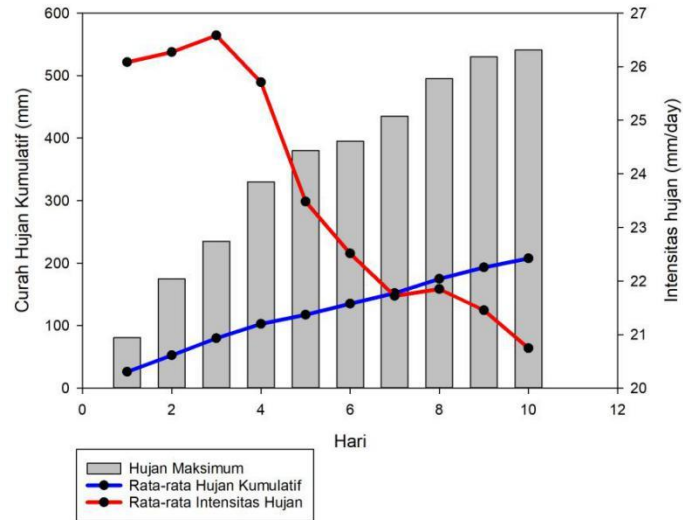
Diperoleh untuk nilai ekstrem bawah masih belum dapat mencapai nilai 0. vola curah hujan eskترم bawah ini penting karena terikait ketika kondisi tanah kering dan kemudian hujan besar menjadi pemicu longsor. Warning ketika dalam satu bulan tanah kering kemudian curah hujan naik dengan tajam pemicu terjadi longsor (Gambar 6.15).



Gambar 6.15 Prediksi curah hujan bulanan dengan tidak menggunakan pola

6.3 Karakteristik Iklim Ekstrem Banjarnegara

6.3.1 Analisis Curah Hujan Kumulatif



Gambar 6.16 Analisis curah hujan harian sejak sepuluh hari sebelum kejadian longsor 2011-2017 di Kecamatan Banjarnegara

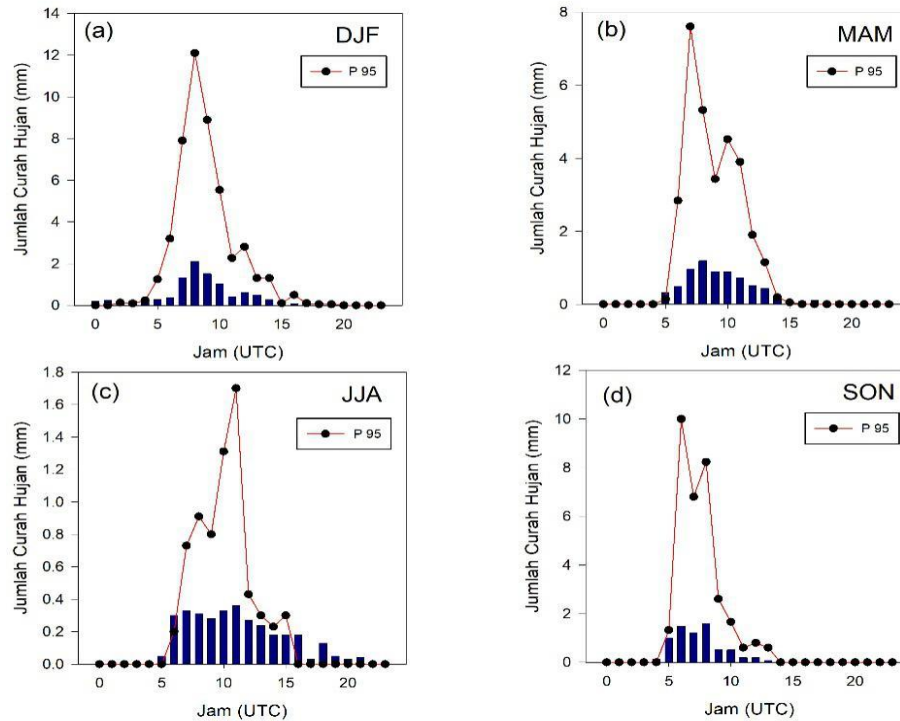
Analisis nilai rata-rata curah hujan kumulatif harian berdasarkan 24 (dua puluh empat) kejadian longsor menunjukkan kenaikan kumulatif kurang lebih 20 mm perhari. Kenaikan hujan kumulatif tertinggi terjadi saat tiga sebelum kejadian longsor. Curah hujan kumulatif tertinggi sejak tiga hari sebelum terjadinya longsor sekitar 235 mm dan sejak sepuluh hari bernilai lebih dari 500 mm.

Analisis nilai rata-rata intensitas hujan harian menunjukkan nilai tertinggi saat hujan sejak tiga hari sampai sehari sebelum terjadinya longsor yaitu sebesar 26,6 mm/hari. Sementara perubahan rata-rata intensitas hujan harian menunjukkan nilai terbesar antara lima hari ke empat hari sebelum terjadinya longsor.

Berdasarkan analisis diatas, nilai intensitas hujan sejak tiga hari sebelum sampai satu hari sebelum kejadian longsor menjadi sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini juga menunjukkan rata-rata kejadian longsor di Kecamatan Banjarnegara mengalami peningkatan curah hujan harian yang cukup signifikan sebelum hari ketiga kejadian longsor yang memungkinkan menaikkan kejenuhan air dalam pori-pori tanah sehingga kontinuitas hujan sejak tiga hari kedepan menjadi sangat berperan dalam memicu tanah longsor.

6.3.2 Karakteristik Curah Hujan Diurnal

Gambar 6.17 menunjukkan jumlah curah hujan rata-rata periode jam-jaman selama tahun 2013-2015 dan diklasifikasi tiap 3 bulan pada pengukuran di wilayah Banjarnegara.



Gambar 6.17 Jumlah curah hujan setiap jam pada periode (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, dan (d) SON. Grafik garis merah adalah kejadian ekstrim curah hujan berdasarkan persentil 95

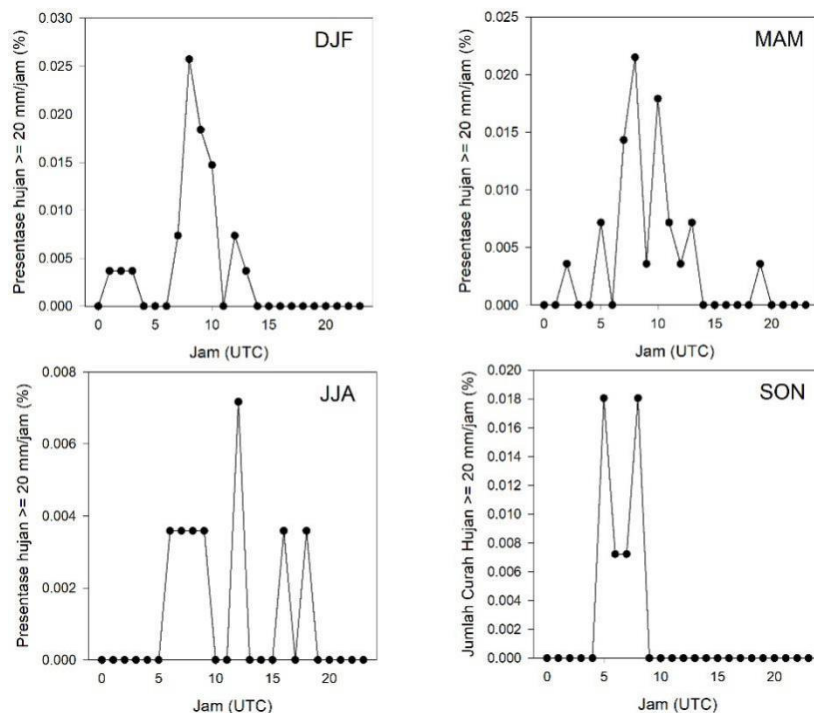
Berdasarkan Gambar 6.17, terlihat bahwa pola diurnal curah hujan di Banjarnegara relatif tetap. Secara umum waktu puncak jumlah curah hujan di Banjarnegara terjadi pada siang hingga sore hari. Ini adalah pola umum wilayah yang didominasi oleh hujan-hujan konvektif. Ciri khas hujan tipe konvektif ini adalah terjadi pengumpulan massa udara saat pagi hari dan akan membentuk awan hujan saat siang sampai sore hari. Selain dipengaruhi oleh konveksi, hujan di wilayah ini, juga dipengaruhi oleh sirkulasi local seperti: angin lembah dan sirkulasi sinoptik seperti monsoon. Pengaruh monsoon terlihat pada kondisi curah hujan musiman dimana curah hujan DJF jauh lebih tinggi dibandingkan curah hujan periode JJA.

Rata-rata curah hujan tertinggi ada pada periode DJF jam 08.00 UTC (15.00 WIB) dengan rata-rata curah hujan 2.1 mm/jam. Sedangkan triwulan paling kering adalah pada periode JJA dimana rata-rata curah hujan paling tinggi tercatat sebesar 0.4 mm/jam pada jam 11.00 UTC

(18.00 WIB). Pada periode MAM, rata-rata curah hujan tertinggi adalah 1.2 mm/jam pada jam 08.00 UTC (15.00 WIB). Untuk periode SON, curah hujan tertinggi adalah 1.6 pada jam 08.00 UTC (15.00 WIB).

Dari analisis persentil 95%, nilai persentil tertinggi terdapat pada musim hujan periode DJF dan SON sebesar 10 mm/jam pada siang hari jam 13.00 UTC. Sedangkan periode MAM tercatat sebesar 7.6 mm/jam pada jam 07.00 UTC (14.00 WIB) dan periode JJA tercatat sebesar 1.7 mm/jam pada jam 11.00 UTC (18.00 WIB). Waktu terjadinya nilai persentil tertinggi tercatat pada siang hari sekitar jam 06.00 UTC (13.00 WIB) sampai dengan 08.00 UTC (15.00 WIB).

Gambar 6.17 menjelaskan peluang terjadinya curah hujan lebat tiap jam di wilayah Banjarnegara. Pola curah hujan lebat pada umumnya terjadi pada siang hari jam 07.00 UTC sampai 10.00 UTC. Hal ini terkait dengan pola curah hujan konvektif di Banjarnegara yang terjadi pada siang hari. Presentase tertinggi curah hujan lebat diatas 20 mm/jam selama 3 tahun terjadi pada periode DJF sebesar 0.026% pada jam 08.00 UTC. Sedangkan peluang terendah curah hujan lebat terjadi pada periode JJA dengan presentase 0.007% kejadian selama 3 tahun.



Gambar 6.18. Presentase curah hujan lebat lebih dari 20 mm/jam di Banjarnegara

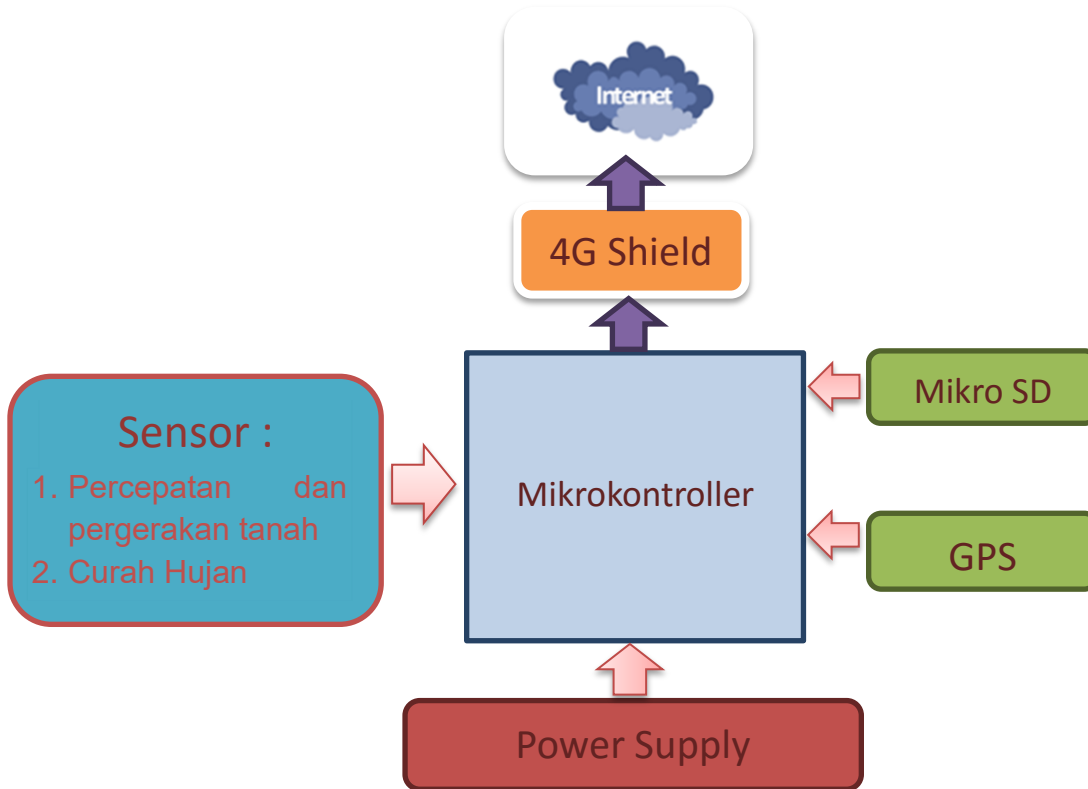
Dari grafik presentase curah hujan lebat pada gambar 6.18, perlu diwaspadai hujan lebat pada periode DJF saat siang hari jam 07.00 UTC sampai 08.00 UTC. Pada periode DJF, peluang terjadinya hujan lebat menurun sampai 0% setelah jam 15 UTC. Pola curah hujan lebat pada periode MAM mirip dengan DJF, dimana presentase tertinggi terjadi pada siang hari dan menurun pada malam hari. Pada periode JJA, peluang hujan lebat lebih bervariasi terjadi pada siang sampai malam hari namun dengan peluang kejadian dibawah 0.008% selama 3 tahun. Sedangkan pada periode SON, peluang curah hujan lebat terjadi antara jam 05.00 UTC sampai 08.00 UTC.

Hasil Analisa menunjukkan bahwa pada kejadian longsor terjadi kenaikan curah hujan kumulatif kurang lebih 20 mm perhari. Peluang terjadinya curah hujan di atas 20mm per hari pada periode DJF sebesar 0.026% pada jam 15.00 WIB sedangkan peluang terendah curah hujan 20mm terjadi pada periode JJA dengan presentase 0.007%. Di Banjarnegara, curah hujan intensitas tinggi umumnya terjadi pada siang hari. Nilai-nilai persentil tertinggi pada umumnya juga terjadi pada siang dan sore hari.

7. SISTEM PERINGATAN DINI LONGSOR

7.1 Sistem Peralatan Peringatan Dini Longsor

Berdasarkan dari kajian analisis tersebut, maka direkomendasikan suatu alat untuk peringatan dini bencana longsor. *Early warning system* longsor yang akan dibangun seperti pada gambar 7.1.



Gambar 7.1. Diagram blok sistem

Sistem yang dirancang terdiri atas 3 bagian, yaitu : input, proses, dan output. Input terdiri atas 3 buah sensor :

- Sensor akselerometer digunakan untuk mengukur pergerakan dan perpindahan posisi tanah.
- Sensor *tipping bucket* digunakan sebagai pengukur curah hujan.
- Sensor *soil moisture* digunakan sebagai pengukur kadar air tanah.

Sensor yang terpasang akan melakukan perintah sesuai batas ambang batas parameter cuaca dan geologi. Parameter cuaca yang didapatkan berdasarkan analisis meteorologi, klimatologi dan geofisika sesuai dengan karakteristik daerah terdampak bencana longsor.

Proses dilakukan oleh perangkat mikrokontroler. Proses yang dilakukan meliputi pengolahan data yang diterima dari sensor-sensor. Pengolahan data terdiri dari konversi data, penyimpanan

data di mikro-SD, sinkronisasi waktu dan posisi oleh GPS, dan meneruskan data ke jaringan internet menggunakan shield 4G. Output dari sistem adalah berupa data yang disimpan di mikro SD dan data yang dikirim ke *database* melalui jaringan internet menggunakan shield 3G/4G.

7.2 Model Sistem Peringatan Dini Longsor Harian dan Bulanan

Untuk melakukan prediksi longsor maka harus memenuhi tiga kriteria yaitu Dimana (lokasi), kapan (waktu kejadian) dan berapa kuat zona yang mengalami Longsor. Dalam kajian ini kami menjawab pertanyaan diatas sebagai berikut:

1. Lokasi, lokasi longsor merupakan daerah tetap atau variable statis yang di sebut Zona Longsor (ZL) ditentukan oleh :
 - a. Peta Rawan Lonsor, Badan Geologi telah mempublikasi Peta Rawan Longsor Daerah Kajian.
 - b. Peta tipe Iklim, dipublikasi oleh BMKG yang merupakan variabel Statis yang tidak berubah dalam 10 tahun kedepan. Peta tipe Iklim menunjukkan karakteristik tanah dan batuan dalam merespon curah hujan. Untuk tipe iklim Basah maka daya ikat batuan akan menjadi lemah pada musim hujan, dan untuk musim kemarau batuan menjadi padu. Untuk Tipe Iklim yang kering jika musim hujan dan kemarau batuannya tidak padu. Sehingga tipe Iklim kering maka nilai bobotnya lebih tinggi dibandingkan dengan tipe iklim basah.
2. Kapan (waktu kejadian), ini adalah pertanyaan yang sulit, karena ini terkait dengan variable penyusun kejadian longsor (Indeks Penyusun Longsor, IPL). Variabel ini terkait dengan waktu prediksi Longsor disebut dengan variabel bergerak, terdiri dari:
 - a. Aktivitas kegempaan, aktivitas ini dapat merubah struktur penyusun batuan di Zona perbukitan. Apabila zona rawan lonsor terkena dampak 1 SIG (Skala Intensitas Gempa) maka sudah dapat merubah struktur batuan.
 - b. Neraca Air Tanah/ Kelengasan Air Tanah, nilai neraca air tanah menunjukkan kemampuan batuan dan tanah menyimpan sementara air hujan, jika nilainya 100% maka kemampuan batuan dan tanah tidak lagi dapat menampung air tanah. Maka memungkinkan terjadinya fenomena longsor.

c. Prediksi Curah Hujan bulanan dan harian, merupakan prediksi hujan dengan memanfaatkan data Satelit, Radar dan parameter pengukuran di atmosfer di permukaan yaitu Suhu, Tekanan dan kelembaban udara.

3. Berapa Kuat (Intensitas), adalah indeks kekuatan longsor (IKL) dari dampak prediksi longsor yang terdiri dari luasan dan banyaknya material batuan yang bergerak.

Dari ketiga parameter tersebut maka dapat dibangun suatu rumusan sebagai berikut:

$$IKL = ZL_{(Nilai\ bobot\ 60\%)} + IPL_{(Nilai\ bobot\ 40\%)} \quad (7.1)$$

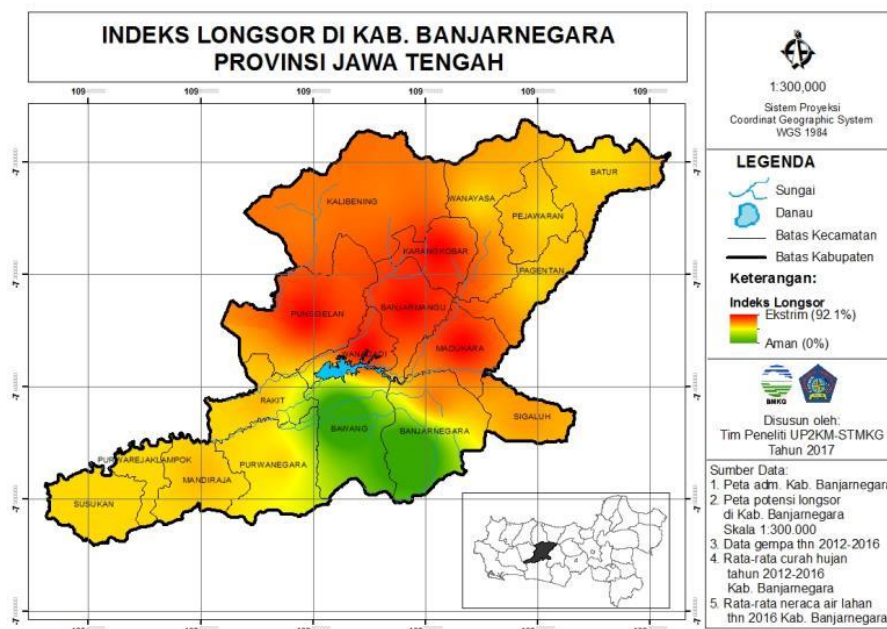
Dimana

IKL = Indeks Kekuatan Longsor (Tinggi = 100%-81%; Sedang = 80% – 61%; Rendah = 60% – 40%)

ZL = Zona Longsor yang memiliki nilai bobot 60% yang terdiri dari variable tetap yaitu peta rawan longsor (Nilai bobot = 40%) dan Peta Pola Iklim (nilai Bobot = 20%).

IPL = Indeks Penyusun Longsor, memiliki nilai bobot 40 % yang terdiri dari variable berubah yaitu Kegempaan (Nilai Bobot = 20%), neraca air tanah (nilai Bobot = 10%) dan Prediksi Curah hujan (Nilai bobot = 10%).

Selanjutnya dari parameter ini dalam bentuk spasial indek Longsor Kabupaten Banjarnegara seperti pada Gambar 7.2

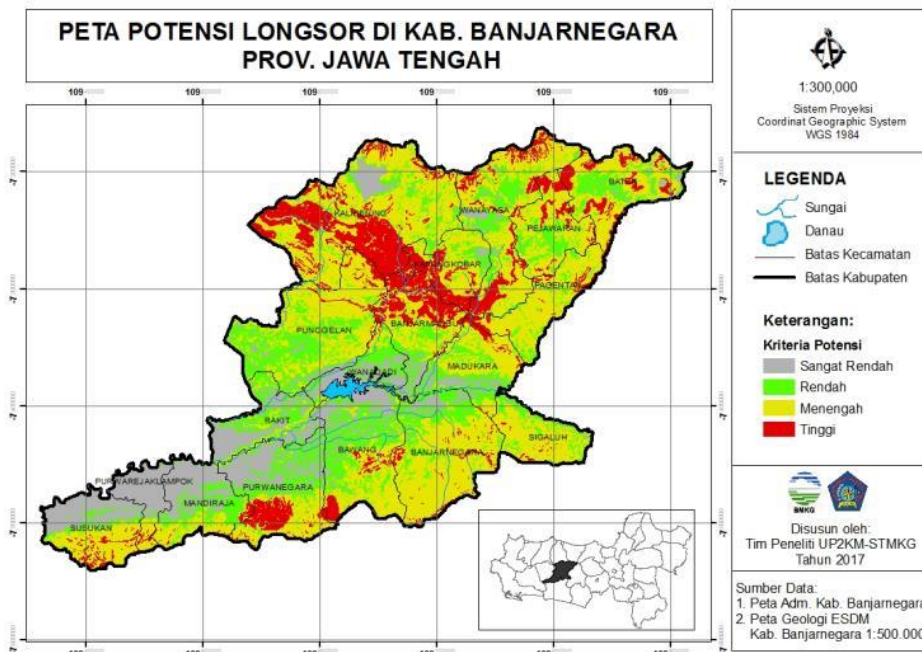


Gambar 7.2 Indeks Longsor Kabupaten Banjarnegara

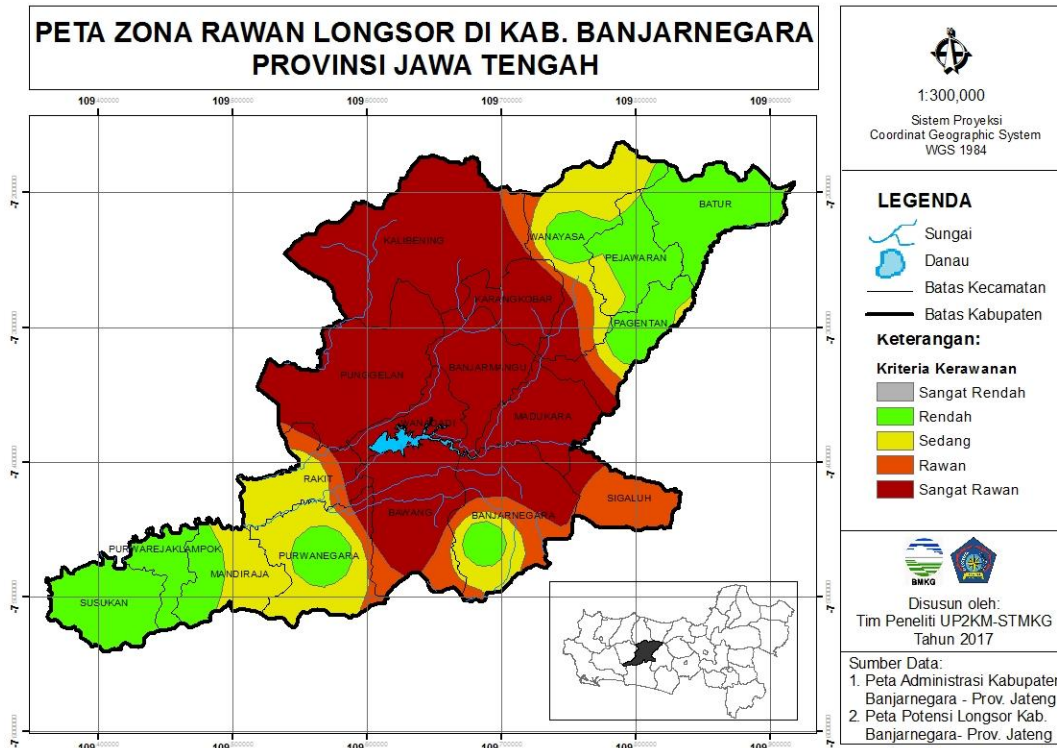
7.2.1 Zona Longsor

Zona longsor adalah daerah yang memiliki tingkat kerawanan longsor, daerah tersebut terbangun dari Peta rawan longsor dan Peta Pola Iklim. Peta Rawan Longsor dipetakan oleh Badan Geologi (Gambar 7.3). Zona Longsor di katagorikan dalam peta kerawanan yang berbasis pada bentuk geomorfologi yaitu kerapatan lereng, data hujan dan aktivitas gempa lokal (Gambar 7.4).

Peta tipe iklim di bangun oleh Team Kajian dengan menggunakan model Oldeman. Model Oldeman dipilih karena merepresentasikan pola hujan regional untuk menunjukkan kapasitas kemampuan tanah terhadap jumlah curah hujan tahunan yang menggambarkan tipe iklim basah dan Kering. Tipe iklim tersebut menunjukkan kemampuan daya ikat struktur tanah, makin kering tipe iklimnya maka daya ikat struktur tanah makin berkurang begitu sebaliknya.



Gambar 7.3. Peta Zona Longsor berdasarkan Peta Potensi Longsor Badan Geologi

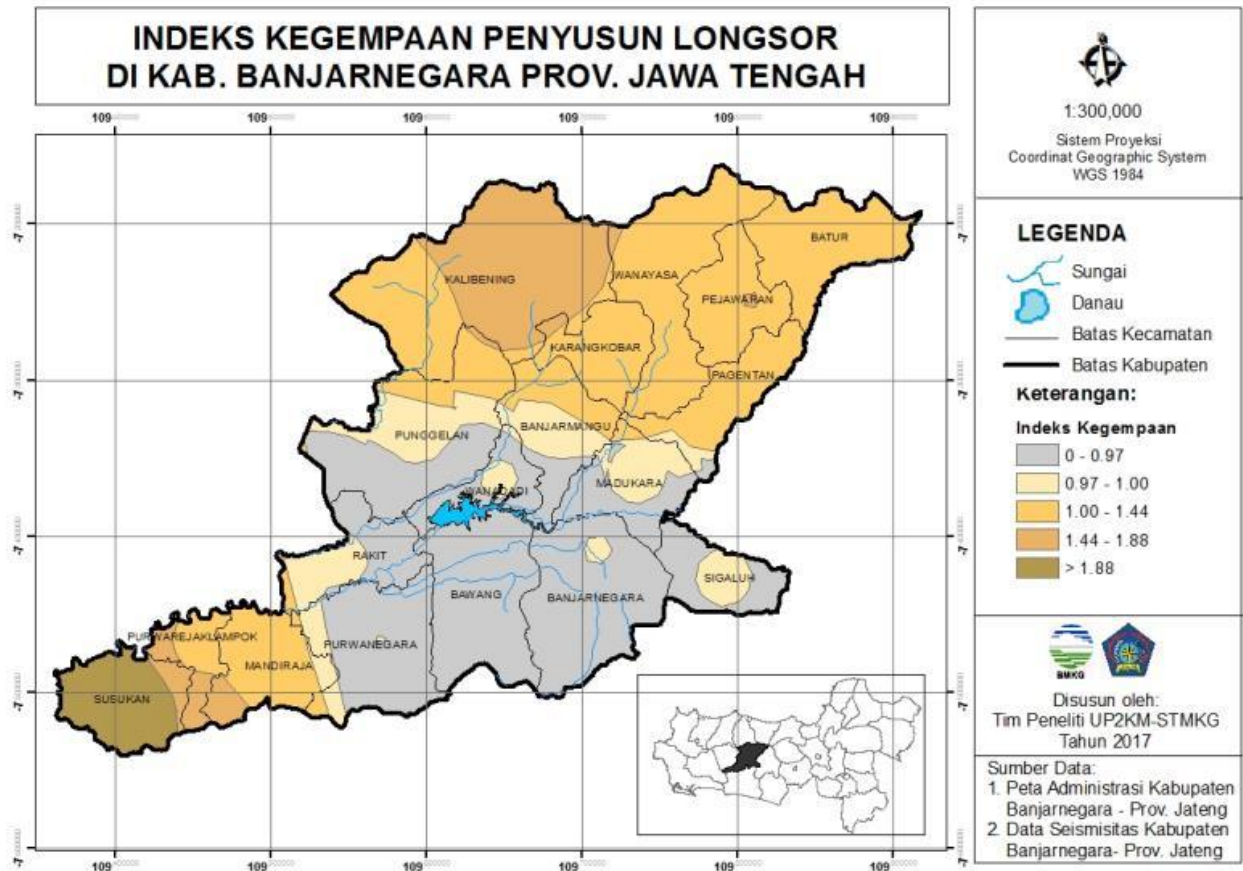


Gambar 7.4 Zona Longsor Hasil Kajian Team Longsor

7.2.2 Indeks Penyusun Longsor

Kesetabilan lereng suatu perbukitan sangat dipengaruhi oleh aktivitas kegempaan. Struktur geologi dapat berkembang karena adanya aktivitas kegempaan, dengan banyaknya struktur geologi yang berkembang di suatu daerah maka daya ikat batuan pada daerah tersebut lemah dan sangat berpotensi pada gerakan tanah.

Team kajian melakukan pengumpulan data sebaran gempa 2005 -2015 untuk kabupaten Banjarnegara dan sekitarnya (Gambar 7.5). Pada Gambar 7.5 menunjukkan pada sebaran gempa dengan kerapatan tinggi terdapat pada bagian tengah kabupaten Banjarnegara yaitu kecamatan Punggelan, Wanadadi, Banjarmangu, Madukara, Karangobar dan Bawang. Berdasarkan peta kerentanan tanah (Gambar 7.5) menunjukkan korelasi positif terhadap data sebaran kerapatan kejadian gempa (Gambar 7.5), yang mana tingkat kerawanan tinggi juga merupakan daerah dengan tingkat sebaran gempa yang tinggi juga. Jadi kesetabilan lereng sangat di pengaruhi oleh aktivitas kegempaan.



Gambar 7.5. Peta Sebaran Gempa bumi kabupaten Banjarnegara tahun 2005 -2015 (Sumber data Katalog BMKG 2015)

Aktivitas kegempaan dapat merubah struktur batuan, sehingga daerah tersebut menjadi zona lemah. Untuk mengukur pengaruh dari kegempaan menggunakan data Intesitas kegempaan. Dengan menggunakan data kegempaan 2005-2015 kami membuat suatu persamaan empiris untuk menentukan nilai Intensitas sumber gempa. Persamaan tersebut sebagai berikut

$$I_0 = 1.746 M - 1.799 \log H + 5,403 \quad (7.2)$$

Dimana

I_0 = Intensitas sumber Gempa bumi

M = Magnitudo gempa bumi

H = kedalaman sumber gempa bumi

Untuk menentukan nilai intensitas untuk setiap lokasi maka I_0 dihitung tingkat peluruhannya terhadap jarak. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$I_n = I_0 3 \log \left(\frac{Dn}{H} \right) - B(Dn - H) \quad (7.3)$$

dimana

I_n = Intensitas Gempa di suatu titik

I_o = Intensitas Sumber Gempa

D_n = Jarak dari Hypocenter ke titik yang di hitung

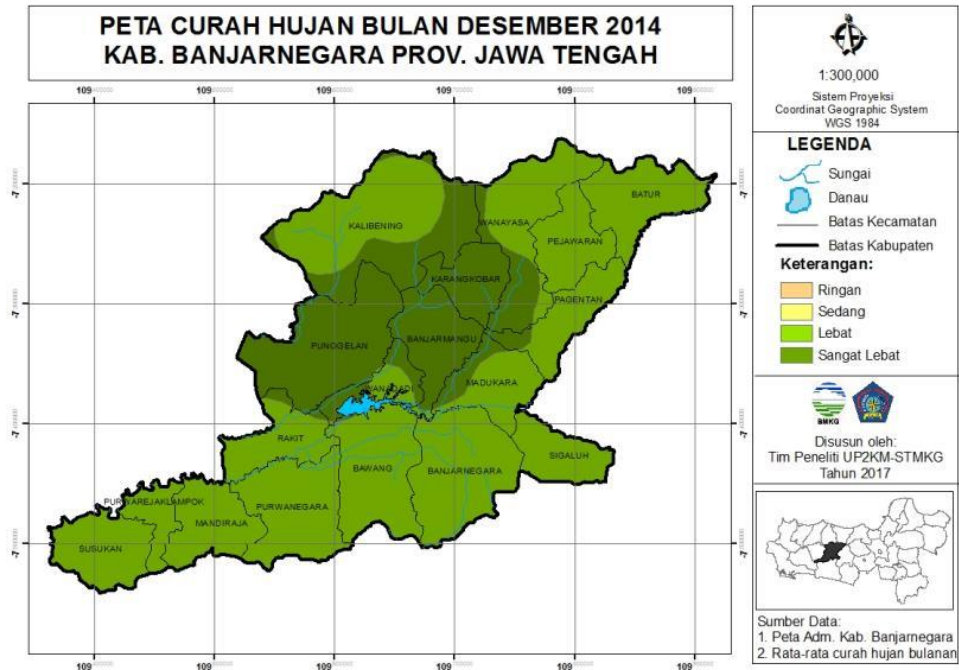
H = Hypocenter (Kedalaman Gempa bumi)

Dengan menggunakan Persamaan 7.3 maka nilai intensitas gempa setiap daerah dapat diketahui. Dengan demikian kita dapat mengetahui kemampuan daya ikat struktur batuan ketika dalam 1 bulan sebelum nya terjadi gempa bumi.

Neraca air atau water balance menggambarkan hubungan antara *inflow* (aliran masuk) dengan *outflow* (aliran keluar) pada suatu wilayah selama periode tertentu. Dalam perhitungannya, neraca air dapat menggambarkan curah hujan yang tertampung dalam daerah *recharge*, penguapan kembali sebagai evapotranspirasi, air yang mengalir di permukaan sebagai *surface direct run off* maupun infiltrasi air tanah. Neraca air memegang peranan sangat penting dalam kajian longsor, karena menggambarkan kondisi daya jenuh tanah terhadap air permukaan. Jika nilai nya melebihi 100% maka tanah tidak dapat menampung air atau akan terjadi Run off. Data yang diinput pada perhitungan neraca air berupa data klimatologi beserta data tabel pendukung berupa temperatur rata-rata, parameter evapotranspirasi, nilai radiasi matahari, exposure surface dan data lainnya. Dengan menggunakan metode Thornwaite-Mather, data-data yang ada digunakan untuk mencari evapotranspirasi potensial.

Nilai Neraca Air tanah yang di hitung untuk prediksi longsor adalah nilai Neraca air tanah pada saat itu dalam luasan tertentu. Dalam hal ini nilai neraca air tanah di hitung dalam luasan kecamatan.

Curah hujan yang digunakan adalah curah hujan prediksi dalam 1 bulan kedepan. Nilai curah hujan dihitung berdasarkan luasan kecamatan yang di prediksi. Model prediksi harian yang digunakan menggunakan model WRF yang di asimilasi dari data radar dan satelit. Contoh curah hujan bulan Desember 2014 seperti pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 Peta Curah hujan Bulan Desember 2014

7.2.3 Indeks Kekuatan Longsor (IKL)

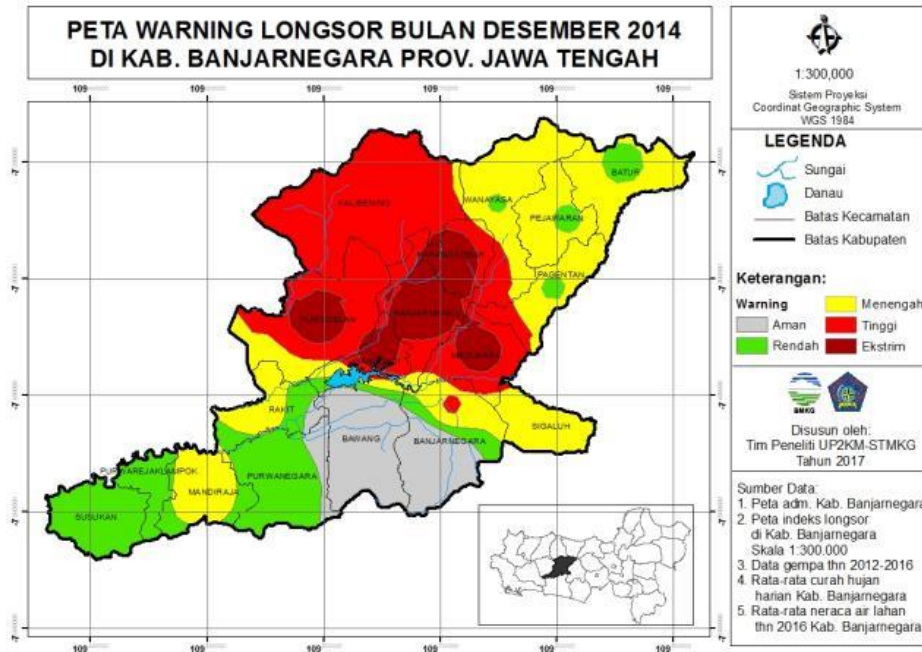
IKL adalah Indeks kekuatan longsor yang dihitung menggunakan persamaan 7.1 yang merupakan Indeks nilai longsor yang disusun dari Zona Longsor (ZL) dan Indeks Penyusun longsor (IPL). Nilai Indeks kekuatan longsor terbagi dalam 4 Katagori yaitu:

1. Extrim, Nilai indeks longsor lebih dari 85 yang artinya dalam waktu 2 minggu kedepan akan terjadi longsor.
2. Tinggi, Nilai Indeks Longsor lebih dari 75 tapi kurang dari 85 yang artinya dalam waktu diatas 2 minggu kedepan artinya perlu peningkatan Curah hujan 1 minggu kedepan.
3. Sedang, Nilai Indeks Longsor lebih dari 65 tapi kurang dari 75 yang artinya dalam waktu diatas 3 minggu kedepan artinya perlu peningkatan Curah hujan 2 minggu kedepan.
4. Rendah, Nilai Indeks Longsor kurang dari 65, potensi longsor dalam 1 bulan kedepan rendah atau kemungkinan besar tidak terjadi longsor, kecuali jika ada curah hujan yang ekstrim.

7.3 Peringatan Dini Bahaya Longsor Bulanan

Simulasi dengan curah hujan 100 milimeter dan neraca tanah 100% sebagaimana dalam Tabel 7.1 dimana dibangun dengan menggunakan model longsor Zona Longsor (ZL), Indeks

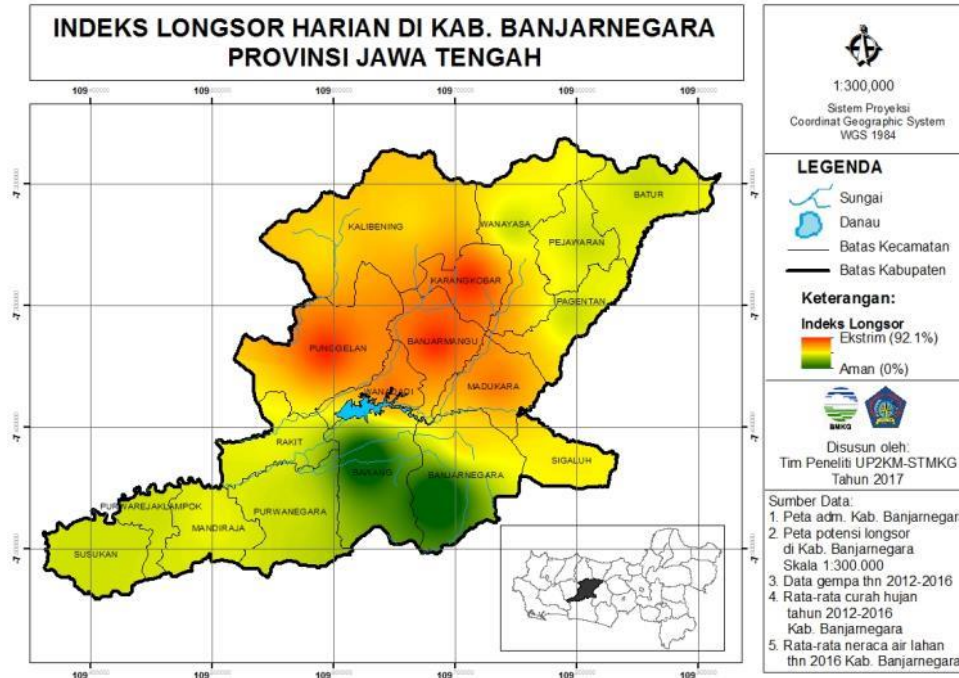
Penyusun Longsor (IPL) untuk menghasilkan Indeks Longsor (IL) yang memberikan indeks peringatan dini Longsor. Hasil dari parameter model longsor kemudian dipetakan dengan GIS yang menghasilkan Kriteria warning dimana potensi Ekstrim terjadi di Kecamatan Banjarwangu, Madukara, Punggelan, dan Karangkojar, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 Indeks Longsor Bulanan dengan Paramater Model

7.3.1 Peringatan Dini Bahaya Longsor Harian

Simulasi dengan curah hujan harian 100 milimeter dan neraca tanah 100% sebagaimana dalam yang masukkan parameter KAT dan Ch untuk harian. Dari model parameter EWS longsor dengan curah hujan prediksi 3 hari ke depan sebesar 50 mm sehingga menghasilkan indeks longsor untuk semua kecamatan bervariasi aman–ekstrem. Sebagai contoh hasil peringatan dini harian sebagaimana dalam Gambar 7.7



Gambar 7.7 Indeks Longsor Harian Kabupaten Banjarnegara

8. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Variabel curah hujan, kandungan air tanah, dan intensitas gempa merupakan variabel dinamis yang berperan sebagai pemicu longsor curah hujan sedangkan zona longsor dan tipe iklim sebagai sebagai variabel statis. Kedua variabel tersebut sebagai komponen untuk membangun model peringatan tanah longsor di Banjarnegara. Variabel statistik dan dinamis tersebut digunakan untuk membangun model peringatan dini longsor. Model longsor yang dibangun terdiri daerah tetap atau variable statis yang di sebut Zona Longsor (ZL), Peta Rawan Lonsor, dan Peta pola Iklim variable penyusun kejadian longsor. Adapun Indeks Penyusun Longsor (IPL) sebagai variabel dinamis Aktivitas kegempaan Neraca Air Tanah. Persamaan yang dibangun adalah $IKL = ZL(\text{Nilai bobot } 60\%) + IPL(\text{Nilai bobot } 40\%)$
2. Kandungan air tanah menunjukkan kondisi surplus di Kabupaten Banjarnegara umumnya terjadi selama 7 sampai 12 bulan. Kecamatan yang mengalami surplus sepanjang tahun (12 bulan) adalah Kalibening, Karangobar, Wanayasa, Pagentan, Pejawaran, dan Batur. Kecamatan yang mengalami surplus 9 sampai 10 bulan adalah Banjarnegara, Sigaluh,

- Madukara, Banjarmangu, Wanadadi, dan Punggelan. Kecamatan yang mengalami surplus 7 sampai 8 bulan adalah Purworejo, Klampok, Mandiraja, Purwonegoro, Rakit, dan Bawang
3. Kriteria ambang batas (*threshold*) bahaya longsor yang dihitung curah hujan akumulatif 3 hari sebelumnya menjadi dasar untuk prediksi longsor harian. Curah hujan kumulatif tertinggi sejak tiga hari sebelum terjadinya longsor sekitar 235 mm dan sejak sepuluh hari bernilai lebih dari 500 Curah hujan harian dipengaruhi oleh aktifitas atmosfer antar musiman (Madden Julian Oscillation/MJO). Aktifitas MJO dengan dinamika liputan awan dan peredaran udara lapisan bawah khususnya kawasan pertemuan angin baratan dan timuran (konvergensi angin zonal) menjadi dasar pemicu kejadian cuaca ekstrem yang menyebabkan tanah longsor yang terjadi di akhir 2014.
 4. Model prediksi curah hujan harian dan bulanan menggunakan model numerik berpotensi untuk dikembangkan di wilayah Banjarnegara. Prediksi curah hujan hasil simulasi pada saat terjadi longsor menunjukkan bahwa sebaran hujan lebat dapat ditangkap oleh model WRF. 111 Pemanfaatan data observasi untuk asimilasi ampu memberikan perbaikan terhadap akurasi prediksi di beberapa titik pengamatan dibandingkan sebelum asimilasi. Hasil asimilasi data radar nilai curah hujan hasil prediksi masih *underestimate* jika dibandingkan dengan data observasi. Adapun hasil prediksi curah hujan bulanan dapat menangkap pola hujan bulanan 500-600 milimeter pada saat kejadian longsor sehingga dapat digunakan sebagai input untuk model prediksi untuk satu bulan ke depan.
 5. Desain *early warning system* longsor yang meliputi sensor akselerometer, *tipping bucket* dan *soil moisture*. Sensor yang terpasang akan melakukan perintah sesuai batas ambang batas parameter cuaca dengan ambang curah hujan akumulatif 3 hari sebelum kejadian (100 milimeter) dan geologi (kelembaban tanah).

Saran kelanjutan untuk penelitian berikutnya adalah

1. Pembangunan peralatan sistem peringatan dini longsor dengan parameter ambang batas curah hujan, kelengasan tanah dan
2. Parameter longsor ditambahkan dengan data harga percepatan maksimum, dominan HVSR dan amplifikasi gerak tanah
3. Prediksi curah hujan numeric dengan model asimilasi data radar dan AWS untuk menangkap pola curah hujan ekstrem periode MJO aktif

4. Model prediksi ansambel untuk prediksi curah hujan bulanan untuk menangkap pola hujan ekstrem bulanan
5. Informasi peringatan dini berbasis system informasi geografis online dan smartphone untuk untuk memperoleh informasi interaktif
6. Validasi hasil model dengan membandingkan hasil kejadian di lapangan

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, Edvin. 2008. *Meteorologi Laut Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika.
- Adhani, Gita. 2013. *Pendugaan Curah Hujan Musim kemarau menggunakan Data Southern Oscillation Index dan Suhu Permukaan Laut Nino 3.4 dengan Metode Support Vector Regression*. <http://repository.ipb.ac.id/>. Diakses tanggal 8 Januari 2014
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Spasial dan Kependudukan*. Available at: <https://banjarnegarakab.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/49> (Diakses tanggal 27 November 2017)
- Bayuaji D.G, Arief Nugraha, A.L., dan Sukmono, A. Analisis Penentuan Zonasi Risiko Bencana Tanah Longsor Berbasis Sistem Informasi Geografis Jurnal Geodesi Undip Januari 2016
- BMKG. *Gempa Bumi*. <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>. (Daikses tanggal 28 November 2017).
- Fathani, T. F., Karnawati, D., Sassa, K., Fukuoka, H., and Honda, K. 2009. *Development of landslide monitoring and early warning system in Indonesia*, in: *Proceedings of The First World Landslide Forum*, edited by: Casagli, N., Fanti, R., and Tofani, V., 195–198, 18–21 November 2008, United Nations University, Tokyo, Japan.
- Fathani, T. F., Karnawati, D., and Wilopo, W. 2014. *An adaptive and sustained landslide monitoring and early warning system*, in: *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, edited by: Sassa, K., Canuti, P., and Yin, Y., Springer International Publishing, 2, 563–567.
- Gilliland, E. K., dan Rowe C.M., 2007. *A comparison of cumulus parameterization schemes in the WRF model*. Preprints, 21st Conf. On Hydrology, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., P2.16.
- Jankov, I., Gallus, W.A., Segal, M., Shaw, W.A., dan Koch, S.E., 2005. *The Impact of Different WRF Model Physical Parameterizations and Their Interactions on Warm Season MCS Rainfall*. *Wea. Forecasting*, 20, 1048–1060.
- Karnawati D, Fathani TF, Ignatius S, Andayani B, Legono D, Burton PW, 2011. *Landslide hazard and community-based risk reduction effort in Karanganyar and the surrounding area, central Java, Indonesia*. *J Mt Sci* 8(2):149–153.
- Karnawati, Dwikorita. 2002. *Pengenalan Daerah Rentan Gerakan Tanah dan Upaya Mitigasinya*, Makalah Seminar Nasional Mitigasi Bencana Alam Tanah Longsor,

- Semarang 11 April 2002, Semarang: Pusat Studi Kebumian Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro.
- Madden, R. and P. Julian, 1972 : Description of the Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40 – 50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109 – 1123.
- Madden, R. and P. Julian, 1974 : Observation of the 40 – 50 day tropical ascillation : A review. *Mon. Wea. Rev.* 112 – 814 – 837.
- Media Indonesia. 2017. *Diguyur Hujan, Dua Kejadian Longsor Terjadi di Banjarnegara*. Available at: <http://mediaindonesia.com/news/read/124838/diguyur-hujan-dua-kejadian-longsor-terjadi-di-banjarnegara/2017-09-29> (diakses tanggal 28 November 2017)
- Nasir. A.A. 1993. Hubungan Iklim dan Pertanian. Bahan Kuliah Klimatologi Pertanian Jurusan Agrometeorologi, FMIPA. IPB. Bogor
- Pawitan H, Irsal L, Heny S, Rizaldi B, Handoko dan Justika S. Baharsjah. 1996. *Implementasi Pendekatan Strategis dan Taktis Gerakan Hemat Air*. Seminar Nasional Pemantapan Gerakan Hemat Air Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Sumberdaya Air. Jakarta
- Pielke, R. A., Sr., 2002. *Overlooked issues in the U.S. national climate and IPCC assessments*, *Clim. Change*, 52(1-2), 1–11, doi:10.1023/A:1017473207687.
- Scamarock dkk., 2008. *A Description of the Advanced Research WRF Version3*. NCAR Technical Note. Mesoscale and Microscale Meteorology Division. National Center for Atmospheric Research ,Boulder, Colorado, USA.
- Setiadi, Tedy. 2013. *Perancangan Sistem Informasi Geografis Pemetaan Daerah Rawan Tanah Longsor, Mitigasi Dan Manajemen Bencana Di Kabupaten Banjarnegara*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Journal of Public Health)*.
- Sipayung S.B, Cholianawati, N., Susanti, I., Aulia S.. dan Maryadi.E., Pengembangan Model Persamaan Empiris Dalam Memprediksi Terjadinya Longsor Di Daerah Aliran Sungai (Das) Citarum (Jawa Barat) Berbasis Data Satelit Trmm (*Development Of Empirical Equation Model In Predicting The Occurrence Of Landslide At Watershed Of Citarum (West Java) Based On The Trmm Satellite Data*) *Jurnal Sains Dirgantara* Vol. 12 No. 1 Desember 2014 :12-21
- Thorntwaite, C.W and J.B. Mather. 1957. *Instruction and Table for Computing Potential Evapotranspiration and the Water*. Drexel Inst. of Tech. Lab. of Climatology.
- Warner, T. 2011. *Numerical Weather and Climate Predictions*. Cambridge University Press. New York. ny. Isbn 978-0-521-51389-0.

Wilks, Daniel S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Vol. 100. Academic press.

Zhang, C. 2005 : Madden Julian Oscillation. *Review of Geophysics* 43, 1 – 36

Zhang, C. And J. Gottschalck : SST anomalies and the Madden Julian Oscillation in the Equatorial Pacific. *J. Climate*, 15, 2429 - 2445